



Departamento de Ingeniería de Sistemas Industriales y Diseño
Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción

Programa de doctorado

Proyectos de innovación tecnológica en ingeniería del producto y del proceso

Metodología para la eco-innovación en el diseño para desensamblado de productos industriales

Memoria de tesis presentada por

Daniel Justel Lozano

para optar al grado de doctor, dirigida por

Dra. Rosario Vidal Nadal

Castellón (España). Diciembre 2008

A mi princesita, y a mis Padres

Agradecimientos

Quiero agradecer a la antigua Oficina Técnica de Mondragon Goi Eskola Politeknikoa Jose María Arizmendiarieta S.Coop., el haber confiado en aquel becario. Sin vuestro apoyo no estaría ahora donde estoy. Sinceramente gracias a tod@s. Nombrados por el orden de colocación de sus mesas en el viejo dpto, Etxabe, Pedro, Juanjo, Gorka, Alex, Joe, Txo, M^a Asun, Unai, Jose Manuel, Idoia y Germán.

Agradezco a Alex, el haber tenido la iniciativa de proponer que en el área de Diseño Mecánico de EPS-MU alguien hiciera la tesis. Tampoco quiero olvidarme de los demás compañeros del área en aquella época. Ese día giraron la cabeza mirándome, yo creo que pensando ¿creo que te lo está diciendo a ti?, eso de ser de los jóvenes tiene sus consecuencias aquí también. Ah!, y que los otros jóvenes acaban de aterrizar como quién dice. Esos compañeros fueron Joe, Txo, Alex, Gorka, Iñi y Ester.

A los amigos doctorandos de EPS-MU, sobre todo a Aitziber, Lauren, Mikel y María. ¿Qué tiempos aquellos?, eh!, Gracias por toda vuestra ayuda.

A todas las personas que me han ayudado de una y otra manera en el GID. Sari, Elena, Sara, María José, Raquel, Belinda, Laura, Carlos, Marta, mi tocayo, Chulvi, David, Tin, Ivan, Kike, Olga, Aina, Cristina. Y a sus respectivas parejas, Pili, Sergio, Victor, Mariló, Jose, Sonia y Bea. Con vosotros he pasado unos julios memorables que habrá que intentar repetirlos de alguna otra forma.

A todas las personas de EPS-MU que han colaborado en esta investigación: Josune, Arianne, Nekane, Eñaut, Ander, Edu, Ainhoa, Ivan, María, Itziar, Amiaur, Ines, Modes, Fer, Gorka, Iñi, Mikito, Nagore, Ester y Angel. Al equipo de diseño industrial y al del aula de ecodiseño en particular. A mis amigos de la fotocopidora (Lurdes & Cía.) y de la biblioteca (Duli et ál.).

A mis ingleses: Modes, Unai, Beli, Angel, Mikel y Tin.

También quiero agradecer a las personas que han cubierto mis ausencias en la universidad por motivos de la tesis. Especialmente a Angel y Alaitz de Ecolan y a Mikel Ezkurra.

A toda la gente de EPS-MU que en un momento u otro se ha preocupado en preguntarme ¿qué tal lo llevo? Amaia, Iñi, Fer, Jon, Modes, Juantxo, Alex, Ester, Joe, Arantxa, Nagore, Gorka, Txo, Felix, Eraña, Angel, Modes, Germán; Miragi, Mikito, M^a Asun, Idoia, Xabo, Alberto, Aritz, Josema, Unai, Mikel, Mariaje, Aitor, Gari, Etxabe,

Guisa, Viku, Joseba, Eneka, Iratxe, Armin, Antonio, Pedro y Wilson, a las chicas de administración (Miren & Cía.), Itziar, Amaia, Tatiana, Miren, Jaione, Unai, Aitor, Victoria, Patxi, Arrupe, Edurne, Bea, Marian, Bego, Nek, Ainhoa. A mis chispas y telecos de Garaia.

A Mercedes Chiner de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) por ofrecerme la posibilidad de comenzar con la tesis y de conocer a toda la gente agradable que investiga. Mercedes, he aprendido mucho de ti.

A Idoia le agradezco su tutela académica inicial. Aunque el tema no fuera su fuerte me supo guiar por el camino con rectitud. También agradezco que al final hayas cogido el rol de “mosca cojonera”, con el ¿cómo vas?, y ¿cuándo depositas?, etc. Gracias, agradezco la preocupación, al igual que la de Jon, Germán, Alberto y Xabo.

Por último y no por ello menos importante, a mi excepcional directora de tesis Sari. ¿No sabes lo mucho que he aprendido de ti?. Sin ti esta tesis no sería lo mismo. Por último, pedirte perdón por todo el trabajo que te he dado.

Y como no, a lo más importante de esta vida mi gran familia. Especialmente, a la persona que en estos últimos años ha sufrido más directamente en sus carnes este trabajo, sin su apoyo y comprensión habría tenido más quebraderos en mi cabecita, a mi princesita. A mis padres, a mis hermanos (incluyo a Timo y al cuñaoooooooooooooo), a mis sobrinos, a mi madrina, a mis suegros y a mis cuñadas. Vosotros sí que habéis sido una ayuda, todos los años preguntando cuando se acaba esto, pues por fin se acaba esto.

A todas las empresas que han colaborado con nosotros en esta investigación: Super Ego-Rothenberger S.A., Fagor Electrodomésticos S.Coop., Tuboplast Hispania, la Fundación Ecoléc, Ecolan, Ecolan Ingeniería S.L y Fagor Electrodomésticos. Especialmente a Montxo de Ecoléc, a Begoña Igartua de Fagor Electrodomésticos S. Coop. y a Angel Valor de la empresa Ecolan. Gracias a todos por vuestra disposición y ganas de hacer cosas.

Asimismo, agradecemos la financiación recibida del Ministerio de Educación y Ciencia y de fondos FEDER para el proyecto FaBeS (DPI2006-15570-C02-01), del Ministerio de Medio Ambiente para el proyecto NUDIRE (Nº exp. A075/2007/2-02.1) así como la recibida de IHOBE, de Mondragon Corporación Cooperativa (MCC) y de la Escuela Politécnica Superior (EPS) de Mondragon.

Sinceramente a tod@s. Moltes gràcies. Muchas gracias. Mil esker denoi.

P.D: Quiero dedicar también esta tesis a todas las personas querid@s que aunque ya no están estarían orgullos@s de mi.

RESUMEN

La humanidad extrae del medio natural más de medio billón de toneladas de materiales todos los años, de los cuales, sólo un 1% se incorpora a los productos. Éstos, a su vez, se convierten en residuos al final de su vida útil. La Unión Europea estima que en el año 2020 los residuos sólidos urbanos serán de 340 millones de toneladas métricas. En total, esto supondrá un incremento de casi el 50% en 25 años. Esta previsión de crecimiento continuo se debe principalmente al crecimiento sostenido previsto del consumidor privado final (CE, 2006) y a la continuación de las tendencias actuales en los patrones de consumo.

Esta forma de producción y el consumo que se genera amenazan los ecosistemas de la Tierra. El Secretario General de las Naciones Unidas, Kofi Annan, mencionaba en marzo del 2005 que *"la propia base de la vida en la Tierra está deteriorándose a un ritmo alarmante"*.

Entre el 80 y el 90 % de los costes económicos y ecológicos del ciclo de vida de los artefactos son ya casi inevitables desde el momento de su diseño, antes incluso de que hayan sido fabricados. Cada etapa del ciclo de vida ofrece posibilidades de hacer que una idea, pieza o proceso de producción utilice más o menos recursos y que el resultado final sea óptimo o no lo sea. Unas prácticas que incrementen la eficiencia en el uso de recursos, que cierren los ciclos de los materiales en vez de generar residuos y que imiten a la naturaleza, en combinación con medidas para reducir el consumo, ofrecen un nuevo modelo de prosperidad en un planeta degradado ambientalmente y azotado por la pobreza.

En esta memoria de tesis se presenta la metodología de eco-innovación ECOINDES. Esta metodología tiene el fin de generar nuevos conceptos de producto más respetuosos con el medio ambiente a partir del diseño para desensamblado. ECOINDES se basa en un método de generación de conceptos denominado DESTRIZ y en dos métodos de evaluación ambiental: Eco-EPI (Eco- Evaluación del Potencial Innovador) y PR-EOL (*End-Of-Life* de un PRoducto).

La generación de conceptos -método DESTRIZ- se sustenta a su vez sobre dos pilares: el diseño para desensamblado o diseño para desensamblaje (DFD) y la metodología TRIZ (acrónimo ruso de la Teoría de Resolución de Problemas Inventivos). El DFD se emplea como punto de partida para la innovación. ECOINDES se sirve de las

herramientas de TRIZ como técnicas de generación de conceptos de producto innovadores a partir de los factores que condicionan el proceso de desensamblado.

Esta investigación se basa en las siguientes hipótesis de partida:

- El diseño para desensamblado es un punto de partida válido para lograr la eco-innovación en productos industriales.
- TRIZ es una herramienta con la que se pueden obtener nuevos conceptos de producto en el diseño para desensamblado.

El objetivo general de esta tesis es generar nuevos conocimientos sobre el proceso de eco-innovación, más concretamente en la generación de nuevos conceptos de producto a partir del diseño para desensamblado. Los objetivos concretos que cubre la tesis son:

- Lograr conceptos de producto potencialmente eco-innovadores a partir de los factores que condicionan el DFD.
- Discernir el grado de innovación de cada concepto.
- Discernir el grado de eco-innovación de cada concepto.
- Permitir el desarrollo de productos con menores tiempos de desensamblado.
- Sentar las bases de estrategias de EOL más evolucionadas desde el punto de vista ambiental (tendencia hacia la reutilización de producto).
- Obtener productos eco-innovadores en consonancia con la estrategia de la empresa a partir del diseño para desensamblado.

La metodología de investigación aplicada toma como punto de partida el estudio de técnicas existentes. En el capítulo 2 de la tesis se ha realizado una revisión bibliográfica de eco-innovación y se han obtenido las siguientes conclusiones:

- Un producto es eco-innovador cuando cumple tres requisitos: que el origen de la innovación sea un aspecto ambiental, que el producto sea creativo y que tenga éxito en el mercado. Los tipos de eco-innovación que se pueden dar son: incremental, moderada y radical.
- Las metodologías de eco-innovación tienen tres fases: determinación de aspectos ambientales a mejorar, generación de conceptos y evaluación de la mejora obtenida. Para determinar los aspectos ambientales a mejorar se emplean métodos de ecodiseño o los siete indicadores de eco-eficiencia del WBCSD (Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo sostenible). En cuanto a la generación de ideas, la metodología TRIZ es la más empleada. La evaluación de la eco-innovación en la fase de diseño conceptual se enfoca hacia el cálculo de la eco-eficiencia empleando los siete indicadores del WBCSD.

- Se ha definido la diferencia entre los términos ecodiseño, eco-innovación y eco-eficiencia en base al tipo de innovación obtenida. En esta tesis se considera ecodiseño cuando la innovación es incremental, eco-innovación cuando la innovación es moderada y eco-eficiencia cuando la innovación es radical.
- No se ha constatado la existencia de ninguna metodología de eco-innovación que utilice como origen el diseño para desensamblado (DFD). Aunque autores como Kriwet et ál. (1995) mencionan la necesidad de desarrollo de métodos y herramientas que incorporen consideraciones ambientales en el diseño de producto, y De Caluwe (1997) clasifica al DFD como una herramienta de mejora medioambiental específica, ya que las mejoras se obtienen a partir del destino final del producto.

La revisión bibliográfica del diseño para desensamblado realizada en el capítulo 3, ha permitido cubrir los siguientes objetivos:

- Identificar los siete factores que condicionan el diseño para desensamblado: legislación, destino final (EOL) de las piezas, la estructura del producto, el tipo y el número de elementos de unión, la visibilidad del componente y del elemento de unión, las características de las piezas a desensamblar y las condiciones en las que se realiza el desensamblaje. De los siete factores se decide utilizar tres en esta tesis: el EOL de las piezas por ser la razón del desensamblaje del producto, y el elemento de unión y la visibilidad de los componentes porque son los factores sobre los que se puede actuar con mayor libertad en la fase de diseño conceptual.
- Detectar la necesidad de realizar un estudio que compare los métodos de estimación de tiempos de desensamblado (Dowie & Kelly, 1994, Kroll, 1995, Desai & Mital, 2003 y Sodhi et ál., 2004) entre sí y que ofrezca información sobre qué método realiza estimaciones más precisas.
- Conocer el fin de vida de los electrodomésticos en España.

En el capítulo 4 se ha creado el método de innovación DESTRIZ a partir de los factores DFD y de las herramientas TRIZ: análisis funcional, efectos, principio de idealidad, principios inventivos y evolución de los sistemas. Su elaboración se basa en las aportaciones de Jones & Harrison (2000), Strasser & Wimmer (2003) y Chang & Chen (2003). Estos autores logran productos eco-innovadores utilizando métodos de ecodiseño y la metodología TRIZ. La innovación se origina con la evolución de los dos factores DFD analizados: el elemento de unión y la visibilidad del componente y del elemento de unión. Para soportar el proceso de innovación se ha identificado la evolución de cada

uno de los factores y se han generado conceptos de producto que permiten evolucionar a los mismos. La validez de esta metodología para generar nuevos conceptos de producto en base al DFD se ha corroborado con los ejemplos de aplicación de la misma en un puntal extensible, un freno-embrague y en la venta de electrodomésticos en un “*lineal*”.

En el capítulo 5 se han realizado ensayos para verificar cuál de los 4 métodos de estimación de tiempos de desensamblado (Dowie & Kelly, 1994, Kroll, 1995, Desai & Mital, 2003 y Sodhi et ál., 2004) se desvía menos del tiempo real cronometrado. Tras los mismos se observa que:

- El único de los métodos que se puede emplear íntegramente en la etapa de diseño conceptual es el Desai & Mital (2003).
- El método de Sodhi et ál. (2004) se descarta debido a los malos resultados que se obtienen con él.
- No hay un método que sea siempre el mejor. Analizando las desviaciones cometidas en cada operación se observa que al ser unas positivas (estimación superior al tiempo cronometrado) y otras negativas, los métodos compensan el tiempo global obtenido. Estos hechos permiten desarrollar el método de estimación de tiempos de desensamblado AIDED para las operaciones: apertura de snaps (pestaña, clipaje), destornillar y extraer.

En el capítulo 6 se ha creado y validado el método de Evaluación del Potencial Innovador de un diseño conceptual (EPI). En el marco de la metodología QFD el método integra la evaluación de la novedad de los conceptos, la determinación de los requisitos de diseño atractivos para el cliente y los factores de éxito empresarial, para así obtener el concepto de producto con mayor potencial real de innovación. El método identifica en la etapa conceptual el tipo de innovación que se obtendrá cuando el producto tenga éxito en el mercado. Las bases del método EPI son:

- La evaluación del grado de novedad del concepto de un producto mediante las discontinuidades de Garcia & Calantone (2002), con lo que se discierne entre los tipos de innovación que se lograría con el concepto: innovación radical, innovación moderada e innovación incremental.
- La patentabilidad del producto desarrollado a partir del concepto.
- La selección de requisitos de diseño atractivos para el cliente mediante la encuesta de Kano, que valora el éxito que puede tener el concepto en el mercado, ya que busca que el concepto sea atractivo para el cliente mediante la inclusión de atributos que no espera (Slater & Narver, 1999; Kano et ál., 1996).
- La determinación y evaluación de las variables de viabilidad empresarial.

- La matriz QFD I, en la que se integran todas las evaluaciones mencionadas.
- Es un método cualitativo y sencillo de utilizar. Se ha intentado huir de valoraciones cuantitativas de cumplimiento de cada criterio con cada concepto, porque el tiempo empleado hubiera sido muy superior y en numerosas ocasiones se requeriría información no disponible.
- Está basado en el consenso de un equipo de desarrollo multidisciplinar, lo cual, aporta confianza y seguridad en el resultado.

La validez del método EPI para seleccionar conceptos de producto potencialmente innovadores se ha contrastado con su aplicación en un cortatubos de la empresa Super Ego – Rothenberger S.A.

En el capítulo 7 se presenta la metodología de eco-innovación ECOINDES. La metodología comienza con la selección del EOL deseado para el producto mediante el método de Rose (2000). Después, por aplicación del método DESTRIZ (desarrollado en el capítulo 4) se generan conceptos de producto innovadores. Posteriormente se valora el impacto ambiental mediante los métodos Eco-EPI y PR-EOL. Con Eco-EPI se selecciona el concepto más eco-innovador, y finalmente con PR-EOL se evalúa la mejora ambiental del producto en diferentes escenarios de EOL.

Finalmente, se ha validado la metodología ECOINDES aplicándola en una lavadora de la empresa Fagor Electrodomésticos S.Coop. La nueva lavadora se ha desarrollado a partir de conceptos de producto con los que se logrará una innovación moderada cuando se venda con éxito en el mercado. Por tanto, los conceptos son potencialmente eco-innovadores. El nuevo producto tiene mejores prestaciones en su EOL, ya que se ha diseñado para facilitar su desmontaje para poder reciclar más materiales y reutilizar componentes.

Esta metodología ayuda a las empresas a afrontar los nuevos retos de EOL, como, por ejemplo, el Plan Nacional Integrado de Residuos 2008-2015. Un aspecto importante a destacar es que para lograr eco-innovaciones los conceptos deben estar alineados con la estrategia de producto de la empresa.

La tesis finaliza con la descripción de las futuras líneas de investigación que se han abierto como fruto del trabajo realizado.

RESUM

La humanitat extreu del medi natural més de mig bilió de tones de materials cada any, dels quals només un 1% s'incorpora als productes. Aquests, per la seva banda, esdevenen residus al final de la seua vida útil. La Unió Europea estima que a l'any 2020 els residus sòlids urbans seran 340 milions de tones. En total, això suposarà un increment de quasi el 50% en 25 anys. Aquesta previsió de creixement continu és deguda principalment al creixement sostingut previst per a la demanda del consumidor privat final (CE, 2006) i a la persistència de les tendències actuals als patrons de consum.

Aquesta forma de producció i el consum que es genera amenacen els ecosistemes de la Terra. El Secretari General de les Nacions Unides, Kofi Annan, mencionava al març de 2005 que “la pròpia base de la vida a la Terra s'està deteriorant a un ritme alarmant”.

Entre el 80 i el 90% dels costos econòmics i mediambientals del cicle de vida dels productes són gairebé inevitables des del moment del seu disseny, fins i tot abans que hagen estat fabricats. Cada etapa del cicle de vida ofereix possibilitats de fer que una idea, una peça o un procés de producció utilitzen més menys recursos, i que el resultat final siga òptim o no. Unes pràctiques que incrementen l'eficiència dels recursos, que tanquen els cicles dels materials en comptes de generar residus i que imiten a la natura, en combinació amb mesures per a reduir el consum, ofereixen un nou model de prosperitat a un planeta degradat ambientalment i fuetejat per la pobresa.

En aquesta memòria de tesi es presenta la metodologia d'eco-innovació ECOINDES. Aquesta metodologia té la finalitat de generar nous conceptes de producte més respectuosos amb el medi ambient a partir del disseny per a desassemblatge. ECOINDES es basa en un mètode de generació de conceptes denominat DESTRIZ i en dos mètodes d'avaluació ambiental: Eco-EPI (Eco- Evaluación del Potencial Innovador) i PR-EOL (End-Of-Life d'un Producte).

La generació de conceptes –mètode DESTRIZ- es sosté, per la seua banda, sobre dos pilars: el disseny per a desassemblatge (DFD) i la metodologia TRIZ (acrònim rus de la Teoria de Resolució de Problemes Inventius). El DFD s'empra com a punt de partida de la innovació. ECOINDES fa servir les eines TRIZ com a tècniques de generació de conceptes de producte innovadors a partir dels factors que condicionen el procés de desassemblatge.

Aquesta recerca es basa en els següents punts de partida:

- El disseny per al desasseblatge és un punt de partida vàlid per a assolir l'eco-innovació en productes industrials.
- TRIZ és una eina amb la qual es poden obtenir nous conceptes de producte en el disseny per a desasseblatge.

L'objectiu general d'aquesta tesi és generar nou coneixement sobre el procés d'eco-innovació, més concretament sobre la generació de nous conceptes de producte a partir del disseny per a desasseblatge. Els objectius concrets que abasta aquesta tesi són els següents:

- Assolir conceptes de producte potencialment eco-innovadors a partir dels factors que condicionen el DFD.
- Discernir el grau d'innovació de cada concepte.
- Discernir el grau d'eco-innovació de cada concepte.
- Permetre el desenvolupament de productes amb temps de desasseblatge menors.
- Establir les bases d'estratègies d'EOL més evolucionades des del punt de vista ambiental (tendència cap a la reutilització de producte).
- Obtenir productes eco-innovadors en consonància amb l'estratègia de l'empresa a partir del disseny per a desasseblatge.

La metodologia de recerca aplicada pren com a punt de partida l'estudi de tècniques [d'eco-innovació] existents. En el capítol 2 de la tesi es fa una revisió bibliogràfica sobre eco-innovació, de la qual s'extreuen les següents conclusions:

- Un producte és eco-innovador quan compleix tres requisits: que l'origen de la innovació siga un aspecte ambiental, que el producte siga creatiu i que tinga èxit al mercat. Els tipus d'eco-innovació que poden donar-se són: incremental, moderada i radical.
- Les metodologies d'eco-innovació tenen tres fases: determinació d'aspectes ambientals a millorar, generació de conceptes i avaluació de la millora obtinguda. Per tal de determinar els aspectes ambientals a millorar s'empren mètodes d'eco-disseny o els set indicadors d'eco-eficiència del WBCSD (Consell Empresarial Mundial per al Desenvolupament Sostenible). Pel que fa a la generació d'idees, la metodologia TRIZ és la més emprada. L'avaluació de l'eco-innovació a la fase de disseny conceptual s'orienta cap al càlcul de l'eco-eficiència emprant els set indicadors del WBCSD.
- S'ha definit la diferència entre els termes eco-disseny, eco-innovació i eco-eficiència en base al tipus d'innovació obtinguda. En aquesta tesi es considera

eco-disseny quan la innovació és incremental, eco-innovació quan la innovació és moderada i eco-eficiència quan la innovació és radical.

- No s'ha constatat l'existència de cap metodologia d'eco-innovació que utilitze com a origen el disseny per a desassemblatge (DFD). Tot i això, autors como Kriwet et al. (1995) mencionen la necessitat de desenvolupar mètodes i eines que incorporen consideracions ambientals al disseny de producte, i De Caluwe (1997) classifica el DFD com una eina de millor mediambiental específica, ja que les millores s'obtenen a partir del destí final del producte.

La revisió bibliogràfica del disseny per a desassemblatge duta a terme al capítol 3 ha permès cobrir els següents objectius:

- Identificar els set factors que condicionen el disseny per a desassemblatge: legislació, destí final de les peces, l'estructura de producte, el tipus i nombre d'elements d'unió, la visibilitat del component i de l'element d'unió, les característiques de les peces a desassemblar i les condicions sota les quals es realitza el desassemblatge. Dels set factors esmentats, es decideix utilitzar-ne tres a aquesta tesi: el destí final per ser la raó del desassemblatge del producte, els elements d'unió i la visibilitat dels components perquè són els factors sobre els quals es pot actuar amb major llibertat durant la fase de disseny conceptual.
- Detectar la necessitat de realitzar un estudi que compare els mètodes d'estimació de temps de desassemblatge (Dowie & Kelly, 1994, Kroll, 1995, Desai & Mital, 2003 y Sodhi et al., 2004) entre sí i que ofereix informació sobre quin mètode realitza estimacions més precises.
- Conèixer el final de vida dels electrodomèstics a Espanya.

Al capítol 4 es desenvolupa el mètode d'eco-innovació DESTRIZ a partir dels factors DFD i de les eines TRIZ: anàlisi funcional, efectes, principi d'idealitat, principis inventius i evolució dels sistemes. La seua elaboració es basa en les aportacions de Jones & Harrison (2000), Strasser & Wimmer (2003) i Chang & Chen (2003). Aquests autors assoleixen productes eco-innovadors utilitzant mètodes d'eco-disseny i la metodologia TRIZ. La innovació s'origina amb l'evolució dels dos factors DFD analitzats: l'element d'unió i la visibilitat del component i de l'element d'unió. Per a suportar el procés d'innovació, s'ha identificat l'evolució de cadascú dels factors i s'han generat conceptes de producte. La validesa d'aquesta metodologia per a generar nous conceptes de producte en base al DFD s'ha corroborat amb els exemples d'aplicació: el puntal extensible, el fre-embragament i la venda de l'electrodomèstic a un "lineal".

Al capítol 5 s'han dut a terme assajos per a determinar quin dels quatre mètodes d'estimació de temps de desassemblatge (Dowie & Kelly, 1994, Kroll, 1995, Desai & Mital, 2003 y Sodhi et al., 2004) es desvia menys del temps real cronometrat. Després dels assajos s'observà el següent:

- L'únic mètode que es pot emprar íntegrament a l'etapa de disseny conceptual és el de Desai & Mital (2003).
- El mètode de Sodhi et al. (2004) es descarta degut als mals resultats que se n'obtenen.
- No hi ha cap mètode que siga el millor en tots els casos. Analitzant les desviacions trobades a cada operació s'observa que, en ésser algunes positives (l'estimació és superior al temps real cronometrat) i d'altres negatives, la desviació per al temps global obtingut queda compensada. Això permet desenvolupar el mètode d'estimació de temps de desassemblatge AIDED per a les operacions d'obertura de snaps, descargolar i extraure.

Al capítol 6 es desenvolupa i valida el mètode d'avaluació del potencial innovador d'un disseny conceptual (mètode EPI). Dins el marc de la metodologia QFD, el mètode integra l'avaluació de la novetat dels conceptes, la determinació dels requisits de disseny atractius per al client i els factors d'èxit empresarial, obtenint així el concepte de producte amb major potencial real d'innovació. El mètode és capaç d'identificar, ja a l'etapa conceptual, quin tipus d'innovació s'obtindrà quan el producte tinga èxit al mercat. Les bases del mètode EPI són les següents:

- L'avaluació del grau de novetat del concepte mitjançant les discontinuïtats de Garcia & Calantone (2002), amb el qual es discerneix quin tipus d'innovació que s'assoliria amb el concepte: innovació radical, innovació moderada i innovació incremental.
- La patentabilitat del producte desenvolupat a partir del concepte.
- La selecció de requisits de disseny atractius per al client mitjançant l'enquesta de Kano, que valor l'èxit que pot tenir el concepte al mercat, i que busca que el concepte siga atractiu mitjançant la inclusió d'atributs que no espera (Slater & Narver, 1999; Kano et al., 1996).
- La determinació i avaluació dels factors de viabilitat empresarial.
- La matriu QFD-I, a la qual s'integren totes les avaluacions esmentades.
- És un mètode qualitatiu i senzill d'utilitzar. S'ha intentat fugir de valoracions quantitatives de compliment de cada criteri amb cada concepte, perquè el

temps emprat a les avaluacions haguera estat molt superior i en nombroses ocasions es requeriria informació no disponible.

- Està basat en el consens d'un equip de desenvolupament multidisciplinari, la qual cosa aporta confiança i seguretat en el resultat.

La validesa del mètode EPI per a seleccionar conceptes de producte potencialment innovadors s'ha contrastat amb la seua aplicació en una talladora de tubs de l'empresa Super Ego-Rothenberger S.A.

Al capítol 7 es presenta la metodologia d'eco-innovació ECOINDES. La metodologia parteix de la selecció del EOL desitjat per al producte mitjançant el mètode de Rose (2000). Després, per aplicació del mètode DESTRIZ (desenvolupat al capítol 4), es generen conceptes de producte innovadors. Posteriorment es valora el seu impacte ambiental mitjançant els mètodes Eco-EPI i PR-EOL. Amb Eco-EPI se selecciona el concepte més eco-innovador, i finalment amb PR-EOL s'avalua la millora ambiental del producte en diferents escenaris d'EOL.

Finalment, s'ha validat la metodologia ECOINDES aplicant-la a una rentadora de l'empresa Fagor Electrodomésticos S.Coop. La nova rentadora s'ha desenvolupat a partir de conceptes de producte amb els quals s'assolirà una innovació moderada quan es vengui amb èxit al mercat, per tant, els conceptes són potencialment innovadors. El nou producte té millors prestacions al seu EOL, ja que s'ha dissenyat per a facilitar el seu desmuntatge per a poder reciclar més materials i reutilitzar components.

Aquesta metodologia ajuda a les empreses a afrontar els nous reptes de l'EOL, com per exemple el Plan Nacional Integrado de Residuos 2008-2015. Un aspecte important a destacar és que, per a assolir eco-innovacions, els conceptes han d'estar alineats amb l'estratègia de producte de l'empresa.

Aquesta tesi finalitza amb la descripció de les futures línies de recerca que s'han obert fruit del treball realitzat.

ABSTRACT

Mankind extracts over five hundred billion tonnes of materials from the environment every year, of which only 1% is incorporated into final products. These products, in turn, become waste at their end of life. The European Union estimates that urban solid waste will total 340 million tonnes in the year 2020. Overall, this implies roughly a 50% increase in 25 years. This continuous growth prospect is due to the sustained growth expected for final consumer demand (CE, 2006) and the persistence of current trends in consumption patterns.

This production system and the consumption thereby generated threaten the Earth's ecosystems. The Secretary-General of the United Nations, Kofi Annan stated in March, 2005 that *"the very basis for life on earth is declining at an alarming rate"*.

Between 80 and 90% of economic and ecological burdens associated with the life cycle of artifacts are almost inevitable from the moment they are designed, even before they are manufactured. Each life cycle stage offers opportunities to make an idea, a part or a production process use fewer or more resources, making the final result more or less optimal. Those practices that increase efficiency in the use of resources whilst closing the loop in material cycles instead of generating further waste –thus imitating nature-, in combination with measures to reduce consumption, offer a new prosperity model to an environmentally degraded, poverty-stricken planet.

This thesis presents the ECOINDES eco-innovation methodology, aimed at generating more environmentally-friendly new product concepts through the use of design for disassembly. ECOINDES is based upon a product concept generation method called DESTRIZ and two environmental assessment methods: Eco-EPI (*Eco-Evaluación del Potencial Innovador*; Eco-Assessment of Innovation Potential) and PRE-EOL (PProduct End Of Life).

The generation of concepts –DESTRIZ method- is, in turn, based on two mainstays: design for disassembly (DFD) and the TRIZ methodology (Russian acronym for Theory of Inventive Problem Solving). DFD is taken as a starting point for innovation. ECOINDES makes use of TRIZ tools to generate innovative product concepts from the factors that condition the disassembly process.

This research is based upon the following initial hypotheses:

- Design for disassembly is a valid starting point to achieve eco-innovation in industrial products.
- TRIZ can be used as a tool for obtaining new product concepts in design for disassembly.

The general goal of this thesis is to produce new knowledge about the eco-innovation process, more specifically about the generation of new product concepts taking design for disassembly as a starting point. The specific goals covered by this thesis are the following:

- To achieve potentially eco-innovative product concepts based upon the factors that condition DFD.
- To gain insight into the degree of innovation of product concepts.
- To gain insight into the degree of eco-innovation of product concepts.
- To enable the development of products having shorter assembly times.
- To set the guidelines for more evolved EOL strategies from the environmental perspective (trend towards product reuse).
- To obtain eco-innovative products that fit company strategies taking DFD as a starting point.

The research methodology applied herein takes the study of existing [eco-innovation] techniques as a starting point. Chapter 2 contains a literature review on eco-innovation which led to the following conclusions:

- A product will be eco-innovative if the following criteria are met: the source of innovation is an environmental aspect, the product is creative and it is a marketing success. Three forms of eco-innovation may take place: incremental, moderate and radical.
- Eco-innovation methodologies comprise three stages: definition of environmental aspects to be improved, generation of concepts and improvement assessment. In order to determine which environmental aspects should be improved, either eco-design methods or the seven indicators of eco-efficiency given by the WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) are used. As for the generation of concepts, TRIZ is the most widespread methodology. The assessment of eco-innovation during the conceptual design stage is oriented towards the calculation of eco-efficiency using the seven indicators by the WBCSD.

- The difference is explained between the terms eco-design, eco-innovation and eco-efficiency. In this thesis, eco-design is related to incremental innovation, eco-innovation to moderate and eco-efficiency to radical innovation.
- No other eco-innovation methodology based upon design for disassembly is known to the author of this thesis. Authors like Kriwet et al. (1995) mention the need for the development of methods and tools to incorporate environmental considerations into product design, and De Caluwe (1997) classifies DFD as a specific tool for environmental improvement since improvements are obtained from the end of life of products.

The literature review on design for disassembly carried out in chapter 3 had the following results:

- The seven factors that condition design for disassembly were identified: regulation, end of life of parts, product structure, number and type of joining elements, component and joining element visibility, characteristics of the parts to be disassembled and conditions under which disassembly takes place. Of these factors, three are used in the development of this thesis: the end of life of parts –as it is the reason for product disassembly-, number and type of joining elements and part and joining element visibility –since designers can act freely upon these factors during the conceptual design stage-.
- The need was detected for a study to assess existing methods to estimate disassembly times (Dowie & Kelly, 1994, Kroll, 1995, Desai & Mital, 2003 and Sodhi et al., 2004), compare them and find out which method leads to more precise estimations.
- Valuable information about the end of life of home appliances in Spain was gathered.

In chapter 4, the innovation method DESTRIZ is developed from the combination of DFD factors and TRIZ tools: functional analysis, effects, principle of ideality, inventive principles and evolution of systems. Its development is based on the contributions by Jones & Harrison (2000), Strasser & Wimmer (2003) and Chang & Chen (2003). These authors achieve eco-innovative products through eco-design methods and TRIZ. Innovation starts with the evolution of two DFD factors under analysis: joining element and visibility of component and joining element. In order to support the innovation process, the evolution of each one of these factors was identified and product concepts were generated. The validity of this methodology for generating DFD-based new

product concepts was corroborated with the application examples: the extensible prop, the brake-clutch and the sale of a home appliance in a store shelf.

In chapter 5, some tests were performed to determine which one of the four methods to estimate disassembly times (Dowie & Kelly, 1994, Kroll, 1995, Desai & Mital, 2003 y Sodhi et al., 2004) exhibits the least deviation from actual time measurements. After these tests the following was observed:

- The sole method that is fully applicable to the conceptual design stage is the one by Desai & Mital (2003).
- The method by Sodhi et al. (2004) is discarded due to its poor results.
- No method is consistently the best in every situation. The analysis of deviations found in each operation shows that some of them are positive (the estimated time is longer than the measurement) while others are negative, so errors are offset in global times. This allowed the development of the AIDED method to estimate disassembly times for snap fit opening, unscrewing and extracting operations.

In chapter 6, the method to assess the innovation potential of a conceptual design (EPI method) is developed and validated. Within the framework of the QFD methodology, this method integrates the assessment of the degree of novelty of concepts, the definition of design requirements which are appealing to customers y the factors leading to business success, thus obtaining product concepts with the greatest real potential for innovation. This method can identify right from the conceptual design stage what type of innovation will be obtained when the product is successfully marketed. The bases of the EPI method are the following:

- The assessment of the degree of novelty of product concepts is performed using the discontinuities by Garcia & Calantone (2002), which helps discern among the types of innovation that would be achieved with the concept: radical, moderate or incremental innovation.
- The patentability of the product developed after the concept.
- The selection of design requirements which are attractive to customers by means of Kano's survey, which evaluates how successful the concept may be in the market and seeks customer appeal through the inclusion of unexpected attributes (Slater & Narver, 1999; Kano et al., 1996).
- The definition and evaluation of business feasibility factors.
- The QFD-I matrix, which integrates the aforementioned evaluations.

- It is a qualitative, easily applicable method. Quantitative performance assessments for each criterion and concept were avoided since they would have lead to longer evaluation times and necessary information would often be missing.
- It is founded in the consensus of a multidisciplinary team, which reinforces confidence in its results.
- The validity of the EPI method to select potentially innovative product concepts was ascertained through its application to a pipe cutter by manufacturer Super Ego-Rothenberger S.A.

In chapter 7, the eco-innovation methodology ECOINDES is introduced. The methodology starts from the selection of the desired EOL for the product using the method found in Rose (2000). Then, using the DESTRIZ method (developed in chapter 4), innovative product concepts are generated. Later, their environmental impact is assessed using Eco-EPI and PR.EOL methods. Eco-EPI is used to select the most eco-innovative concept, and finally PR-EOL assesses the environmental improvement achieved by the product in different EOL scenarios.

Finally, the ECOINDES methodology was validated through its application to a washing machine manufactured by Fagor Electrodomésticos S.Coop. The new washing machine was developed from product concepts which will achieve moderate innovation when they are successfully marketed. Therefore, they are potentially eco-innovative. The new product exhibits enhanced EOL performance, since it was designed to make disassembly easier, allowing more materials to be recycled and some components to be reused.

This methodology helps companies face the new challenges posed by EOL, such as Spain's Plan Nacional Integrado de Residuos 2008-20015 (Integrated National Waste Plan). A noteworthy aspect is that, in order to achieve eco-innovation, product concepts should be aligned with corporate product strategy.

This thesis finishes with the description of future research lines which opened as a result of the work done.

INDICE

1	Introducción	1
1.1	Objeto de la tesis.....	3
1.2	Contexto de la tesis.....	5
1.3	Hipótesis de la tesis	8
1.4	Objetivos	9
1.5	Metodología.....	9
1.6	Estructura de la tesis	11
2	Revisión de eco-innovación.....	15
2.1	Introducción	17
2.2	Proceso de diseño	17
2.3	Innovación de producto.....	18
2.3.1	Introducción	18
2.3.2	Factores que condicionan el éxito de un producto	19
2.3.3	Procedimientos para medir la innovación de producto	22
2.4	TRIZ.....	26
2.4.1	Introducción	26
2.4.2	Análisis Funcional	27
2.4.3	Efectos	27
2.4.4	Principios inventivos.....	27
2.4.5	Principio de Idealidad.....	30
2.4.6	Evolución de los sistemas.....	30
2.4.7	Otras herramientas de TRIZ	30
2.5	Eco-innovación	31
2.5.1	Introducción	31
2.5.2	Definición de eco-innovación.....	31

2.5.3	Fases de la eco-innovación.....	33
2.5.4	Metodologías de eco-innovación	34
2.6	Conclusiones	38
3	Revisión del diseño para desensamblado	41
3.1	Introducción.....	43
3.2	Diseño para desensamblado.....	43
3.2.1	Introducción	43
3.2.2	Clasificación de los tipos de desmontaje.....	44
3.3	Factores de diseño que condicionan el desmontaje.....	45
3.3.1	Destino final de las piezas	48
3.3.2	La estructura del producto.....	49
3.3.3	El tipo y número de uniones	50
3.3.4	Características de la pieza a desensamblar.....	51
3.3.5	Visibilidad del elemento de unión.....	51
3.3.6	Condiciones en que se realiza el desmontaje.....	52
3.4	Evaluación de la desmontabilidad	52
3.4.1	Introducción	52
3.4.2	Dowie & Kelly (1994).....	53
3.4.3	Kroll (DEC) (1995)	54
3.4.4	Desai & Mital (2003).....	55
3.4.5	Sodhi et ál. (2004).....	55
3.4.6	Evaluación cualitativa del diseño mediante Ckeck-List.....	56
3.5	Fin de vida (EOL) de los electrodomésticos en España	59
3.5.1	Fin de vida de los electrodomésticos	60
3.5.2	Centro de Almacenamiento Temporal (CAT)	63
3.5.3	Planta fragmentadora.....	64
3.5.4	Planta de medios densos.....	65
3.5.5	Planta de tratamiento de frigoríficos.....	65

3.6	Conclusiones	65
3.6.1	Factores que afectan al proceso de desensamblado	65
3.6.2	Conclusiones de la evaluación de la desmontabilidad	69
4	DESTRIZ- Innovación a partir del DFD.....	71
4.1	Introducción	73
4.2	Sistemas de unión.....	74
4.2.1	Definir un sistema de unión.....	74
4.2.2	Generación de conceptos.....	74
4.2.3	Efectos	75
4.2.4	Principio de idealidad.....	77
4.2.5	Principios inventivos.....	78
4.2.6	Clasificación de los conceptos de producto	80
4.2.7	Evolución del factor tipo de unión.....	81
4.2.8	Innovación a partir del sistema de unión	82
4.3	Visibilidad del elemento de unión	86
4.3.1	Definir la visibilidad del elemento de unión.....	86
4.3.2	Generación de conceptos.....	87
4.3.3	Efectos	87
4.3.4	Principio de idealidad.....	89
4.3.5	Principios inventivos.....	89
4.3.6	Clasificación de los conceptos de producto	90
4.3.7	Innovación a partir de la visibilidad del elemento de unión.....	91
4.4	Características de las piezas a desensamblar.....	93
4.5	Conclusiones	94
5	Estudio comparativo de métodos DFD.....	97
5.1	Introducción	99
5.2	Análisis comparativo de las operaciones de los métodos	99
5.3	Estudio comparativo por operación.....	101

5.3.2	Otras operaciones	109
5.4	Estudio en destornilladores Black & Decker	110
5.4.2	Método AIDED	116
5.4.3	Conclusiones	118
6	Evaluación del potencial innovador de un diseño conceptual.....	121
6.1	Introducción.....	123
6.2	Métodos de evaluación de un diseño conceptual	123
6.2.1	Conclusiones.....	127
6.3	Bases científicas de EPI.....	128
6.3.1	Introducción	128
6.3.2	Novedad del concepto de producto.....	129
6.3.3	Requisitos de diseño atractivos para el cliente	130
6.3.4	Algoritmo de obtención del potencial absoluto de innovación	132
6.3.5	Viabilidad empresarial.....	132
6.3.6	Algoritmo de obtención del potencial de innovación	133
6.4	Método EPI	133
6.5	Validación de EPI	136
6.6	Conclusión	140
7	Metodología ECOINDES	143
7.1	Introducción.....	145
7.2	Estrategia EOL de las piezas.....	146
7.3	Generación de conceptos con DESTRIZ.....	151
7.3.1	Introducción	151
7.3.2	Generación de conceptos a partir del sistema de unión	151
7.3.3	Generación de conceptos a partir de la identificación del componente y del elemento de unión	152
7.4	Evaluación de la eco-innovación en el DFD	153
7.4.1	Introducción	153

7.4.2	Evaluación del destino final de las piezas	153
7.4.3	Evaluación del sistema de unión	156
7.4.4	Evaluación de la visibilidad del elemento de unión.....	156
7.4.5	Método Eco-EPI	156
7.4.6	Método PR-EOL.....	158
7.5	Aplicación de ECOINDES en el sector electrodoméstico	159
7.5.1	Conocimiento y análisis del producto	160
7.5.2	Determinar la estrategia EOL.....	161
7.5.3	Generación de conceptos con el método DESTRIZ.....	163
7.5.4	Evaluación ambiental	165
7.6	Conclusiones	170
8	Conclusiones y líneas futuras.....	173
8.1	Introducción	175
8.2	Validación de las hipótesis	178
8.3	Aportaciones más relevantes	180
8.4	Líneas futuras.....	183
9	Referencias	193

Lista de tablas

Tabla 2.1: Revisión bibliográfica de los factores que pueden llevar al éxito a un producto.....	21
Tabla 2.2: Check-List de los factores que pueden llevar al éxito a un producto	22
Tabla 2.3: Las siete procedimientos más relevantes de medir la innovación	24
Tabla 2.4: Discontinuidades a diferentes niveles (Garcia & Calantone, 2002)	25
Tabla 2.5: Determinación del tipo de innovación (Garcia & Calantone, 2002).....	25
Tabla 2.6: Listado de los 39 parámetros ingenieriles (Domb, 1998).....	28
Tabla 2.7: Listado de los 40 principios inventivos (Domb, 1998).....	29
Tabla 3.1: Factores de un sistema de desmontaje (Mok et ál., 1997)	46
Tabla 3.2: Factores que condicionan el desensamblado de productos	47
Tabla 3.3: Características del ELDA (Rose, 2000).....	49
Tabla 3.4: Estructuras de producto que facilitan el desmontaje	49
Tabla 3.5: Estrategias a considerar en la creación de la estructura del producto	50
Tabla 3.6: Clasificación de los tipos de conexiones.....	50
Tabla 3.7: Estrategias a considerar en el sistema de unión	51
Tabla 3.8: Aspectos estructurales considerados (Mok et ál., 1997)	51
Tabla 3.9: Estrategias a considerar para mejorar la visibilidad del elemento de unión .	51
Tabla 3.10: Aspectos a considerar sobre las condiciones en que se realiza el desmontaje	52
Tabla 3.11: Aspectos a considerar en el proceso de desmontaje (Mok et ál., 1997)	52
Tabla 3.12: Listado de las 16 operaciones básicas de Kroll	54
Tabla 3.13: Tipos de unión y parámetros que considera Sodhi et ál. (2004).....	56
Tabla 3.14: Modificaciones de diseño para mejorar la desmontabilidad desde el punto de vista de la accesibilidad (Desai & Mital, 2003)	57
Tabla 3.15: <i>Check-List</i> de la desmontabilidad de un producto (NRCC, 2004).....	59

Tabla 3.16: Porcentajes de valorización, reutilización y reciclado de AEE (RD 208/2005)	62
Tabla 3.17: Escenarios EOL de un producto	67
Tabla 4.1: Relación de la función unir con las funciones del programa TechOptimizer V.3 (1999)	76
Tabla 4.2: Parámetros ingenieriles que afectan al desensamblado del sistema de unión	78
Tabla 4.3: Conceptos de sistemas de unión generados.....	81
Tabla 4.4: Funciones del programa TechOptimizer V.3 (1999) empleadas para generar ideas	88
Tabla 4.5: Parámetros ingenieriles que afectan a la visibilidad del sistema de unión	89
Tabla 4.6: Conceptos para identificar un sistema de unión.....	91
Tabla 4.7: Características genéricas de las piezas a desensamblar	93
Tabla 4.8: Parámetros ingenieriles que afectan a las características de las piezas a desensamblar.....	94
Tabla 5.1: Relación entre operaciones de los métodos DFD.....	100
Tabla 5.2: Operación estándar destornillar vs. métodos DFD.....	102
Tabla 5.3: Consideraciones de los métodos DFD en la operación destornillar	103
Tabla 5.4: Ensayos operación destornillar	103
Tabla 5.5: Operación estándar de apertura de <i>snaps</i> con herramienta vs. métodos DFD	105
Tabla 5.6: Consideraciones de los métodos DFD en la operación apertura de <i>snaps</i> con herramienta.....	106
Tabla 5.7: Operación estándar de apertura de <i>snaps</i> sin herramienta vs. métodos DFD	106
Tabla 5.8: Consideraciones de los métodos DFD en la operación apertura de <i>snaps</i> sin herramienta.....	107
Tabla 5.9: Ensayos operación apertura de <i>snaps</i>	108
Tabla 5.10: Operaciones de desensamblado vs Métodos DFD.....	110
Tabla 5.11: Operación estándar extraer vs. métodos DFD.....	113

Tabla 5.12: Tiempo de desensamblado del destornillador Black & Decker, modelo KC360H 3.6V.....	114
Tabla 5.13: Tiempo de desensamblado del destornillador Black & Decker Swivel Cordless Drill (Xd1200k)	114
Tabla 5.14: Operaciones del método AIDED.....	116
Tabla 5.15: Estimación del tiempo de desensamblado del destornillador Black & Decker KC360H 3.6V con el método AIDED	117
Tabla 5.16: Estimación del tiempo de desensamblado del destornillador Black & Decker Swivel Cordless Drill (Xd1200k) con el método AIDED	117
Tabla 5.17: Desviación de tiempo estimado por los métodos DFD en los destornilladores	119
Tabla 6.1: Métodos de selección de conceptos	126
Tabla 6.2: Diseños conceptuales propuestos	137
Tabla 7.1 : Características del ELDA 1 (Rose, 2000).....	148
Tabla 7.2: Características del ELDA 2 (Rose, 2000).....	148
Tabla 7.3: Estrategia EOL en función de las características del producto (Rose, 2000)	150
Tabla 7.4: Estrategia EOL y aspectos de diseño clave a considerar.....	150
Tabla 7.5: Relación de las estrategias EOL con la Sostenibilidad.	155
Tabla 7.6: Porcentajes de valorización, reutilización y reciclado de AEE (RD 208/2005)	155
Tabla 7.7: Porcentajes de valorización, reutilización y reciclado de VFU (RD 1383/2002)	155
Tabla 7.8: Relación entre el grado de novedad del concepto y la mejora ambiental obtenida	158
Tabla 7.9: Ejemplo teórico de evaluación del EOL de un producto, PR-EOL.....	159
Tabla 7.10: Escenarios EOL lavadora.....	159
Tabla 7.11: Grupos de la lavadora y su EOL actual	160
Tabla 7.12 : Características del ELDA de la lavadora	163

Tabla 7.13 : Estrategia EOL de tres componentes de la CARR.COMPLETA	163
Tabla 7.14: Conceptos del sub-sistema encimera.....	164
Tabla 7.15: Valor de correlación facilidad de desensamblado Vs. Conceptos.....	165
Tabla 7.16: Valor de correlación de la estética Vs. Conceptos	166
Tabla 7.17: Evaluación del impacto EOL del producto actual (A) y del producto eco-innovador (N)	168
Tabla 7.18: Cumplimiento de la RAEE en función de los escenarios y productos	169

Lista de figuras

Figura 1.1: Cimientos de la metodología ECOINDES.....	3
Figura 1.2: Ciclo de vida de un producto y las opciones para alargar su vida útil	6
Figura 1.3: Metodología aplicada en el desarrollo de la tesis.....	9
Figura 1.4: Estructura de la tesis	12
Figura 2.1: Proceso genérico de lanzamiento de un producto al mercado	18
Figura 2.2: Ejemplo parcial de la matriz de contradicciones.....	28
Figura 2.3: Camino hacia la sostenibilidad (Nuij, 2001; Gómez, 2004).....	31
Figura 3.1: Tipos de desmontaje.....	44
Figura 3.2: Relación entre los factores que condicionan el DFD	48
Figura 3.3: <i>Check-List</i> de evaluación de un diseño (Behrendt et ál., 1997)	58
Figura 3.4: EOL genérico de los productos industriales	60
Figura 3.5: Fin de vida electrodomésticos a partir del Real Decreto 208/05	61
Figura 3.6: Lavadoras clasificadas	63
Figura 3.7: Ejemplos de componentes económicamente más rentables	64
Figura 3.8: Residuos obtenidos en la planta fragmentadora.....	64
Figura 3.9: Factores que afectan al desensamblado.....	66
Figura 4.1: Proceso de generación de conceptos de producto.....	73
Figura 4.2: Análisis funcional de un sistema de unión genérico	74
Figura 4.3: Funciones de 2º nivel y efectos empleados para cumplirlas (TechOptimizer V.3, 1999)	76
Figura 4.4: Análisis funcional de un sistema de unión ideal.....	78
Figura 4.5: Ejemplo parcial de la matriz de contradicciones.....	79
Figura 4.6: Contradicción física, principio de separación en el tiempo.....	80
Figura 4.7: Evolución del factor tipo de unión	82
Figura 4.8: Innovación a partir del sistema de unión	83

Figura 4.9: Puntal extensible o regulable	84
Figura 4.10: Tipos de embragues-frenos de la empresa GOIZPER S.Coop.	86
Figura 4.11: Análisis funcional de la visibilidad del elemento de unión	87
Figura 4.12: Contradicción física – visibilidad del elemento de unión	90
Figura 4.13: Los 5 sentidos del ser humano.....	91
Figura 4.14: Innovación a partir de la visibilidad del elemento de unión.....	92
Figura 5.1: Uniones atornilladas, operaciones n° 1, 2, 3 y 4 (Tabla 5.3).....	103
Figura 5.2: Extracción <i>Snap</i> 1, clavija teléfono de fácil acceso.....	107
Figura 5.3: Metodología de trabajo.....	111
Figura 5.4: Destornillador Black & Decker Swivel Cordless Drill (Xd1200k)	111
Figura 5.5: Destornillador Black & Decker, modelo KC360H 3.6V	112
Figura 6.1: Matriz genérica de selección de conceptos.....	125
Figura 6.2: Proceso de evaluación del potencial innovador de los conceptos de un producto.....	129
Figura 6.3: Encuesta de Kano.....	131
Figura 6.4: Método EPI.....	135
Figura 6.5: Aplicación de EPI en el cortatubos.....	139
Figura 6.6: Diseño conceptual del cortatubos finalmente desarrollado.....	140
Figura 7.1: Fases de la metodología ECOINDES	146
Figura 7.2: EOL de un producto.....	148
Figura 7.3: Evolución de los sistemas de unión	152
Figura 7.4: Desde la planificación estratégica al producto entregado al cliente	154
Figura 7.5: Obtención del Concepto más eco-innovador.....	157
Figura 7.6: Lavadora modelo 1F-4613X de Fagor Electrodomésticos S.Coop.	160
Figura 7.7: Encimera de la lavadora modelo 1F-4613X de Fagor Electrodomésticos S.Coop.....	161
Figura 7.8: Eco-EPI aplicado al sub-sistema encimera	166

Figura 7.9: PR-EOL de Lavadora Fagor modelo 1F-4613X	168
Figura 7.10: Cumplimiento de la directiva RAEE y del PNIR 2008-2015	170

Abreviaturas

- ACV: Análisis del Ciclo de Vida.
- AEE: Aparatos Eléctrico Electrónicos.
- AHP: Analytic Hierarchy Process.
- AIDED: Método de ayuda a la estimación de tiempos de desensamblado en la etapa de diseño conceptual.
- ARIZ: Algoritmo de Resolución de Problemas Inventivos.
- BSI: British Standard Institute.
- CAD: Diseño asistido por ordenador.
- CAT: Centro de Almacenamiento Temporal.
- CE: Comisión Europea
- CFC: Clorofluorocarburo
- DESTRIZ: Método de innovación a partir del DFD y TRIZ.
- DFD: Diseño para desensamblado.
- DNP: Desarrollo de Nuevos Productos.
- Eco-EPI: Método de evaluación de la eco-innovación de conceptos de producto.
- ECOINDES: Metodología de eco-innovación a partir del diseño para desensamblado.
- EIPD: Environmental Innovative Product Design.
- ELDA: End-of-Life Design Advisor.
- ENPD: Environmental New Product Development.
- EOL: End-Of-Life, fin de vida de producto.
- EPI: Método de Evaluación del Potencial Innovador de un diseño conceptual.
- FFE: Fuzzy Front End.
- HCFC: Hidroclorofluorocarburos.
- LCP: Life Cycle Planning.
- LiDS: Life-cycle Design Strategy.
- MCDA: Multi-Criteria Decision Analysis.
- MMF: Materiales con Memoria de Forma.
- MOST: Work measurement systems.
- MTM: Methods Time Measurement.
- NRCC: National Research Council Canada
- OECD: Organization for European Economic Co-operation and Development.
- PIT: Product Ideas Tree diagram.
- PNIR: Plan Nacional Integrado de Residuos.

PR-EOL: Mejora del EOL de un PRoducto.
PUE: Productos que Usan Energía.
PUR: Poliuretano.
QFD: Quality Function Deployment.
RAE: Real Academia de la lengua Española.
RAEE: Residuos Aparatos Eléctrico Electrónicos.
RD: Real Decreto.
RoHS: Restriction of Hazardous Substances.
SAT: Servicio de Asistencia Técnica.
SDPF: Standard Design Process From.
SIG: Sistema Integrado de Gestión.
TIPS: Teoría de Resolución de Problemas Inventivos.
TRIZ: Teoría de Resolución de Problemas Inventivos.
UFI: Esfuerzo necesario para desmontar una unión.
VFU: Vehículos Fuera de Uso.
WBCSD: World Business Council for Sustainable Development.
WCDE: The World Commission on Environment and Development, Our Common Future.

1 Introducción

1.1 Objeto de la tesis

El objeto de este trabajo es hacer una aportación relevante para conseguir productos más sostenibles. Para ello, se presenta una metodología de eco-innovación denominada ECOINDES (ECO-INnovación en el diseño para DESmontaje) que ayuda a eco-innovar generando nuevos conceptos de producto a partir del diseño para desensamblado.

ECOINDES se basa en un método de generación de conceptos denominado DESTRIZ, y en dos métodos de evaluación ambiental: Eco-EPI (Eco-Evaluación del Potencial Innovador) y PR-EOL (*End-Of-Life* de un PRoducto) (Figura 1.1).

La generación de conceptos -método DESTRIZ- se sustenta a su vez sobre dos pilares: el diseño para desensamblado o diseño para desensamblaje (DFD) y la metodología TRIZ (acrónimo ruso de la Teoría de Resolución de Problemas Inventivos).

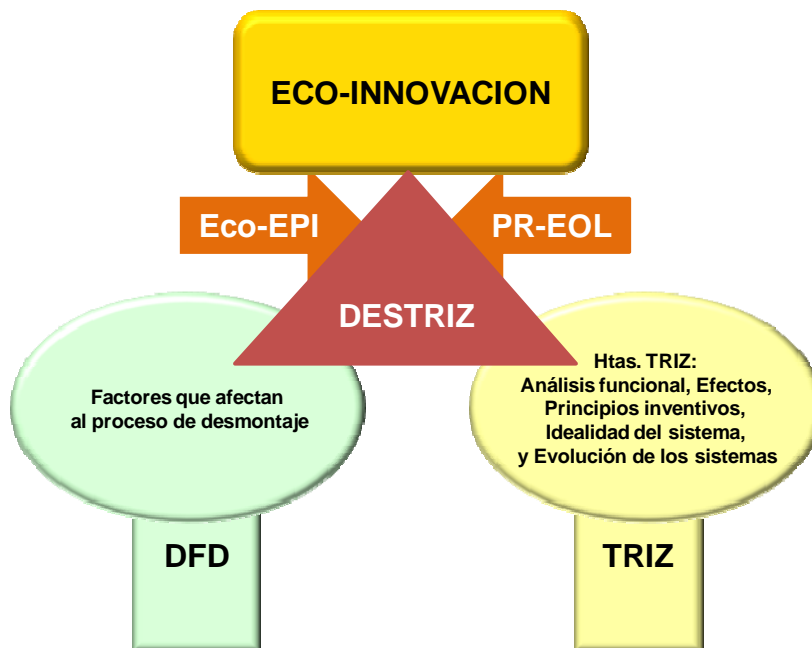


Figura 1.1: Cimientos de la metodología ECOINDES

El diseño para desmontaje (DFD) se emplea como punto de partida para la innovación. ECOINDES se sirve de las herramientas de TRIZ como técnicas de generación de conceptos de producto innovadores a partir de los factores que condicionan el proceso de desensamblado.

Para que un producto sea innovador deber ser creativo y tener éxito en el mercado (Schumpeter, 1942). Por lo tanto, el concepto a partir del cual se diseña el producto deberá ser también creativo. Para evaluar la innovación de un concepto hay que tener en cuenta que, en general, un concepto de producto no está a la venta y por tanto no se sabe a priori si tendrá éxito en el mercado. En consecuencia, sólo se puede evaluar el potencial innovador del concepto; es decir, se puede decir que es potencialmente innovador, pero no se sabrá si lo es realmente hasta que no se oferte al mercado y tenga éxito.

De forma previa a la definición del método Eco-EPI se desarrolló el método EPI (Evaluación del Potencial Innovador), de carácter más genérico, y que permite evaluar el potencial innovador de un concepto. Los fundamentos teóricos del método EPI son la metodología Quality Function Deployment (QFD), el método de Kano (1996) y la evaluación del grado de novedad del concepto de producto de Garcia & Calantone (2002):

- La metodología QFD proporciona un enfoque orientado al cliente: busca ofrecer al cliente lo que quiere, para así aumentar las posibilidades de éxito final en el mercado.
- El método Kano (1996) se utiliza para establecer los requisitos de diseño más atractivos para el cliente.
- El procedimiento de Garcia & Calantone (2002) permite clasificar el grado de innovación de cada concepto de producto generado, distinguiendo entre innovación radical, innovación moderada e innovación incremental.

La metodología de eco-innovación ECOINDES integra el método DESTRIZ y la evaluación ambiental mediante los métodos Eco-EPI y PR-EOL:

- El método DESTRIZ se utiliza para generar conceptos de producto innovadores a partir de los factores que condicionan el diseño para desensamblado.
- El método Eco-EPI realiza evaluaciones a nivel de componentes midiendo el grado de innovación de los mismos teniendo en cuenta el desensamblado.
- El método PR-EOL realiza las evaluaciones a nivel del producto, evaluando la mejora ambiental obtenida considerando el fin de vida (*End-Of-Life*, EOL) real de los productos en España.

1.2 Contexto de la tesis

La cantidad de residuos derivados de productos industriales se ha incrementado en los últimos años de manera alarmante. Un claro ejemplo de esto es que cada año se generan en el mundo 30 millones de vehículos fuera de uso, de los cuales 14 millones se generan en Europa (Directiva 2000/53/CE; Johnson & Wang, 2002). Collins et ál. (2002) estiman que para el año 2015 este número se incrementará hasta 17 millones. En el año 2004, se dieron de baja 826.167 vehículos en España, lo que supone más de 702.241 t de residuos (anexo 3, PNIR 2008-2015), y en el sector de aparatos eléctricos electrónicos se trataron 207.376 t (anexo 9, PNIR 2008-2015).

Esta es la razón principal de que la Comisión Europea (CE) haya puesto en marcha en los últimos años diferentes Directivas con el objetivo de paliar el efecto de los residuos:

- La Directiva 2000/53/CE de Vehículos Fuera de Uso (VFU).
- La Directiva 2002/95/CE sobre la restricción del uso de ciertas sustancias peligrosas en equipos eléctricos y electrónicos (RoHS, de sus siglas en inglés).
- La Directiva 2002/96/CE de Residuos de Aparatos Eléctricos Electrónicos (RAEE).

La RoHS 2002/95/CE restringe el uso de ciertas sustancias peligrosas en los equipos eléctricos y electrónicos para que no se dañe el medio ambiente y la salud humana. La directiva VFU 2000/53/CE y la RAEE 2002/96/CE se centran en el fin de vida de los productos y establecen unos porcentajes mínimos de reutilización, reciclaje y valorización.

A medida que el fin de vida de los productos cobraba importancia medioambiental, el desmontaje se ha ido convirtiendo en una etapa más relevante dentro del ciclo de vida de los productos. Los criterios de eficiencia ecológica persiguen alargar la vida útil de los productos, de los componentes y de los materiales mediante la reutilización, la refabricación y el reciclaje (Figura 1.2). Al final de su vida útil, los productos se deben desmontar para separar los componentes o partes útiles de las que no lo son. Dependiendo de cuál sea el destino final de las piezas, el desensamblado tendrá unas características distintas.

La reutilización obliga a un desensamblado mucho más cuidadoso que el reciclaje. La reutilización representa la recuperación y utilización del producto usado o de sus componentes tal y como estaban diseñados originalmente. En la refabricación utilizamos los residuos para volver a fabricar otros componentes y con el reciclado se obtiene

materia prima que disminuye la utilización de material virgen. En este sentido hay investigaciones que remarcan la importancia del desmontaje para facilitar el reciclaje (Henstock, 1988; Chen et ál., 1993; Kirbly & Wadehra., 1993; Noller, 1992), y para facilitar la refabricación (Simon et ál., 1991; Zussman et ál., 1994; Amezquita et ál., 1995). En la fase de uso, los productos se desmontan para ser reparados o para realizar un mantenimiento preventivo que permita extender el servicio del producto (Subramani et ál. 1991; Bryan et ál., 1992; Gershenson et ál., 1991; Laperriere et ál., 1992). Si un producto es fácil de desmontar, su reparación y mantenimiento serán más sencillos, y así se incrementa su servicio.

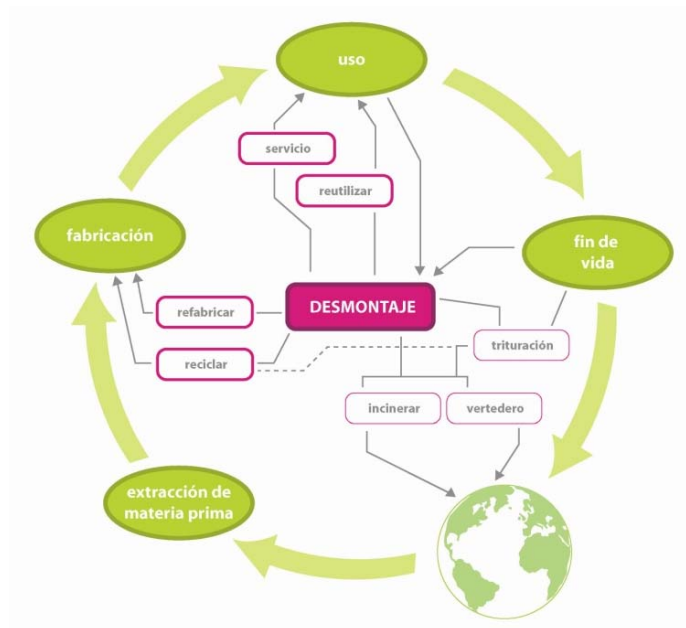


Figura 1.2: Ciclo de vida de un producto y las opciones para alargar su vida útil

El desmontaje es un proceso necesario y crítico para la optimización de las opciones de EOL. Con su optimización, se busca aprovechar al máximo los residuos finales, de tal manera que se disminuya la cantidad de los mismos que termina en el vertedero.

En el entorno económico actual, caracterizado por la globalización de los mercados, las empresas deben aportar el mayor valor posible a sus clientes para mantenerse competitivas. La innovación se contempla, por tanto, como un proceso continuo que debe capacitar a las empresas para ofrecer la mejor respuesta posible a los actuales mercados dinámicos. Innovar en los productos, en muchos casos, es de vital importancia para permitir a la empresa adaptarse a su entorno y sobrevivir. Las empresas necesitan

potenciar procesos de Desarrollo de Nuevos Productos (DNP) eficaces y eficientes que aseguren un flujo continuo de nuevos productos para adaptarse de manera exitosa a las mencionadas dinámicas del mercado.

Toda vez que se considera comprobada la importancia del desensamblado de los productos y de la innovación en el área empresarial, en esta tesis se pretenden conjugar ambos aspectos para crear productos innovadores a partir del desensamblado.

Uno de los pilares fundamentales de esta tesis doctoral es la metodología TRIZ, desarrollada en la antigua Unión Soviética por Genrich Altshuller al final de la 2^o Guerra Mundial. Esta metodología se fundamenta en una serie de herramientas, métodos y estrategias desarrolladas a partir del estudio sistemático de más de cuatrocientas mil patentes. En ella se integran el conocimiento y la experiencia de los investigadores del mundo. TRIZ se concibe como una ayuda al ingeniero de diseño a resolver las contradicciones que surgen durante el proceso de innovación (Altshuller, 1996; Terminko et ál., 1998; Salamatov, 1999).

Debido a su probada capacidad de resolver problemas o conflictos de carácter técnico, TRIZ se ha venido utilizando en la eco-innovación (Mann & Jones, 2000; Low et ál., 2000; Low et ál., 2001; Liu & Chen; 2001a, b, c; Chen, 2002; Chen & Liu, 2002; Chen & Liu, 2003; Kobayashi, 2003; Strasser & Wimmer, 2003). Esta tesis pretende aportar un nuevo enfoque en la aplicación de TRIZ a la eco-innovación.

Finalmente, se desea remarcar que el tema de investigación de la tesis se enmarca en las líneas estratégicas de los últimos Planes Nacionales de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (2004-2007 y 2008-2011):

- Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2004-2007.
 - Programa de Diseño y Producción Industrial:
 - Temáticas de Concepción y desarrollo de productos y servicios (nuevos conceptos de producto-servicio integrado y de alto valor añadido); metodologías y técnicas de apoyo en Diseño y Producción (métodos y técnicas de identificación y definición de productos y servicios adaptados a las necesidades de los clientes y usuarios y sistemas de gestión de datos técnicos de producto y proceso).

- Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011. Acción estratégica de Nanociencia y Nanotecnología, nuevos materiales y nuevos procesos industriales:
 - Línea 5: Avances en tecnología y procesado de materiales.
 - Materiales renovables para aplicaciones funcionales. Reciclaje, reutilización, valorización de residuos, vertidos y emisiones.
 - Mejora de las tecnologías convencionales de síntesis, elaboración y transformación de materiales, considerando calidad, coste, sostenibilidad, etc. Productos y procesos eco-eficientes.
 - Ingeniería de superficies e interfases. Tecnologías de unión y desunión.
 - Línea 6: Desarrollo y validación de nuevos modelos y estrategias industriales. Nuevas tecnologías para el diseño y los procesos de fabricación. Producción en red.
 - Herramientas para “eco-diseño” contemplando nuevos materiales, reducción de materias primas, consumo de energía y ruido, fácil desensamblado, modularidad, reutilizabilidad, reciclabilidad, bajo coste, seguridad, etc. Sistemas de medición y monitorización del impacto medio ambiental en los sistemas productivos.

1.3 Hipótesis de la tesis

En esta tesis se pretende corroborar las siguientes hipótesis de partida:

- El diseño para desensamblado es un punto de partida válido para lograr eco-innovación en productos industriales.
- TRIZ es una herramienta con la que se pueden obtener nuevos conceptos de producto en el diseño para desensamblado.

1.4 Objetivos

Esta tesis desarrolla una metodología con la cual se aspira a conseguir los siguientes objetivos:

- Lograr conceptos de producto potencialmente eco-innovadores a partir de los factores que condicionan el DFD.
- Discernir el grado de innovación de cada concepto.
- Discernir el grado de eco-innovación de cada concepto.
- Permitir el desarrollo de productos con menores tiempos de desensamblado.
- Sentar las bases de estrategias de EOL más evolucionadas desde el punto de vista ambiental (tendencia hacia la reutilización de producto).
- Obtener productos eco-innovadores en consonancia con la estrategia de la empresa a partir del diseño para desensamblado.

1.5 Metodología

Para la consecución de los objetivos anteriormente señalados se seguirá la metodología que se muestra de forma esquemática en la Figura 1.3, y que a continuación se describe con más detalle.

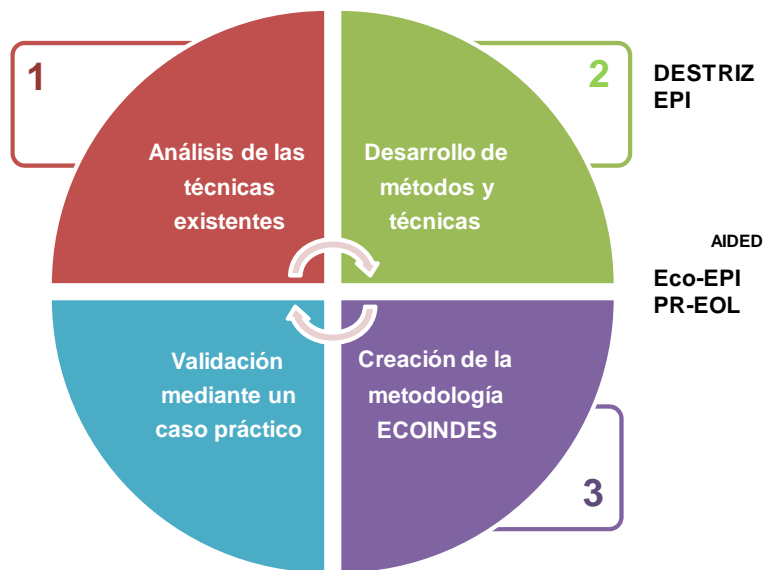


Figura 1.3: Metodología aplicada en el desarrollo de la tesis

Tomando como punto de partida el estudio de técnicas existentes (1), se seleccionaron las más adecuadas para ser empleadas en la eco-innovación a partir del diseño para desensamblado.

Posteriormente, se desarrolló el método DESTRIZ para ayudar a generar conceptos de producto potencialmente innovadores a partir de criterios propios de la metodología DFD. Su elaboración se basa en las aportaciones de Jones & Harrison (2000), Strasser & Wimmer (2003) y Chang & Chen (2003). Estos autores logran productos eco-innovadores utilizando métodos de ecodiseño y la metodología TRIZ. Además, los dos primeros autores consiguen distintas metodologías de eco-innovación por medio de métodos de ecodiseño y TRIZ.

En la parte central del trabajo que dio origen a esta tesis, se elaboró un método para Evaluar el Potencial Innovador de un diseño conceptual, al que se denominó EPI. Éste se sustenta en la definición de innovación de Schumpeter (1942); la metodología de Kano (1996) para determinar los requisitos de diseño más atractivos para el cliente; el método de selección del tipo de innovación de Garcia & Calantone (2002); y los métodos QFD de evaluación multicriterio de Harr et ál. (1993), y de Binz & Reichle (2005).

También se desarrollaron dos métodos de evaluación del impacto ambiental del producto en la fase de diseño conceptual: uno para realizar evaluaciones a nivel de componentes, y el otro para realizarlas a nivel de producto. El primero de ellos –Eco-EPI- es una adaptación del método EPI que sirve para determinar el concepto más eco-innovador considerando el tiempo de desensamblado. En esta adaptación se ha empleado el método de estimación de tiempos de desensamblado AIDED desarrollado en esta tesis y basado principalmente los métodos de: Dowie & Kelly (1994), Kroll (1995) y Desai & Mital (2003). El segundo método, denominado PR-EOL, evalúa la mejora de producto en su fin de vida (EOL) considerando el EOL real de los productos en España.

Con estos métodos se ha creado la metodología de eco-innovación ECOINDES para innovar a partir del diseño para desensamblado.

Finalmente se ha validado la metodología ECOINDES en una lavadora de la empresa Fagor Electrodomésticos S.Coop.

1.6 Estructura de la tesis

Esta tesis se organiza en los capítulos que se detallan en la Figura 1.4.

El capítulo 2 presenta una revisión del estado de arte en eco-innovación. En primer lugar, se centra la investigación dentro del proceso de diseño, se determinan los factores que condicionan el éxito de un producto y los diferentes procedimientos de medir la innovación del mismo. A continuación se explican las bases de TRIZ y se precisa el concepto de eco-innovación que se empleará en la tesis, así como las metodologías existentes y las fases necesarias para la eco-innovación. Finaliza el capítulo argumentando la selección de las técnicas que posteriormente se utilizarán.

En el capítulo 3 se realiza una revisión del estado del arte en el diseño para desensamblado. En la primera parte se define el concepto DFD, y se clasifican los tipos de desmontaje que se pueden dar. En la segunda parte se determinan cuáles son los factores que afectan al proceso de desmontaje y el estado de la técnica en los métodos de evaluación de la desmontabilidad. Dado que una de las razones de desensamblar un producto es que se aprovechen más eficientemente sus componentes y materiales al final de su vida útil, se analiza el fin de vida de los productos industriales en España. El capítulo concluye con el razonamiento de los métodos DFD que se utilizan posteriormente en el desarrollo de las técnicas y métodos de la tesis.

En el capítulo 4 se describe el método DESTTRIZ con el objetivo de generar conceptos de productos innovadores a partir de los factores que afectan al DFD y las herramientas de la metodología TRIZ: análisis funcional, efectos, principio de idealidad, principios inventivos y evolución de los sistemas. Inicialmente, se realiza un análisis funcional de cada factor con el fin de determinar las funciones a cumplir, los componentes y recursos necesarios para tal fin, y se identifican las zonas de conflicto, si las hubiera. Sigue una síntesis creativa (aplicación de los efectos, el principio de idealidad y los principios inventivos) para la obtención de conceptos de producto innovadores para cada uno de los factores DFD. A partir de esos conceptos, se determina el sistema de evolución de los mismos, y se innova en cada factor mediante su evolución. Finalmente, se aplica DESTTRIZ en los siguientes productos: un puntal extensible de construcción, un freno embrague y un electrodoméstico.

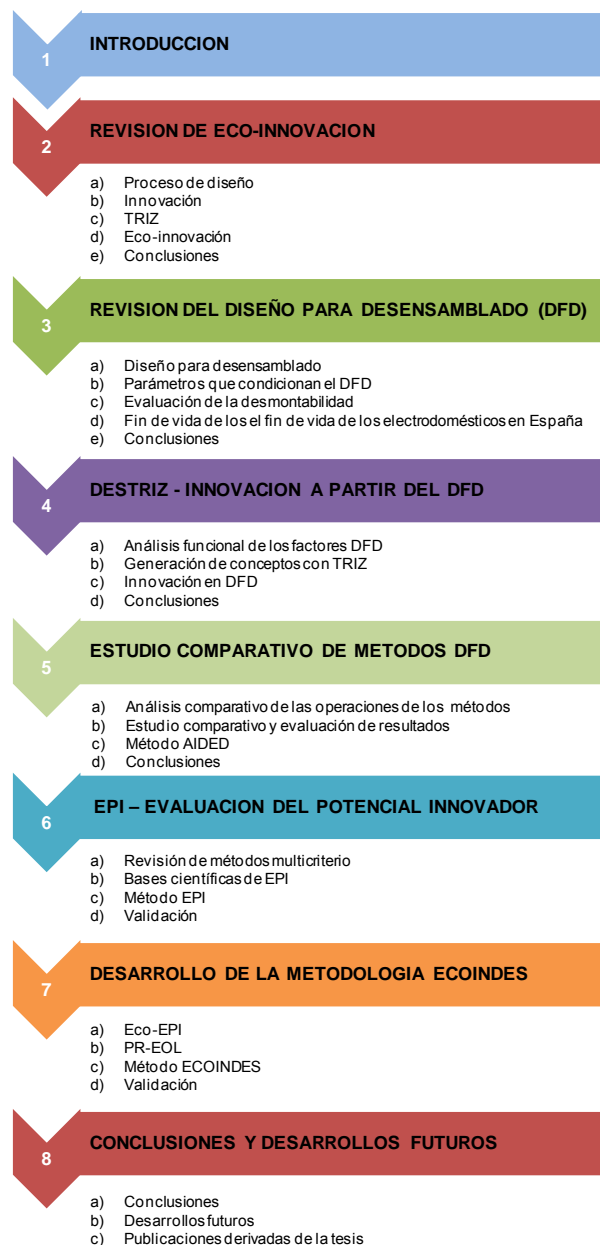


Figura 1.4: Estructura de la tesis

En el capítulo 5 se analizan comparativamente los métodos de estimación de tiempos de desmontaje identificados en el capítulo 3. Se inicia con un análisis comparativo entre los métodos para determinar las operaciones comparables. Después se elaboran dos estudios: el primero es exploratorio y se analizan operaciones concretas de desensamblado. El segundo se realiza sobre dos destornilladores Black & Decker para

determinar la desviación en la estimación de tiempos de cada método. Tras esto, se desarrolla el método AIDED (ayuda a la estimación de tiempos de desmontaje) para disminuir la desviación cometida. Concluyendo el capítulo con las conclusiones más relevantes.

En el capítulo 6 se desarrolla el método de Evaluación del Potencial Innovador de un diseño conceptual (EPI). Partiendo de la revisión de los métodos multicriterio empleados en la evaluación del concepto de producto se establecen las bases del método EPI: requisitos de diseño atractivos para el cliente, la novedad del concepto, la viabilidad empresarial y un método multicriterio basado en matrices QFD. El capítulo finaliza con la validación del método en el diseño conceptual de un cortatubos para tubos de plástico de la empresa Super Ego- Rothenberger S.A.

En el capítulo 7 se genera la metodología de eco-innovación a partir del diseño para desensamblado ECOINDES. Las bases de la metodología son la evaluación ambiental del desensamblado y el método de innovación DESTRIZ. Para la evaluación ambiental se han creado los métodos Eco-EPI y PR-EOL. Eco-EPI es una variante del método EPI que valora el grado de innovación de los conceptos de producto teniendo en cuenta el desensamblado. PR-EOL evalúa la mejora ambiental obtenida a nivel de producto considerado el fin EOL real de los productos en España. Finalmente se explica la metodología ECOINDES y se valida en una lavadora de la empresa Fagor Electrodomésticos S.Coop.

Por último, en el capítulo 8 se describen las conclusiones y los desarrollos futuros, así como las publicaciones derivadas de esta tesis.

2 Revisión de eco-innovación

2.1 Introducción

Este capítulo aborda el estado de la técnica en eco-innovación con el fin de conocer la definición, las metodologías existentes y las técnicas utilizadas, en concreto:

- Se sitúa la eco-innovación dentro del proceso de diseño, ya que en esta tesis se considera única y exclusivamente la eco-innovación de producto.
- Se define el término innovación, así como los factores que determinan el éxito de un producto y los procedimientos para medir la innovación.
- Se muestran los principios básicos de la metodología de creatividad que se utiliza en la tesis, la Teoría de Resolución de Problemas Inventivos (TRIZ). Con ello, se dota a los lectores de esta tesis (no expertos en TRIZ) de los conocimientos mínimos para su comprensión, y además se muestran los principios científicos de la misma. Posteriormente se presenta la eco-innovación.
- Se define lo que en esta tesis se considera bajo el vocablo eco-innovación, y así se aclara la confusión que puede suscitar con el término ecodiseño.
- Se muestran las fases de la eco-innovación y las metodologías de eco-innovación encontradas.

El capítulo finaliza con la presentación de las conclusiones más relevantes y la justificación de las herramientas TRIZ que se utilizan posteriormente en la tesis.

2.2 Proceso de diseño

Hoy en día, las empresas deben innovar constantemente para poder continuar y mantenerse con éxito en el mercado. La innovación puede ser de muchos tipos: de producto, de proceso o de los sistemas de gestión (Klemmeer et ál., 1999; OECD, 1997; Hemmelskamp, 1997). En esta tesis se considera únicamente la innovación de producto.

Un proceso genérico de desarrollo de un producto consta de 5 fases (Figura 2.1). La primera fase es la de detección de oportunidades en el mercado, que finaliza con la redacción de las especificaciones que el producto debe cumplir. A partir de las mismas se generan y seleccionan los conceptos de producto que mejor cumplen las especificaciones (fase 2). Después, se realiza el diseño del producto y del proceso de manufactura (fase 3) del concepto seleccionado. Una vez diseñado el producto en conjunto se optimiza y valida el diseño (fase 4), para después rediseñar el producto y obtener los planos en detalle con los que se realiza la industrialización y la venta del producto (fase 5).

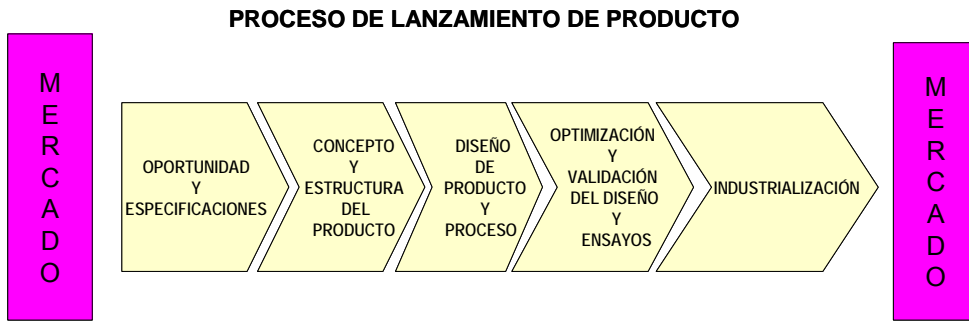


Figura 2.1: Proceso genérico de lanzamiento de un producto al mercado

En la innovación de producto las dos fases más importantes son la detección de oportunidades y el diseño de conceptos de producto. En esta última fase es necesario ser muy creativo para obtener el mayor número de conceptos posibles, para terminar seleccionando aquellos que tengan un mayor potencial de innovación.

2.3 Innovación de producto

2.3.1 Introducción

Existen diferentes definiciones del término innovación producto.

Según Schumpeter (1942), la innovación es el desarrollo de nuevas ideas hasta un producto comercialmente viable.

Para la OECD (1991), la innovación es un proceso iterativo, iniciado por la percepción de un nuevo mercado y/o oportunidad de un nuevo servicio que lleva a la invención, basada en la tecnología, desarrollo y producción de la misma, teniendo en cuenta tareas de marketing.

La Comisión Europea (1996), por su parte, define como innovación la renovación y ampliación de la gama de productos y servicios y mercados asociados; establecimiento de nuevos métodos de producción, suministro y distribución; o cambios en administración, gestión, organización y condiciones de trabajo y habilidades del personal.

De acuerdo con Garcia & Calantone (2002), la innovación es el potencial de discontinuidad que tiene un producto. Esta discontinuidad puede ser de cuatro tipos: discontinuidad en micromarketing, macromarketing, microtecnología y macrotecnología (Tabla 2.4).

Conforme a Binz & Reichle (2005), la innovación es una realización exitosa de una nueva idea o invención, con una mejora para el cliente y con un beneficio para el fabricante.

Una innovación de producto, según la OECD (2005), se corresponde con la introducción de un bien o de un servicio nuevo, o significativamente mejorado, en cuanto a sus características o en cuanto al uso al que se destina. Esta definición incluye la mejora significativa de las características técnicas, de los componentes, de la informática integrada, de la facilidad de uso u otras características funcionales.

A partir de las definiciones expuestas, se define en esta tesis el concepto de la innovación como:

“Potencial de discontinuidad que puede tener un producto que se prevé exitoso y viable”.

A continuación, por un lado, se analizan los diferentes factores que condicionan el éxito de un producto, y por otro, se estudian diferentes procedimientos para medir la innovación del mismo con el fin de conocerlos y emplearlos en la posterior concepción del método DESTRIIZ, del método EPI y la metodología ECOINDES.

2.3.2 Factores que condicionan el éxito de un producto

La incertidumbre sobre el éxito de un producto no se disipa hasta que éste llega al mercado. La empresa puede conocer su grado de novedad y puede creer que tendrá éxito, ya que realizan, por ejemplo, testeos con clientes preferenciales. Con ello, disminuyen el riesgo de fracaso, pero realmente, hasta que no llega el nuevo producto al mercado, no saben si realmente tendrá éxito o no.

Los factores de éxito en el desarrollo de nuevos productos según Ernst (2002) son: el proceso de desarrollo de producto, la organización, la cultura, el papel y el compromiso de la dirección y la estrategia. En esta tesis se consideran únicamente los factores de éxito relacionados con el proceso de desarrollo de producto.

A partir de diferentes fuentes bibliográficas se han seleccionado los factores que pueden llevar al éxito a un producto (Tabla 2.1). Si se clasifican de mayor a menor importancia, según el número de autores que lo citan se obtiene el orden de la Tabla 2.2. Estos factores se pueden utilizar como un *Check-List* de tareas o aspectos a considerar en el desarrollo de un producto, cuantos más factores se cumplen, más probable es que el producto tenga éxito.

Además, las empresas necesitan algún indicador intermedio que les diga que van por buen camino, y que les ayude a disminuir la incertidumbre del posible éxito. Antes se ha comentado que se hacen testeos de producto con clientes preferenciales, pero éstos se realizan en etapas tardías del desarrollo de producto, y por tanto, el coste en caso de fracaso se eleva. Sería interesante que en las primeras etapas del proceso de desarrollo de un producto se disponga de alguna herramienta o metodología que ayude a tal fin. La etapa más adecuada para ello es la de diseño conceptual de producto (Figura 2.1). A partir del concepto seleccionado, se desarrolla el producto que finalmente se venderá en el mercado.

Tabla 2.2: Check-List de los factores que pueden llevar al éxito a un producto

FACTORES DE ÉXITO A NIVEL DE PRODUCTO	
1	Extraer información de todas las fuentes (clientes, proyectos anteriores, competencia, proveedores, estudios)
2	Definir en qué se diferencia nuestro producto de la competencia
3	Fuzzy Front End (FFE) de la innovación
4	Liderazgo por parte del responsable del proyecto de desarrollo
5	Hacer el desarrollo con un equipo multifuncional
6	Tener en cuenta todos los aspectos a la hora de definir el producto
7	Utilizar un método sistemático de aportación de ideas
8	Evaluar comercialmente el producto en todas las fases del desarrollo
9	Dar al cliente atributos que no espera
10	Tener atributos intangibles
11	Coste de desarrollo bajo
12	Aplicar la gestión de la calidad total
13	Realizar altas inversiones en marketing
14	Procedimentar la etapa de desarrollo
15	Planificar el lanzamiento antes de terminar el desarrollo
16	Diseño industrial

2.3.3 Procedimientos para medir la innovación de producto

El procedimiento más extendido de evaluación de la gestión de la innovación en las empresas es la realización de encuestas (encuesta del INE, informe COTEC, manual de Frascati, etc.). El resultado obtenido, sirve para comparar el grado de innovación de diferentes sectores empresariales y para comparar diferentes países. En cambio, a nivel de producto se evalúa sobre todo el número de patentes obtenidas, el porcentaje de las ventas correspondiente a productos nuevos o mejorados respecto del total., etc.

En esta tesis se pretende evaluar el tipo de innovación que se puede lograr con un concepto de producto. Por consiguiente, se centra más en cómo medir la innovación de los conceptos de producto, aunque se ha considerado la información que aparece en algunas de dichas encuestas (patentes, publicaciones y personal de I+D).

Al analizar el estado del arte, se han identificado diferentes formas de medir la innovación de producto, que se resumen en la Tabla 2.3. Los doce autores referenciados mencionan en total siete procedimientos para medir la innovación. Si se clasifican de mayor a menor importancia, según el número de autores que lo citan, el primer procedimiento es poder patentar la idea. Si la idea es patentable, tendrá un índice de innovación mayor que una que no se pueda patentar (Penrose, 1951; Taylor & Silberston, 1973; Acs & Audretsch, 1989; Martínez & Navarro, 1991; Kumar, 2000; Carlsson et ál., 2002; Acs et ál., 2002). Por otra parte, si una idea está patentada pero la empresa propietaria no la explota, el número de veces que se haya solicitado la patente nos dará una idea de su potencial innovador (Abraham & Moitra, 2000).

El segundo procedimiento es situar el producto en uno de estos cinco niveles (ordenados de mayor a menor potencial): nuevo para el mundo, para la industria, para la comunidad científica, para el mercado y para la empresa o para el cliente (Garcia & Calantone, 2002; Kusunoki, 1997). La OCDE (2005) por su parte, describe el concepto de novedad como: nuevo para el mundo, nuevo para el mercado y nuevo para el mundo entero.

El tercer procedimiento de la Tabla 2.3 se basa en ordenar la innovación de mayor a menor importancia según el tipo de innovación, es decir: innovación radical, innovación moderada o innovación incremental. Para determinar el tipo de innovación, Garcia & Calantone (2002) proponen el método que se desarrolla en las Tablas 2.3 y 2.4. Para determinar qué tipo de innovación se logra con el diseño, tendremos que analizar la innovación bajo un enfoque macroscópico, que deberá ser un enfoque externo a la empresa. De la misma manera se procederá tanto para el nivel de mercado como para el nivel de la tecnología. El enfoque microscópico, por su parte, es un enfoque a nivel de empresa. Para este enfoque se tendrá que verificar, tal y como se ha hecho para el enfoque macro, si se da una discontinuidad. En la Tabla 2.3 se muestran algunas directrices para decidir si existen discontinuidades en los diferentes niveles micro y macro. Otros autores en lugar de tres niveles de innovación mencionan dos: innovación incremental y radical.

El cuarto criterio (Tabla 2.3) establece tres niveles siguiendo un criterio parecido. El primer nivel tiene en cuenta el número de personas que hayan trabajado en el desarrollo del producto; el segundo nivel si la base del producto ha sido importada de otra industria, y el tercero si se han ideado nuevas bases científicas (Barczak, 1995).

El quinto procedimiento cita tres requisitos (Tabla 2.3): que sea nuevo para la empresa, el mercado o sea nueva tecnología; que su ciclo de vida sea de 1 a 3 años y que haya requerido de inversiones significativas (Howell & Shea, 2001).

El sexto procedimiento (Carlsson et ál., 2002) se basa en el número de científicos e ingenieros que han trabajado en el proyecto y la movilidad que tienen éstos para difundir su conocimiento, el cual será también un factor que aumentará el potencial que se quiere medir. Romijn & Albaladejo (2002) también consideran que el número de ingenieros que han trabajado en el proyecto es un criterio para medir si el proyecto es innovador o no.

Tabla 2.4: Discontinuidades a diferentes niveles (Garcia & Calantone, 2002)

Discontinuidades en micro-marketing	
Nuevos clientes para la empresa	
Acercamiento a un nuevo mercado	
Nuevos usos del producto	
Clase de servicio / producto totalmente nuevo para la empresa	
Satisfacción de necesidad identificada del cliente	
Experiencia previa de la empresa de vender productos en esta línea de negocio	
Producto /servicio más complicado de lo que habíamos introducido en el mismo mercado	
Responde a cambios importantes en necesidades del cliente	
Tecnología del producto nueva para el cliente	
Discontinuidades en micro-tecnología	
Cambio de la tecnología para desarrollar el producto	
Bases científicas / tecnológicas nuevas para la empresa	
Proceso de producción nuevo para la empresa	
Tecnología del producto nueva para la empresa	
Grado de diferencia tecnológica respecto a otros productos	
Discontinuidades en macro-marketing	
Nuevo para el mundo	
Nuevo entorno competitivo	
Consecuente con el sistema de valores del cliente	
Responde a una existencia de demanda potencial	
Nuevo para el mercado	
Discontinuidades en macro-tecnología	
Nivel de ciencia y tecnología extraída de las bases de la comunidad científica	
Progreso del saber en ciencia y tecnología gracias al producto	
Modifica la tecnología de otras industrias	
Mejora o modifica la tecnología en uso en otra parte de la industria	

Tabla 2.5: Determinación del tipo de innovación (Garcia & Calantone, 2002)

DISCONTINUIDADES en:				TIPO DE INNOVACION
Micro-marketing	Micro-tecnología	Macro-marketing	Macro-tecnología	
X	X	X	X	Radical
X		X		Moderada
	X		X	Moderada
X		X	X	Moderada
	X	X	X	Moderada
		X	X	Incremental
		X		Incremental
			X	Incremental

En esta línea, el séptimo criterio hace otra distinción en cinco niveles de menor a mayor potencial de producto: patentable sin dificultad tecnológica, problema solucionado por una persona, problema solucionado por toda la empresa, problema solucionado por el saber de otra industria o problema solucionado por nuevas bases científicas (Eltzer et ál., 2005).

Por otra parte, Binz & Reichle (2005) cuantifican la innovación analizando estos siete criterios: crear una nueva utilidad para el cliente, tener un precio adecuado para poder producirlo, posibilidad de lanzarlo rápidamente, que sea simple y preciso (enfocado a la necesidad), que permita obtener un liderazgo en el mercado, que no sea demasiado complicado para el mercado y que tenga coherencia con lo que hace la empresa. El producto más innovador es aquel que cumple más criterios

Otros aspectos que se pueden considerar son la investigación en el ámbito universitario (Acs et ál., 2002), o el presupuesto en I+D (Romijn & Albaladejo, 2002; Czarnitzki & Kraft, 2004).

2.4 TRIZ

2.4.1 Introducción

TRIZ es el acrónimo en ruso de “Teoría de Resolución de Problemas Inventivos” (*Theory of Inventive Problem Solving* –TIPS, en inglés). La metodología TRIZ nació en Rusia en los años 40 al final de la 2ª Guerra Mundial de la mano de Genrich S. Altshuller. La teoría surge del análisis que inició y consolidó Genrich S. Altshuller, y que posteriormente sus discípulos han continuado hasta el estudio de más de 2,5 millones de patentes de todo el mundo. De ellas seleccionaron las más innovadoras, y después de analizarlas, identificaron los principios y la organización del conocimiento para la resolución de problemas técnicos de gran dificultad.

En definitiva, TRIZ es una metodología estructurada que, de una manera sistemática, ayuda en la resolución de problemas de diseño, proporcionando soluciones innovadoras. Todo proceso de resolución de problemas engloba tres fases:

- Definición y análisis del problema.
- Búsqueda de soluciones.
- Clasificación y evaluación de las soluciones.

La metodología incluye herramientas analíticas y herramientas basadas en el conocimiento. Las primeras están enfocadas hacia el correcto planteamiento del

problema y las segundas aportan ideas que pueden ayudar en la resolución del problema planteado. Estas herramientas son:

- Análisis funcional.
- Efectos.
- Principios inventivos (contradicciones).
- Principio de Idealidad.
- Evolución de los sistemas.
- Otras herramientas de TRIZ.

2.4.2 Análisis Funcional

El análisis funcional se utiliza para conocer mejor el sistema que se analiza. Para ello, se representan los componentes del sistema y las interacciones (funciones) que hay entre ellos. Las interacciones pueden ser beneficiosas (un componente soporta a otro) o perjudiciales para el sistema (un componente desgasta a otro). Se analizan los efectos resultantes de las interacciones de los elementos, y como consecuencia, se localizan zonas de conflicto y las áreas de mejora.

2.4.3 Efectos

Altshuller (1986) observó que muchas soluciones de las patentes analizadas utilizaban o simplemente aplicaban las ventajas de un efecto conocido. Estos efectos pueden ser físicos, químicos y geométricos.

Se utilizan los efectos para mejorar las soluciones de las funciones existentes, o para desarrollar nuevas soluciones para cumplir la función.

2.4.4 Principios inventivos

Los principios inventivos se emplean para resolver contradicciones, es decir, los compromisos de solución que se dan, a veces, en un diseño (*trade-offs*). Por ejemplo, velocidad y consumo, velocidad y seguridad. Al mejorar uno de los parámetros empeora el otro. Las contradicciones pueden ser técnicas o físicas.

- Contradicciones técnicas: Suceden cuando al intentar mejorar un parámetro empeora otro. Para eliminar la contradicción hay que utilizar los principios inventivos que recomienda la matriz de contradicciones de la Figura 2.2. En la matriz se seleccionan los parámetros que se contradicen (fila y columna), y la matriz nos recomienda usar unos principios inventivos para resolver dicha

contradicción. Por ejemplo, tal y como se observa en la Figura 2.2, para resolver la contradicción que pudiera surgir entre el parámetro longitud de objeto móvil y el parámetro fuerza, habría que utilizar los principios inventivos 17, 10 y 4. En las Tabla 2.6 y 2.7 se pueden ver los 39 parámetros y los 40 principios inventivos.

		Parámetro que empeora / Parámetro que mejora									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Peso de objeto móvil	Peso de objeto estacionario	Longitud de objeto móvil	Longitud de objeto estacionario	Área de objeto móvil	Área de objeto estacionario	Volumen de objeto móvil	Volumen de objeto estacionario	Velocidad	Fuerza
1	Peso de objeto móvil			15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 34		29, 2, 40, 28		2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37
2	Peso de objeto estacionario				10, 1, 29, 35		35, 30, 13, 2		5, 35, 14, 2		8, 10, 19, 35
3	Longitud de objeto móvil	8, 15, 29, 34				15, 17, 4		7, 17, 4, 35		13, 4, 8	17, 10, 4
4	Longitud de objeto estacionario		35, 28, 40, 29				17, 7, 10, 40		35, 8, 2, 14		28, 10
5	Área de objeto móvil	2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4				7, 14, 17, 4		29, 30, 4, 34	19, 30, 35, 2

Figura 2.2: Ejemplo parcial de la matriz de contradicciones

Tabla 2.6: Listado de los 39 parámetros ingenieriles (Domb, 1998)

39 PARÁMETROS			
1	Peso de un objeto en movimiento	20	Energía consumida por un objeto estacionario
2	Peso de un objeto estacionario	21	Potencia
3	Longitud de un objeto en movimiento	22	Pérdida de energía
4	Longitud de un objeto estacionario	23	Pérdida de sustancia
5	Área de un objeto en movimiento	24	Pérdida de información
6	Área de un objeto estacionario	25	Pérdida de tiempo
7	Volumen de un objeto en movimiento	26	Cantidad de sustancias
8	Volumen de un objeto estacionario	27	Fiabilidad
9	Velocidad	28	Precisión de medida
10	Fuerza	29	Precisión en la fabricación
11	Tensión/presión	30	Factores perjudiciales que actúan en el objeto
12	Forma	31	Efectos perjudiciales
13	Estabilidad de un objeto	32	Facilidad de elaboración.
14	Resistencia	33	Facilidad de uso
15	Durabilidad de un objeto en movimiento	34	Facilidad de reparar
16	Durabilidad de un objeto estacionario	35	Adaptabilidad
17	Temperatura	36	Complejidad del mecanismo
18	Brillo	37	Complejidad de control
19	Energía consumida por un objeto en movimiento	38	Nivel de automatización
		39	Productividad

Tabla 2.7: Listado de los 40 principios inventivos (Domb, 1998)

LOS 40 PRINCIPIOS INVENTIVOS			
1	Segmentación	21	Acción precipitada
2	Extracción	22	Conversión de perjuicio en beneficio
3	Calidad local	23	Realimentación
4	Asimetría	24	Mediación
5	Combinación	25	Autoservicio
6	Universalidad	26	Copia, imitación
7	Anidamiento (Matreshka)	27	Reemplazo del objeto barato y vida reducida por uno caro y más duradero
8	Contrapeso	28	Reemplazo del sistema mecánico
9	Contrarresto previo	29	Utilización de una construcción neumática o hidráulica
10	Acción previa	30	Películas flexibles o membranas delgadas
11	Protección por adelantado	31	Utilización de material poroso
12	Equipotencialidad	32	Cambio de color
13	Inversión	33	Homogeneidad
14	Esferoidalidad	34	Rechazo y regeneración de partes
15	Dinamización	35	Transformación del estado físico y químico de un objeto
16	Acción parcial o exagerada	36	Transición de fase
17	Movimiento hacia una nueva dimensión	37	Expansión térmica
18	Vibración mecánica	38	Utilización de fuertes oxidantes.
19	Acción periódica	39	Ambiente inerte
20	Continuidad de una acción útil	40	Materiales composites

- Contradicción física: Esta ocurre cuando alguna característica del producto debe existir bajo determinadas condiciones, pero en cambio, no debe existir bajo otras condiciones, es decir, la característica está en contradicción consigo misma. Por ejemplo: un avión cuando aterriza necesita que la forma del ala sea una, pero en cambio cuando va en vuelo necesita otra forma distinta. La contradicción se resuelve con los principios de separación y los efectos anteriormente explicados en el apartado 2.4.3. Los principios de separación son cuatro:

1) Separar en el espacio

- Una característica está presente en una parte y ausente en otra.
- Una característica es grande en una parte y pequeña en otra.

2) Separar en el tiempo

- Una característica está presente en un momento determinado y ausente en otro
- Una característica es grande en un momento determinado y pequeña en otro.

3) Separar entre las partes y el todo

- Una característica tiene un valor a nivel del sistema y otro a nivel del componente.

- Una característica existe a nivel del sistema y no a nivel del componente.

4) Separación bajo una condición

- Una característica es mayor bajo una condición y menor bajo otra.
- Una característica está presente bajo una condición y ausente bajo otra.

2.4.5 Principio de Idealidad

Desde el punto de vista de la idealidad, el producto ideal debería cumplir su función sin existir. En realidad no existen sistemas ideales, por lo tanto, el objetivo es intentar cumplir la función al mínimo coste, y que la solución adoptada tenga más efectos útiles que perjudiciales (Domb, 1997a).

2.4.6 Evolución de los sistemas

Existen varias tendencias genéricas de evolución de todos los sistemas técnicos (Mann & Dewulf, 2002). A continuación se presentan algunas de ellas:

- Etapas de evolución (fertilidad, nacimiento, infancia, adolescencia, madurez y decadencia).
- Evolución hacia el incremento de la idealidad.
- Desarrollo no uniforme de los elementos del sistema.
- Evolución hacia el incremento del dinamismo y control crecientes.
- Evolución hacia creciente complejidad y posterior simplificación.
- Evolución con componentes adaptados y desadaptados.
- Evolución hacia el micro-nivel e incremento de campos.
- Evolución hacia la automatización (disminución del compromiso humano).

2.4.7 Otras herramientas de TRIZ

- Soluciones estándar (*S-fields transformations*): Los estándares son reglas para solucionar problemas inventivos que ocurren habitualmente.
- ARIZ: El ARIZ es el acrónimo ruso de la frase “Algoritmo para la Solución de Problemas Inventivos”. El ARIZ es un proceso estructurado y lógico que incrementalmente desarrolla un problema complejo hasta un punto donde es simple solucionarlo.

2.5 Eco-innovación

2.5.1 Introducción

Hasta no hace mucho, la mayoría de las empresas a hora de realizar innovación de producto sólo tenían en cuenta criterios relacionados con la vida útil del producto (funcionalidades, coste, calidad, etc.), y prácticamente no le concedían importancia al impacto ambiental que generaba. Sin embargo, hoy en día, debido en parte, a las Directivas europeas (RoHs, VFU, RAEE, PUE) las empresas están adquiriendo conciencia medioambiental. Asimismo, algunas de ellas han identificado el factor medioambiental como otro factor más a la hora de competir en un mercado globalizado.

En el siguiente sub-apartado se aclara el término eco-innovación ya que se ha observado que genera cierta confusión. Después, se analizan las diferentes fases que se deben cumplir para eco-innovar, y las metodologías de eco-innovación existentes.

2.5.2 Definición de eco-innovación

En la Figura 2.3 se muestran etapas a realizar por la industria para lograr el acercamiento al desarrollo sostenible de la sociedad. Entendiendo como desarrollo sostenible aquel que satisface las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (WCED, 1987). Las etapas relacionadas directamente con el producto son el ecodiseño, la eco-innovación y la eco-eficiencia.



Figura 2.3: Camino hacia la sostenibilidad (Nuij, 2001; Gómez, 2004)

Por ecodiseño se entiende la incorporación sistemática de aspectos medioambientales en el diseño de los productos, al objeto de reducir su impacto ambiental a lo largo de todo su ciclo de vida. Con la aplicación del ecodiseño se obtiene una reducción porcentual del impacto medioambiental de los productos (Hoed, 1997). En cambio, en la eco-innovación, las soluciones no están basadas en el rediseño o en cambios incrementales del producto existente, sino que busca proporcionar al cliente funciones de manera más eco-eficiente (Jones et ál., 2001a).

En la revisión bibliográfica se han encontrado diferentes definiciones de eco-innovación. Jones et ál. (2001a, b, c), Nuij, (2001) y James (1997) emplean el término *eco-innovation* cuando consideran los aspectos medioambientales desde las primeras fases del desarrollo de nuevos productos. Otros autores, bajo diferentes denominaciones, se refieren a la misma definición: innovación para el desarrollo sostenible en referencia a investigación y desarrollo (*sustainable development innovation with regards to R&D*), desarrollo medioambiental de nuevos productos (*Environmental New Product Development*, ENPD) (Pujari, 2006; Pujari et ál., 2003, 2004), diseño medioambiental de productos innovadores (*Environmental Innovative Product Design* (EIPD) (Rosemann & Meerkamm, 2004).

En adelante usaremos el término eco-innovación únicamente. Aunque se menciona con diferentes nombres, todos los autores coinciden en que para realizar eco-innovación en el desarrollo de producto se deben tener en cuenta los aspectos ambientales en la fase de definición de producto, y así innovar en la fase de diseño conceptual.

Los pasos que da la industria en el camino de la sostenibilidad (Figura 2.3) son escalonados, y por eso, las mejoras obtenidas aplicando ecodiseño son menores que aplicando eco-innovación. Una empresa empieza en la etapa inferior y va subiendo poco a poco. Por eso, el ecodiseño se ha aplicado para optimizar producto, y por consiguiente, se ha encontrado limitado desde su inicio. Una vez que la empresa ya ecodiseña se plantea subir de nivel, y empieza a desarrollar nuevos productos considerando aspectos ambientales. En general, bajo estas condiciones hay menos ataduras a la hora de seleccionar soluciones, y por tanto, éstas suelen ser más innovadoras que las obtenidas en ecodiseño.

Para el autor de esta tesis, la diferencia entre el ecodiseño y la eco-innovación radica en el tipo de innovación de producto obtenida. Con el ecodiseño se obtienen innovaciones incrementales y con la eco-innovación se obtienen innovaciones moderadas. Las innovaciones radicales se obtendrían en la etapa de eco-eficiencia.

Cuando se pretenden lograr innovaciones moderadas y radicales hay que actuar desde las primas fases del desarrollo del producto. En la fase de definición del producto, incluyendo consideraciones medioambientales; y en la fase de concepción, concibiendo mejoras medioambientales moderadas o radicales (Rosemann & Meerkamm, 2004; Jones et ál., 2001; James, 1997). Pero sobre todo, para obtener un nuevo producto con éxito es necesario definir correctamente el proyecto, con un buen estudio de mercado, con una previsión de ventas basadas en las necesidades de los clientes (Cooper & Kleinschmidt, 1995a, b; Rothwell et ál., 1974). Además, hay que tener en cuenta que es difícil conocer las expectativas medioambientales de los clientes, y por tanto, prever las ventas del producto no es sencillo (Peattie, 1999).

2.5.3 Fases de la eco-innovación

A partir del análisis de diferentes fuentes bibliográficas se ha identificado las tres fases necesarias para la eco-innovación (Jones & Harrison, 2000; Mann & Jones, 2000; Low et ál., 2000; Low et ál., 2001; Jones et ál., 2001a, b, c; Liu & Chen; 2001a, b, c; Chen, 2002; Chen & Liu, 2002; Kobayashi, 2003; Strasser & Wimmer, 2003; Chang & Chen, 2004; Kobayashi, 2006):

- ❶ Determinar los aspectos ambientales.
- ❷ Generar ideas a partir de los aspectos ambientales para innovar en el diseño de nuevos productos.
- ❸ Evaluar el impacto medioambiental de las soluciones de diseño propuestas.

Para la determinación de los aspectos ambientales, actualmente se están utilizando los métodos de ecodiseño: *Life-cycle Design Strategy LiDS wheel* (Brezet, 1996), *Eco-compass* (Fussler & James, 1996), *Ecodesign PILOT (Product Investigation Learning and Optimization Tool)* (Wimmer & Züst, 2001), indicadores de eco-eficiencia de producto del WBCSD, y las técnicas basadas en el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) (Jones & Harrison, 2000; Jones et ál., 2001a,b,c; Strasser & Wimmer, 2003; Chang & Chen, 2003; Chang & Chen, 2004).

En cuanto a los métodos creativos de generación de ideas en eco-innovación, se están empleando: el *Brainstorming*, el *Product Ideas Tree diagram (PIT)*, la metodología TRIZ, los *MindMaps*, *Check-List* (Jones & Harrison, 2000; Mann & Jones, 2000; Low et ál., 2000; Low et ál., 2001; Jones et ál., 2001a,b,c; Liu & Chen; 2001a, b, c; Chen, 2002; Chen & Liu, 2002; Kobayashi, 2003; Strasser & Wimmer, 2003; Chang & Chen, 2004; Kobayashi, 2006).

La evaluación de la eco-innovación se enfoca hacia el cálculo del Factor X y de la eco-eficiencia. El Factor X se calcula después del diseño en detalle (Kobayashi, 2006). Para evaluar la eco-eficiencia existen diferentes indicadores (Aoe, 2002; Fuse et ál., 2003; Chang & Chen, 2003, 2004; Kobayashi, 2005), sin embargo, la base de la gran mayoría es el WBCSD (abreviatura del Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible). El WBCSD determinó los siete indicadores de eco-eficiencia más importantes a nivel de producto (Desimone & Popoff, 1997):

- Reducir la intensidad material de sus bienes y servicios (reducir material).
- Reducir la intensidad energética de sus productos y servicios (reducir energía).
- Reducir la dispersión de cualquier material tóxico (reducir toxicidad).
- Mejorar la reciclabilidad de los materiales (recuperar material).
- Maximizar la utilización sostenible de los recursos renovables (recursos sostenibles).
- Extender la durabilidad de sus productos (alargar la vida útil).
- Aumento de la intensidad de servicio de sus bienes y servicios (producto de servicio).

2.5.4 Metodologías de eco-innovación

Como metodologías propias de eco-innovación se consideran aquellas que como mínimo constan de las dos primeras fases (determinación de aspectos ambientales y generación de ideas):

- *Product Ideas Tree diagram* (PIT) (Jones et ál., 2001b).
- *Eco-Compass + TRIZ* (Jones & Harrison, 2000).
- *Ecodesign PILOT + Innovation Module TRIZ* (Strasser & Wimmer, 2003).
- *Confict-problem-solving CAD software, Eco-Design tool* (Chang & Chen, 2004).
- *Life Cycle Planning (LCP) methodology* (Kobayashi, 2006).

A continuación se explica con más detalle cada una de ellas.

2.5.4.1 Product Ideas Tree diagram (PIT)

El diagrama de árbol de ideas (PIT) es una herramienta que ayuda en el proceso de generación de ideas en la eco-innovación. Estructura la información y con ello mejora la creatividad, ya que analizando las ideas generadas se pueden obtener más ideas (Jones et ál., 2001c).

El diagrama PIT combina: un modelo del proceso de diseño (*Standard Design Process From*, SPDF), alguno de los puntos clave de entrada para la eco-innovación (*Life-cycle Design Strategy (LiDS) wheel o Eco-compass*) y la técnica “*Mind Mapping*” para producir documentación válida en forma de mapas (Jones et ál., 2001b).

- *Standard Design Process From* (SDFP): es un proceso de diseño adaptado para la eco-innovación. El SDFP se basa en el *British Standard Design Process: BS 7000* (BSI, 1989; Jones et ál., 2001b). Se emplea para organizar las ideas en función de la fase del proceso de diseño.
- *Mind Mapping* (Buzan & Buzan, 1995): es una técnica para recoger y estructurar los resultados de sesiones de creatividad en forma de diagrama (Jones et ál., 2001c). Tony Buzan desarrolló los *MindMaps* como una vía de generación y recogida de ideas. *MindMaps* es una técnica creativa que representa las ideas de manera gráfica. Cada palabra o imagen clave que se añade al *MindMap* aumenta la posibilidad de un nuevo y mejor rango o nivel de asociaciones, hasta el infinito.
- *Life-cycle Design Strategy (LiDS) wheel* (Brezet et ál., 1996) y *Eco-compass* (Fussler & James, 1996): su uso principal en Ecodiseño es para determinar las ventajas medioambientales de los nuevos productos frente a los viejos. Aquí se utiliza para determinar las estrategias medioambientales, es decir, los puntos de entrada (*start points*) a la hora de estructurar la información en los *MindMaps* (Jones et ál., 2001b; Jones et ál., 2001c).

El diagrama PIT mejora la comunicación de los participantes en el proyecto. Todas las ideas generadas se muestran en un mapa, y así se solucionan los problemas de comunicación que pudieran surgir (Jones et ál., 2001c).

2.5.4.2 Eco-Compass + TRIZ

Jones & Harrison (2000) desarrollaron su método de eco-innovación a partir del método de ecodiseño *Eco-Compass* y TRIZ.

Primero relacionan las estrategias de *Eco-Compass* y los 39 parámetros ingenieriles de TRIZ, definiendo así qué parámetros ingenieriles afectan a cada estrategia. Después, al solucionar las contradicciones que pueden surgir entre los parámetros se eco-innova en cada estrategia. Autores como Chang & Chen (2003) avalan con sus resultados estas afirmaciones.

Las estrategias de salud y riesgo medioambiental, revalorización y conservación de los recursos son cubiertas por un único parámetro: efectos perjudiciales (Jones & Harrison, 2000). Por ello, se podrían analizar patentes de producto medioambientalmente innovadores con el fin de extraer de ellos principios nuevos para resolver las contradicciones medioambientales (Jones & Harrison, 2000).

2.5.4.3 Ecodesign PILOT + Innovation Module TRIZ

Strasser & Wimmer (2003) crearon un módulo para la eco-innovación basado en la metodología *Ecodesign Pilot* y TRIZ. Los pasos de este módulo de innovación son:

- ❶ Caracterizar el producto según la metodología *Ecodesign Pilot*.
- ❷ Identificar la estrategia *Ecodesign Pilot* a seguir en función del tipo de caracterización de producto.
- ❸ Realizar un *Check-List* de las posibles soluciones de la estrategia a desarrollar.
- ❹ Módulo de Innovación.

Los pasos ❶, ❷ y ❸ son los básicos del *Ecodesign Pilot*.

❹ Módulo de Innovación. En este paso los *Check-List* de *Ecodesign Pilot* se relacionan con los 40 principios inventivos de la metodología TRIZ y así se obtienen principios de solución eco-innovadores.

Strasser & Wimmer (2003) afirman que se alcanza el mismo resultado empleando la metodología TRIZ y el Módulo de Innovación. En el primer caso, el usuario que aplica la metodología TRIZ tradicional debe tener un conocimiento específico del producto, de la metodología TRIZ, y de ecodiseño. Por el contrario, con el módulo de innovación los aspectos ambientales son considerados sistemáticamente y no es necesario un dominio de la metodología TRIZ.

2.5.4.4 Conflict-problem-solving CAD software, Eco-Design tool

Chang & Chen (2004) desarrollan en una metodología que denominan *Conflict-problem-solving CAD software, Eco-Design*. El objetivo de la metodología es considerar durante la fase de diseño del producto en CAD, los siete indicadores de eco-eficiencia del producto del WBCSD.

Básicamente el proceso que sigue esta metodología es el siguiente:

- Primero se priorizan los siete indicadores de eco-eficiencia mediante el método proceso analítico jerárquico (AHP, *Analytic Hierarchy Process*) con el fin de seleccionar el indicador de eco-eficiencia a mejorar.
- Después, el indicador se relaciona con los 39 parámetros ingenieriles.
- Se analizan las contradicciones que pueden surgir entre ellos.
- Usando la matriz de contradicciones se determinan los principios inventivos a utilizar para obtener soluciones que disminuyan el impacto ambiental. Cada principio inventivo va acompañado de una serie de ejemplos de apoyo que ayudan en el proceso creativo.
- Finalmente, se realiza una evaluación mediante una escala de 0 a 10 del grado de mejora de los indicadores de eco-eficiencia.

2.5.4.5 Life Cycle Planning (LCP) methodology

Kobayashi (2006) desarrolla el *Life Cycle Planning (LCP) methodology*. Una metodología genérica de eco-innovación que comienza con la planificación estratégica de producto y finaliza con la evaluación en detalle mediante el ACV y el Factor X.

Las fases de la metodología LCP son las siguientes:

1. A partir de los objetivos estratégicos de la empresa, de las necesidades del cliente y las mejoras ambientales deseadas se obtienen los requisitos de diseño mediante la matriz QFD-I o casa de la calidad.
2. Estimación del Factor X deseado, se marca un objetivo para cada especificación medioambiental.
3. Si el objetivo marcado está lejos del valor del requisito de diseño, se generan conceptos usando TRIZ.
4. Evaluación de los conceptos de diseño de forma semi-cuantitativa. Se valora la calidad, el coste y los aspectos ambientales con el apoyo de un software.
5. Se generan ideas de componentes para diferentes ciclos de vida, por ejemplo, una mejora de reutilización. A partir de las especificaciones del QFD se grafican los datos de cada idea.
6. Evaluación de los conceptos de diseño de forma semi-cuantitativa. Se valora la calidad, el coste, y los aspectos ambientales con el apoyo de un software. Realizan un cálculo de incertidumbre.
7. Diseño en detalle de la opción seleccionada.

8. Cálculo del ACV y del Factor X.

Este método es el único en el que la evaluación ambiental se hace también en el diseño en detalle.

2.6 Conclusiones

Un producto para ser eco-innovador debe cumplir tres requisitos: que el origen de la innovación haya sido un aspecto ambiental, ser creativo y que tenga éxito en el mercado. Los tipos de innovación que se pueden dar son: incremental, moderada y radical.

En esta tesis, la diferencia entre el ecodiseño y la eco-innovación radica en el tipo de innovación de producto obtenida. Con el ecodiseño se obtienen innovaciones incrementales y con la eco-innovación se logran innovaciones moderadas. Las innovaciones radicales se conseguirían en la etapa de eco-eficiencia.

Las etapas de una metodología de eco-innovación son las siguientes:

- ❶ Determinar los aspectos ambientales.
- ❷ Generar ideas a partir de los aspectos ambientales para innovar en el diseño de nuevos productos.
- ❸ Evaluar el impacto medioambiental de las soluciones de diseño propuestas.

Las metodologías analizadas utilizan como origen de la eco-innovación métodos de ecodiseño, o los siete indicadores de eco-eficiencia del WBCSD (Aoe, 2002; Fuse et ál., 2003; Chang & Chen, 2003, 2004; Kobayashi, 2005). No se ha constatado la existencia de ninguna metodología de eco-innovación que tenga como origen de la misma el diseño para desensamblaje.

En cuanto a los métodos creativos de generación de ideas, en eco-innovación se están empleando: el *Brainstorming*; el *Product Ideas Tree diagram* (PIT), la metodología TRIZ, los *MindMaps*, *Check-List* (Jones & Harrison, 2000; Mann & Jones, 2000; Low et ál., 2000; Low et ál., 2001; Jones et ál., 2001a,b,c; Liu & Chen; 2001a, b; Liu & Chen; 2001c; Chen, 2002; Chen & Liu, 2002; Kobayashi, 2003; Strasser & Wimmer, 2003; Chang & Chen, 2004; Kobayashi, 2006). Siendo el TRIZ uno de los métodos más empleados, y el que se ha integrado en la mayoría de las metodologías existentes. En esta fase se podrían emplear más métodos de creatividad que los empleados actualmente (Justel et ál., 2004).

La evaluación de la eco-innovación en la fase conceptual se enfoca hacia el cálculo de la eco-eficiencia. Para evaluar la eco-eficiencia existen diferentes indicadores (Aoe, 2002; Fuse et ál., 2003; Chang & Chen, 2003, 2004; Kobayashi, 2005). Aunque la base de la gran mayoría son los siete indicadores de eco-eficiencia de producto del WBCSD.

Esta tesis se basa, en el diseño para desensamblado como punto de origen de la eco-innovación en producto, y el TRIZ cómo método de generación de ideas.

En las metodologías de eco-innovación básicamente sólo se emplea la herramienta de TRIZ, principios inventivos. En esta tesis se ha decidido utilizar las siguientes herramientas de TRIZ:

- Análisis funcional.
- Efectos.
- Principios inventivos.
- Principio de Idealidad.
- Evolución de los Sistemas.

Todo proceso creativo parte de una definición y análisis del problema. El análisis funcional propuesto en TRIZ es muy adecuado para esa labor, ya que ayuda a conocer perfectamente el funcionamiento de los sistemas, los componentes y las funciones que cumplen, así como los efectos útiles y perjudiciales que se crean.

Una vez conocido el problema se generan ideas para solucionar el problema. En ese campo se pretende utilizar las herramientas de TRIZ: efectos, principios inventivos, la idealidad de los sistemas y la evolución de los sistemas:

- La herramienta de efectos se ha seleccionado teniendo en cuenta la experiencia del autor de esta tesis, que ha aplicado con éxito la misma en los siguientes sectores industriales: máquina herramienta, electrodomésticos y construcción. La herramienta ayuda a obtener ideas de otros campos del conocimiento. Además, el software que se dispone de TRIZ TechOptimizer V.3 tiene una base de datos de efectos basada en patentes, y efectos físicos muy potente.
- La herramienta de principios inventivos se ha seleccionado porque ayuda en la mejora de los sistemas mediante la superación de las contradicciones. Además, es la herramienta TRIZ más empleada actualmente en eco-innovación.
- El principio de idealidad se utilizará porque busca cumplir la función del producto al mínimo coste y minimizando los efectos perjudiciales (Domb, 1997a).

- Para guiar el proceso creativo se emplea la herramienta TRIZ evolución de los sistemas.

3 Revisión del diseño para desensamblado

3.1 Introducción

En este capítulo, al igual que en el capítulo precedente, se presenta uno de los pilares de esta tesis, el diseño para desensamblado (DFD).

Inicialmente, se define el concepto de diseño para desensamblado y se clasifican los tipos de desmontaje. Después, se muestra el estado de la técnica en los métodos de evaluación de la desmontabilidad.

Asimismo, dado que una de las razones de desensamblar el producto es que al final de su vida útil se aprovechen más eficientemente sus componentes y materiales, se analiza el fin de vida de los electrodomésticos en España.

Finalmente, se concluye el capítulo con la presentación de las conclusiones más relevantes y la justificación de los métodos de estimación de tiempos de desensamblado que se emplearán en esta tesis.

3.2 Diseño para desensamblado

3.2.1 Introducción

Según la Real Academia de la lengua Española (RAE), el desmontaje es *“la acción y efecto de desmontar”*. Desmontar es *“separar los elementos de una estructura o desarmar”*. Desarmar es *“desunir, separar las piezas de que se compone algo, como un reloj, una escopeta, una máquina, un artificio, etc.”*.

Para De Ron & Penev (1995), el objetivo del desmontaje es la recuperación del valor de los productos y proteger el medio ambiente eliminando sustancias peligrosas. Spur (1995) describe el desmontaje como los procesos planificados que dan lugar a la separación de sistemas multi-componente, en partes y en componentes unitarios. Seliger (1996) define el desmontaje como el “traslado” de partes y componentes de un producto para hacerlos disponibles para su uso extenso en un nivel de valor más alto. Srinivasan et ál. (1997) consideran el desmontaje como el proceso de quitar componentes de los productos. Para Desai et ál. (2003), en el contexto de la ingeniería, el desmontaje se puede definir como el proceso organizado de separar un producto.

En esta tesis utilizaremos la definición de DFD que da la norma UNE-EN ISO 14021: 2002, según la cual, la utilización del término diseño para desmontar es:

“Una característica de diseño de un producto que permite que éste pueda ser separado al final de su vida útil, de tal manera que permita que sus componentes y partes sean reutilizadas, recicladas, recuperadas en forma de energía o, de alguna otra manera, separadas de la corriente de residuos”.

“Una declaración de diseño para desmontar debe acompañarse de una afirmación explicativa que especifique los componentes o partes que pueden ser reutilizadas, recicladas, recuperadas en forma de energía, o de alguna otra manera, separadas de la corriente de residuos”.

3.2.2 Clasificación de los tipos de desmontaje

La Figura 3.1 muestra una clasificación de los tipos de desmontaje en función del “elemento” que se obtiene tras la operación de desensamblar (Spurs, 1995; Marzal et ál., 2001), y según el proceso de desmontaje (Jovane et ál., 1993; Kuuva & Airila, 1993; Ishii et ál., 1994; Schnauber, 1995; Desai et ál., 2003).

La acción de desensamblar puede generar un producto o un material si se considera el “elemento” que se obtiene. En cambio, al considerar el proceso de desmontaje en sí, éste puede ser destructivo o no destructivo.

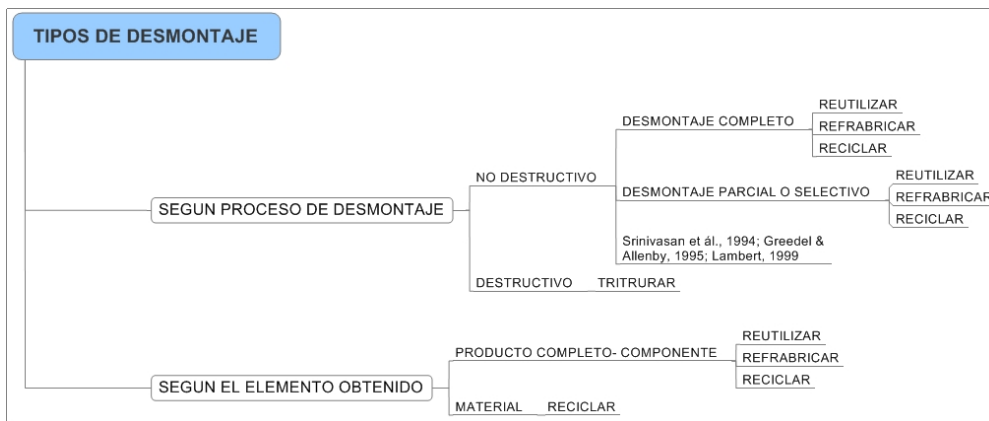


Figura 3.1: Tipos de desmontaje

Aunque existen diferentes formas de clasificar los tipos de desmontaje, todos persiguen un mismo fin, y éste varía según la etapa del ciclo de vida del producto en la que éste se encuentre. En la fase de uso se desmonta para permitir su mantenimiento y aumentar su servicio. En cambio, en el fin de vida (EOL) del producto, se desmonta para

descontaminarlo, para reutilizarlo, para refabricarlo, o para reciclarlo en su conjunto o en sus partes.

El desmontaje se considera destructivo si no se desmonta, es decir, los componentes se destruyen (trituran) durante el proceso de desmontaje en las máquinas fragmentadoras.

El EOL del producto condiciona de manera notoria las características del mismo. Así, en un diseño orientado a la reutilización se tendrá que tener en cuenta en la planificación de la plataforma del producto qué componentes y hasta cuándo se pueden reutilizar. En cambio, si el EOL es el depósito en vertedero estas cuestiones no serían tan importantes.

En adelante, cuando aparezca el término desmontaje se refiere a un desmontaje no destructivo.

3.3 Factores de diseño que condicionan el desmontaje

En la literatura hemos encontrado dos clasificaciones de los factores que condicionan el desmontaje.

La primera de Johansson & Björkman (1997) identifica 4 propiedades para ayudar a determinar la facilidad de desmontaje. Estas son: facilidad de identificación, accesibilidad, facilidad de separación y facilidad de manipulación.

- *Facilidad de identificación:* determina la rapidez con la que se puede identificar la pieza que se va a desmontar, es decir, que sea fácilmente reconocible su forma y su posición en el producto. La facilidad de identificación se relaciona con la posición que tiene la pieza en el producto, pero hay que tener en cuenta también, su forma, sus dimensiones y el material de que está compuesta. Se deben poder identificar tanto los componentes a desmontar, como los sistemas de unión empleados. Para facilitar la identificación, la pieza a desmontar puede tener un rasgo significativo, como por ejemplo, propiedades magnéticas o color (Jovane et ál., 1993).
- *Accesibilidad:* esta propiedad determina la facilidad con la que la herramienta de desmontaje puede acceder al elemento a desmontar. La accesibilidad está relacionada con la estructura del producto y depende, según Eubanks & Ishii (1993), de la localización física, de la orientación y de la profundidad en la que se encuentra la parte a desmontar respecto del conjunto.

- *Facilidad de separación:* es el conjunto de propiedades que tiene un componente o elemento de unión para separarse del resto del producto. Las uniones deben ser diseñadas para que las partes puedan ser separadas fácilmente. Esta propiedad está relacionada con el tipo y el número de uniones, con las direcciones de desmontaje (sin colisiones) y con la superficie de contacto (Luttropp, 1995; 1996a, b).
- *Facilidad de manipulación:* son las características que tienen las piezas para poder ser fácilmente manipuladas a lo largo del proceso de desmontaje. Por ejemplo, las partes a desmontar han de ser fáciles de asir y de transportar. La importancia de la facilidad de asir fue descrita por Hesselbach & Kühn (1996). Además, el producto se debe orientar y sujetar fácilmente. La propiedad de facilidad de sujeción está relacionada directamente con la forma, las dimensiones y el material, tanto de los componentes como de los tipos de unión.

La segunda clasificación es la de Mok et ál. (1997), según la cual, los factores que afectan al proceso de desmontaje vienen determinados por las actividades que se realizan antes, durante y después del proceso de desmontaje. Estos autores consideran que algunos factores están determinados por el proceso de desmontaje que se vaya a realizar, y en cambio, otros son particulares del diseño de producto realizado (Tabla 3.1).

Tabla 3.1: Factores de un sistema de desmontaje (Mok et ál., 1997)

PARTICULARES DE CADA DISEÑO			
Parámetro de los componentes- piezas: Aspectos estructurales			
Condiciones de contacto	Centro de gravedad	Peso	Punto de unión
Simetría	Punto de unión	Presión	Acabado superficial
Interferencias	Elemento de unión	Tamaño	Redondeo
Color	Material	Forma	Tolerancia
Parámetro de los componentes: Aspectos organizativos			
Estructura del producto	Estandarización	Variantes	Número de componentes
DETERMINADOS POR EL PROCESO DE DESMONTAJE			
Parámetro de proceso: Antes de desmontar			
Espacio de trabajo	Mecanismos de alineación	Grado de automatización	
Información de desmontaje	Mecanismos de transporte	Presencia de peligros	
Mecanismos de inspección	Secuencia de desmontaje		
Parámetro de proceso: Desmontando			
Dirección de desmontaje	Herramientas utilizadas	Interferencias	Fuerza de la unión

Todos estos factores que afectan al proceso de desensamblado se han resumido en los seis que se muestran en la Tabla 3.2. Su selección se ha realizado a partir de diferentes fuentes bibliográficas: Mok et ál. (1997), Johansson & Björkman (1997); Behrendt et ál. (1997), Singh (1996) y la VDI 2243.

A estos seis factores hay que añadir el cumplimiento de la legislación (VFU, RAEE, PNIR 2008-2015). Para cumplirla en muchos casos es necesario desmontar el producto al final de su vida útil.

En la Figura 3.2 se muestra la interrelación entre los diferentes factores de DFD. El punto de partida es la legislación, que influye en la estrategia del producto y en las condiciones en que se realiza el desmontaje. La estrategia del producto, a su vez, determina el destino final de las piezas (a veces influenciada por la legislación) y determina algunos factores que condicionan el proceso de desmontaje. En función de la estrategia del producto el diseñador concreta la estructura del producto, las características de las piezas y los sistemas de unión. Así mismo, en función de las condiciones de desmontaje marca la visibilidad del elemento de unión. El diseñador no tiene poder de decisión sobre todos los factores, sino que se tiene que adaptar a las especificaciones que le vienen marcadas (Justel et ál., 2005a).

Tabla 3.2: Factores que condicionan el desensamblado de productos

FACTORES QUE CONDICIONAN EL DESMONTAJE	PARÁMETROS O ESTRATEGIAS DFD
La estructura del producto	Utilizar estructuras jerárquicas basadas en un componente central Utilizar módulos Estandarizar componentes Minimizar las variantes de producto Minimizar el número de componentes Minimizar el número de materiales diferentes Usar materiales reciclables
Sistema de unión (tipo y número)	Usar uniones fáciles de desmontar Asegurar la accesibilidad a los elementos de unión Evitar uniones permanentes Minimizar el nº de uniones Utilizar una única dirección de montaje
Características de la pieza a desensamblar	Buena accesibilidad , reducido volumen, peso reducido, baja fragilidad, evitar la peligrosidad, etc.
Destino final de las piezas	Permitir su mantenimiento, aumentar su servicio, etc. En el EOL, reutilizar, refabricar, reciclar o incinerar
Visibilidad del elemento de unión	Marcar las uniones no obvias Evitar las uniones no visibles Uniones accesibles desde la parte superior
Las condiciones en que se realiza el desmontaje	Crear buenas condiciones para el desmontaje mecánico y automático Utilizar herramientas estándares o multiuso Condiciones y parámetros de proceso de desmontaje adecuados Evitar que las uniones se deterioren

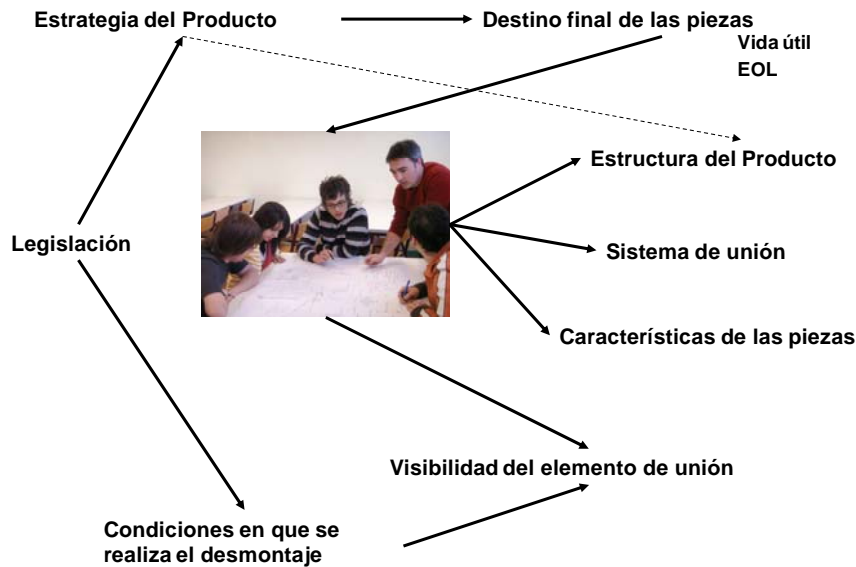


Figura 3.2: Relación entre los factores que condicionan el DFD

A continuación, se analiza cada uno de los seis factores que condicionan el proceso de desmontaje.

3.3.1 Destino final de las piezas

El destino final de las piezas viene determinado por la estrategia del producto de la empresa. Según Desai et ál. (2003), los productos pueden desmontarse para permitir su mantenimiento, para aumentar su servicio, etc., y una vez llegados a su fin de vida (EOL) se pueden desmontar para reutilizarlos, refabricarlos, reciclarlos o para incinerarlos (Rose & Stevels, 2001).

Las estrategias EOL se pueden priorizar de acuerdo al potencial económico y la mejora ambiental que se obtiene (Rose et ál., 1999; Rose, 2000; De Brito & Dekker, 2004):

1. Reutilización.
2. Reutilización para alargar el servicio.
3. Refabricación.
4. Reciclado.
5. Deposición en vertedero (incineración o no).

Para ayudar a decidir cuál es la estrategia EOL más adecuada para cada producto, Rose (2000) desarrolla la herramienta *End-of-Life Design Advisor* (ELDA). Esta

herramienta asigna una estrategia de fin de vida al producto basándose en sus características. En los estudios que realizó, el resultado del ELDA coincidía en un 86% de los casos con la realidad industrial. En la Tabla 3.3 se pueden observar las características que considera para determinar la estrategia EOL más apropiada para el producto.

Tabla 3.3: Características del ELDA (Rose, 2000)

CARACTERISTICAS	RANGOS DE INPUTS
Desgaste	0+20 años
Ciclo de tecnología	0+20 años
Nivel de integración	Alto, Medio, Bajo
Número de partes	0+1000
Ciclo de diseño	0+7 años
Motivo del rediseño	1+5

3.3.2 La estructura del producto

En función de la estrategia del producto y del destino final de las piezas, el diseñador define una estructura modular o integrada (Herbertsson, 1995).

La complejidad de la estructura del producto es un factor de gran influencia, así, las estructuras con un componente central y una estructura de árbol son más sencillas de desmontar (Behrendt et ál., 1997). Por ejemplo: las estructuras de emparedado tipo sándwich son fáciles de desmontar, ya que permiten un proceso muy eficiente de desensamblado porque todos los componentes pueden ser desmontados uno tras otro a partir del componente central. En la Tabla 3.4 se pueden ver las estructuras que se proponen para facilitar el desmontaje (destrutivo y no destructivo).

Tabla 3.4: Estructuras de producto que facilitan el desmontaje

AUTOR	ESTRUCTURA DEL PRODUCTO
Janson (1993)	Estructura apilada Estructura encapsulada Estructura multifuncional Estructura compuesta Estructura tipo LEGO (<i>Building block structure</i>)
Luttrupp (1997)	Estructura hamburguesa (<i>Hamburger structure</i>) Estructura de cascara (<i>Shell structure</i>) Estructura monomaterial (<i>Rod structure</i>) Estructura compuesta (<i>Twin structure</i>) Estructura componente central (<i>Dressed structure</i>)
Behrendt et ál. (1997)	Componente central y estructura de árbol

Cuando se está diseñando la estructura del producto se pueden seguir las estrategias de la Tabla 3.5.

Tabla 3.5: Estrategias a considerar en la creación de la estructura del producto

ESTRATEGIAS DE ESTRUCTURA DEL PRODUCTO	
Minimizar el número de componentes: El número de componentes debe ser tan bajo como sea posible para cumplir su función. Esto reduce el coste de desmontaje y el tiempo de clasificación (Behrendt et ál., 1997)	
Estandarizar componentes	
Minimizar las variantes de producto: Utilizar diseños modulares, con cierta autonomía entre la parte electrónica, mecánica, estética, energética, etc. (Capuz et ál., 2002)	
Minimizar el número de materiales diferentes de producto: Seleccionar materiales similares o compatibles, reprocesables conjuntamente o fáciles de separar (Capuz et ál., 2002)	
Usar materiales reciclables: Emplear materiales de los que se conocen posibles aplicaciones futuras de reciclaje, de tal manera que se pueda planificar su desmontaje para su posterior reutilización o retirada (Marzal et ál., 2001)	

Las iniciativas de DFD conducen a la correcta identificación de las especificaciones de diseño para minimizar la complejidad de la estructura del producto (Gungor & Gupta, 1999). Esto se consigue logrando numerosos objetivos como la reducción al mínimo del número de piezas distintas, aumentando el uso de materiales comunes, optimizando la alineación espacial entre los componentes para facilitar el desmontaje sin comprometer la montabilidad, la funcionalidad y la validez estructural.

En definitiva, interesa que la estructura del producto facilite el desmontaje, y que no genere impedimentos.

3.3.3 El tipo y número de uniones

El tiempo y el esfuerzo del desmontaje dependen en gran parte del número y del tipo de uniones empleadas. Lo ideal es reducir al mínimo ambos. Cualquier máquina o aparato, por muy simple que sea, está compuesto por una serie de piezas acopladas o unidas entre sí hasta formar el conjunto. Estas uniones no siempre tienen las mismas características, ya que según sea la función de las piezas en el conjunto la unión puede ser:

- Fija: son aquellas uniones que no es posible desmontar a menos que se produzca la rotura o destrucción del elemento de unión.
- Desmontable: son aquellas uniones que pueden deshacerse siempre que sea necesario sin necesidad de destruir los elementos empleados en la unión.

En la Tabla 3.6 se muestran algunos ejemplos de uniones fijas y desmontables.

Tabla 3.6: Clasificación de los tipos de conexiones

TIPO DE UNIÓN		EJEMPLOS
Fija		Remachado Soldadura Pegado (mediante adhesivos)
Desmontable	Uniones rígidas	Unión atornillada
	Uniones articuladas	Velcro
	Uniones elásticas	Pinzas, <i>snaps</i> (clipaje o pestaña)

A la hora de seleccionar el tipo y el número de uniones se pueden seguir las recomendaciones o estrategias que se muestran en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7: Estrategias a considerar en el sistema de unión

ESTRATEGIAS EN EL SISTEMA DE UNIÓN
Utilizar elementos de unión fáciles de montar y desmontar siempre que sea posible (Singh, 1996)
Minimizar el número de uniones. Dentro de un tipo de unión, por ejemplo, unión atornillada, se debe intentar usar siempre la misma métrica y el mismo tipo de tornillo para emplear una única herramienta de desmontaje (Behrendt et ál., 1997). La longitud de rosca debe ser lo más corta posible (Singh, 1996)
Si la unión es por ajuste, éste debe ser fácilmente desmontable (Singh, 1996)
Evitar uniones permanentes. El orden de los tipos de unión, de mayor a menor desensamblabilidad, sería: adherencia, velcro, pinzas, pestañas, encajado, atornillado, ajuste por apriete, soldado con el mismo material, soldado con otro material o pegado (Capuz et ál., 2002)
Las uniones que tienen una única dirección de montaje son fáciles de separar (Behrendt et ál., 1997). La manera más sencilla de soltar una unión es con un movimiento lineal (axial) o con un giro
Utilizar la aplicación de diseño para refabricar de Shu & Flowers (1999)

3.3.4 Características de la pieza a desensamblar

Mok et ál. (1997), consideran que se deben tener en cuenta los aspectos estructurales de la Tabla 3.8 al diseñar las piezas que luego se desmontan.

Tabla 3.8: Aspectos estructurales considerados (Mok et ál., 1997)

PARÁMETRO DE LOS COMPONENTES- PIEZAS: ASPECTOS ESTRUCTURALES			
Condiciones de contacto	Centro de gravedad	Peso	Punto de unión
Simetría	Punto de unión	Presión	Acabado superficial
Interferencias	Elemento de unión	Tamaño	Redondeo
Color	Material	Forma	Tolerancia

La peligrosidad de algunos componentes es otro factor a tener en cuenta (Capuz et ál., 2002).

3.3.5 Visibilidad del elemento de unión

Para que no se deterioren las piezas al desmontar es necesario que los elementos de unión sean fáciles de encontrar. En la Tabla 3.9 se muestran algunas de las estrategias que se suelen emplear.

Tabla 3.9: Estrategias a considerar para mejorar la visibilidad del elemento de unión

ESTRATEGIAS DE VISIBILIDAD DEL ELEMENTO DE UNIÓN
Marcar las uniones no obvias
Las uniones que no se marcan y están accesibles y visibles después de desmontar otros componentes deben ser evitadas. Por ejemplo: pasadores, enclavamientos, etc. (Behrendt et ál., 1997)
Todas las uniones desmontables deben ser accesibles a poder ser desde la parte superior (Singh, 1996)
Accesibilidad a los elementos de conexión. Se debe dejar el suficiente espacio alrededor de la unión desmontable para poder utilizar las herramientas con facilidad (Singh, 1996; Behrendt et ál., 1997)

3.3.6 Condiciones en que se realiza el desmontaje

Normalmente es difícil conocer las condiciones en las que realmente se realiza el desmontaje, por eso se suelen proponer las siguientes estrategias que se muestran en la Tabla 3.10.

Mok et ál. (1997) consideran que se deben tener en cuenta los siguientes aspectos del proceso de desmontaje de la Tabla 3.11.

Tabla 3.10: Aspectos a considerar sobre las condiciones en que se realiza el desmontaje

ESTRATEGIAS A CONSIDERAR PARA LAS CONDICIONES EN QUE SE REALIZA EL DESMONTAJE
Crear buenas condiciones para el desmontaje mecánico y automático: A parte de que la estructura sea fácil de desmontar, y de que se usen elementos de conexión fáciles de soltar, se deberían considerar también la estandarización de componentes y el marcado de los materiales (Behrendt et ál., 1997). Capuz et ál. (2002) propone introducir asas, muescas, acabados superficiales, indicadores, etc., en el producto que faciliten las tareas de desensamblado. Marcar las uniones no obvias
Las uniones que no se marcan, y que están accesibles y visibles después de desmontar otros componentes deben ser evitadas. Por ejemplo: pasadores, enclavamientos, etc. (Behrendt et ál., 1997)
Todas las uniones desmontables deben ser accesibles a poder ser desde la parte superior (Singh, 1996)
Utilizar herramientas estándares o multiuso. Lo mejor, diseñar uniones que no necesiten herramientas para su desmontaje (Behrendt et ál., 1997)
Condiciones de procesado: número de productos a desensamblar, tiempo programado para ello, calidad exigida, etc. (Capuz et ál., 2002)
Deterioro de las uniones. Evitar que las uniones se deterioren, es decir, que se oxiden, que no se desgasten los elementos roscados; que cambien las propiedades de adherencia, que se traben el deslizamiento de las piezas (Capuz et ál., 2002)

Tabla 3.11: Aspectos a considerar en el proceso de desmontaje (Mok et ál., 1997)

DETERMINADOS POR EL PROCESO DE DESMONTAJE			
Parámetro de proceso: Antes de desmontar			
Espacio de trabajo	Mecanismos de alineación	Grado de automatización	
Información de desmontaje	Mecanismos de transporte	Presencia de peligros	
Mecanismos de inspección	Secuencia de desmontaje		
Parámetro de proceso: Desmontando			
Dirección de desmontaje	Herramientas utilizadas	Interferencias	Fuerza de la unión

3.4 Evaluación de la desmontabilidad

3.4.1 Introducción

Mok et ál. (1997) define la desmontabilidad como el grado de facilidad de desmontaje. La evaluación de la desmontabilidad se puede realizar con técnicas cuantitativas, basadas en la estimación de tiempos de desmontaje, y con técnicas cualitativas, mediante *Ckeck-List*.

La valoración cuantitativa se utiliza para realizar posteriormente una valoración económica del desmontaje. Necesitando conocer además del tiempo empleado, el coste de los utillajes, las herramientas, la mano de obra, la logística, las infraestructuras, los medios productivos y la energía consumida.

La valoración cualitativa, en cambio, se realiza cuando se quiere hacer una valoración más genérica y rápida de la dificultad de desensamblado.

No existe ningún método específico que mida el tiempo de las operaciones de desmontaje. Por el contrario, en el caso del ensamblaje existen diferentes métodos para tal fin (*Methods Time Measurement- MTM*, Maynard, 1948; *MOST- work measurement systems*, Zandin, 1980; etc.).

Tanto en el caso del ensamblaje, como en el del desensamblaje, hay métodos que ayudan a estimar tiempos. En el desmontaje, a estos métodos se les conoce como métodos de diseño para desmontaje (DFD). Tras realizar una revisión bibliográfica se han encontrado cinco métodos de estimación de tiempos estándar de desmontaje (Dowie & Kelly, 1994; Kroll, 1995, 1996; Kroll & Carver, 1999; Kroll & Hanft, 1999; Chirag, 2002; Fagnoli et ál., 2003; Desai & Mital, 2003; Sodhi et ál., 2004). En los siguientes sub-apartados se comentan brevemente los métodos que se utilizarán en el capítulo 5:

- Dowie & Kelly (1994).
- Disassembly evaluation method (DEC), Kroll (1995).
- Desai & Mital (2003).
- Sodhi et ál. (2004).

En la literatura se ha encontrado referencia a otro método, Chirag (2002), que no se ha considerado en esta tesis por falta de información.

3.4.2 Dowie & Kelly (1994)

Este método se desarrolló para determinar tiempos de desmontaje de Aparatos Eléctricos Electrónicos (AEE). En su concepción se desmontaron electrodomésticos de línea marrón y blanca, ordenadores, teléfonos y aparatos electrónicos similares.

Tras realizar dichos desmontajes se identificaron siete operaciones como las más comunes:

- Extracción.
- Desmontar tornillos.
- Apertura de *snaps* (clipajes).
- Retirada de clips.
- Rotura.
- Corte de cables.
- Desconexión de conectores.

En este método, se supone que el operario conoce el proceso de desmontaje (orden de desmontaje, ubicación de cada unión, etc.). El método tiene en cuenta la distancia que se mueve una pieza (a mayor distancia mayor tiempo), y la sub-tarea de coger y dejar la herramienta. Este método no considera la fuerza requerida para el desensamblado, el posicionamiento de la herramienta o la mano, la accesibilidad a la unión, el tipo de herramienta usada.

3.4.3 Kroll (DEC) (1995)

El método se ha desarrollado en base a experimentos de desmontaje manual realizados en ordenadores, teclados, monitores e impresoras.

El método está constituido por una tabla de evaluación del desmontaje y un catálogo de tareas donde se incluyen las puntuaciones de dificultad (accesibilidad, posicionamiento, fuerza, tiempo base y tiempo especial).

Para el establecimiento de las puntuaciones de dificultad de cada tarea emplea el sistema MOST, basado en el esfuerzo necesario para desmontar, que es un indicador válido para estimar el tiempo de desmontaje. Para ello, se supone que el operario conoce el proceso de desmontaje y que las herramientas necesarias están a mano.

El método cubre las siguientes 16 operaciones básicas de la Tabla 3.12.

Tabla 3.12: Listado de las 16 operaciones básicas de Kroll

TIPOS DE OPERACIONES	
1.- Desatornillar	9.- Sujetar / agarrar
2.- Girar	10.- Serrar
3.- Hacer palanca	11.- Taladrar
4.- Cortar	12.- Martillar
5.- Extraer	13.- Despegar
6.- Reorientar	14.- Limpiar
7.- Deformar	15.- Desbastar
8.- Empujar / tirar	16.- Inspeccionar

Este método describe detalladamente cada una de las 16 operaciones. Además, considera variaciones de las operaciones estándares.

La estimación de tiempos se realiza con la Ecuación 3.1.

$$Tiempo\ de\ desensamblado = (PD-5 \times Rep) \times 1.04 + NM \times 0.9 \quad (3.1)$$

Siendo:

PD: Puntuación de dificultad total.

Rep: Número de veces que se repite cada tarea.

NM: Número de manipulaciones manuales y/o de herramienta.

Otro aspecto a destacar es que determina la eficacia del proceso de desmontaje, y el número de componentes necesarios.

3.4.4 Desai & Mital (2003)

Este método está basado en el sistema MTM (*Method Time Measurement*). A la hora de analizar una operación de desensamblado tiene en cuenta básicamente cinco factores:

- Fuerza de desmontaje.
- Manipulación del material.
- Utilización de herramientas.
- Accesibilidad.
- Posicionamiento.

Considera aspectos de ergonomía, pero no tiene en cuenta todas las operaciones necesarias para desmontar el producto, descarta tareas preliminares como alcanzar la herramienta, cogerla, acercarla, dejarla en su sitio, etc. Asimismo, no considera las dimensiones de los componentes para la estimación del tiempo. Se centra en “algunos criterios de diseño” que pueden influir en el tiempo de desmontaje.

3.4.5 Sodhi et ál. (2004)

Sodhi et ál. (2004) realizan la estimación de tiempos de desmontaje de once tipos de uniones. En la Tabla 3.13 se muestran los once tipos de uniones y los parámetros geométricos que se consideran para la estimación del tiempo de desmontaje de cada tipo de unión. Los parámetros son: la forma, la longitud, la dimensión y otros. En este método la geometría de los once sistemas de unión está bien definida.

La estimación del tiempo de desensamblado se realiza en base al esfuerzo necesario para desmontar una unión (UFI). El cálculo del UFI de cada tipo de unión se realiza en función de un máximo de cuatro parámetros geométricos.

El cálculo de UFI se realiza mediante la Ecuación 3.2.

$$UFI_i = \psi_i + \beta_a \cdot A_i + \beta_b \cdot B_i + \beta_c \cdot C_i + \beta_d \cdot D_i \quad (3.2)$$

Dónde:

i → Código que le corresponde a cada tipo de unión (del 1 al 11; donde 1 tornillo, 2 clip, 3...).

ψ_i → Esfuerzo mínimo (el caso más fácil, favorable) que se necesita para desensamblar cada tipo de unión.

$\beta_a, \beta_b, \beta_c, \beta_d$ → Peso de cada parámetro.

A_i, B_i, C_i, D_i → La dificultad que supone cada parámetro ($0 \neq 1$)

Para realizar la estimación del tiempo de desmontaje se debe aplicar la Ecuación 3.3. El valor UFI se encuentra dentro de una escala que va del 0 al 100.

$$Tiempo\ de\ desensamblado\ (s) = 5 + 0,04 \times (UFI)^2 \tag{3.3}$$

Tabla 3.13: Tipos de unión y parámetros que considera Sodhi et ál. (2004)

COD	TIPO DE UNION	PARAMETROS			
		FORMA	LONGITUD	DIMENSION	OTROS
1	Tornillo	Tipo de cabeza	Longitud	Métrica	Uso de arandela
2	Snap	Longitud	Angulo	Nº de <i>snap</i> s simultáneos	
3	<i>Snap</i> cilíndrico	Diámetro	Angulo	Espesor	
4	Clavo	Longitud	Nº	Forma de la cabeza	
5	Tuerca	Forma de la cabeza	Métrica	Uso de arandela	Momento necesario
6	Anilla seeger eje	Acceso	Diámetro		
7	Anilla seeger agujero	Posición	Diámetro	Tipo de arandela	
8	Tornillo	Forma de la cabeza	Métrica	Longitud	Uso de arandela
9	Grapa	Acceso	Profundidad	Tipo de agujero	
10	Velcro	Acceso	Área de contacto		
11	Cremallera	Acceso	Longitud		

3.4.6 Evaluación cualitativa del diseño mediante Ccheck-List

La evaluación cualitativa se realiza básicamente mediante el uso de *Check-List*. A continuación se presentan tres modelos diferentes.

El primero es el de Behrendt et ál. (1997), quienes consideran que el desmontaje rápido y sin daños es una condición previa para obtener los componentes reutilizables y clasificar los materiales reciclables. Esto es esencial sobre todo cuando se trata de extraer sustancias dañinas. Para la evaluación de un diseño emplean el *Check-List* de la Figura 3.3.

Como segundo método de estimación de la desmontabilidad se ha considerado el método de Desai & Mital (2003). Tras realizar la estimación del tiempo de desmontaje de manera cuantitativa para cada componente, identifican los atributos de diseño con más alta puntuación y la causa de la misma. La solución puede llevar a generar nuevos diseños. Para el caso de la accesibilidad, el análisis detallado se presenta en la Tabla 3.14.

Como tercer método se propone el *Check-List* para evaluar la desmontabilidad del *National Research Council Canada* (NRCC) (Tabla 3.15).

Tabla 3.14: Modificaciones de diseño para mejorar la desmontabilidad desde el punto de vista de la accesibilidad (Desai & Mital, 2003)

ATRIBUTO DE DISEÑO	CARACTERÍSTICA DE DISEÑO	ACCIONES CORRECTIVAS	¿REQUIERE REDISEÑO?
Accesibilidad	Elemento de unión con hendiduras profundas	Rediseñar la hendidura para facilitar el acceso de la herramienta	SI
		Seleccionar un método distinto de unión	SI
	Elemento de unión con hendiduras estrechas	Rediseñar la hendidura para facilitar el acceso de la herramienta	SI
	Elemento de unión con cabeza pequeña	Aumentar el tamaño de la cabeza del elemento de unión	NO
		Seleccionar un método distinto de unión	SI
	Elemento de unión oscuro	Elegir tamaños estándares del elemento de unión	NO
		Aumentar el tamaño del elemento de unión	NO
		Seleccionar un método distinto de unión	SI
	Elemento de unión deformado	Mejorar la rigidez del elemento de unión para soportar los esfuerzos de la operación	NO
	Componente deformado	Mejorar la rigidez del componente para soportar los esfuerzos de la operación	NO
		Rediseñar la sección débil del componente	SI
	Superficie exterior del componente deformada	Mejorar la rigidez del componente para soportar los esfuerzos de la operación	SI
	Necesidad de limpiar antes de acceder	Rediseñar el componente/ interfase del elemento de unión	SI
		Cambiar el material del componente	SI
	Componentes confusos	Rediseñar la secuencia de montaje en función de la prioridad de desmontaje de los componentes	NO
Insuficiente separación para la utilización eficaz de la herramienta	Rediseñar el hueco del componente	SI	
	Rediseñar el elemento de unión	NO	
	Seleccionar un método de unión diferente	SI	

Criterios para el desmontaje	Relevantes para el producto	Características	Calificación (Marcar la casilla correspondiente)			Se desconoce
			A	B	C	
Estructura	<input type="checkbox"/>	Estructura jerárquica	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>
		-		<input type="checkbox"/>		
		Estructura compleja			<input type="checkbox"/>	
Detectabilidad de los elementos de unión	<input type="checkbox"/>	Visible	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>
		Oculto con marcas		<input type="checkbox"/>		
		Oculto			<input type="checkbox"/>	
Accesibilidad de los elementos de unión	<input type="checkbox"/>	Acceso axial en el desmontaje	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>
		Acceso axial		<input type="checkbox"/>		
		De difícil acceso			<input type="checkbox"/>	
Desmontaje de los elementos de unión	<input type="checkbox"/>	Desmontaje sin daños	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>
		Desmontaje con daños en los elementos de unión		<input type="checkbox"/>		
		Desmontaje con daños en los componentes			<input type="checkbox"/>	
Número de elementos de unión	<input type="checkbox"/>	Sin elementos de conexión	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>
		Bajo		<input type="checkbox"/>		
		Alto			<input type="checkbox"/>	
Variedad de elementos de unión	<input type="checkbox"/>	Un único material	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>
		Poca variedad		<input type="checkbox"/>		
		Alta variedad			<input type="checkbox"/>	
Número de componentes	<input type="checkbox"/>	Baja	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>
		Necesarios para la función		<input type="checkbox"/>		
		Alta			<input type="checkbox"/>	
Herramientas requeridas	<input type="checkbox"/>	No necesarias	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>
		Herramientas estándares		<input type="checkbox"/>		
		Herramientas especiales			<input type="checkbox"/>	
Automatización del desmontaje	<input type="checkbox"/>	Automático	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>
		Mecánico		<input type="checkbox"/>		
		Manual			<input type="checkbox"/>	
Evaluación						
A = Situación ideal						
B = Situación aceptable						
C = Necesidad urgente de acción						

Figura 3.3: Check-List de evaluación de un diseño (Behrendt et ál., 1997)

Tabla 3.15: *Check-List* de la desmontabilidad de un producto (NRCC, 2004)

¿Cuáles son los métodos de unión entre las partes y los componentes?	
✓	Por inserción en molde
✓	Cohesión
✓	Adherencia
✓	Unión mecánica
✓	Encastre, ajuste con apriete (<i>Friction fitting</i>)
¿Cuáles son las operaciones adicionales requeridas para el desmontaje?	
✓	Rotura
✓	Taladrado
✓	Desencolado
✓	Calentar
✓	Lubricar
¿Cuáles son las herramientas requeridas para el desmontaje?	
✓	Herramienta especial
✓	Herramienta simple
✓	A mano
¿Cuál es el movimiento de la herramienta requerido para el desmontaje?	
✓	Complejo
✓	Giro
✓	Lineal
¿Cuál es el nivel de dificultad para el desmontaje?	
✓	Piezas pesadas
✓	Piezas pequeñas
✓	Piezas resistentes
✓	Acceso difícil
✓	Difícil de agarrar
✓	Difícil de ver
¿Cuáles son los peligros durante el desmontaje?	
✓	Químico
✓	Eléctrico
✓	Corners/ esquinas vivas
¿Dónde están las instrucciones para el desmontaje?	
✓	Se proporcionan integralmente
✓	Se proporcionan parcialmente

3.5 Fin de vida (EOL) de los electrodomésticos en España

El EOL de los productos industriales en España está legislado según categorías o tipologías de productos. Por ejemplo: los Vehículos Fuera de Uso (VFU), los Aparatos Eléctrico Electrónicos (AEE), etc. Todos ellos siguen un EOL muy parecido al que se muestra en la Figura 3.4. Los metales se reciclan, los plásticos se depositan en el vertedero, aunque en algunos casos se valorizan (flecha roja, por no ser una práctica habitual), y el resto de materiales terminan en el vertedero.

El usuario o el distribuidor del producto industrial, al final de su EOL, debe llevar el mismo a un gestor de residuos autorizado. Dado que en el capítulo 7 se considera una lavadora para la validación de la metodología ECOINDES, se ha considerado oportuno analizar con más detalle el EOL de los AEE en este apartado.

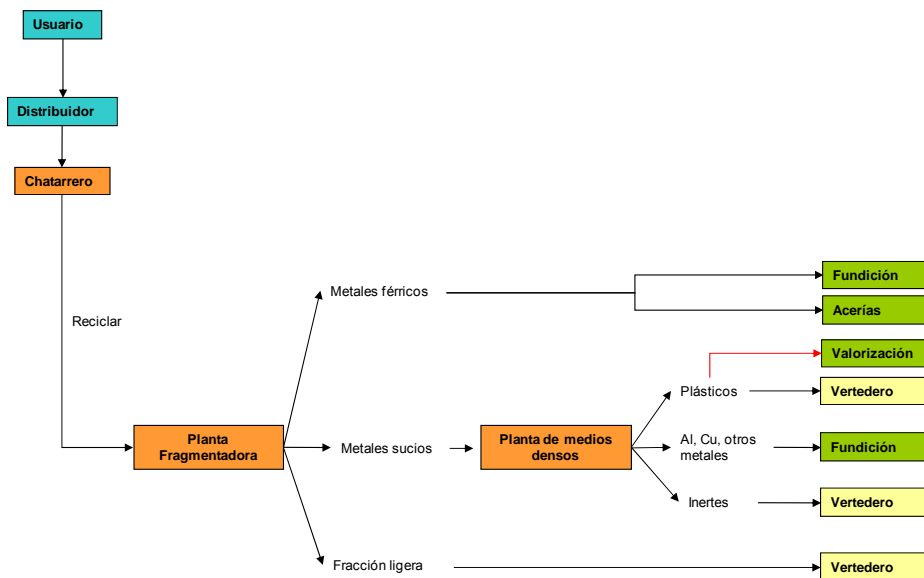


Figura 3.4: EOL genérico de los productos industriales

3.5.1 Fin de vida de los electrodomésticos

Con la entrada en vigor del Real Decreto 208/05, la gestión de los Residuos de los Aparatos Eléctricos Electrónicos (RAEE) en su fin de vida ha variado. Cumpliendo con las obligaciones derivadas del mismo, los fabricantes deben asegurarse del correcto tratamiento de los RAEE, creándose los Sistemas Integrados de Gestión (SIG), cuyo trabajo es asegurar el adecuado fin de vida de los RAEE. Los principales cambios respecto del sistema EOL anterior suponen que el transporte de los RAEE lo deben realizar gestores de residuos autorizados y que los frigoríficos se descontaminen antes de su tratamiento en la planta de reciclaje. Actualmente, los frigoríficos se deben llevar a plantas especializadas para su descontaminación antes de su tratamiento EOL. Antes de la entrada en vigor del RD 2008/95 los frigoríficos eran tratados en las plantas fragmentadoras y los gases CFC (CFC y HCFC) se expulsaban directamente a la atmósfera, aumentando así el efecto invernadero y el agujero de la capa de ozono.

Para conocer el fin de vida que siguen los RAEE se han realizado varias visitas a diferentes gestores de RAEE autorizados de la Comunidad Autónoma de Navarra y de Euskadi: un Centro de Almacenamiento Temporal (CAT), una planta fragmentadora, una planta de tratamiento de frigoríficos y una planta de medios densos. Tras estas visitas, se ha realizado el esquema del fin de vida actual de los electrodomésticos (Figura 3.5).

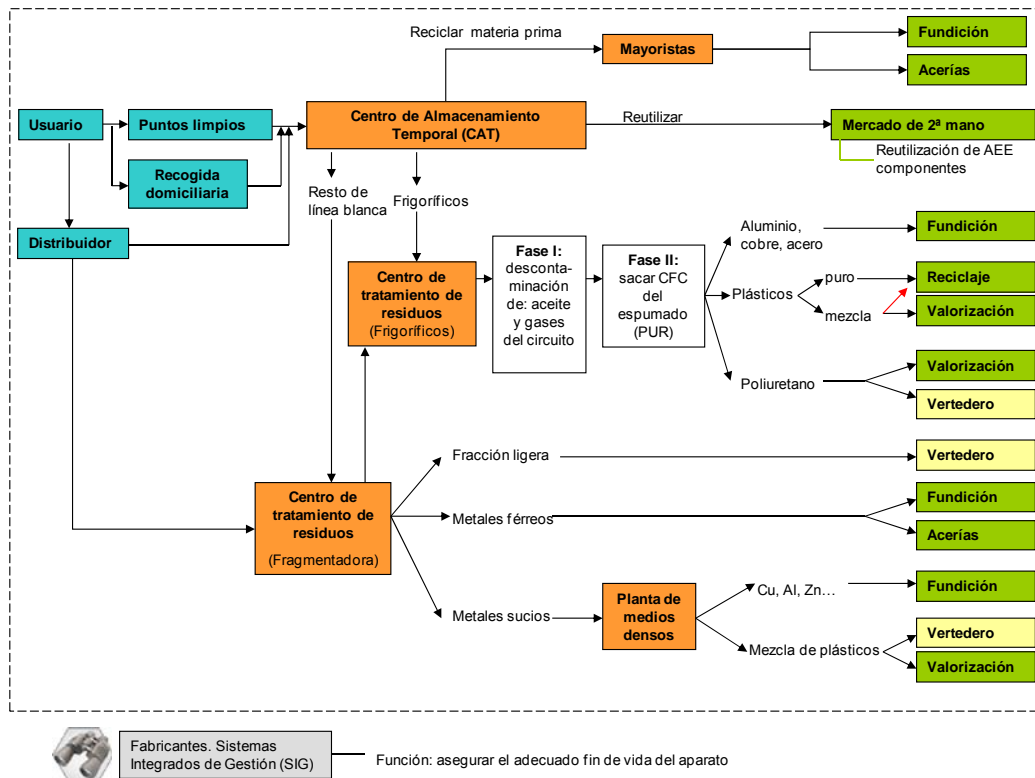


Figura 3.5: Fin de vida electrodomésticos a partir del Real Decreto 208/05

Además de la gestión de los residuos, el RD 208/05 establece unos mínimos de reciclado y reutilización y de valorización por cada AEE (Tabla 3.16).

En la directiva RAEE se entiende por:

“Reutilización: toda operación que permite destinar los RAEE o algunos de sus componentes al mismo uso para el que fueron concebidos. Este término comprende el uso continuado de los aparatos o de algunos de los componentes devueltos a los puntos de recogida o a los distribuidores, empresas de reciclado o fabricantes.”

“Reciclado: el reproceso de los materiales de los residuos, dentro de un proceso de producción, para su finalidad inicial o para otros fines, con la excepción de la valorización energética, que es el uso de residuos combustibles para generar energía a través de su incineración directa con o sin otros residuos, pero con recuperación de calor.”

“Valorización: cualquiera de las operaciones previstas en el anexo II B de la Directiva 75/442/CEE:

R1 Utilización principal como combustible o como otro medio de generar energía.

R2 Recuperación o regeneración de disolventes.

R3 Reciclado o recuperación de sustancias orgánicas que no se utilizan como disolventes (incluidas las operaciones de formación de abono y otras transformaciones biológicas).

R4 Reciclado y recuperación de metales o de compuestos metálicos.

R5 Reciclado o recuperación de otras materias inorgánicas.

R6 Regeneración de ácidos o de bases.

R7 Recuperación de componentes utilizados para reducir la contaminación.

R8 Recuperación de componentes procedentes de catalizadores.

R9 Regeneración u otro nuevo empleo de aceites.

R10 Tratamiento de los suelos, produciendo un beneficio a la agricultura o una mejora ecológica de los mismos.

R11 Utilización de residuos obtenidos a partir de cualquiera de las operaciones enumeradas entre R1 y R10.

R12 Intercambio de residuos para someterlos a cualquiera de las operaciones enumeradas entre R1 y R11.

R13 Acumulación de residuos para someterlos a cualquiera de las operaciones enumeradas entre R1 y R12 (con exclusión del almacenamiento temporal previo a la recogida en el lugar de producción).”

Tabla 3.16: Porcentajes de valorización, reutilización y reciclado de AEE (RD 208/2005)

Categorías de productos	Reciclar y reutilizar	Valorizar
1. Grandes electrodomésticos	75%	80%
2. Pequeños electrodomésticos	50%	70%
3. Equipos de informática y telecomunicaciones	65%	75%
4. Aparatos electrónicos de consumo	65%	75%
5. Aparatos de alumbrado	50%	70%
6. Herramientas eléctricas o electrónicas (excepto las herramientas industriales fijas permanentemente, de gran envergadura e instaladas por profesionales)	50%	70%
7. Juguetes y equipos deportivos o de tiempo libre	50%	70%
8. Aparatos médicos (excepto todos los productos implantados e infectados)	-	-
9. Instrumentos de vigilancia o control	50%	70%
10. Máquinas expendedoras	75%	80%

3.5.2 Centro de Almacenamiento Temporal (CAT)

La empresa Traperos de Emaús de Pamplona es un CAT. Esta empresa recoge RAEEs de los puntos limpios o domicilios (recogidas domiciliarias), y clasifica los aparatos (residuos) por categorías, para después reutilizar aparatos o componentes, reciclar materiales, y los restos se envían a una planta fragmentadora.

En el caso de que la legislación lo requiera, se desmonta el producto para descontaminarlo.

3.5.2.1 Reutilización en el EOL

Para poder reutilizar los aparatos electrodomésticos, en primer lugar, se hace una clasificación según el estado de los mismos (Figura 3.6). Los productos vendibles en mercados de segunda mano se revisan y reparan, y el resto son desmontados para obtener piezas de alto valor, en este caso, piezas reutilizables para su venta.



Figura 3.6: Lavadoras clasificadas

3.5.2.2 Reciclaje de materiales

Además de los componentes que se pueden reutilizar, durante el desmontaje se extraen las piezas con materiales más rentables desde el punto de vista económico, por ejemplo: los motores, las piezas de aluminio y el cable de conexión a la red eléctrica (Figura 3.7). Durante este desmontaje se obtienen materiales no aprovechables que se depositarán en el vertedero. Finalmente se lleva a la planta fragmentadora los restos del aparato eléctrico electrónico para seguir con el proceso de obtención de valor del residuo.



Figura 3.7: Ejemplos de componentes económicamente más rentables

3.5.3 Planta fragmentadora

Chatarras Iruña (Pamplona) es una planta de tratamiento de residuos tipo fragmentadora donde se trituran los RAEEs, se separa la fracción ligera de los metales féreos y de los denominados metales sucios (mezcla de Cu, Al, plásticos, inertes, etc.) (Figura 3.7). La fracción ligera se deposita en vertedero, los metales féreos son enviados a acerías y a fundiciones, mientras que los metales sucios son remitidos a una planta de medios densos.

Si a la planta llegan frigoríficos, éstos se separan del resto de aparatos de línea blanca y se transportan a una planta de tratamiento de frigoríficos.



Figura 3.8: Residuos obtenidos en la planta fragmentadora

3.5.4 Planta de medios densos

Reydesa Recycling, S.A. (Miñano Menor, Alava) es una planta de tratamiento de medios densos. Aquí se separa cada metal de la mezcla de plásticos. Los metales obtenidos: Cu, Al, Zn, latón, etc. son llevados a fundición. Por otra parte, los plásticos pueden terminar en el vertedero o valorizarse. En algunos casos, aunque no es la práctica habitual, el plástico se recicla, por eso se muestra con una línea roja en la Figura 3.5.

3.5.5 Planta de tratamiento de frigoríficos

Ecointegra (Aoiz, Navarra) es una planta de tratamiento de frigoríficos creada por la Fundación Aspace. En la planta de reciclado, en primer lugar, se realiza la descontaminación del aceite del compresor y de los gases del circuito CFC (Fase I). Además, durante esta Fase I, se pueden extraer los componentes fácilmente separables (bandejas, cestones, etc.), y así obtener plásticos puros. Después, se tritura el frigorífico en una cámara estanca con absorción de gases para obtener el CFC (CFC y HCFC) del espumado (Poliuretano, PUR). De este triturado, además de los CFCs se obtienen materiales separados como el aluminio, el cobre, el acero, el poliuretano y una mezcla de plásticos (Figura 3.5).

3.6 Conclusiones

Dentro del diseño para desensamblado, los dos aspectos más importantes para el desarrollo de la tesis son los factores que afectan al proceso de desensamblado y los métodos de evaluación de la desmontabilidad del producto.

3.6.1 Factores que afectan al proceso de desensamblado

Se han identificado 7 factores que afectan significativamente al desensamblado:

1. La legislación.
2. Destino final de las piezas.
3. La estructura del producto.
4. Tipo y número de uniones.
5. Visibilidad del componente y del elemento de unión.
6. Características de la pieza a desensamblar.

7. Las condiciones en que se realiza el desmontaje.

Para cada factor se han identificado las estrategias de diseño a emplear para su mejora (Figura 3.9). Además, se ha establecido la relación que existe entre ellos (Figura 3.2).

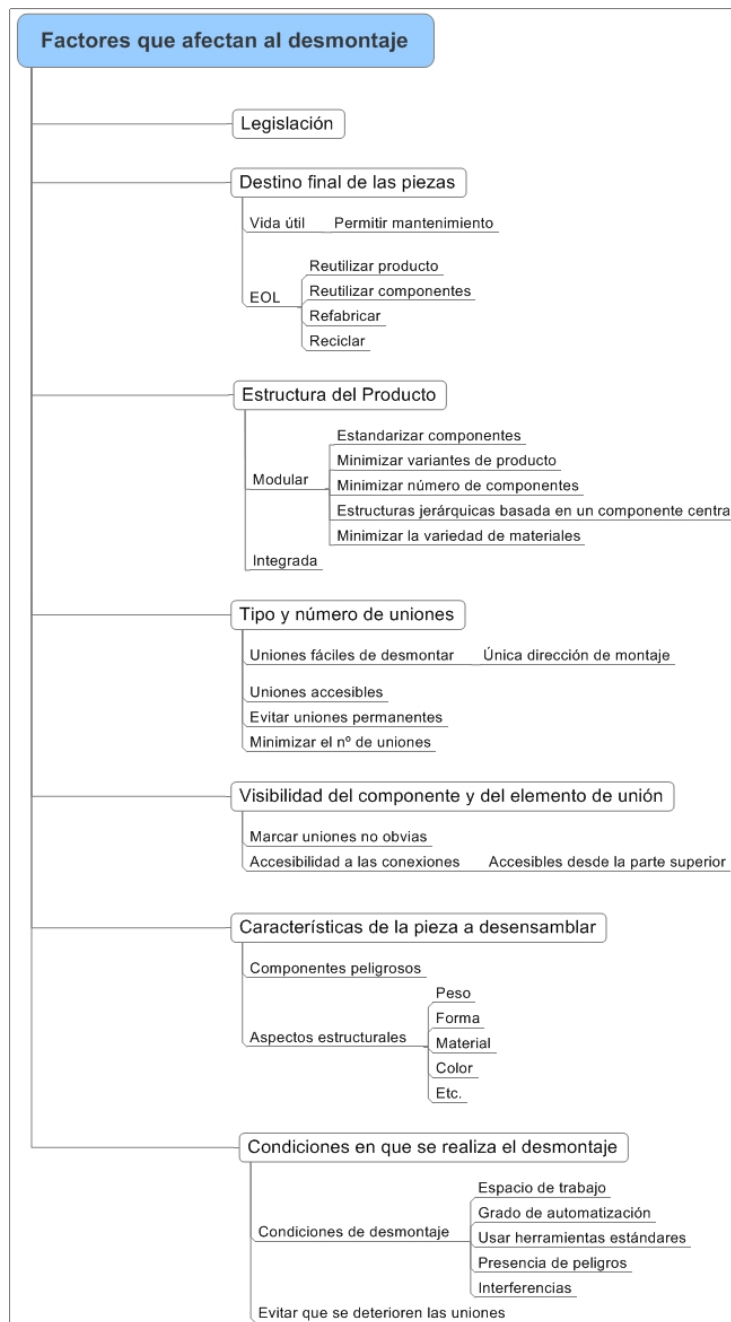


Figura 3.9: Factores que afectan al desensamblado

La legislación puede influir en la estrategia del producto y en las condiciones en que se realiza el desmontaje (también en la seguridad del trabajador).

La estrategia del producto determina el destino final de las piezas al final de su vida útil (EOL): reutilización de producto, reutilización de componentes, refabricación, reciclaje, valorización o deposición en vertedero.

- La reutilización de producto completo obliga a analizar: el modelo de negocio que se quiere ofertar, el modelo de logística inversa, la evolución de la plataforma de producto (piezas a reutilizar, refabricar, etc.), y el sistema fin de vida del producto. Además, se requiere de un diseño de producto robusto, fiable y pensado para desensamblarse.
- La reutilización y refabricación de piezas requiere un análisis similar a la reutilización de producto.
- El reciclaje y la valorización del producto varían en función del escenario EOL real. En la Tabla 3.17 se muestran una serie de escenarios posibles:
 - El escenario E1 es el más optimista y sostenible, se reciclan los materiales: metálicos, plásticos y el resto de materiales inertes sin tener que desmontar ningún componente.
 - El escenario E2 es el segundo más optimista, se reciclan los metales, los plásticos y el resto de inertes que se desmontan. El resto de componentes que no se desmontan se valorizan.
 - En el escenario E3 los metales se reciclan, los plásticos se valorizan y el resto de materiales inertes se depositan en vertedero.
 - El último escenario E4 es el más catastrofista. Se recicla el metal y el resto de materiales se depositan en vertedero. En función del EOL varía la necesidad de diseñar teniendo en cuenta el desensamblado del producto.

Tabla 3.17: Escenarios EOL de un producto

	E1	E2	E3	E4
Metales férricos y no férricos	R	R	R	R
Fracción ligera (plásticos)				
No se desmonta	R	V	V	VER
Se desmonta		R		
Resto de materiales inertes				
No se desmonta	R	V	VER	VER
Se desmonta		R		

R: Reciclaje
 V: Valorización
 VER: Deposición en vertedero

A raíz del sistema actual de los electrodomésticos en España (Figura 3.5) podemos concluir:

- Un producto se descontamina si hay legislación que obliga a ello.
- Se desmonta todo aquello de lo que se puede obtener rentabilidad económica. Esto corrobora la afirmación de Boks & Templemon (1998):

“Los principales obstáculos del futuro del desmontaje y de la tecnología de reciclado son más económicos que tecnológicos.”

- Dentro de la cadena de obtención de valor del residuo existen dos sitios donde se realiza o puede realizarse el desmontaje: en el Centro Autorizado de Tratamiento (CAT) y en la planta de tratamiento de frigoríficos.
- El escenario EOL teórico más real es el escenario E2, aunque depende de los CATs.

La estructura del producto viene determinada en gran medida por la estrategia EOL del producto. Un producto que se quiere desensamblar para reutilizar sus componentes debe tener una estructura del producto que facilite el desensamblado. Hoy en día, esto se logra mediante la utilización de las estructuras mencionadas en la Tabla 3.7.

Los factores sobre los que más se puede actuar a nivel de diseño conceptual del producto son principalmente el sistema de unión, las características de la pieza a desensamblar y la visibilidad de la misma y de los sistemas de unión. A partir de las especificaciones del producto el diseñador tiene libertad de diseño para estos factores.

En menor medida, se puede actuar sobre las condiciones en las que se realiza el desensamblado en el EOL, pero en la fase de diseño conceptual es difícil actuar sobre este factor, dado que la empresa productora no suele desmontar sus productos.

Un producto se desmonta en su EOL si se va a reutilizar, refabricar, reciclar o si se va a descontaminar. Por eso, en función de su estrategia EOL se diseña el producto.

En esta tesis se va a innovar a partir los factores de diseño en el desensamblado (DFD) siguientes:

- Destino final de las piezas.
- Sistema de unión: cantidad y tipo de uniones a emplear.
- Las características de la pieza a desensamblar.
- La visibilidad de las piezas y del elemento de unión.

No se considera la innovación a partir de la estructura del producto, aunque se tendrán en cuenta las estrategias y estructuras definidas en las Tabla 3.2, 3.5 y 3.7.

3.6.2 Conclusiones de la evaluación de la desmontabilidad

La desmontabilidad de un producto se puede evaluar cualitativamente o cuantitativamente en la fase conceptual del diseño de un producto.

La evaluación cualitativa se realiza básicamente mediante el uso de la técnica *Check-List*. El método consiste en evaluar el grado de cumplimiento de unas recomendaciones de diseño para desensamblado. Esta evaluación se realiza de manera rápida y sencilla. Esta técnica se podría utilizar como guía de diseño para DFD.

La evaluación cuantitativa se realiza mediante la estimación de tiempos de desensamblado. Existen diferentes métodos: Dowie & Kelly (1994), Kroll (1995), Desai & Mital (2003) y Sodhi et ál. (2004). No se ha encontrado ningún estudio que evalúe los métodos entre sí y que ofrezca información sobre qué método es mejor para cada operación de desensamblado.

La decisión de desmontar un producto al final de su vida útil depende en gran medida de la rentabilidad económica que se puede obtener. Un aspecto clave en la valoración económica es el coste de desmontaje.

En el capítulo 5 se analizan los métodos de evaluación que mejor se adaptan a cada situación con el fin de seleccionar un método de estimación de tiempos de desmontaje.

4 DESTRIZ- Innovación a partir del DFD

4.1 Introducción

En este capítulo de la tesis se desarrolla el método de innovación DESTRIZ a partir del diseño para desensamblado (DFD) y de la metodología TRIZ. Los factores del DFD son el origen de la innovación y TRIZ aporta la metodología para generar de conceptos de productos innovadores, y la herramienta que guía durante el proceso de innovación.

En la Figura 4.1 se muestran las fases de DESTRIZ. Primero, se define el factor de DFD mediante el análisis funcional. Una vez definido el factor, se generan con él conceptos de producto con las herramientas TRIZ: efectos, principio de idealidad y los principios inventivos. Después, se clasifican los conceptos obtenidos mediante las tres técnicas y se actúa sobre la curva de evolución que sigue el factor analizado.

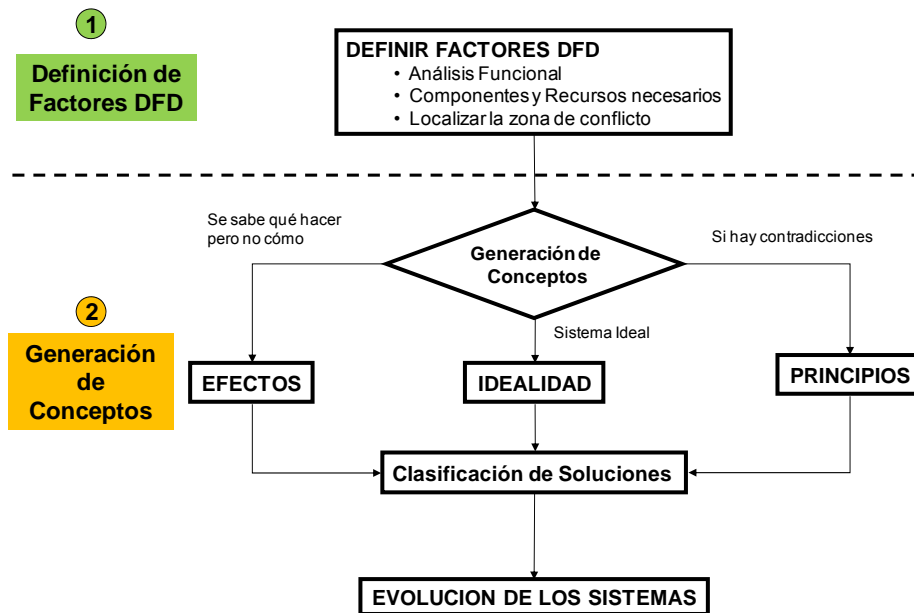


Figura 4.1: Proceso de generación de conceptos de producto

El método DESTRIZ se desarrolla para los tres factores de DFD considerados:

- El sistema de unión.
- La visibilidad de las piezas y del elemento de unión.
- Las características de la pieza a desensamblar.

4.2 Sistemas de unión

4.2.1 Definir un sistema de unión

Para definir correctamente un sistema de unión se realiza el análisis funcional del mismo. En un sistema de unión estándar hay dos componentes a unir y un elemento que realiza la fijación o unión de éstos (Figura 4.2). Un componente soporta al otro (o se soportan conjuntamente), y hay un elemento que realiza la unión, es decir, impide el movimiento relativo entre las piezas. Además, las funciones que debe cumplir cada componente del sistema configuran las características del mismo (dimensión, material, etc.), y el tipo de unión necesaria.

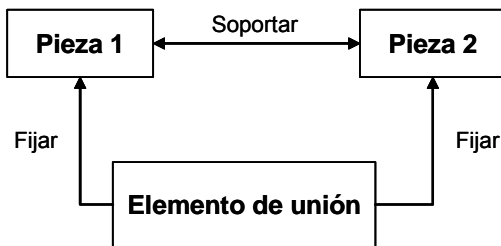


Figura 4.2: Análisis funcional de un sistema de unión genérico

Analizando los componentes pieza a nivel “micro” se entrevé que para cumplir la función soportar intervienen principalmente: las superficiales de contacto (rugosidad, forma, etc.) y el tipo de material de que están compuestos los componentes. En cuanto al elemento de unión, realiza la fijación mediante la forma, la deformación, la absorción, o la adhesión de algún elemento.

Con el análisis funcional, se identifican, por una parte, los componentes necesarios para cumplir la función, y por otra parte, los efectos útiles y perjudiciales existentes, así como las contradicciones que pudieran existir, y las áreas de mejora. A partir de este análisis se comienza con la generación de conceptos.

4.2.2 Generación de conceptos

La segunda fase es la de generación de ideas a partir del análisis funcional realizado. En esta fase se conciben conceptos para resolver la función fijar considerando el desmontaje.

Para la síntesis creativa se emplean las cuatro herramientas de TRIZ mostradas en la Figura 4.1, efectos, principio de idealidad, principios inventivos y evolución de los sistemas.

4.2.3 Efectos

A partir de efectos físicos, químicos o geométricos conocidos por el diseñador se generan ideas para realizar las función fijar (unir-desunir). Como base de datos de efectos se ha empleado el módulo de efectos del programa TechOptimizer V.3 (Figura 4.3).

Este módulo relaciona un listado de 206 funciones con un listado de efectos que se han utilizado para cumplir la función. Como se puede ver en la Figura 4.3, la función de 2° nivel *produce deformation* tiene asociados una serie de efectos a partir de los cuales se ha cumplido la función.

Antes de comenzar con la generación de ideas, se determinan cuáles de las 206 funciones (funciones de 2° nivel) propuestas por el módulo de efectos del programa TechOptimizer V.3 (1999) se pueden utilizar en la función unir-desunir. Para ello, se determinan en primer lugar, las funciones de primer nivel relacionadas con la función. Seguidamente se determinan las funciones de 2° nivel asociadas. El resultado de la abstracción se puede observar en la Tabla 4.1. En ella se muestran las 68 funciones que se analizan para generar ideas a partir de los efectos que tengan asociados.

Finalmente se realiza una tormenta de ideas para generar nuevos conceptos de sistemas de unión. Como guía en la generación se emplea la lista de efectos que proporciona el programa TechOptimizer V.3. En la Tabla 4.3 se pueden observar algunas de las ideas generadas.

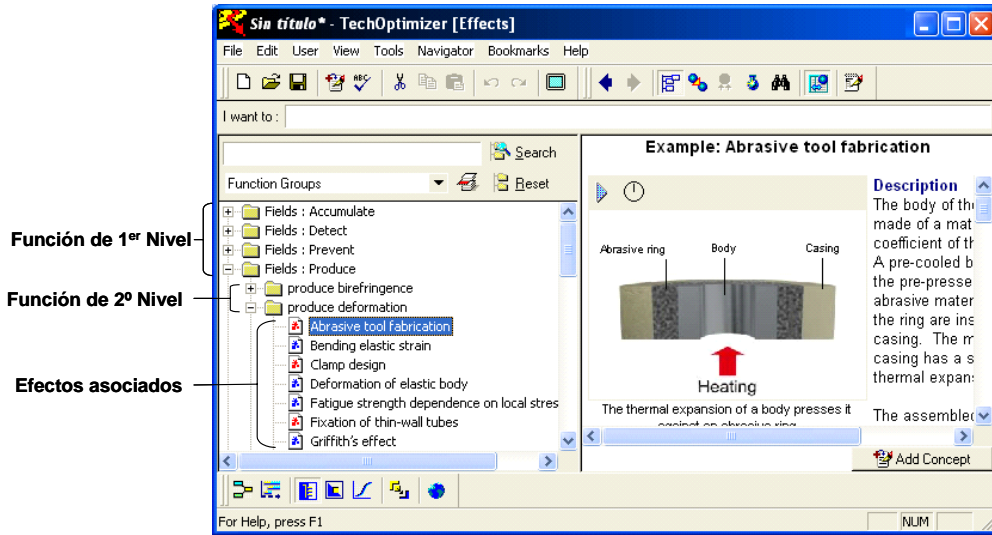


Figura 4.3: Funciones de 2º nivel y efectos asociados (TechOptimizer V.3, 1999)

Tabla 4.1: Relación de la función unir con las funciones del programa TechOptimizer V.3 (1999)

Función	Funciones programa TechOptimizer V.3		
	1er Nivel	2º Nivel	
Fijar (unir) desunir	Fields: produce	Produce deformation	
		Produce forces, energy and momentum	
	Parameter: change		Change dimension
			Change disposition of object
			Change forces, energy and momentum parameters
			Change friction parameters
			Change geometric parameters
			Change mechanical forces
			Change moment of force
			Change pressure
			Change quantity parameters
			Change shape, configuration
			Change solids parameters
			Change surface parameters
		Change temperature	
		Change thermal parameters	
	Parameter: decrease	Decrease forces, energy and momentum parameters	
		Decrease geometric parameters	
	Parameter: increase	Increase deformation parameters	
		Increase geometric parameters	
	Increase solids parameters		
	Increase surface parameters		
Parameter: stabilize	Stabilize deformation parameters		
	Stabilize geometric parameters		
Substance: accumulate	No hay funciones válidas		
Substance: combine		Assemble solid substances	
		Deposit solid substances	
		Deposit structured substances	
		Mix substance	
Substance: eliminate		Break down elements of solid substances	
		Break down solid substances	

Función	Funciones programa TechOptimizer V.3	
	1er Nivel	2º Nivel
		<i>Destroy chemical compounds</i>
		<i>Destroy structured substances</i>
		<i>Destroy technical objects and substances</i>
		<i>Remove chemical compounds</i>
		<i>Remove elements of solid substances</i>
		<i>Remove particles</i>
		<i>Remove solid substance</i>
	<i>Substance: form</i>	<i>Bend solid substances</i>
		<i>Flatten elements of solid substances</i>
	<i>Substance: move</i>	<i>Lift solid substances</i>
		<i>Move gas</i>
		<i>Move liquid substances</i>
		<i>Move particles</i>
		<i>Move solid substances</i>
		<i>Move structured substances</i>
		<i>Move technical objects and substances</i>
		<i>Orient solid substances</i>
		<i>Orient structured substances</i>
		<i>Rotate solid substances</i>
	<i>Vibrate solid substances</i>	
	<i>Substance: phase change</i>	<i>Melt solid substances</i>
		<i>Sublimate solid substance</i>
	<i>Substance: produce</i>	<i>Produce elements of solid substances</i>
		<i>Produce geometric objects</i>
		<i>Produce liquid substances</i>
		<i>Produce loose substances</i>
		<i>Produce particles</i>
		<i>Produce porous substances</i>
		<i>Produce solid substances</i>
		<i>Produce structured substances</i>
	<i>Produce technical objects and substances</i>	
	<i>Substance: separate</i>	<i>Clean elements of solid substances</i>
		<i>Clean solid substances</i>
		<i>Disassemble solid substances</i>
		<i>Dry solid substances</i>
		<i>Separate particles</i>
		<i>Separate solid substances</i>

4.2.4 Principio de idealidad

Tal y como se ha descrito anteriormente, un sistema de unión estándar tiene un elemento de unión que realiza la fijación de las piezas. Pero, considerando el principio de idealidad no debería necesitar ningún elemento de unión, porque las piezas a unir deberían realizar ellas mismas su fijación (Figura 4.4 a y b). Para buscar soluciones al sistema ideal, es decir, fijar las piezas sin utilizar otros componentes, se utilizan los efectos, los principios inventivos (si se plantea el problema como una contradicción), o el propio conocimiento del diseñador (*Know-How*).

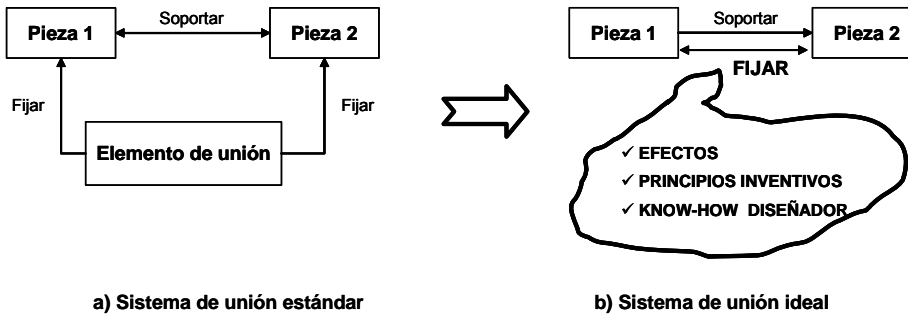


Figura 4.4: Análisis funcional de un sistema de unión ideal

Algunas de los conceptos generados buscando la idealidad de la unión han sido los siguientes: unión por ajuste, unión por forma (p.ej.: clipaje), unión magnética, unión por rozamiento, excéntrica, etc.

4.2.5 Principios inventivos

Para la generación de ideas con los principios inventivos se identifican contradicciones técnicas y contradicciones físicas a partir del sistema de unión.

Contradicciones técnicas: para crear contradicciones técnicas se siguen dos pasos:

- 1.- Primero se determina cuáles de los 39 parámetros ingenieriles afectan al desmontaje del sistema de unión. Tras dicho análisis, el número inicial de parámetros se ha reducido a 30 (Tabla 4.2).

Tabla 4.2: Parámetros ingenieriles que afectan al desensamblado del sistema de unión

1.- Peso de un objeto en movimiento	24.- Pérdida de información
3.- Longitud de un objeto en movimiento	25.- Pérdida de tiempo
5.- Área de un objeto en movimiento	26.- Cantidad de sustancias
7.- Volumen de un objeto en movimiento	27.- Fiabilidad
9.- Velocidad	29.- Precisión en la fabricación
10.- Fuerza	30.- Factores perjudiciales que actúan en el objeto
11.- Tensión/ presión	31.- Efectos perjudiciales
12.- Forma	32.- Facilidad de elaboración
13.- Estabilidad de un objeto	33.- Facilidad de uso
14.- Resistencia	34.- Facilidad de reparar
15.- Durabilidad de un objeto en movimiento	35.- Adaptabilidad
17.- Temperatura	36.- Complejidad del mecanismo
19.- Energía consumida por un objeto en movimiento	37.- Complejidad de control
21.- Potencia	38.- Nivel de automatización
22.- Pérdida de energía	39.- Productividad

- 2.-. En segundo lugar se identifican las posibles contradicciones que pueden ocurrir entre los 30 parámetros ingenieriles. Para ello, se tiene en cuenta que la mejora de un parámetro empeora otro. Una vez determinadas las contradicciones existentes, la matriz de contradicciones selecciona los principios inventivos de Altshuller que se

pueden emplear para eliminar la contradicción. Por ejemplo: si se desea desmontar una unión con un componente pesado (parámetro: el peso de un objeto móvil), la velocidad de desmontaje seguramente será lenta debido al peso (parámetro: velocidad). A la persona que realiza el desmontaje le interesa que aunque la pieza sea pesada la velocidad de desmontaje sea alta, y así surge la contradicción. Para romper esta contradicción se podrían emplear los principios inventivos 2, 8, 15 y 38 (Figura 4.5). El significado de cada principio es:

- 2.- Extracción
- 8.- Contrapeso
- 15.- Dinamización
- 38.- Utilización de fuertes oxidantes

		Parámetro									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Parámetro que empeora	Parámetro que mejora	Peso de objeto móvil	Peso de objeto estacionario	Longitud de objeto móvil	Longitud de objeto estacionario	Área de objeto móvil	Área de objeto estacionario	Volumen de objeto móvil	Volumen de objeto estacionario	Velocidad	Fuerza
		1	Peso de objeto móvil			15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 34		29, 2, 40, 28	
2	Peso de objeto estacionario				10, 1, 29, 35		35, 30, 13, 2		5, 35, 14, 2		8, 10, 19, 35

Figura 4.5: Ejemplo parcial de la matriz de contradicciones

Al diseñar utilizando estos principios inventivos se puede llegar a eliminar el compromiso (*trade-off*) entre los parámetros (peso de un objeto móvil y velocidad). Al hacer una recopilación de los principios que se deberían emplear para resolver las contradicciones generadas entre los 30 parámetros, nos encontramos con que se deben utilizar todos principios inventivos de Altshuller, es decir, los 40.

Contradicciones físicas: al igual que con las contradicciones técnicas, se trata de identificar posibles contradicciones físicas en un sistema de unión. En este caso, una unión entre piezas debe existir para que funcione un diseño determinado, pero por el contrario, no debe existir para desmontar el producto en su mantenimiento o en su EOL (Figura 4.6). Para eliminar esta contradicción debemos utilizar el principio de separación en el tiempo. Además, se pueden buscar soluciones utilizando también los efectos, o se puede tener en cuenta la relación existente entre el principio de separación en el tiempo y los 40 principios inventivos.

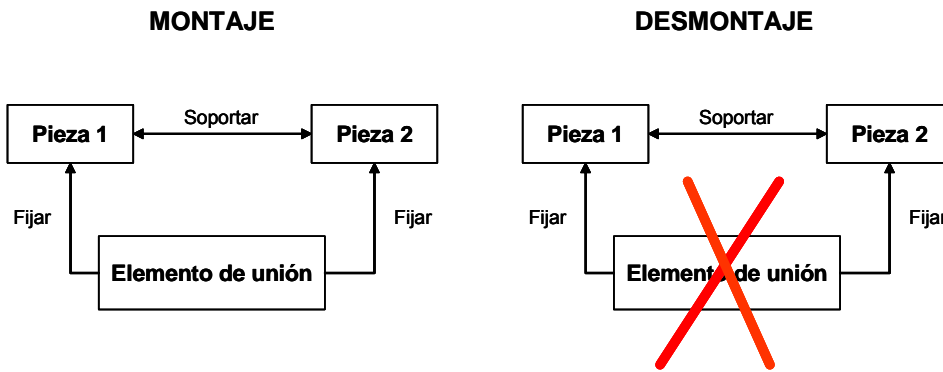


Figura 4.6: Contradicción física, principio de separación en el tiempo

Para solucionar esta contradicción se podría desarrollar un nuevo concepto de producto a partir de materiales de memoria de forma. Por ejemplo, un nuevo clipaje. El montaje se realiza de forma tradicional, y el desmontaje se realizaría variando la temperatura, con un incremento de temperatura determinado el material de memoria de forma del clipaje varía su forma, y se desensambla solo.

4.2.6 Clasificación de los conceptos de producto

En esta sub-fase se agrupan las ideas obtenidas en familias o grupos de soluciones análogas, o que tengan la misma finalidad. En la Tabla 4.3 se muestran agrupadas algunas de las ideas obtenidas. Analizando las ideas se puede observar que hay dos tipos de ideas: unas ya conocidas por los diseñadores de las empresas (conceptos tradicionales), y otras que se escapan al campo de conocimiento del diseñador tradicional de la empresa (conceptos nuevos), y por tanto ayudan a romper la inercia psicológica de éste.

Las ideas tradicionales las aplican actualmente los diseñadores para realizar las uniones. Estas ideas surgen de su *Know-How*, algunas de éstas son: la soldadura, el encolado, la unión por apriete, la unión atornillada, las pestañas, etc. Si se ordenan éstas de mayor a menor desmontabilidad tenemos: adherencia, velcro, pinzas, pestañas, ajuste deslizante, atornillado, ajuste por apriete, soldado con el mismo material y soldado con otro material o pegado.

Por otro lado, ahora surgen nuevas ideas de sistemas de unión. Estas nuevas ideas de unión se escapan al campo de conocimiento del diseñador. Dentro de esta categoría se considera a la unión por medio de materiales con memoria de forma (mmf), a la unión mediante fluidos reológicos, etc. Aplicando este tipo de uniones, el concepto de unión y

de producto cambia radicalmente. Ya no se diseñaría una unión por tornillo-tuerca, ni por clipajes. Ahora, si se realiza una unión con un material de memoria de forma hay que tener en cuenta que para el desensamblado es necesario aplicar corriente eléctrica, o variar la temperatura para que el material cambie su forma, y se suelte sin necesidad de contacto directo.

Tabla 4.3: Conceptos de sistemas de unión generados

IDEAS	DESMONTAJE
Calentar o enfriar las piezas	Dilatación de piezas. P.ej.: zunchado, tipo abrazadera
	Calentamiento localizado (rodamientos)
	Bimetales
	Adhesión por calor
Deformar un cuerpo	Deformar un cuerpo para desmontar. P.ej.: flexionar, torsionar, etc.
	Pinzas y utillajes
	Materiales con memoria de forma
	Transmisión de par por elementos flexibles
Ejercer presión sobre otro cuerpo	Bolas (tipo chaveta, buje cónico, etc.)
	Palanca, excéntrica, leva, cuña
	Deformación de un cuerpo (elástico) y así se produce la unión
	Material de memoria de forma (tipo chaveta)
	Uniones escamoteables
Fuerza de unión magnética	Fluidos reológicos, al aplicar campo magnético o eléctrico aumenta la viscosidad Un campo magnético mueve una pieza que hace el cierre de la unión
Fuerza de unión eléctrica	Atracción entre dos cuerpos
Unión por adhesión	Adhesivos (unión química), colas
Fuerza neumática, hidráulica	Un elemento se infla y ejerce la presión de unión
Fijación por solidificación de una sustancia	Un líquido pasa a sólido. P.ej.: a temperatura ambiente sólido
Las piezas a unir realizan ellas mismas la unión	Velcro, uniones por apriete, por forma (pestañas), etc.

4.2.7 Evolución del factor tipo de unión

A partir de la Tabla 4.3 y ordenando las ideas en función del elemento de unión obtenemos una posible evolución del tipo de unión (Figura 4.7). La evolución viene determinada por la segmentación del elemento que realiza la unión. Esta evolución coincide con otras mencionadas por Fey et ál. (1999), Mann (1999) y Petrov (2002), en la que la evolución pasa por los estados de la materia: sólido, líquido, gas y por la aplicación de otros campos.

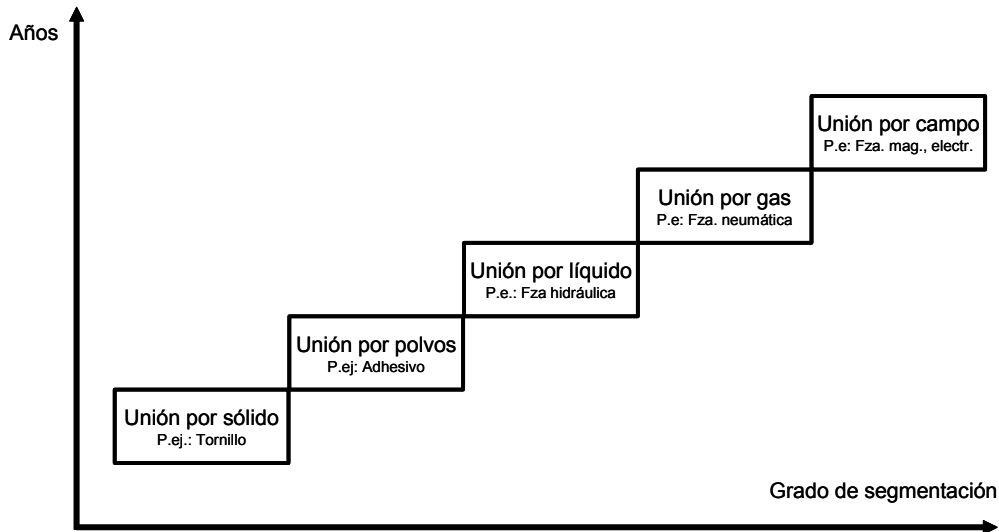


Figura 4.7: Evolución del factor tipo de unión

4.2.8 Innovación a partir del sistema de unión

Para innovar a partir del sistema de unión se sigue el proceso de la Figura 4.8. En primer lugar se debe determinar dónde se encuentra el sistema de unión analizado dentro de la curva de evolución de los sistemas de unión. Seguidamente se busca una posible evolución con la que generar nuevos conceptos de producto. Para ayudar a la generación de ideas innovadoras se utilizan los grupos de ideas de las Tabla 4.3.

En los siguientes sub-apartados se muestran dos ejemplos de innovación a partir del sistema de unión. El primero de ellos es un puntal extensible empleado en la construcción, y el segundo, es un freno-embrague.

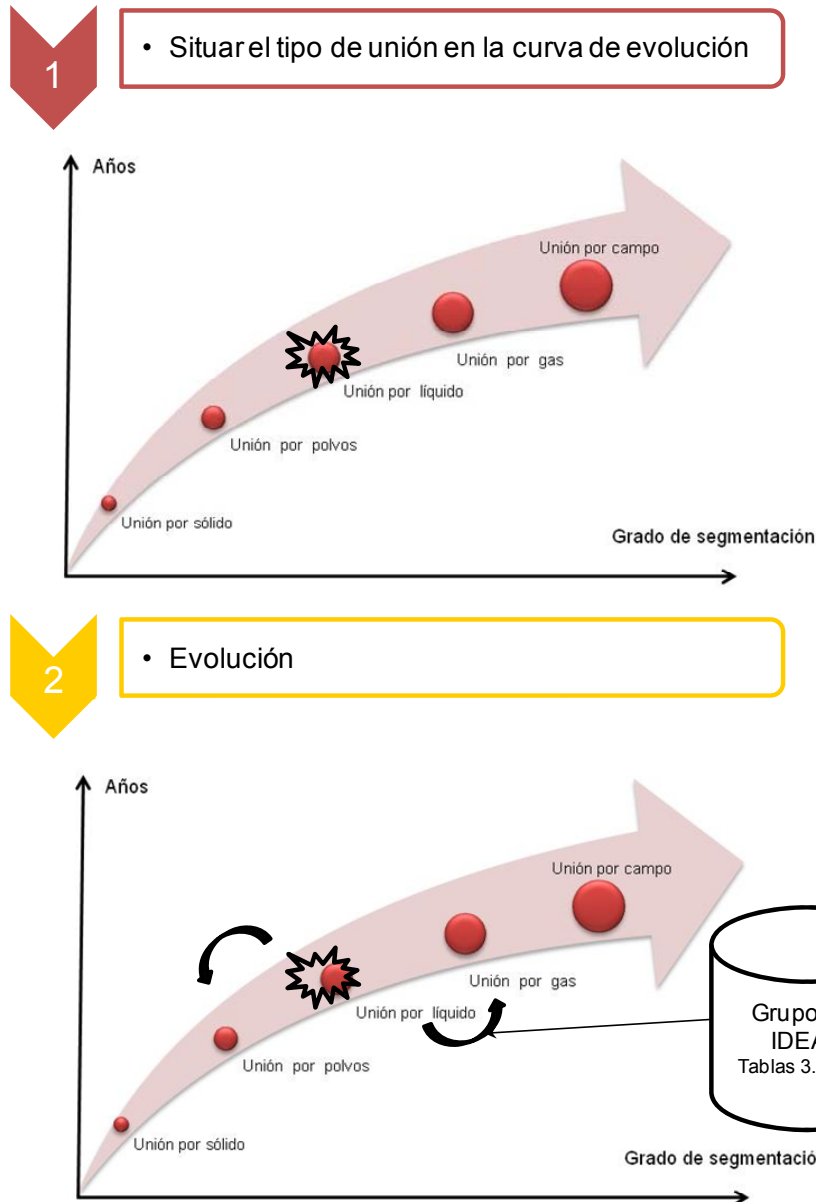


Figura 4.8: Innovación a partir del sistema de unión

4.2.8.1 Ejemplo de un puntal extensible

A continuación se muestra un ejemplo de generación de nuevos conceptos de producto a partir del sistema de unión husillo-tuerca de un puntal extensible empleado en construcción (Figura 4.9).

El puntal se utiliza principalmente para soportar cargas de compresión del encofrado. Normalmente está compuesto por dos tubos (exterior e interior), un pasador y el sistema husillo-tuerca. El montaje en obra se realiza mediante dos movimientos. El primero es un ajuste rápido en altura, y se realiza mediante los agujeros de los tubos y el pasador. El segundo es el ajuste final de apriete, y se realiza mediante el mecanismo husillo-tuerca. Para desmontar el puntal se desenrosca la tuerca, aunque normalmente es necesario golpear la tuerca con un martillo.



Figura 4.9: Puntal extensible o regulable

Para generar nuevos conceptos de producto potencialmente innovadores desde la perspectiva del sistema de unión debemos seguir los pasos del gráfico de la Figura 4.8. Primero se debe localizar la situación del mecanismo husillo-tuerca dentro de la gráfica de evolución de la Figura 4.7. ¿Dónde se encuentra el mecanismo husillo tuerca actual?, se trata de una unión por sólido.

El segundo paso es generar nuevos conceptos de producto, pero ¿cómo?, es sencillo, se trataría de realizar un nuevo diseño en el cual el mecanismo de unión no sea un sistema sólido, o que la fuerza de unión-desmontaje no sea mecánica. Como ayuda tenemos la gráfica de evolución de la Figura 4.8. Observando la evolución a un diseñador se le podrían ocurrir estos nuevos conceptos:

- Diseñar un mecanismo cuyo sistema de unión sea un sistema de unión por polvos. ¿Cómo?, si no se le ocurre ninguna idea al equipo de diseño observando

la gráfica, y la batería de ideas que acompaña a la gráfica (Tabla 4.3), se debería de buscar ideas en la siguiente etapa de evolución del sistema de unión.

- Diseñar un mecanismo cuyo sistema de unión sea por un sistema de unión por líquido. ¿Cómo? Por ejemplo, un puntal hidráulico, un sistema que actuara como un cilindro hidráulico.
- Otra posibilidad es que el mecanismo de unión sea un gas. Por ejemplo, se podría pensar en un sistema tipo globo para soportar la carga. Se infla con aire para soportar la carga, y se desinfla para desmontarlo.
- Otra posible alternativa es diseñar un mecanismo cuyo sistema de unión sea un campo eléctrico, magnético, etc. Por ejemplo, se diseña un puntal magnético que soporte la carga. Para activarlo se activa el campo magnético y para desactivarlo (desmontar) se desactiva el campo magnético.

Se han obtenido cuatro nuevos conceptos de puntales extensibles, ninguno de ellos es similar al actual. Además, como en el mercado no existe ninguno de ellos, se puede decir que es nuevo para las empresas y para el mercado. A priori, los cuatro nuevos conceptos se desmontan y montan fácilmente; bastaría con pulsar un botón para accionarlo, por lo que no habría que realizar fuerza para soltarlos. Se puede decir que cualquiera de ellos tiene un alto potencial innovador.

4.2.8.2 Ejemplo de un freno-embrague

Por otra parte, puede ocurrir que un producto tenga cubiertas todas las etapas de la evolución del factor considerado, como es el caso del freno-embrague (Figura 4.10). Analizando el sistema de accionamiento del embrague, éste puede ser: mecánico (unión por sólido), hidráulico (unión por líquido), neumático (una unión por gas), electromagnético (unión por campo).

En este caso, para innovar se deberían combinar los conceptos propuestos en la Tabla 4.3. Por ejemplo:

- El elemento que realiza el embragado- desembragado es de un material de memoria de forma (unión por sólido). Para embrague y desembrague necesita activarse con un campo eléctrico (unión por campo). Se hace pasar una corriente eléctrica hasta calentarlo a una temperatura determinada para que el elemento se encoja, si se enfría por debajo de la temperatura de transición recupera su longitud inicial.

- Otra combinación posible sería emplear fluidos reológicos (unión líquido). Mediante un campo eléctrico (unión por campo) se puede variar la viscosidad del líquido, y así, según la necesidad hacerlo más o menos viscoso.

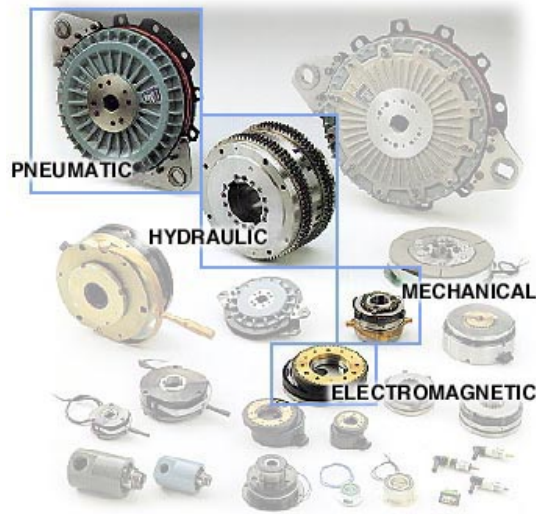


Figura 4.10: Tipos de embragues-frenos de la empresa GOIZPER S.Coop.

En este caso tenemos dos nuevos conceptos de embragues-frenos, ninguno de ellos parece a los que existen actualmente. Además, en el mercado no existe ninguno de ellos, es por tanto, nuevo para las empresas y para el mercado. Al igual que en el caso del puntal cualquiera de ellos tiene un alto potencial innovador.

4.3 Visibilidad del elemento de unión

En este apartado se desarrolla como se podría la visibilidad del componente del producto y del elemento de unión. Las consideraciones para ambos son las mismas por lo que se tratan conjuntamente bajo el nombre de elemento de unión.

4.3.1 Definir la visibilidad del elemento de unión

Para definir correctamente la visibilidad de un sistema de unión se realiza un análisis funcional del mismo (Figura 4.11). Las funciones que debe de cumplir cada componente del sistema configuran las características del mismo y la forma de identificación necesaria.

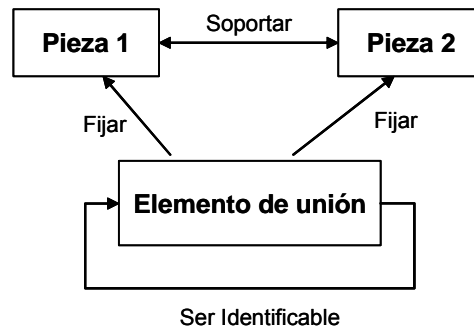


Figura 4.11: Análisis funcional de la visibilidad del elemento de unión

Para cumplir la función ser identificables (visible) intervienen básicamente: la superficie del elemento (rugosidad, color) la forma, y el tipo de material de que está compuesto.

Con el análisis funcional, se han identificado, por una parte, los factores que intervienen para cumplir para cumplir la función, y por otra parte, las áreas de mejora. A partir de este análisis se comienza con la generación de ideas.

4.3.2 Generación de conceptos

La segunda fase es la de generación de ideas a partir del análisis funcional realizado. Esta fase consiste en concebir ideas para resolver la función ser identificable desde la perspectiva del desmontaje. Para la síntesis creativa se emplean las tres herramientas de TRIZ mostradas en la Figura 4.1, efectos, principio de idealidad y principios inventivos.

4.3.3 Efectos

A partir de efectos físicos, químicos o geométricos conocidos por el diseñador se generan ideas para realizar la función ser identificable. Al igual que en el caso del sistema de unión se utiliza el módulo de efectos del programa TechOptimizer V.3 (1999).

En primer lugar, se determinan las funciones de primer nivel relacionadas con la función identificar. A partir de éstas, se identifican las funciones de segundo nivel asociadas a la función. El resultado de la abstracción se puede observar en la Tabla 4.4. En ella se muestran las 55 funciones que se analizan para generar ideas a partir de los efectos que tengan asociados.

Finalmente se realiza una tormenta de ideas para generar conceptos que ayuden a identificar el sistema de unión. Para realizar el *brainstorming* se utiliza la lista de

efectos del software TechOptimizer V.3 como guía. En la Tabla 4.6 se pueden observar algunas de las ideas generadas.

Tabla 4.4: Funciones del programa TechOptimizer V.3 (1999) empleadas para generar ideas

Función	Funciones programa TechOptimizer V.3	
	1er Nivel	2º Nivel
Ser visible Ser identificable	Parameter: change	Change absorption of electromagnetic waves
		Change chemical parameters
		Change color
		Change concentration of charged particles
		Change concentration parameters
		Change deformation parameters
		Change disposition of object
		Change dimension
		Change electrical parameters
		Change electrical resistance
		Change electromagnetic induction parameters
		Change electromagnetic waves or light parameters
		Change friction parameters
		Change geometric parameters
		Change image
		Change index of refraction
		Change light propagation
		Change magnetic field parameters
		Change quantity parameters
		Change reflection coefficient
		Change shape, configuration
		Change solids parameters
		Change surface parameters
		Change temperature
	Change thermal parameters	
	Change viscosity	
	Parameter: decrease	Decrease geometric parameters
		Decrease temperature
		Decrease thermal parameters
	Parameter: increase	Increase deformation parameters
		Increase geometric parameters
		Increase solid parameters
		Increase surface parameters
		Increase temperature
	Parameter: measure	Increase thermal parameters
		Measure deformation parameters
		Measure forces, energy and momentum parameters
		Measure quantity parameters
		Measure solid parameters
	Substance: combine	Measure surface parameters
		Measure thermal parameters
		Deposit solid substances
	Substance: detect	Deposit structured substances
		Mix substance
		Detect chemical compounds
		Detect elements of solid substances
	Substance: form	Detect gas
Detect solid substance		
Substance: move	Bend solid substances	
	Flatten elements of solid substances	
		Orient solid substances

Función	Funciones programa TechOptimizer V.3	
	1er Nivel	2º Nivel
		<i>Orient structured substances</i>
		<i>Rotate solid substances</i>
		<i>Vibrate solid substances</i>
	<i>Substance: produce</i>	<i>Produce elements of solid substances</i>
		<i>Produce gas</i>

4.3.4 Principio de idealidad

Según el principio de idealidad la visibilidad del elemento de unión debe ser proporcionada por el propio elemento de unión. En este caso se buscan soluciones que satisfacen este principio.

Algunas de las ideas generadas buscando la idealidad de la unión han sido las siguientes: color diferente al resto de las piezas, tener una forma característica que hace que se identifique fácilmente, etc.

4.3.5 Principios inventivos

Para la generación de conceptos con los principios inventivos se identifican contradicciones técnicas y contradicciones físicas en el factor visibilidad del sistema de unión.

Contradicciones técnicas: Para crear contradicciones técnicas se siguen dos pasos:

- 1.- Primero se determina cuáles de los 39 parámetros ingenieriles afectan a la visibilidad del sistema de unión. En la Tabla 4.5 se muestran los 23 parámetros que afectan a la visibilidad del elemento de unión.

Tabla 4.5: Parámetros ingenieriles que afectan a la visibilidad del sistema de unión

4.- Longitud de un objeto estacionario	26.- Cantidad de sustancias
5.- Área de un objeto estacionario	27.- Fiabilidad
7.- Volumen de un objeto estacionario	29.- Precisión en la fabricación
12.- Forma	30.- Factores perjudiciales que actúan en el objeto
13.- Estabilidad de un objeto	31.- Efectos perjudiciales
16.- Durabilidad de un objeto estacionario	32.- Facilidad de elaboración
17.- Temperatura	34.- Facilidad de reparar
18.- Brillo	35.- Adaptabilidad
19.- Energía consumida por un objeto estacionario	36.- Complejidad del mecanismo
23.- Pérdida de sustancia	37.- Complejidad de control
24.- Pérdida de información	38.- Nivel de automatización
25.- Pérdida de tiempo	

- 2.-. En segundo lugar, se identifican las posibles contradicciones que pueden ocurrir entre los 23 parámetros ingenieriles. Para ello, se tiene en cuenta que la mejora de un parámetro empeora otro. Una vez determinadas las contradicciones existentes, la

matriz de contradicciones selecciona los principios inventivos de Altshuller que se pueden emplear para eliminar la contradicción.

Contradicciones físicas: Al igual que con las contradicciones técnicas, se trata de identificar posibles contradicciones físicas que pueden surgir con la visibilidad del elemento de unión. En este caso, la visibilidad del sistema de unión debe existir para poder montar y desmontar, pero por el contrario, en algunos casos, no debe existir en la fase de uso para que el usuario no se percate del elemento de unión (Figura 4.12). Para eliminar esta contradicción debemos utilizar el principio de separación en el tiempo. Además, se pueden buscar soluciones utilizando también los efectos, o si no, se puede tener en cuenta la relación existente entre el principio de separación en el tiempo y los 40 principios inventivos.

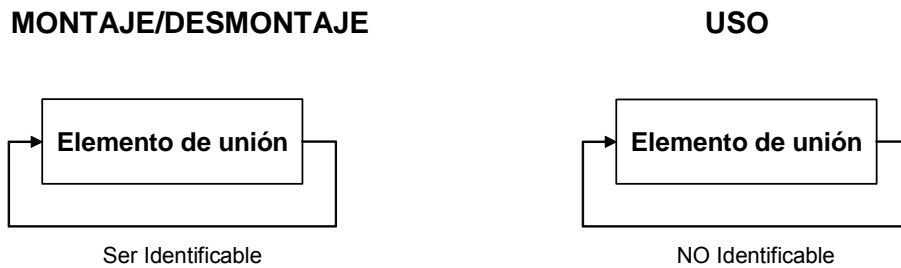


Figura 4.12: Contradicción física – visibilidad del elemento de unión

Soluciones posibles: utilizar un tapón para ocultar el elemento de unión en el uso. En el desmontaje habría que quitarlo para acceder a la unión, etc.

4.3.6 Clasificación de los conceptos de producto

En esta sub-fase se agrupan las ideas obtenidas en familias o grupos de soluciones análogas, o que tengan la misma finalidad. En la Tabla 4.6 se muestran agrupadas algunas de las ideas obtenidas según cuatro de los cinco sentidos del ser humano.

Además, el disponer de información sobre el producto ayuda a la identificación de los elementos de unión. Por ejemplo: el plano de conjunto facilita la localización de los distintos componentes del producto.

Tabla 4.6: Conceptos para identificar un sistema de unión

SENTIDO	IDEAS	
Vista	Forma	La fuerza de unión deforma un componente y así se identifica la unión
		El elemento de unión cambia de forma debido a la fuerza de unión
		La geometría característica del elemento de unión. P.ej.: material de memoria de forma con forma llamativa
		El calor degrada la unión y queda identificada
		En uniones no visibles, un elemento indica que hay unión. P.ej.: tipo boya
	Color	El material de unión absorbe la luz y cambia de color. P.ej.: señales de emergencia (materiales crómicos)
		Mediante un ultrasonido se causa luminiscencia
		El material de unión absorbe la humedad y cambia de color
		El material de unión atrae la suciedad y cambia de color
		El elemento de unión cambia de color debido a la fuerza de unión
		Una cámara termográfica detecta la unión por variación de temperatura
		Pintar el elemento de unión
	Reflexión	Variar el ángulo de reflexión de la luz
		Una lente que deja ver sólo las uniones
Marcar uniones	Marcar las uniones mecánicamente. P.ej. muescas	
	Marcar las uniones con luz. P.ej.: Tipo diodo led, tipo puntero láser, generar una imagen, fibra óptica	
	Partículas magnéticas que marcan la unión bajo un campo magnético	
	La fuerza de unión corta un cable y se podría detectar ese cortocircuito	
Tacto	Temperatura	Por la temperatura de la unión: frío o caliente
	Rugosidad	El acabado superficial
	Vibración	Una vibración indica ubicación de la unión
Oído		Un sonido indica la ubicación de la unión
Olfato		Las uniones emiten un olor característico

4.3.7 Innovación a partir de la visibilidad del elemento de unión

Al igual que ocurre en el sistema de unión, en la visibilidad del elemento de unión también se dan unos estadios diferenciados. Estos son los sentidos a través de los cuales el ser humano puede identificar el elemento de unión (Figura 4.13).

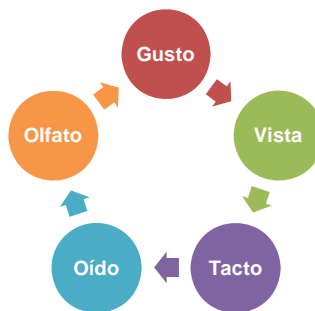


Figura 4.13: Los 5 sentidos del ser humano

Para ayudar en el proceso de innovación se emplea el diagrama de la Figura 4.14. En primer lugar, se debe determinar cuál de los 5 sentidos se emplea actualmente para la identificar el elemento de unión. Seguidamente se generan nuevas formas de identificar el elemento de unión con los otros sentidos o con el actual. Para ayudar a la generación de ideas innovadoras se utilizan los grupos de ideas de las Tabla 4.6.

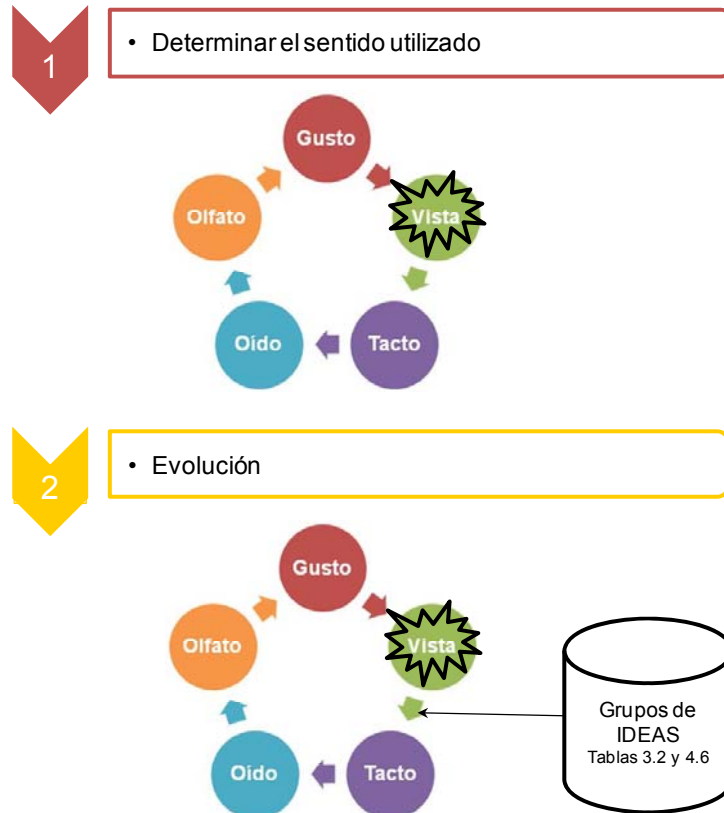


Figura 4.14: Innovación a partir de la visibilidad del elemento de unión

4.3.7.1 Ejemplo de aplicación

El objetivo de este ejemplo es concebir conceptos de producto que ayuden a vender más electrodomésticos en el establecimiento de venta.

Normalmente a la hora de la compra de un electrodoméstico en una gran superficie, éstos se exponen en lo que se denomina *un lineal*. Todos los electrodomésticos del mismo tipo están colocados en línea con un cartel que se indica las características más relevantes del producto.

En la mayoría de los casos se emplea el sentido de la vista para seleccionar el aparato que se compra. La reacción de compra de un producto viene determinada no sólo por lo bien que pueda funcionar, sino también por el aspecto que tiene, por lo atractivo que parece, e incluso por la nostalgia que suscita en nosotros. Por tanto, todo aquello que pueda sorprender en ese primer contacto comprador-producto ayuda a mejorar positivamente las emociones del comprador respecto del producto, pudiendo incluso llegar a la compra del mismo.

La base de la innovación de este ejemplo consiste en la variación del sentido empleado para visualizar un elemento. Una manera de innovar es generar conceptos de producto diferentes a los actuales empleando los sentidos con el fin de lograr sobre-satisfacción en el usuario al encontrar características no esperadas en el producto.

A partir del grupo de ideas de la Tabla 4.6 a un equipo de desarrollo se le podrían ocurrir estos conceptos:

- Vista: variación del color al acercarse el usuario.
- Oído: electrodoméstico que habla con el usuario.
- Olfato: emite olores agradables.
- Tacto: para un discapacitado ciego, este sentido es muy importante.

Al no existir en el mercado ningún producto similar se puede decir que ese producto sería potencialmente innovador.

4.4 Características de las piezas a desensamblar

Las características de las piezas las define el diseñador al realizar el diseño y dependen de las funciones que debe cumplir cada componente. En la Tabla 4.7 se muestra una recopilación genérica de éstas.

Tabla 4.7: Características genéricas de las piezas a desensamblar

Material	Color	Peligrosidad	Tratamiento
Peso	Centro de gravedad	Accesibilidad	Simetría
Volumen	Acabado superficial	Punto de unión	Grado de peligrosidad
Forma	Condiciones de contacto	Ajuste	Fiabilidad

En este caso, de todas las herramientas TRIZ del método DESTRIZ sólo se utilizan los principios inventivos, ya que se aplica TRIZ una vez concebida la pieza. Si al concebir el diseño se detectan contradicciones técnicas se aplicarían los principios inventivos para eliminarla y así lograr la innovación. Por eso se estudian las posibles contradicciones que puedan surgir.

Contradicciones técnicas: Al igual que en los apartados anteriores, para crear contradicciones técnicas debemos seguir estos pasos:

1.- Primero se determina cuáles de los 39 parámetros ingenieriles afectan a las características de las piezas a desensamblar. Tras dicho análisis, el número inicial de parámetros se ha reducido a 23 (Tabla 4.8).

Tabla 4.8: Parámetros ingenieriles que afectan a las características de las piezas a desensamblar

1.- Peso de un objeto en movimiento	22.- Pérdida de energía
3.- Longitud de un objeto en movimiento	24.- Pérdida de información
5.- Área de un objeto en movimiento	26.- Cantidad de sustancias
7.- Volumen de un objeto en movimiento	27.- Fiabilidad
11.- Tensión/ presión	29.- Precisión en la fabricación
12.- Forma	31.- Efectos perjudiciales
13.- Estabilidad de un objeto	32.- Facilidad de elaboración
14.- Resistencia	33.- Facilidad de uso
15.- Durabilidad de un objeto en movimiento	34.- Facilidad de reparar
17.- Temperatura	35.- Adaptabilidad
18.- Brillo	36.- Complejidad del mecanismo
19.- Energía consumida por un objeto en movimiento	

2.-. En segundo lugar se identifican las posibles contradicciones que pueden ocurrir entre los 23 parámetros ingenieriles. Para ello, se tiene en cuenta que la mejora de un parámetro empeora otro. Una vez determinadas las contradicciones existentes, la matriz de contradicciones selecciona los principios inventivos de Altshuller que se pueden emplear para eliminar la contradicción.

4.5 Conclusiones

En este capítulo se ha desarrollado el método DESTRIZ con el fin de generar nuevos conceptos de producto para innovar a partir del DFD.

Como origen de la innovación se han considerado los factores DFD: sistema de unión, visibilidad del elemento de unión y características de las piezas a desensamblar. Como herramienta de generación de nuevos conceptos de DFD se han empleado las herramientas de la metodología TRIZ: análisis funcional, efectos, principio de idealidad, principios inventivos. Para guiar el proceso de innovación se ha utilizado la evolución de los sistemas de la metodología TRIZ.

Tras la aplicación de DESTRIZ se ha observado que con los factores de DFD sistema de unión, y visibilidad del elemento de unión se pueden obtener conceptos de producto con mayor potencial de innovación. Sobre estos factores el diseñador puede actuar con mayor margen de maniobra en la etapa conceptual, y por ello, se puede lograr una mayor innovación. Para estos dos factores se han generado conceptos de producto que se pueden utilizar para innovar a partir de ellos.

En cambio, el factor características de las piezas a desensamblar depende en gran medida de las funciones que debe cumplir el producto. Dada la amplitud del campo de soluciones sólo se comenta que se puede aplicar la matriz de contradicciones para resolver las contradicciones que se pueden dar entre las características de las piezas a desensamblar, y así innovar.

Por otra parte, tras la aplicación de los principios inventivos de TRIZ a los factores de DFD se han determinado los parámetros ingenieriles que afectan al DFD. Con ellos se podría desarrollar una matriz de contradicciones específica para el DFD.

5 Estudio comparativo de métodos DFD

5.1 Introducción

En el capítulo 3 se identificaron cuatro métodos de estimación de tiempos de desmontaje: Dowie & Kelly (1994), Kroll (1995), Desai & Mital (2003) y Sodhi et al. (2004). En este capítulo se realiza un estudio preliminar de los métodos con el objetivo de seleccionar el método de estimación de tiempos de desensamblado más preciso en la etapa de diseño conceptual.

En primer lugar, se realiza un análisis exploratorio y comparativo de las operaciones de los métodos. Después se realizan dos estudios con el fin de identificar el método que menor desviación comete: el primer estudio, analiza unas operaciones individuales determinadas; en cambio el segundo, considera el proceso de desensamblado de dos destornilladores Black & Decker. Tras ambos estudios se desarrolla el método AIDED (ayuda a la estimación de tiempos de desensamblado) para disminuir la desviación media de la estimación respecto al tiempo real. Finalmente, se concluye el capítulo extrayendo las conclusiones más relevantes y con la selección del método de estimación de tiempos que se utiliza posteriormente en el capítulo 7 para evaluar la eco-innovación.

5.2 Análisis comparativo de las operaciones de los métodos

Para poder analizar los métodos entre sí es necesario determinar si son comparables. Se comienza comparando entre sí las operaciones de los cuatro métodos creando realizado un listado de las operaciones que considera cada método. Después, se elabora una matriz cruzada con las operaciones de los cuatro métodos; y por último, se indica la existencia de relación entre las operaciones de los métodos. La Tabla 5.1 se emplea para realizar una primera aproximación a la hora de determinar las operaciones que son comparables entre sí. Las operaciones comparables se marcan en verde.

En la Tabla 5.1 se muestra el resultado de dos tipos de análisis. Por una parte, para cada método se determinan las operaciones del mismo necesarias para estimar el tiempo de otras operaciones. Por ejemplo, en la columna D2: destornillar, del método de Dowie & Kelly (1994) tiene relación con las operaciones del mismo método extraer, destornillar, coger/ dejar herramienta y desplazar pieza. Esto indica que para estimar el tiempo de destornillar con Dowie & Kelly (1994) se deberán considerar todas las operaciones marcadas. Por otra parte, cuando se marca en verde la relación entre las operaciones de dos métodos diferentes, indica que las operaciones se pueden comparar. Por ejemplo, en la columna D3, operación apertura de *snap*s de Dowie & Kelly (1994)

5.3 Estudio comparativo por operación

En la Tabla 5.1 se han comparado las operaciones entre los distintos métodos. En este apartado, se profundiza en esta relación con el fin de determinar qué método de estimación de tiempos se desvía menos del tiempo real cronometrado.

Para comparar una operación con las operaciones equivalentes de cada método, se define una “operación estándar”, y se compara cada método con respecto a ella.

La selección del mejor método para cada operación se realiza mediante la comparación del resultado cronometrado de la operación estándar y el valor de tiempo estimado en cada método. En primer lugar, se cronometra a un operario que conoce el proceso de desmontaje, y que está adiestrado en la ejecución de la operación estándar. Se realizan cinco mediciones y se obtiene la media. Después, se estima el tiempo de desensamblado mediante los cuatro métodos analizados y se extraen conclusiones.

A continuación, se muestra el proceso seguido para la determinación del mejor método de estimación de tiempos para los tipos de unión: unión atornillada y *snaps*. Posteriormente, se muestra el resultado obtenido tras el proceso de comparación para las siguientes operaciones:

- Operaciones secundarias: extraer y tirar.
- Hacer palanca.
- Operaciones de rotura: cortar, serrar y taladrar.
- Martillar.
- Conectores eléctricos.

5.3.1.1 Unión Atornillada

Primero se define el modelo estándar de la operación de destornillar (Tabla 5.2):

1. Coger herramienta: extender el brazo y coger la herramienta manual.
2. Movimiento de aproximación: posicionar la herramienta en el tornillo. La accesibilidad de la unión puede dificultar su ejecución.
3. Destornillar: hacer girar la herramienta para destornillar y extraer el tornillo. En esta operación pueden influir numerosos factores como: el tipo de cabeza del tornillo, el uso de arandela, el tamaño del tornillo, la resistencia (debido a la suciedad, etc.).
4. Depositar tornillo: coger tornillo y depositarlo en la mesa.
5. Dejar herramienta: extender el brazo y dejar la herramienta en la mesa.

En la Tabla 5.2 se muestra la relación entre la operación estándar definida, y las operaciones que considera cada método DFD. La primera operación, coger herramienta, sólo es considerada por los métodos de Dowie & Kelly (1994) y Kroll (1995). El movimiento de aproximación es considerado por Dowie & Kelly (1994) y Kroll (1995). Desai & Mital (2003) no consideran el movimiento de aproximación en sí mismo, pero consideran la accesibilidad y el posicionamiento. La operación de destornillar es tenida en cuenta por todos los métodos, aunque cada uno considera diferentes factores geométricos. La resistencia que pueda existir al destornillar es considerada por todos a excepción del método de Sodhi et ál. (2004). La operación posterior a destornillar, depositar tornillo, únicamente es tenida en cuenta en los métodos de Desai & Mital (2003) y Kroll (1995). La última operación, dejar herramienta, es considerada por los métodos Dowie & Kelly (1995) y Kroll (1995).

Tabla 5.2: Operación estándar destornillar vs. métodos DFD

Nº	OPERACIÓN ESTANDAR DESTORNILLAR	Consideraciones	Dowie & Kelly(1994)	Kroll (1995)	Desai & Mital (2003)	Sodhi et ál. (2004)
1	Coger herramienta		X	X		
2	Movimiento de aproximación		X	X		
		Accesibilidad	X	X	X	
		Posicionamiento		X	X	
3	Destornillar		X	X	X	X
		Nº de revoluciones	X	X		X
	Factor geométrico	Uso de arandela				X
		Métrica				X
		Tipo de cabeza				X
		Resistencia	X	X	X	
4	Depositar tornillo			X	X	
5	Dejar herramienta		X	X		

En la Tabla 5.3 se muestra con mayor detalle las consideraciones de cada método. El método de Desai & Mital (2003) es el único método que se puede utilizar en la etapa de diseño conceptual para estimar el tiempo de desensamblado, ya que no considera factores geométricos para realizar la estimación de tiempo (Tablas 5.1 y 5.2). El método de Kroll (1995) se podría utilizar, siempre y cuando, el número de vueltas necesarias para desenroscar el tornillo sea igual a 9, pero este hecho hasta la etapa de diseño en detalle no se conoce.

Tabla 5.3: Consideraciones de los métodos DFD en la operación destornillar

Dowie & Kelly (1994)
Considera las tareas preliminares coger herramienta y el movimiento de aproximación. Considera la accesibilidad al elemento de unión, pero no considera el tiempo empleado en posicionar adecuadamente la herramienta antes de comenzar a destornillar. En la operación destornillar tiene en cuenta el número de vueltas necesarias para desenroscar el tornillo. Considera la operación posterior a destornillar, dejar la herramienta.
Kroll (1995)
Considera todas las tareas preliminares y posteriores a destornillar. En la operación destornillar, únicamente tiene en cuenta factores geométricos si los tornillos son largos, es decir, cuando el número de vueltas para destornillar es mayor que 9.
Desai & Mital (2003)
De las operaciones preliminares sólo considera la accesibilidad y el posicionamiento de la herramienta. No tiene en cuenta coger herramienta, ya que considera que no influye en la efectividad del desmontaje. No tiene en cuenta factores geométricos.
Sodhi et ál. (2004)
Solamente considera la operación de destornillar. No tiene en cuenta las operaciones preliminares ni las posteriores. Dentro de la operación destornillar considera muchos factores geométricos, pero no la resistencia de destornillar.

Para conocer el método de estimación de tiempos que se aproxima más a la realidad se han realizado cuatro ensayos correspondientes a 4 uniones atornilladas diferentes (Tabla 5.4, Figura 5.1). Los ensayos han consistido en medir cuánto tiempo se emplea en realizar la operación estándar definida. Para ello, se cronometra a un operario que conoce el proceso de desmontaje y está adiestrado en la ejecución del mismo. Se realizan cinco mediciones y se obtiene la media (Tiempo medio cronometrado, Tabla 5.4). Después, se realiza la estimación del tiempo de desensamblado para cada método.



Figura 5.1: Uniones atornilladas, operaciones nº 1, 2, 3 y 4 (Tabla 5.3)

Tabla 5.4: Ensayos operación destornillar

Nº	OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN	HTA	Tiempo medio cronometrado (s)	Dowie & Kelly(1994)	Desviación (%)	Kroll (1995)	Desviación (%)	Desai & Mital (2003)	Desviación (%)	Sodhi et ál. (2004)	Desviación (%)
1	Unión atornillada 1	Tornillo cilíndrico M12x40 DIN 912	Allen	12,1	9,1	-25%	16,8	39%	10,9	-10%	86	611%
2	Unión atornillada 2	Tornillo cilíndrico M8x30 DIN 912	Allen	9,9	8,5	-14%	16,8	69%	10,9	10%	86	765%
3	Unión atornillada 3	Tornillo avellanado M12x50 DIN 7991	Allen	11,1	8,5	-23%	16,8	51%	10,9	-2%	123	1008%
4	Unión atornillada 4	Tornillo hexagonal M8x35 DIN 933	Llave fija	9,9	7,6	-23%	14,8	49%	10,6	7%	134	1254%

Como se puede observar en la Tabla 5.4, para cada método se ha obtenido el valor de la desviación respecto al tiempo real. Una desviación negativa indica que el tiempo estimado es inferior al real, y una desviación positiva indica que el tiempo estimado es superior al real. Tras los ensayos, se extraen las siguientes conclusiones:

- El método que más se aproxima a la realidad es el de Desai & Mital (2003). La desviación del valor estimado respecto del tiempo medio cronometrado es inferior al 10%. En las operaciones 1 y 3 la desviación es negativa, y por tanto el tiempo estimado es inferior al tiempo medio cronometrado, en cambio, en las operaciones 2 y 4, la estimación tiene un valor superior al tiempo medio cronometrado.
- El segundo método que más se aproxima al tiempo medio cronometrado es el de Dowie & Kelly (1994). La desviación en la estimación varía entre un $14 \div 25$ %, siendo ésta siempre negativa.
- El tercer método es el de Kroll (1995). La desviación de la estimación está entre un $39 \div 69$ %, y siempre es positiva, es decir, el valor estimado es mayor que el tiempo medio cronometrado.
- Los resultados obtenidos en el cuarto método, Sodhi et ál. (2004), son muy superiores a los obtenidos con los otros métodos. No hemos podido encontrar una explicación. No obstante, nos hemos puesto en contacto con los investigadores para comunicarles este hecho y corroborar nuestras fuentes: Sonnenberg (2001) y Sodhi et ál. (2004). A fecha de la redacción de esta tesis no se ha tenido contestación alguna. Por tanto, consideramos a este método como no válido para estimar tiempos de desmontaje de uniones atornilladas.

5.3.1.2 Apertura de *snaps*

La apertura de un *snap* se puede realizar con la ayuda de una herramienta o con la mano. A continuación se detallan ambas operaciones.

a) Modelo estándar de la operación apertura de *snaps* con uso de herramienta (Tabla 5.5):

1. Coger herramienta: extender el brazo y coger la herramienta.
2. Movimiento de aproximación: posicionar la herramienta en el componente. La accesibilidad a éste puede dificultar su ejecución.
3. Apertura de *snap*: insertar la punta de la palanca o herramienta entre los componentes a separar y realizar pequeños movimientos para separar dichos

componentes. La resistencia que ofrece el componente a ser separado es un factor a tener en cuenta.

4. Dejar herramienta: extender el brazo y dejar la herramienta en la mesa.
5. Tirar: utilizar la mano para separar los componentes.
6. Dejar componente: dejar el componente en una mesa.

En la Tabla 5.5 se muestra la relación entre la operación estándar definida y las operaciones que considera cada método DFD. La primera operación, coger herramienta, sólo es considerada por los métodos de Dowie & Kelly (1994) y Kroll (1995). El movimiento de aproximación es considerado por Dowie & Kelly (1994) y Kroll (1995). Desai & Mital (2003) no consideran el movimiento de aproximación en sí mismo, pero consideran la accesibilidad y el posicionamiento. La operación de apertura de *snaps* la consideran todos los métodos, aunque cada uno considera diferentes factores: geometría, resistencia de apertura y el número de *snaps* que hay que soltar simultáneamente. La operación dejar herramienta sólo es tenida en cuenta por los métodos de Dowie & Kelly (1994) y Kroll (1995). Las dos últimas operaciones: tirar y dejar componente, son consideradas por los métodos Dowie & Kelly (1994), Kroll (1995) y Desai & Mital (2003).

Tabla 5.5: Operación estándar de apertura de *snaps* con herramienta vs. métodos DFD

Nº	OPERACIÓN ESTANDAR SNAPS	Consideraciones	Dowie & Kelly (1994)	Kroll (1995)	Desai & Mital (2003)	Sodhi et al. (2004)
1	Coger Herramienta		X	X		
2	Movimiento de aproximación		X	X		
		Accesibilidad		X	X	
		Posicionamiento	X	X	X	
3	Apertura de <i>Snap</i>		X	X	X	X
	Geometría	Longitud				X
		Angulo				X
		Resistencia		X	X	
		Nº de clips simultáneos				X
4	Dejar herramienta		X	X		
5	Tirar		X	X	X	
6	Dejar componente		X	X	X	

En la Tabla 5.6 se muestra con mayor detalle las consideraciones de cada método. Los métodos de Dowie & Kelly (1994), Kroll (1995) y Desai & Mital (2003) se pueden utilizar en la etapa de diseño conceptual para estimar el tiempo de desensamblado, ya que no consideran factores geométricos para realizar la estimación de tiempo (Tablas

5.5 y 5.6). En cambio, el método de Sodhi et ál. (2004) al considerar factores geométricos no se puede emplear en dicha etapa.

Tabla 5.6: Consideraciones de los métodos DFD en la operación apertura de *snaps* con herramienta

Dowie & Kelly (1994)
Considera las tareas preliminares coger herramienta y movimiento de aproximación. Considera la accesibilidad al elemento de unión, pero no considera el tiempo empleado en posicionar adecuadamente la herramienta antes de comenzar a destornillar. El tiempo estimado de apertura de <i>snap</i> es fijo. No considera factores de influencia como los otros métodos. Considera la operación posterior a destornillar, dejar la herramienta.
Kroll (1995)
Considera todas las tareas preliminares y posteriores a la apertura propia del <i>snap</i> . Tiene en cuenta la accesibilidad y el posicionamiento de la herramienta. La operación apertura de <i>snap</i> se incluye dentro de la operación hacer palanca. Considera la resistencia a la apertura del <i>snap</i> .
Desai & Mital (2003)
De las operaciones preliminares sólo considera la accesibilidad y el posicionamiento de la herramienta. No tiene en cuenta coger herramienta, ya que considera que no influye en la efectividad del desmontaje. No tiene en cuenta factores geométricos.
Sodhi et ál. (2004)
Solamente considera la operación de apertura de <i>snap</i> . No tiene en cuenta las operaciones preliminares ni las posteriores. Dentro de la operación apertura de <i>snap</i> considera la longitud del <i>snap</i> , el ángulo y el número de <i>snaps</i> que hay que soltar simultáneamente, pero no considera la resistencia de apertura del <i>snap</i> .

b) Apertura de *snaps* sin uso de herramienta. El modelo estándar de operación (Tabla 5.7) es el siguiente:

1. Alcanzar componente: extender los brazos y poner las manos en el componente. La accesibilidad al componente influye en esta operación.
2. Apertura de *snap*: utilizar la mano o los dedos para empujar el *snap* de manera que se extraiga cada componente por separado.
3. Tirar: utilizar la mano para separar los componentes.
4. Depositar componente: dejar el componente en la una mesa.

Tabla 5.7: Operación estándar de apertura de *snaps* sin herramienta vs. métodos DFD

Nº	OPERACIÓN ESTANDAR SNAPS	Consideraciones	Dowie & Kelly (1994)	Kroll (1995)	Desai & Mital (2003)	Sodhi et ál. (2004)
1	Alcanzar componente	Accesibilidad		X	X	
		Posicionamiento			X	
2	Apertura de <i>Snap</i>	Longitud	X	X	X	X
		Factor geométrico				X
		Angulo				X
		Resistencia		X	X	
		Nº de clips simultáneos				X
3	Tirar		X	X	X	
4	Dejar componente		X	X		

En la Tabla 5.8 se muestra con mayor detalle las consideraciones de cada método. Los métodos de Dowie & Kelly (1994), Kroll (1995) y Desai & Mital (2003) se pueden utilizar en la etapa de diseño conceptual para estimar el tiempo de desensamblado, ya que no consideran factores geométricos para realizar la estimación de tiempo (Tablas 5.5 y 5.6). En cambio, el método de Sodhi et ál. (2004) al considerar factores geométricos no se puede emplear en dicha etapa.

Tabla 5.8: Consideraciones de los métodos DFD en la operación apertura de *snap*s sin herramienta

Dowie & Kelly (1994)
Considera la tarea preliminar movimiento de aproximación. Considera la accesibilidad al elemento de unión, pero no considera el tiempo empleado en posicionar adecuadamente la herramienta antes de comenzar a destornillar. El tiempo estimado de apertura del <i>snap</i> es fijo. No considera factores de influencia como los otros métodos. Considera la operación posterior a destornillar, dejar la herramienta.
Kroll (1995)
No considera la apertura de <i>snap</i> sin herramienta, por tanto, se ha supuesto que esta operación se realiza mediante las operaciones de Kroll (1995): empujar –tirar y extraer. Tiene en cuenta la accesibilidad, posicionamiento y fuerza necesaria (resistencia).
Desai & Mital (2003)
De las operaciones preliminares sólo considera la accesibilidad y el posicionamiento de la herramienta. No tiene en cuenta coger herramienta, ya que considera que no influye en la efectividad del desmontaje. No tiene en cuenta factores geométricos.
Sodhi et ál. (2004)
Solamente considera la operación de apertura de <i>snap</i> . No tiene en cuenta las operaciones preliminares ni las posteriores. Dentro de la operación apertura de <i>snap</i> considera la longitud del <i>snap</i> , el ángulo y el número de <i>snap</i> s que hay que soltar simultáneamente, pero no considera la resistencia de apertura del <i>snap</i> .

Para conocer el método de estimación de tiempos que se aproxima más a la realidad en la apertura de *snap*s con herramienta y sin ella se han realizado dos ensayos (Tabla 5.9, figura 5.2). Los ensayos han consistido en medir cuánto tiempo se emplea en realizar la operación estándar definida. Para ello, se cronometra a un operario que conoce el proceso de desmontaje y que está adiestrado en la ejecución del mismo. Se realizan cinco mediciones y se obtiene la media (Tiempo medio cronometrado). Después, se realiza la estimación del tiempo de desensamblado para cada método.



Figura 5.2: Extracción *Snap* 1, clavija teléfono de fácil acceso

Tabla 5.9: Ensayos operación apertura de *snaps*

Nº	OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN	HTA	Tiempo medio cronometrado (s)	Dowie & Kelly(1994)	Desviación (%)	Kroll (1995)	Desviación (%)	Desai & Mital (2003)	Desviación (%)	Sodhi et ál. (2004)	Desviación (%)
1	Snap 1	Clavija teléfono (fácil acceso)	Mano	3,1	2	-35%	4,6	-53%	4,4	-42%	42,7	1277%
2	Snap 2	Clavija teléfono pared (difícil acceso)	Destornillador plano	6,8	4,9	-28%	5,6	-18%	9,7	43%	42,7	528%

Como se puede observar en la Tabla 5.9 para cada método se ha obtenido el valor de la desviación respecto al tiempo real. Una desviación negativa indica que el tiempo estimado es inferior al real, y una desviación positiva indica que el tiempo estimado es superior al real. Tras los ensayos, las conclusiones que se han extraído han sido las siguientes:

- El método que más se aproxima a la realidad en la operación apertura de *snap* sin herramienta es el método de Dowie & Kelly (1994), con una desviación del valor de un -35%. El segundo que más se aproxima es Desai & Mital (2003) con un -42%. El método de Kroll (1995) tiene una desviación de un -53%. En todos los métodos las estimaciones son inferiores al tiempo medio cronometrado
- En el caso de apertura de *snap* con herramienta, el método que más se aproxima al tiempo medio cronometrado es el de Kroll (1995), con una desviación de un -18%. El segundo método sería el de Dowie & Kelly (1994), con una desviación de un -28%.
- Para la operación de apertura de *snap* sin herramienta, el método de Kroll (1995) se desvía en un porcentaje superior al de la operación con herramienta, un 53% respecto un 18%. Esto puede ser debido, a que en el segundo caso, Kroll (1995) lo considera una operación específica de la operación hacer palanca. El primer caso no lo considera, y en esta investigación se ha considerado como la realización de las operaciones empujar –tirar y extraer de Kroll (1995).
- Los resultados obtenidos en el cuarto método, Sodhi et ál. (2004) son muy superiores a los que se obtienen con los otros métodos. No se ha encontrado una explicación. Nos hemos puesto en contacto con los investigadores para comunicarles este hecho, y corroborar nuestras fuentes: Sonnenberg (2001) y Sodhi et ál. (2004). A fecha de la redacción no se ha tenido contestación. Por tanto consideramos a este método como no válido para estimar tiempos de desmontaje de apertura de *snaps*.

5.3.2 Otras operaciones

En Tabla 5.10 se muestran los resultados obtenidos para las operaciones siguientes:

- Operaciones secundarias: extraer y tirar.
- Hacer palanca.
- Operaciones de rotura: cortar, serrar y taladrar.
- Martillar.
- Conectores eléctricos.

En estas comparaciones no se ha incluido el método de Sodhi et ál. (2004) debido a los malos resultados obtenidos anteriormente.

Como se puede observar en la Tabla 5.10, para cada método se ha obtenido el valor de la desviación respecto al tiempo real. Una desviación negativa indica que el tiempo estimado es inferior al real y una desviación positiva indica que el tiempo estimado es superior al real. Tras los ensayos, las conclusiones parciales que se han extraído han sido las siguientes:

- Operación extraer: cuando la operación de extraer se realiza sin obstrucción el método de Dowie & Kelly (1994) es el que más se aproxima al tiempo medio cronometrado (operación de extraer 1); en cambio, si hay obstrucción, el método de Desai & Mital (2003) es el que más se aproxima al tiempo medio cronometrado (operación extraer 2).
- Operación tirar: el método de Kroll (1995) es el que más se aproxima al tiempo medio cronometrado, aunque el método de Desai & Mital (2003) obtiene unos resultados ligeramente peores.
- Operaciones de hacer palana y de cortar: el método de Desai & Mital (2003) es con el que mejores resultados se obtienen.
- Operaciones de tirar, serrar, taladrar y Martillar: los mejores resultados se han logrado con el método de Kroll (1995).

Para validar estas conclusiones parciales sería necesario realizar más ensayos.

Tabla 5.10: Operaciones de desensamblado vs Métodos DFD

Nº	OPERACIÓN	DESCRIPCCION	HTA	Tiempo medio cronometrado (s)	Dowie & Kelly(1994)		Kroll (1995)		Desai & Mital (2003)	
						Desviación (%)		Desviación (%)		Desviación (%)
1	Extraer 1	Tapa superior teléfono	Mano	1,9	1,5	-21%	2,8	47%	3,7	95%
2	Extraer 2	Primera chapa metálica interior del teléfono	Mano	4,1	3	-27%	2,8	32%	3,9	-5%
3	Tirar 1	Separar recogedor del tubo	Mano	6,9			4,6	-33%	4,3	-38%
4	Tirar 2	Separar mango del tubo	Mano	6,8			4,6	-32%	4,5	-34%
5	Hacer palanca	Extraer la 2ª chapa metálica del interior del teléfono	Destornillador plano	5,9			6,7	14%	6,5	10%
6	Cortar 1	Macarrón cableado diámetro 20 mm	Tijeras	4,9			3,9	-20%	4,8	-2%
7	Cortar 2	Chapa de acero de longitud 400mm y 0,5 mm de espesor	Tijeras	9,7			4,9	-49%	5,5	-43%
8	Serrar	Tubo de plástico de diámetro 40mm y espesor 4mm	Sierra de mano	14,8			21	42%	5,9	-60%
9	Taladrar	Taladrar una madera 46 mm de profundidad con una broca de 10 mm	Taladro doméstico	11,9			11	-8%	5,4	-55%
10	Martillar	Separar un pasador cilíndrico	Botador y martillo	15,1			14	-7%	5,4	-64%
11	Desconexión conector	Conector teclado ordenador	Mano	1,9	2	5%	1,8	-5%	5,4	-184%

5.4 Estudio en destornilladores Black & Decker

En el apartado anterior se determinó la desviación en la estimación de cada método en operaciones concretas de desensamblado. En este estudio, en cambio, se estima el tiempo necesario para la extracción de las baterías de dos destornilladores eléctricos Black & Decker: modelo KC360H 3.6V y modelo Swivel Cordless Drill (Xd1200k).

Para cada atornillador se ha seguido el proceso que se indica en la Figura 5.3. Primero se define el proceso de desmontaje de los dos destornilladores analizados. Después, se procede al desmontaje de los mismos por un operario adiestrado, y mientras se desmonta, se graba en vídeo. Seguidamente se realiza la medición de los tiempos de desmontaje a partir del vídeo. Se realizan cinco mediciones y se obtiene la media (Tiempo medio cronometrado, Tabla 5.4). Después se realiza la estimación de los tiempos de desmontaje mediante los métodos de Dowie & Kelly (1994), Kroll (1995) y Desai & Mital (2003). El método de Sodhi et ál. (2004) no se tiene en cuenta debido a los malos resultados obtenidos en el apartado anterior. Finalmente se realiza una valoración de los resultados obtenidos comparando la estimación teórica con la realidad.

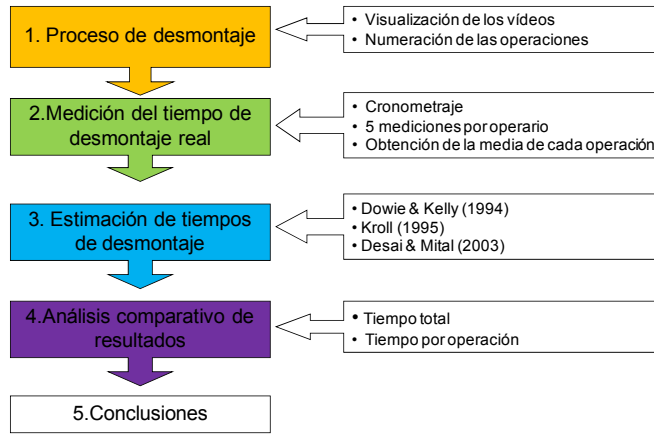


Figura 5.3: Metodología de trabajo

5.4.1.1 Proceso de desmontaje

En las Figura 5.5 se pueden observar los dos destornilladores estudiados y los componentes de cada uno de ellos. Para cada uno de ellos se ha definido el proceso de desmontaje (Tabla 5.12 y 5.13).

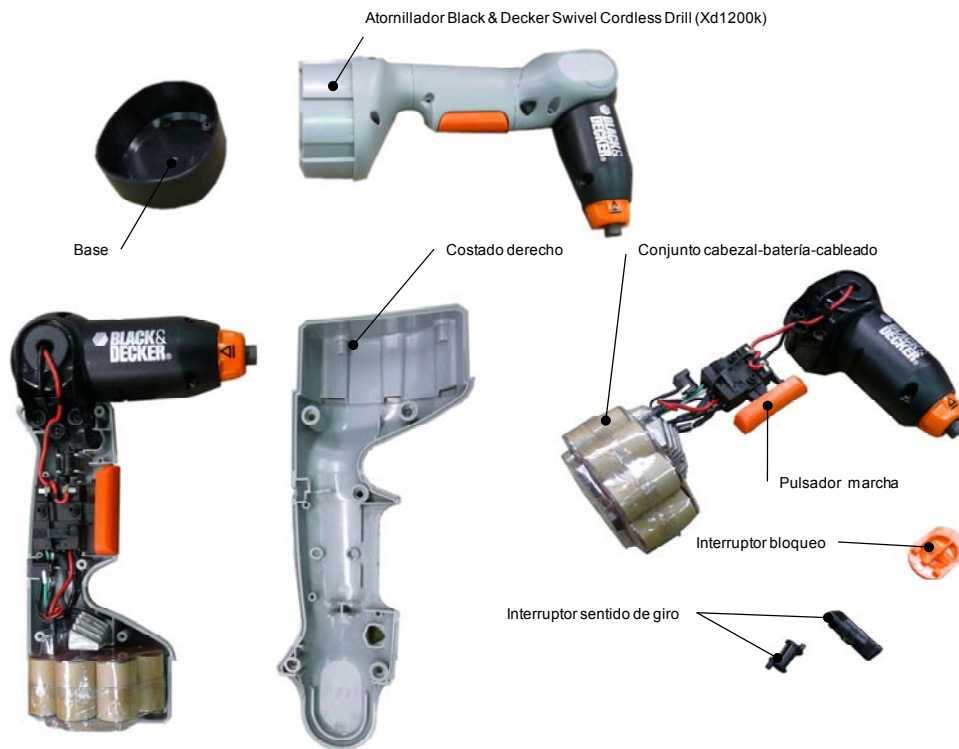


Figura 5.4: Destornillador Black & Decker Swivel Cordless Drill (Xd1200k)

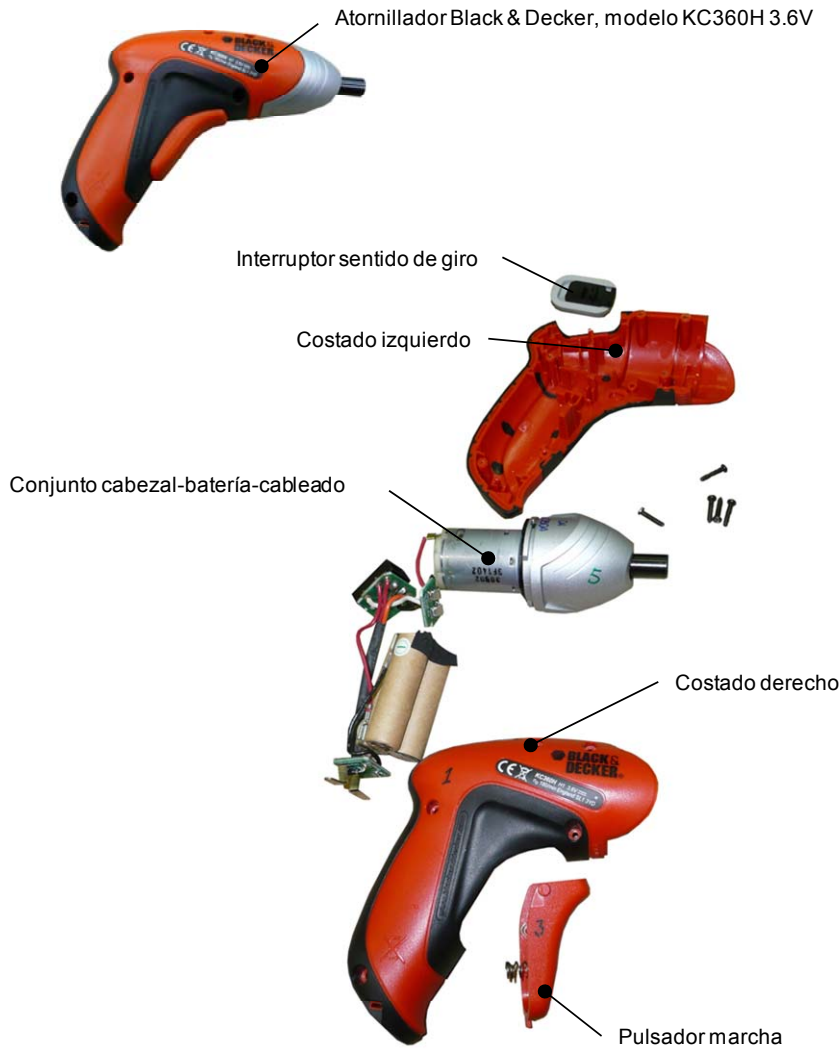


Figura 5.5: Destornillador Black & Decker, modelo KC360H 3.6V

5.4.1.2 Medición del tiempo de desmontaje real

Una vez determinado de proceso de desmontaje de cada atornillador se procede a la medición del tiempo real de desmontaje de los mismos. Mediante la observación del vídeo se ha cronometrado al operario en cinco ocasiones y se ha calculado la media por operación. Así se obtiene el tiempo de desmontaje real de dicha operación (tiempo medio real, Tabla 5.12 y 5.13). Con la suma de los tiempos de todas las operaciones se obtiene el tiempo total de desmontaje para los dos destornilladores. El tiempo total empleado en desensamblar el destornillador Black & Decker, modelo KC360H 3.6V, ha

sido de 67,9 s, y en el caso del destornillador Black & Decker Swivel Cordless Drill (Xd1200k) se han necesitado 80,2 s.

5.4.1.3 Estimación de tiempos de desmontaje

Como se puede observar en las Tabla 5.12 y 5.13 básicamente se realizan dos operaciones: destornillar y extraer. Para que los resultados obtenidos en cada operación sean comparables es necesario definir un modelo estándar de la operación, ya que no todos los métodos consideran los mismos aspectos.

En la Tabla 5.3 se pueden observar los aspectos que considera cada método al estimar el tiempo de desensamblado de la operación destornillar, y en la Tabla 5.11 se muestran las consideraciones que se realizan para estimar el tiempo de la operación extraer. Para el caso de la operación destornillar se utiliza la operación estándar definida en la Tabla 5.3.

Tabla 5.11: Operación estándar extraer vs. métodos DFD

Nº	OPERACIÓN EXTRAER	Consideraciones	Dowie & Kelly(1994)	Kroll (1995)	Desai & Mital (2003)
1	Alcanzar componente		X	X	X
		Accesibilidad		X	X
2	Extraer		X	X	X
		Gírar		X	
		Tirar / Empujar		X	
		Hacer palanca		X	
		Componente atascado		X	X
		Uso de herramienta	X		X
		Tamaño	X	X	X
		Nº de grados de libertad	X		
3	Dejar componente		X	X	

En las Tabla 5.12 y 5.13 se pueden observar los resultados obtenidos tras aplicar los métodos de Dowie & Kelly (1994), Kroll (1995) y Desai & Mital (2003). También se muestra la desviación de estimación cometida con respecto al tiempo medio cronometrado.

A nivel global, el método que más se aproxima al valor cronometrado es el método de Dowie & Kelly (1994), con una desviación inferior al 10% en ambos destornilladores.

El método de Kroll (1995) es el que más se aproxima al tiempo medio cronometrado en el atornillador modelo KC360H 3.6V, con una desviación del 3%. En cambio, en el

modelo Swivel Cordless Drill (Xd1200k) es con el que peor resultado se obtiene, una desviación de un 48%.

El método de Desai & Mital (2003) se desvía entre un 20 ÷ 25%.

Existen dos aspectos importantes a considerar: la desviación de cada operación y la desviación media del método en valor absoluto. La desviación en la estimación puede ser en positivo, estimación con un valor superior al tiempo medio cronometrado. Este hecho hace que el método pueda compensar su valor final al tener valores superiores e inferiores al tiempo medio. En el método de Dowie & Kelly (1994) está entre un 28 ÷ 44%. En el de Kroll (1995) entre un 28 ÷ 49%, y en el de Desai & Mital (2003) entre un 39 ÷ 56%.

Tabla 5.12: Tiempo de desensamblado del destornillador Black & Decker, modelo KC360H 3.6V

Nº	OPERACIÓN	Consideraciones	Tiempo medio cronometrado (s)	Dowie & Kelly (1994)		Kroll (1995)		Desai & Mital (2003)	
					Desviación (%)		Desviación (%)		Desviación (%)
1	Destornillar 5 tornillos autorroscante	L roscada <13 mm	45,3	59,25	31%	64,2	42%	35,8	-21%
2	Extraer costado derecho	Obstrucción	11,6	2,75	-76%	1,94	-83%	5,4	-53%
3	Extraer pulsador marcha	Sin obstrucción	1,6	1,25	-28%	0,9	44%	3,06	91%
4	Extracción interruptor sentido de giro	Sin obstrucción	1,7	1,25	-26%	0,9	47%	3,06	-80%
5	Extraer conjunto cabezal-batería- cableado	Obstrucción	7,6	2,75	-63%	1,94	-74%	6,84	-9%
TOTAL			67,9	61,1	-10%	69,88	3%	54,18	-20%
Desviación media absoluta (%)				44%		28%		39%	

Tabla 5.13: Tiempo de desensamblado del destornillador Black & Decker Swivel Cordless Drill (Xd1200k)

Nº	OPERACIÓN	Consideraciones	Tiempo medio cronometrado (s)	Dowie & Kelly (1994)		Kroll (1995)		Desai & Mital (2003)	
					Desviación (%)		Desviación (%)		Desviación (%)
1	Destornillar 4 tornillos de la base	L roscada < 13 mm	32,9	49,13	49%	47,6	45%	28,65	-13%
2	Extraer base	Sin obstrucción	1,5	1,25	-19%	0,9	-40%	2,09	39%
3	Destornillar 5 tornillos autorroscantes costado	L roscada < 13 mm	35,3	50,6	42%	64,2	82%	35,82	1%
4	Extraer costado derecho	Obstrucción	3,6	2,75	-24%	1,94	46%	5,4	50%
5	Extraer conjunto cabezal-batería- cableado	Obstrucción	3,6	2,75	-24%	1,94	46%	6,84	90%
6	Extraer pieza cambio de dirección	Sin obstrucción	1,6	1,25	-22%	0,9	44%	3,06	91%

Nº	OPERACIÓN	Consideraciones	Tiempo medio cronometrado (s)	Dowie & Kelly (1994)		Kroll (1995)		Desai & Mital (2003)	
					Desviación (%)		Desviación (%)		Desviación (%)
7	Extraer pieza bloqueo	Sin obstrucción	1,5	1,25	-17%	0,9	40%	3,09	104%
TOTAL			80,2	73,94	-8%	118,38	48%	59,83	-25%
Desviación media absoluta (%)				28%		49%		56%	

5.4.1.4 Análisis comparativo de resultados

Una vez obtenidas las estimaciones de tiempos de desmontaje se realiza una comparación de los resultados obtenidos. En el sub-apartado anterior ya se ha mostrado que el método que globalmente más se aproxima a la realidad es el de Dowie & Kelly (1994).

En este sub-apartado se va a analizar individualmente cada operación para establecer cuál de los métodos de estimación de tiempos comete una menor desviación en cada operación. Del análisis de las Tabla 5.12 y 5.13 se llega a la conclusión de que para el desensamblado de los dos destornilladores se han realizado básicamente 2 operaciones elementales: destornillar y extraer.

Una vez definida esta comparación se puede valorar qué método se adapta mejor para cada operación en concreto. De este modo, se han clasificado las operaciones que tengan las mismas características y se han agrupado por separado de manera que se puedan extraer nuevas conclusiones. Tras revisar los datos obtenidos se han clasificado las operaciones de la siguiente manera:

- Destornillar:
 - Tornillos autorroscantes (cortos y largos).
- Extraer:
 - Sin grado de obstrucción.
 - Con grado de obstrucción.

Analizando las desviaciones cometidas en cada operación se observa que al ser unas positivas y otras negativas compensan al final el valor global obtenido por cada método. Por eso, se ha pensado desarrollar un método que tenga en cuenta este aspecto. El método se ha denominado AIDED, ayuda a la estimación de tiempos de desensamblado.

5.4.2 Método AIDED

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los dos estudios realizados anteriormente se define para las operaciones: apertura de *snaps*, destornillar y extraer el nuevo método de estimación de tiempos de desensamblado AIDED (Tabla 5.14).

Tabla 5.14: Operaciones del método AIDED

OPERACIÓN	Consideraciones	Diseño Conceptual y Diseño en detalle	Desviación media estimado
Apertura de <i>snaps</i>	Sin herramienta	Dowie & Kelly (1994)	-35%
	Con herramienta	Kroll (1995)	-28%
Destornillar	Tornillos	Desai & Mital (2003)	-12%
Extraer	Sin grado de obstrucción	Dowie & Kelly (1994)	-22%
	Con grado de obstrucción	Desai & Mital (2003)	-31%

Se ha relacionado cada método de estimación de tiempos con las fases del proceso de diseño de un producto. La tipología de datos disponibles en cada una de ellas es diferente, en la fase conceptual es suficiente conocer que se utilizará un tornillo, y no es necesario conocer sus dimensiones; y en cambio, en la fase de diseño de detalle, es preciso identificar las características de cada uno de los sistemas de unión. Por eso, se ha considerado conveniente determinar para las fases de diseño conceptual y diseño de detalle qué método estima con menor desviación el tiempo de desmontaje (Tabla 5.14).

En las Tabla 5.15 y 5.16 se muestra el resultado obtenido con el nuevo método AIDED tras aplicarlo en los destornilladores. En el destornillador Black & Decker modelo KC360H 3.6V se obtiene una desviación en la estimación del tiempo total superior al resto de métodos. Esto es debido a que el método AIDED considera siempre la estimación de tiempo de operación menor, y en este caso, todas son inferiores al tiempo real cronometrado. En los otros métodos se compensan estimaciones inferiores con otras superiores y así se compensan. Con el AIDED se mejora la desviación media absoluta con respecto al resto de métodos.

En cambio, en el atornillador Black & Decker Swivel Cordless Drill (Xd1200k) se obtiene una estimación similar al método que más se aproximaba al tiempo medio cronometrado.

Con este estudio preliminar se ha detectado un campo de investigación en la estimación del tiempo de desensamblado. A raíz de los resultados obtenidos, se intuye que se puede desarrollar un nuevo método de estimación con menor desviación que los existentes. El método AIDED es una prueba de ello.

El trabajo realizado habría que contrastarlo con más ensayos y con la participación de especialistas en el cronometraje de tiempos, para que determinen, en función de la rapidez del operario su nivel de actividad. Normalmente, al realizar operaciones individuales el ritmo de trabajo es más rápido que cuando se realiza en una actividad continuada.

Tabla 5.15: Estimación del tiempo de desensamblado del destornillador Black & Decker KC360H 3.6V con el método AIDED

Nº OPERACIÓN	Tiempo medio cronometrado (s)	Dowie & Kelly(1994)		Kroll (1995)		Desai & Mital (2003)		Método AIDED	
		Desviación (%)		Desviación (%)		Desviación (%)		Desviación (%)	
1 Destornillar 5 tornillos autoroscante	45,3	59,25	31%	64,2	42%	35,8	-21%	35,8	-21%
2 Extraer costado derecho	11,6	2,75	-76%	1,94	-83%	5,4	-53%	5,4	-53%
3 Extraer pulsador marcha	1,6	1,25	-28%	0,9	44%	3,06	91%	1,25	-28%
4 Extraer interruptor sentido de giro	1,7	1,25	-26%	0,9	47%	3,06	-80%	1,25	-26%
5 Extraer conjunto cabezal-batería- cableado	7,6	2,75	-63%	1,94	-74%	6,84	-9%	6,84	-9%
TOTAL	67,9	61,1	-10%	69,88	3%	54,18	-20%	50,6	-26%
Desviación media absoluta (%)			44%		28%		39%		26%

Tabla 5.16: Estimación del tiempo de desensamblado del destornillador Black & Decker Swivel Cordless Drill (Xd1200k) con el método AIDED

Nº OPERACIÓN	Tiempo medio cronometrado (s)	Dowie & Kelly(1994)		Kroll (1995)		Desai & Mital (2003)		Método AIDED	
		Desviación (%)		Desviación (%)		Desviación (%)		Desviación (%)	
1 Destornillar 4 tornillos de la base	32,9	49,13	49%	47,6	45%	28,65	-13%	28,65	-13%
2 Extraer base	1,5	1,25	-19%	0,9	-40%	2,09	39%	1,25	-19%
3 Destornillar 5 tornillos autoroscantes costado	35,3	50,6	42%	64,2	82%	35,82	1%	35,82	1%
4 Extraer costado derecho	3,6	2,75	-24%	1,94	46%	5,4	50%	2,75	-24%
5 Extraer conjunto cabezal-batería- cableado	3,6	2,75	-24%	1,94	46%	6,84	90%	2,75	-24%
6 Extraer interruptor sentido de giro	1,6	1,25	-22%	0,9	44%	3,06	91%	1,25	-22%
7 Extraer pieza bloqueo	1,5	1,25	-17%	0,9	40%	3,09	104%	1,25	-17%
TOTAL	80,2	73,94	-8%	118,38	48%	59,83	-25%	73,7	-8%
Desviación media absoluta (%)			28%		49%		56%		18%

5.4.3 Conclusiones

En el capítulo 3, revisión de DFD se identificaron 4 métodos de estimación de tiempos de desensamblado: Dowie & Kelly (1994), Kroll (1995), Desai & Mital (2003) y Sodhi et ál. (2004). En este capítulo se han realizado ensayos para verificar cuál de los 4 métodos de estimación de tiempos de desensamblado es el que más se acerca al tiempo real de desensamblado.

Primero, se han analizado los métodos de estimación de tiempos de desmontaje para poder compararlos entre sí. Así, se han determinado qué operaciones de un método son comparables con las de otros (Tabla 5.1).

Después de este análisis, se ha determinado mediante ensayos la desviación que se comete en la estimación del tiempo de desensamblado de cada operación. Este estudio ha servido para:

- Definir operaciones de desensamblado estándares para poder comparar los métodos.
- El único de los métodos que se puede emplear íntegramente en la etapa de diseño conceptual es el de Desai & Mital (2003).
- Descartar el método de Sodhi et ál. (2004) debido a los malos resultados obtenidos con él (Tabla 5.4).

Posteriormente, se han aplicado los métodos de Dowie & Kelly (1994), Kroll (1995) y Desai & Mital (2003) para estimar el tiempo de desensamblado de dos destornilladores eléctricos de Black & Decker. En el proceso de desensamblado se han realizado básicamente dos operaciones: destornillar y extraer. Con el resultado de la aplicación de los tres métodos DFD y el cronometraje del tiempo empleado se han extraído las siguientes conclusiones (Tabla 5.12 y 5.13):

- Operación destornillar: el método que más se aproxima al valor medio cronometrado es el de Desai & Mital (2003).
- Operación extraer: cuando la operación de extraer se realiza sin obstrucción, el método de Dowie & Kelly (1994) es el que más se aproxima al tiempo medio cronometrado (operación de extraer 1), en cambio, si hay obstrucción, el método de Desai & Mital (2003) es el que más se aproxima al tiempo medio cronometrado (operación extraer 2).

Esta casuística se ha aprovechado para desarrollar el método AIDED con el fin de estimar con la menor desviación el tiempo de desensamblado. Además, se ha relacionado

cada método de estimación de tiempos con las fases del proceso de diseño de un producto. La tipología de datos disponibles en cada una de ellas es diferente: en la fase conceptual es suficiente conocer que se utilizará un tornillo y no es necesario conocer sus dimensiones; y en cambio, en la fase de diseño de detalle, es preciso identificar las características del mismo. Por eso, se ha considerado conveniente determinar para las fases de diseño conceptual y diseño de detalle qué método estima con mayor precisión el tiempo de desmontaje (Tabla 5.14).

Tras el estudio preliminar se ha comprobado que a nivel global, y considerando la desviación respecto al tiempo medio cronometrado, el método de Dowie & Kelly (1994) es con el que menor desviación se obtiene, un -10% y -8%; seguido del AIDED con unas desviaciones de un -26%, y de un -8%; del método de Desai & Mital (2003) con unas desviaciones de un -20%, y un -25%, y del método de Kroll (1995) con unas desviaciones de un 3%, y un 48%. Además, el método AIDED es el que tiene menor desviación media absoluta por operación (Tabla 5.17).

Tabla 5.17: Desviación de tiempo estimado por los métodos DFD en los destornilladores

Destornillador	Tiempo medio cronometrado (s)	Dowie & Kelly (1994)		Kroll (1995)		Desai & Mital (2003)		Método AIDED	
			Desviación (%)		Desviación (%)		Desviación (%)		Desviación (%)
Destornillador KC360H 3.6V	67,9	61,1	-10%	69,88	3%	54,18	-20%	50,6	-26%
Desviación media absoluta operaciones (%)			44%		28%		39%		26%
Destornillador Swivel Cordless Drill (Xd1200k)	80,2	73,94	-8%	118,38	48%	59,83	-25%	73,7	-8%
Desviación media absoluta operaciones (%)			28%		49%		56%		18%

Además, este estudio preliminar abre una vía de investigación en el DFD, ya que se observa que con el método AIDED se pueden obtener mejores resultados que con los métodos actuales, aunque esta afirmación debe corroborarse con más investigaciones.

Este estudio ha permitido identificar varios aspectos interesantes para el desarrollo de esta tesis:

- Determinar las desviación en el tiempo de desensamblado que se obtiene en cada método (Tabla 5.17), aspecto que era desconocido anteriormente.
- Identificar los métodos de estimación de tiempos que se pueden utilizar en la etapa de diseño conceptual: el método de Desai & Mital (2003) y el método AIDED en todas sus operaciones; y los métodos de Dowie & Kelly (1994) y

Kroll (1995) en algunas de sus operaciones. El método con el que se obtiene menor desviación respecto al tiempo medio cronometrado es el AIDED.

En esta tesis doctoral se selecciona el método AIDED para estimar el tiempo de desensamblado de los componentes de un producto. En caso de necesitar estimar el tiempo de desensamblado de una operación no contemplada en mismo se realizaría con el método de Desai & Mital (2003), ya que es el único de los métodos analizados que se puede emplear íntegramente en la etapa de diseño conceptual.

6 Evaluación del potencial innovador de un diseño conceptual

6.1 Introducción

La elección del mejor concepto de producto es vital para encaminar el proceso de lanzamiento del mismo al mercado. Una elección inadecuada de concepto raramente puede ser compensada en fases posteriores del proceso de desarrollo del producto, y además incrementa el coste. La etapa de diseño conceptual es responsable de un 60÷80% del coste final del producto (Nevins & Whitney, 1989; Ullman, 1992; Duffy et ál., 1993).

Seleccionar el concepto a diseñar en detalle es una de las decisiones más críticas y difíciles que tiene que tomar el diseñador (Pugh, 1996), ya que influyen muchos factores. Según Fricke (1999), el que existan tanto muchos como pocos conceptos repercute de manera negativa en la calidad de la solución final. Otro factor que condiciona la toma de decisión es la limitación en la capacidad de memoria inmediata de los individuos a la hora de recibir, procesar (interpretar) y recordar la información (Miller, 1956; Baddeley, 2003).

En este capítulo se crea el método de Evaluación del Potencial Innovador de un diseño conceptual (EPI). Para desarrollar el mismo, primero se revisan los métodos de evaluación existentes. Después, se definen las bases científicas del método EPI, y se formula el mismo. Finalmente, se valida el mismo en un cortatubos de la empresa Super Ego-Rothenberger S.A. (País Vasco, España).

6.2 Métodos de evaluación de un diseño conceptual

Existen diferentes métodos para ayudar a la toma de decisiones. Éstos emanan de diferentes disciplinas: ciencias políticas, ciencias de la educación, estadística, economía, informática, teoría de la decisión, ingeniería, etc. En la literatura existen diferentes clasificaciones, como ejemplo, las clasificaciones de Bouyssou et ál. (2000) y Ozer (1999). Bouyssou et ál. (2000) analizan los cinco modelos más populares (sistemas de votación, indicadores, análisis coste - beneficio, técnicas de decisión multicriterio - *Multiple Criteria Decisión Analysis*, MCDA- y sistemas de decisión basados en reglas) y llegan a la conclusión de que no hay un modelo de evaluación – decisión perfecto, o que pueda considerarse el mejor, ya que todos tienen sus limitaciones. Por su parte, Ozer (1999) considera las siguientes categorías en el diseño conceptual: analogías, opiniones de expertos, intenciones de compra, multicriterio y sesiones de grupo (*focus group*).

En el área de desarrollo de producto los modelos más empleados son el de análisis coste –beneficio, y el de MCDA. El análisis coste - beneficio es un método muy empleado por los economistas y el MCDA se emplea cuando se trata de elegir la mejor alternativa desde diferentes puntos de vista. Dentro de MCDA existen varios métodos: suma ponderada, métodos de matrices, evaluación directa o indirecta, proceso analítico jerárquico (*Analytic Hierarachy Process*, AHP), método fuzzy, método de Pugh, método de Pahl & Beitz, diseño flexible, el método de la lotería (teoría de la utilidad y el método de la imprecisión), ELECTRE I, ELECTRE III, MAVT, TACTIC, PROMETHEE III, PRESS II, programación por objetivos, etc., (Bouyssou et ál., 2006; Bouyssou et ál., 2000; Aragones et ál., 1999; King & Sivaloganathan, 1999; Otto & Wood, 1995).

Muchos de éstos métodos se emplean en la selección o evaluación de conceptos. Tras una revisión bibliográfica se ha realizado un listado de las tipologías de métodos más frecuentes en la selección de conceptos (Saaty, 1990; Pahl & Beitz, 1984; Pugh, 1991; Thursthon & Carnahan, 1992; King & Sivaloganathan, 1999; Wang, 2001; Takai & Ishii, 2004; Salonnen & Perttula, 2005). Estos se muestran a continuación por orden cronológico:

- Métodos de Pugh.
- Proceso analítico jerárquico (AHP, *Analytic Hierarchy Process*).
- Método de Pahl & Beitz.
- Métodos basados en matrices QFD.
- Método Fuzzy.

Un método de selección de conceptos consta como mínimo de los siguientes pasos o fases (Figura 6.1):

1. Listado de conceptos a evaluar.
2. Elección de los criterios de selección.
3. Valoración del grado de cumplimiento de cada concepto respecto de cada criterio de selección.
4. Determinación del mejor concepto.

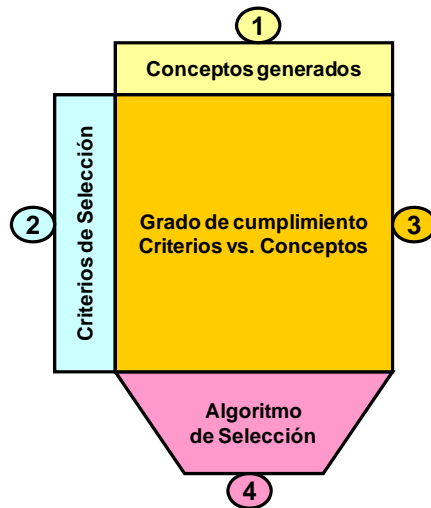


Figura 6.1: Matriz genérica de selección de conceptos

En la Tabla 6.1 se recopilan las características de cada uno de los cinco métodos mencionados en relación a las fases de la selección del mejor concepto. Respecto a los criterios de selección, todos los métodos utilizan el grado de importancia de los criterios para realizar la selección, excepto el método de Pugh (1981) de convergencia controlada, donde todos los criterios tienen el mismo peso, por lo que para aquellos casos en los que unos criterios de evaluación deban ser más importantes que otros no parece ser muy apropiada su utilización.

Para valorar el grado de importancia de los criterios de evaluación, la mayoría de los métodos lo hace cuantitativamente, pero en cambio, el método de fuzzy se apoya en valoraciones cualitativas, números de fuzzy (bajo, alto, etc.), que son muy apropiadas cuando las variables no pueden ser cuantificadas con precisión.

Respecto al cumplimiento de la relación Criterios vs. Conceptos: independientemente del método empleado la valoración puede realizarse en base a expertos o en base a estudios de mercado, aunque en la fase de diseño conceptual se emplea sobre todo una valoración en base a la intuición y a la experiencia del equipo de desarrollo de producto. Esto es debido a que en la fase de diseño conceptual resulta difícil cuantificar con precisión, ya que en muchas ocasiones falta información o se desconoce porque todavía no existe. Por eso, teniendo en cuenta su sencillez, el método de Pugh de convergencia controlada (1981) es más adecuado para esta fase. Si se busca más precisión dentro de la incertidumbre, el método fuzzy resulta interesante de aplicar ya que también se basa en valoraciones cualitativas (Wang, 2001), aunque es más difícil de utilizar.

Tabla 6.1: Métodos de selección de conceptos

		METODOS DE EVALUACION DE CONCEPTOS						
		Método de Pugh						
FASE	CONSIDERACIONES	Rating / weighing (1976)	Convergencia controlada (1981)	Modificados Takai & Ishii (2004)	AHP. Saaty (1978)	Pahl & Beitz (1984)	Método QFD. Harr et ál. (1993)	Método Fuzzy. Thurston & Carnahan (1992)
1	Conceptos	Diseños Conceptuales	X	X	X	X	X	X
		Correlación diseños conceptuales					X	
2	Criterios de selección	Criterios de evaluación	X	X	X	X	X	X
		Grado de importancia de los criterios (pesos)	X		X	X	X	X
		Criterio de coste: mayor importancia			X			
		Definición de objetivos						
		Parámetros de medida del criterio y unidades					X	
	El método obtiene el peso de los criterios				X			
3	Cumplimiento relación de Criterios vs. Conceptos	Interrelación conceptos criterios	X	X	X	X	X	X
		Evaluación en referencia a objetivos			X		X	X
		Evaluación en parejas de conceptos		X	X	X		
4	Selección del concepto	Selección de concepto	X	X	X	X	X	X
		Optimización de concepto		X				
	Dificultad de uso	B	B	B/M	B	M	M	A

En cambio, si se dispone de datos para valorar, el método más objetivo es el de Pahl & Beitz (1984). Este se apoya en unas funciones de valoración matemáticas para realizar la evaluación entre conceptos y criterios. Estas funciones matemáticas las determina el equipo de desarrollo en función de sus conocimientos o experiencias. Por lo que éste método sería muy apropiado cuando los criterios de evaluación, o gran parte de ellos, sean cuantificables.

En cuanto al cuarto paso, selección de conceptos, se emplea principalmente la suma ponderada. Además de la selección, el método de Harr et ál. (1993) y el de convergencia controlada de Pugh (1981) permiten la optimización del concepto con lo que se obtienen nuevos conceptos. El método QFD de Harr et ál. (1993) realiza una correlación entre conceptos, posibilitando que los conceptos puedan combinarse entre sí para obtener nuevos conceptos. El método de convergencia controlada de Pugh (1981), mediante su proceso de convergencia, también consigue nuevos conceptos, por lo que en ambos métodos se pueden conseguir optimizaciones de concepto

Finalmente, se han catalogado los métodos según la dificultad media de uso en alta, media y baja. Al método de fuzzy de Thurston & Carnahan (1992) se le otorga una dificultad de uso alta debido a los desarrollos matemáticos que deben realizarse para su utilización. Se considera como métodos de dificultad media el de Takai & Ishii (2004), Pahl & Beitz (1984) y métodos basados en matrices QFD ya que consideran algunos de siguientes aspectos: definición de objetivos, variables de influencia para que el diseño sea exitoso y funciones de valoración que relacionan criterios de evaluación con puntuación. El resto de los métodos son sencillos de aplicar considerándose como métodos de dificultad baja.

6.2.1 Conclusiones

Una vez analizadas las 5 tipologías de métodos de selección de conceptos más utilizadas se puede afirmar:

- La diferencia básica entre ellos radica en cómo se obtiene el peso de cada criterio y en la valoración de cada concepto con respecto a cada criterio.
- Otro aspecto a considerar es la calidad de la información con la que se toma la decisión en la fase conceptual. Se decide qué concepto es el que cumple mejor con todos los criterios, pero muchas veces es difícil de valorar esa relación, ya que no se dispone de suficientes datos, ni información. Se toma una decisión en base al *Know-How* y a la percepción del equipo, con escasa certidumbre, esta certidumbre irá incrementándose en las etapas posteriores.
- Ninguno de los métodos evalúa el potencial innovador de un diseño conceptual. Aunque se pueden adaptar para tal fin si se utiliza la innovación como un criterio más.

Tal y como mencionan Bouyssou et ál. (2000) todos los métodos tiene sus limitaciones. Los mayores problemas vienen derivados de la falta de información para poder valorar el grado de cumplimiento de cada concepto con cada criterio de evaluación. Según Salonen & Perttula (2005), un método de selección de conceptos presenta estas características:

- Debe ser capaz de seleccionar el concepto más prometedor para su posterior desarrollo.
- Al valorar la relación entre conceptos y criterios puede que ésta se desconozca o que su estimación presente una gran incertidumbre.
- En la selección participan diferentes personas con diferentes criterios.

- Se debe conocer el efecto del concepto seleccionado en las siguientes etapas del proceso de diseño, así como en las características del producto.

6.3 Bases científicas de EPI

6.3.1 Introducción

El método de Evaluación del Potencial Innovador (EPI) de un diseño conceptual selecciona el concepto de producto con mayor potencial innovador. El método sigue el proceso que se observa en la Figura 6.2.

Para que un producto sea innovador deber ser creativo y tener éxito en el mercado (Schumpeter, 1942). Por lo tanto, el concepto a partir del cual se diseña el producto deberá ser también creativo. Para evaluar la innovación de un concepto hay que tener en cuenta que, en general, un concepto de producto no está a la venta y por tanto no se sabe a priori si tendrá éxito en el mercado. En consecuencia, sólo se puede evaluar el potencial innovador del concepto; es decir, se puede decir que es potencialmente innovador, pero no se sabrá si lo es realmente hasta que no se oferte al mercado y tenga éxito.

La creatividad del concepto se evalúa midiendo su novedad mediante el método de Garcia & Calantone (2002) y su patentabilidad.

El éxito del concepto se tiene en cuenta con la evaluación de su atractivo para el cliente y para la empresa. Un concepto es atractivo para el cliente si éste tiene requisitos de diseño que atraen al cliente, aspecto que se mide con el método de Kano (1996). En cambio, para la empresa un concepto es atractivo si es viable desde una perspectiva empresarial.

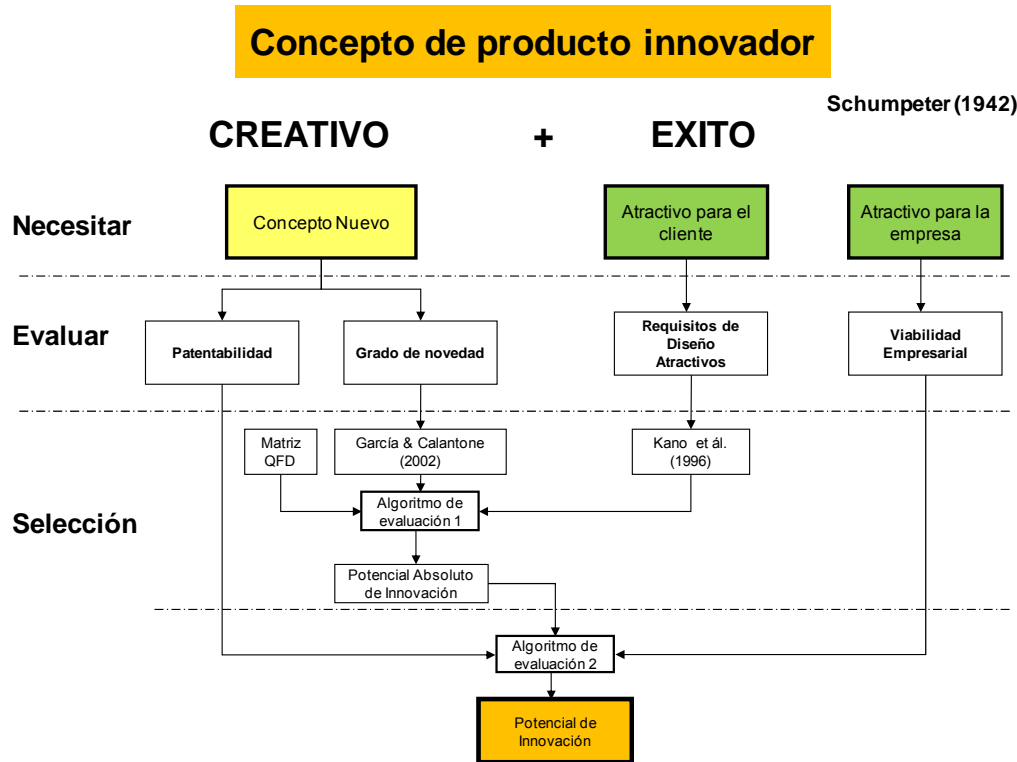


Figura 6.2: Proceso de evaluación del potencial innovador de los conceptos de un producto

6.3.2 Novedad del concepto de producto

Existen diferentes métodos para evaluar la creatividad de un concepto de producto:

- El método de Moss (1966), el cuál identifica y estima la creatividad de un producto a través de la combinación de su grado de utilidad y de su novedad. Con el grado de utilidad se evalúa si los conceptos cumplen con los requisitos de diseño y con la novedad se mide lo diferente del diseño en base al número de personas que realizan la misma solución. El método se desarrolló para medir la creatividad de estudiantes.
- El método *Creative Product Semantic Scale* (CPSS) selecciona el producto más creativo en base a una valoración semántica del mismo (Besemer, 1998).
- El método de Garcia & Calantone (2002) que valora el grado de novedad y el tipo de innovación obtenida.
- La patentabilidad del producto generado con el concepto.

El método de Garcia & Calantone es sencillo de interpretar y, además, el resultado de la valoración se obtiene al instante, en cambio, en los otros dos métodos no ocurre lo

este hecho. En el caso del CPSS, se debe recurrir a una encuesta para valorar la novedad y hace falta una muestra representativa, y en el caso del método de Moss, la dificultad radica en valorar la novedad del concepto, ya que se evalúa si un concepto lo podían haber desarrollado otras personas.

En esta tesis, la novedad del concepto de producto se evalúa mediante el método de García & Calantone (2002) y mediante la patentabilidad del mismo. Con la Tabla 2.4 se determina el tipo de discontinuidad que se da en el concepto de producto, y posteriormente, mediante la Tabla 2.5, a partir de los tipos de discontinuidad identificados se establece el tipo de innovación del concepto. Por ejemplo: si un diseño conceptual produce discontinuidades en micromarketing y en macromarketing, podemos afirmar que con él se obtendría una innovación moderada.

La patentabilidad del concepto de producto la determina el equipo de diseño en base a su experiencia. Si un diseño se prevé patentable indica que es innovador en sí, a falta de tener éxito en el mercado (Levitt, 1981; Martínez & Navarro, 1991; Binz & Reichle, 2005).

6.3.3 Requisitos de diseño atractivos para el cliente

Una manera eficaz de aumentar las ventas de un producto es incorporando en él características atractivas para el cliente. Para identificar las mismas se puede emplear el método desarrollado por Binz & Reichle (2005) basado en la metodología QFD, pero en esta tesis doctoral se propone un método más sencillo, basado también en la metodología QFD.

En la metodología QFD se emplea la encuesta de Kano et ál. (1996) para seleccionar los requisitos del cliente más importantes (Figura 6.3). Así, se obtienen los requisitos de calidad esperada, unidimensionales y de sobre-satisfacción, y se excluyen los requisitos contraproducentes y los indiferentes:

- Calidad esperada o básica: aquello que el cliente siempre espera del producto y se sentiría muy insatisfecho si no la encuentra en el producto.
- Calidad unidimensional o mejorable: aquellas características no especialmente significativas, que proporcionan mayor satisfacción al usuario cuanto mayor es consecución y viceversa.
- Calidad de sobre-satisfacción o sobre-calidad: aquellas que son inesperadas por el usuario, y que caso de encontrarlas suponen una gran satisfacción.

ENCUESTA DE KANO		
Pregunta en positivo: ¿Cómo te sentirías si está presente el requisito?		
Pregunta en negativo: ¿Cómo te sentirías si el requisito no está presente?		
Respuestas	Positivo	Negativo
Me gusta	1	A
Es de esperar que sea de ese modo	2	B
Me es indiferente	3	C
No hay otra elección	4	D
No lo vuelvo a comprar o me quejo	5	E

		Respuesta en negativo				
		A	B	C	D	E
Respuesta en positivo	1			Sobre-satisfacción	Sobre-satisfacción	Unidimensional
	2			Indiferente	Indiferente	Esperada
	3	Sobre-satisfacción	Indiferente	Indiferente	Indiferente	Esperada
	4	Sobre-satisfacción.	Indiferente	Indiferente		
	5	Unidimensional	Esperada	Esperada		

Figura 6.3: Encuesta de Kano

En esta tesis se aplica la encuesta de Kano a los requisitos de diseño para seleccionar los requisitos más importantes para el cliente (esperados, unidimensionales y de sobre-satisfacción), y se desestiman los requisitos contraproducentes y los indiferentes:

- Requisitos esperados o básicos: son aquellos que el cliente siempre espera del producto, y se sentiría muy insatisfecho si el producto no los cumple.
- Requisitos unidimensionales o mejorables: son aquellos requisitos no especialmente significativos, si bien proporcionan mayor satisfacción al usuario cuanto mayor es su nivel de consecución y al contrario.
- Requisitos de sobre-satisfacción: son aquellos que son inesperados por el usuario y que, en caso de estar presentes, suponen una gran satisfacción.

Los requisitos básicos o esperados son la razón de ser del producto, y por tanto, van a estar presentes siempre en el mismo. Bajo esta consideración, se seleccionan los requisitos de diseño que se corresponden con los dos últimos tipos: unidimensional y sobre-satisfacción, ya que se podrá conseguir más éxito en el mercado si se innova en ellos (factor de éxito de producto 9 de la Tabla 2.2). Si el cliente los encuentra en el producto final estará más satisfecho, y como consecuencia, tendrá una opinión favorable del producto, y es de suponer, que éste se venderá mejor. Por ello, se emplean estos requisitos para seleccionar el concepto de producto con mayor potencial de innovación.

6.3.4 Algoritmo de obtención del potencial absoluto de innovación

En este primer algoritmo se obtiene de manera sencilla el potencial absoluto de innovación de los diseños conceptuales. De los cinco métodos de selección de conceptos mencionados en el apartado 6.3.2, se ha decidido utilizar como base las matrices de la metodología QFD por las siguientes razones:

- La metodología QFD busca la satisfacción del cliente.
- Binz & Reichle (2005) han utilizado anteriormente las matrices de QFD para medir el potencial innovador de los requisitos de un diseño.
- Según King & Sivaloganathan (1999) es un método relativamente fácil de entender e implementar, y a las empresas le interesan métodos sencillos de implementar.

Como resultado de este algoritmo, se obtiene el concepto de producto con mayor potencial absoluto de innovación. Se considera que es el potencial absoluto de innovación porque no se han considerado aspectos de viabilidad empresarial en la evaluación.

6.3.5 Viabilidad empresarial

Para que un concepto de producto sea empresarialmente viable debe cumplir una serie de requisitos, éstos varían en función del tipo de empresa y sus intereses. Tras analizar los factores de éxito del producto (Tabla 2.2) y los factores que consideran las empresas que han colaborado en esta tesis, se ha decidido utilizar estos cuatro factores principales de éxito empresarial:

- Comparación con el mercado: cuantifica el diferencial entre el concepto nuevo y el concepto existente en el mercado (factor de éxito de producto 2 de la Tabla 2.2).
- Eficiencia económica: tiene en cuenta las previsiones de coste, complejidad de fabricación y montaje, inversiones, etc. (factor de éxito de producto 11 de la Tabla 2.2) de cada concepto.
- Evaluación comercial: el comercial de la empresa, guiado por su experiencia y sus conocimientos del mercado valora los diseños conceptuales (factores de éxito de producto 8 y 10 de la Tabla 2.2).
- Encaje estratégico: evalúa el encaje de cada concepto en la estrategia del producto.

Hay que tener en cuenta, que el número de los factores de viabilidad empresarial puede ser mayor o menor, o que los factores sean distintos a los propuestos. Esta situación vendría dada por las consideraciones de la empresa sobre los factores que pueden ayudar a conseguir el éxito del producto.

6.3.6 Algoritmo de obtención del potencial de innovación

Con este algoritmo se trata de reflejar la realidad empresarial a la hora de seleccionar los conceptos de producto. El equipo de diseño puede haber generado un concepto muy novedoso y atractivo para el cliente, pero si no cumple adecuadamente los factores de éxito empresarial, se rechaza y se selecciona otro con menor potencial absoluto de innovación.

Para corregir el valor del potencial absoluto, obtenido anteriormente con los factores empresariales, se emplea el método de suma ponderada. Binz & Reichle (2005) emplean un método similar. En este algoritmo se introduce, por un lado, el potencial absoluto de innovación y, por otro lado, los factores de éxito empresarial (viabilidad empresarial). Como resultado se obtiene el potencial innovador de los conceptos de producto.

6.4 Método EPI

En la Figura 6.4 se ilustra el método de evaluación EPI. Las fases de que consta el método son:

- 1.- Selección de requisitos de diseño innovadores.
- 2.- Valoración del grado de novedad de los diseños conceptuales.
- 3.- Evaluación del potencial absoluto de innovación de los diseños conceptuales.
- 4.- Selección y valoración de los factores de éxito empresarial (viabilidad empresarial).
- 5.- Obtención del potencial innovador de los diseños conceptuales.

Para la aplicación del método se parte de la premisa de que el equipo de diseño dispone de los requisitos de diseño y de los conceptos de producto.

- ❶ Selección de los requisitos de diseño innovadores.

Se parte de la premisa de que el equipo de diseño ya dispone de los requisitos. Al listado de requisitos de diseño se le aplica la encuesta de Kano (Figura 6.3) y se seleccionan únicamente los requisitos de diseño que son de tipo unidimensional o de tipo sobresatisfacción.

② Valoración del grado de novedad de los diseños conceptuales.

El equipo de diseño determina el grado de novedad de cada concepto empleando las Tablas 2.3 y 2.4. Así, se clasifica cada concepto de diseño según el tipo de innovación que se obtendría con él: innovación incremental, innovación moderada o innovación radical.

③ Evaluación del potencial absoluto de innovación de los diseños conceptuales.

En esta fase el equipo de desarrollo de producto evalúa los diseños conceptuales para determinar su potencial absoluto de innovación. Para ello:

- En la parte izquierda (número 1, Figura 6.4) se colocan los requisitos de diseño obtenidos en la fase 1 y se les asigna un peso. Si es un requisito de sobresatisfacción el peso de la ponderación del requisito será de “9”, y si es un requisito unidimensional será de “3”.
- En el techo (número 2, Figura 6.4) se colocan los diseños conceptuales obtenidos en la fase 2 y se establece la importancia o peso correspondiente al tipo de innovación. A un diseño conceptual cuyo grado de innovación sea incremental le corresponde un valor de “1”, a una innovación moderada “2” y a una innovación radical un “3”.
- En el interior o centro de la matriz (número 3, Figura 6.4) se determina el grado de cumplimiento de los requisitos de diseño en cada diseño conceptual. Si se cumple muy satisfactoriamente el requisito de diseño se valora con un “9”, si lo cumple medianamente un “3” y si lo cumple débilmente se valora con un “1”.

Utilizando la Ecuación 6.1 se obtiene el Potencial Absoluto (P.A) de innovación de cada diseño conceptual (número 4, Figura 6.4). Este potencial absoluto se normaliza (transforma en potencial relativo) para obtener el orden de innovación. El valor 100 indica que es el concepto con mayor potencial de innovación. El resto de valores son relativos a 100.

$$P.A = \left[\sum_i^n \text{Correlación Requisito_Concepto}_i \times \text{Ponderación Requisito}_i \right] \times \text{Grado de Novedad} \quad (6.1)$$

		Diseños conceptuales							
		Grado de novedad							
Nº	Requisitos de diseño	Ponderación requisito							
1									
2	1								
3									
4									
5									
		Potencial absoluto							
		Potencial relativo							
Variables de influencia		Factor de ponderación							
Comparación mercado									
Eficiencia económica									
Evaluación comercial									
Encaje estratégico									
POTENCIAL INNOVADOR									
Patentabilidad									
ORDEN DE IMPORTANCIA									

Correlaciones	
Satisfactoria	9
Media	3
Débil	1

Figura 6.4: Método EPI

④ Selección y valoración de los factores de éxito empresarial (viabilidad empresarial) (número 5, Figura 6.4).

En esta fase se seleccionan las variables de influencia empresarial que se van a considerar. Una vez seleccionadas, se asigna un peso de ponderación a cada factor de éxito empresarial. El valor se establece en función de los intereses de la empresa y del equipo de diseño y siempre teniendo en cuenta que la suma de todos debe ser 10.

Una vez asignados los pesos, se valora cómo cumple cada diseño conceptual las variables de influencia. La valoración es heurística y se realiza con una escala de 0 a 100. Un valor alto indica una alta eficiencia.

⑤ Obtención del potencial innovador de los diseños conceptuales.

En esta última fase se corrige el potencial absoluto anteriormente obtenido mediante la Ecuación 6.2 y se obtiene el Potencial Innovador (P.I) de cada diseño conceptual.

$$P.I = \left[\sum_i^n \frac{\text{Factor de Ponderación}_i \times \text{Relación Factor _ Concepto}_i}{10} \right] + \text{Potencial Relativo}_i \quad (6.2)$$

El concepto más innovador es el que mayor puntuación obtiene, aunque en función de la patentabilidad del concepto se podría seleccionar otro concepto con menor puntuación (número 5, Figura 6.4).

6.5 Validación de EPI


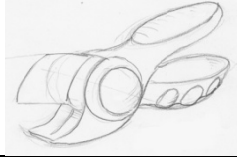
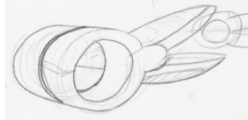

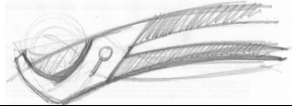

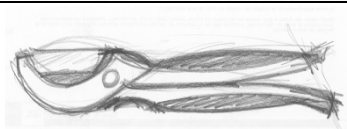
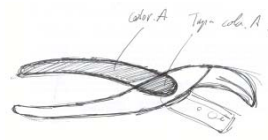
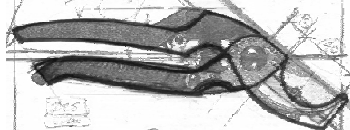
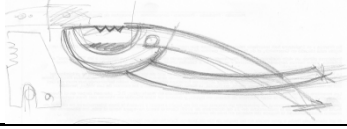
Para validar la metodología se ha aplicado EPI en la selección de conceptos de un cortatubos para tubos de plástico de la empresa Super Ego- Rothenberger S.A.

Los requisitos de diseño a cumplir son:

- Pequeño. Debe entrar en la caja de herramientas del fontanero y el diámetro máximo de corte será de 40 mm.
- Ligero. Deberá de ser fácil de transportar.
- Que sea de uso intuitivo y que no conlleve hacer muchas operaciones.
- Que sea de fácil uso y que no requiera muchos pasos previos al movimiento de corte, por ejemplo, el desbloqueo, etc.
- Adecuarse a todos los usuarios. Se tendrán que usar tablas de antropometría.
- Mantenimiento. La tijera tendrá que ser de fácil mantenimiento; se podrá cambiar la cuchilla sin hacer muchas operaciones.
- Estética / acabados. Cuidaremos la estética del producto teniendo en cuenta la ergonomía y las especificaciones. Estética de tijera.
- Ergonómico. Una de las especificaciones más importantes dado su uso profesional
- Deberá tener pocas piezas para facilitar su montaje y aumentar su sencillez.
- Coste bajo, adecuado al mercado.

Una vez analizados los productos existentes en el mercado actual se realiza la generación de conceptos. En la Tabla 6.2 se muestran los 10 conceptos considerados para la selección final y el grado de novedad que se obtendría con el desarrollo de cada uno de ellos.

Tabla 6.2: Diseños conceptuales propuestos

Nº	DISEÑOS CONCEPTUALES	DESCRIPCION	GRADO DE NOVEDAD
1		Posibilidad de fabricación de un accesorio en la parte delantera de la tijera para un mejor apoyo.	1
2		Diferenciación en diseño. Salientes de goma para empuñarlo más fácilmente, también una tapa de la misma goma en el eje.	1
3		Tijera cerrada por todo el perímetro de apoyo del tubo.	1
4		Propuesta de una tijera cerrada, donde las dos partes, que giran sobre el eje, se ocultan una dentro de la otra al cerrar.	3
5		Tijera limpia y simple queriendo cuidar la estética y robustez que tiene que aparentar.	1
6		Diseño basado en la biónica. Hay teorías que dicen que las formas de naturaleza se perfeccionan adaptándose a su entorno.	3
7		Incorpora dos muescas, una en cada pieza, la de arriba para hacer tope con la mano al cortar y la de abajo para empezar a hacer fuerza cuando la tijera está totalmente abierta.	1
8		La unión de las dos piezas es algo diferente y peculiar. Mangos de diferente color y se oculta la unión.	1
9		Basado en la forma de una tijera de podar.	1
10		Introducción de una cuchilla intercambiable con una especie de sierra en la parte superior, pensando en la robustez que tiene que aparentar.	1

En la Figura 6.5 se muestra el resultado de la aplicación del método EPI en el cortatubos. Como se puede observar, de los 10 requisitos de diseño considerados

inicialmente, a la hora de la evaluación, se descartan 5 y solamente se tienen en cuenta aquellos requisitos considerados de sobre-satisfacción (peso 9) y unidimensionales (peso 3). En cuanto a la novedad de cada concepto, los conceptos 4 y 6 son los más novedosos.

Los conceptos con mayor potencial absoluto de innovación han sido:

1. El concepto 4.
2. El concepto 6.
3. El concepto 9.
4. El concepto 7.

Tras tener en cuenta las variables de influencia (éxito empresarial) se ha obtenido el potencial de innovación. Los conceptos con mayor puntuación han sido:

5. El concepto 4.
6. El concepto 9.
7. El concepto 10.
8. El concepto 7.

Como se puede observar en el resultado, la viabilidad empresarial ha modificado el orden del potencial absoluto de innovación. En un principio, los conceptos con mayor potencial absoluto de innovación eran los que mayor novedad presentaban, los conceptos 4 y 6, pero tras tener en consideración las variables de éxito empresarial la puntuación del concepto 6 ha disminuido y ya no está entre los cuatro primeros.

El concepto con mayor potencial de innovación es el número 4 (concepto 4), ya que era un concepto de producto novedoso. Este concepto de tijera conllevaba un mecanismo de cuatro puntos de giro para que la apertura de la misma fuera pequeña, tal y como se quería. Tras varios análisis e intentos fallidos, se entendió que este nuevo concepto de producto era inviable, por lo que se optó por desarrollar el concepto nº 9. Al haberse realizado valoraciones a nivel conceptual no se pueden evaluar ciertos aspectos técnicos y consideraciones de fabricación del producto por lo que es normal que ocurran sucesos de este tipo. El diseño final aprobado por la empresa tras varias maquetas se muestra en la Figura 6.6. En este caso la empresa decidió no tener en cuenta si la solución era patentable o no.

EPI- Evaluación del Potencial Innovador

		Diseños conceptuales										
		Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	Concepto 4	Concepto 5	Concepto 6	Concepto 7	Concepto 8	Concepto 9	Concepto 10	
		Grado de novedad										
		1	1	1	3	1	3	1	1	1	1	
Nº	Requisitos de diseño	Ponderación requisito										
1	Ser ligero	9	1	1	1	1	3	3	9	3	3	3
2	Ser intuitivo en el uso	9	1	9	1	3	9	3	9	9	9	9
3	Ser ergonómico	3	3	9	1	3	3	1	3	3	9	3
4	Ser de fácil mantenimiento	3	3	1	3	1	3	3	3	3	3	9
5	Ser estéticamente bonito	9	1	9	3	9	3	3	3	1	9	1
Potencial absoluto		45	201	57	387	153	279	207	135	225	153	
Potencial relativo		12	52	15	100	40	72	53	35	58	40	
Variables de influencia		Factor de ponderación										
Comparación mercado		2	75	60	60	70	60	60	60	55	75	60
Eficiencia económica		4	40	40	50	45	50	50	50	40	50	60
Evaluación comercial		2	40	55	30	90	60	10	50	50	80	60
Encaje estratégico		2	40	40	50	90	60	20	60	40	70	60
POTENCIAL INNOVADOR			129	169	135	270	180	167	188	147	221	190
Patentabilidad (no se considera)												
ORDEN DE IMPORTANCIA						1			4		2	3

Correlaciones	
Satisfactoria	9
Media	3
Débil	1

Figura 6.5: Aplicación de EPI en el cortatubos

Actualmente, este producto se puede comprar en el mercado, y según la empresa ha tenido el éxito esperado, por tanto se puede decir que el método EPI ayudó a seleccionar el concepto de producto más innovador. Además, según los responsables de la empresa el método EPI les ha parecido útil y sencillo de implementar.



Figura 6.6: Diseño conceptual del cortatubos finalmente desarrollado

6.6 Conclusión

Hoy en día, el ciclo de vida de los productos es cada vez más corto y obliga a las empresas a tener unos ciclos de diseño, desarrollo y lanzamiento de productos, prácticamente, continuos. Así, el tiempo destinado para realizar cada una de las fases del proceso de desarrollo se acorta. La cuestión es ¿cuánto tiempo dedicar a cada etapa? y las empresas españolas en general, buscan obtener resultados rápidamente. Se realiza la concepción del producto apresuradamente y, después, se fabrica un prototipo para testear y verificar las especificaciones, siendo esta etapa, a la que las empresas dedican más tiempo, ya que como no satisface los requisitos se modifican cosas y se vuelve a probar. En este camino, muchas veces hay que retornar al origen porque no se logran los resultados previstos y se vuelve a seleccionar otro concepto.

En la selección del mejor concepto de producto intervienen muchos factores: debe cumplir con los requisitos de diseño, debe tener un mínimo coste, debe diferenciarse de los productos existentes, etc. Esto hace que la decisión no sea una tarea sencilla de realizar. En la mayoría de las empresas, la selección se toma en base a la intuición del equipo de diseño, para lo cual, el equipo considera los factores que cree más importantes para el producto y selecciona el mejor concepto en base a éstos. Lo más usual es

desarrollar un concepto, y en base al método de prueba y error perfeccionar el mismo, aunque sea necesario variar el concepto seleccionado y alargar el tiempo de desarrollo del producto.

Si dentro de estos factores se incluye la evaluación del potencial innovador del concepto, la decisión se complica aún más. Por definición un producto innovador es novedoso y tiene éxito en el mercado. Pero, ¿cómo valora el equipo la innovación?, en base a qué criterio la evalúa, cómo poner de acuerdo a un equipo sobre qué es o no innovación y cómo evaluarla. Además, hay que tener en cuenta que la interpretación del término innovación de producto es idiosincrásica, por tanto, cómo discernir qué concepto es más innovador que otro.

Se ha realizado una revisión de los métodos MCDA empleados en la evaluación de conceptos de producto y no se encontró ninguno que valorara expresamente la innovación de conceptos de producto, por lo que se ha desarrollado el método de Evaluación del Potencial Innovador de los conceptos de producto (EPI) para solucionar la problemática presentada. Las bases del método EPI son:

- La evaluación del grado de novedad del concepto de un producto mediante las discontinuidades de Garcia & Calantone (2002), con lo que se discierne entre los tipos de innovación que se lograría con el concepto: innovación radical, innovación moderada y innovación radical.
- La patentabilidad del producto desarrollado a partir del concepto.
- La selección de requisitos de diseño atractivos para el cliente mediante la encuesta de Kano (Kano et ál., 1996).
- La determinación y evaluación de las variables de viabilidad empresarial
- La matriz QFD I en la que se integran todas las evaluaciones mencionadas.
- Es un método cualitativo y sencillo de utilizar. Se ha intentado huir de valoraciones cuantitativas de cumplimiento de cada criterio con cada concepto, porque el tiempo empleado hubiera sido muy superior y en numerosas ocasiones se desconocería la información.
- Esta basado en el consenso de un equipo de desarrollo multidisciplinar, lo cual, aporta confianza y seguridad en el resultado. Además, se disminuye el tiempo de desarrollo ya que el número de tentativas a realizar promete ser inferior.

Además, se ha contrastado el método EPI con éxito en el desarrollo de un cortatubos de la empresa Super Ego – Rothenberger S.A. Aunque, en este caso, la empresa ha tenido que recurrir al segundo concepto seleccionado para lograr un producto innovador. Al

haberse realizado valoraciones a nivel conceptual no se pueden evaluar ciertos aspectos técnicos y consideraciones de fabricación del producto por lo que es normal que ocurran sucesos de este tipo, sobre todo, cuando no se tiene dominio de la tecnología que se empleará. El fallo ha sido no considerar la dificultad técnica como un factor de viabilidad empresarial desde el principio. Este hecho nos ha permitido robustecer el método para futuras aplicaciones, ya que se analizará en cada caso la inclusión de la dificultad de realización como factor de viabilidad empresarial.

Desde el punto de vista empresarial el lograr un producto innovador con la segunda tentativa es un aspecto positivo a destacar, ya que lo más usual suele ser realizar más tentativas. Esto puede ser debido al conjunto de características del método EPI.

Por último, añadir que el método se podría implementar con una macro de Excel para mejorar aún más, su facilidad de uso y su sencillez.

7 Metodología ECOINDES

7.1 Introducción

ECOINDES es una metodología de ECO-INnovación que tiene como origen de la innovación el diseño para DESensamblado. El objetivo final de la misma es generar conceptos de producto potencialmente innovadores y seleccionar el más eco-innovador para su posterior desarrollo en detalle.

ECOINDES se concibe a partir de los métodos de evaluación Eco-EPI y PR-EOL, y las herramientas y métodos desarrollados en los capítulos anteriores: los factores de DFD, los métodos de evaluación del DFD y el método DESTRIIZ (innovación a partir de DFD). En la Figura 7.1 se muestran sus fases, que son:

- ① *Know-How* del producto.
- ① Selección del factor DFD.
- ② Generación de conceptos con el método DESTRIIZ.
- ③ Evaluación.

La fase cero consiste en la adquisición del conocimiento necesario del producto sobre el que se aplica la metodología. Se debe conocer, por ejemplo, el usuario del producto, las especificaciones del producto, la estructura del mismo, las funciones que debe cumplir, el fin de vida, etc.

La metodología comienza con la selección del destino final (EOL) de las piezas. Después, en la segunda fase, se innova a partir de los factores de diseño para desensamblado sistema de unión e identificación del componente y del elemento de unión aplicando el método DESTRIIZ desarrollado en el capítulo 5. Y finalmente, en la tercera y última fase, se evalúa la eco-innovación mediante los métodos Eco-EPI y PR-EOL. Eco-EPI es una variante del método EPI que selecciona el concepto de producto con mayor potencial de eco-innovación considerando el desensamblado, y PR-EOL evalúa la mejora ambiental obtenida a nivel de producto considerando el EOL real del producto.

En los siguientes apartados se desarrollan en detalle las tres principales fases de las que consta ECOINDES:

- ① Selección del EOL de las piezas.
- ② Generación de conceptos con el método DESTRIIZ a partir de los factores DFD.
- ③ Evaluación.

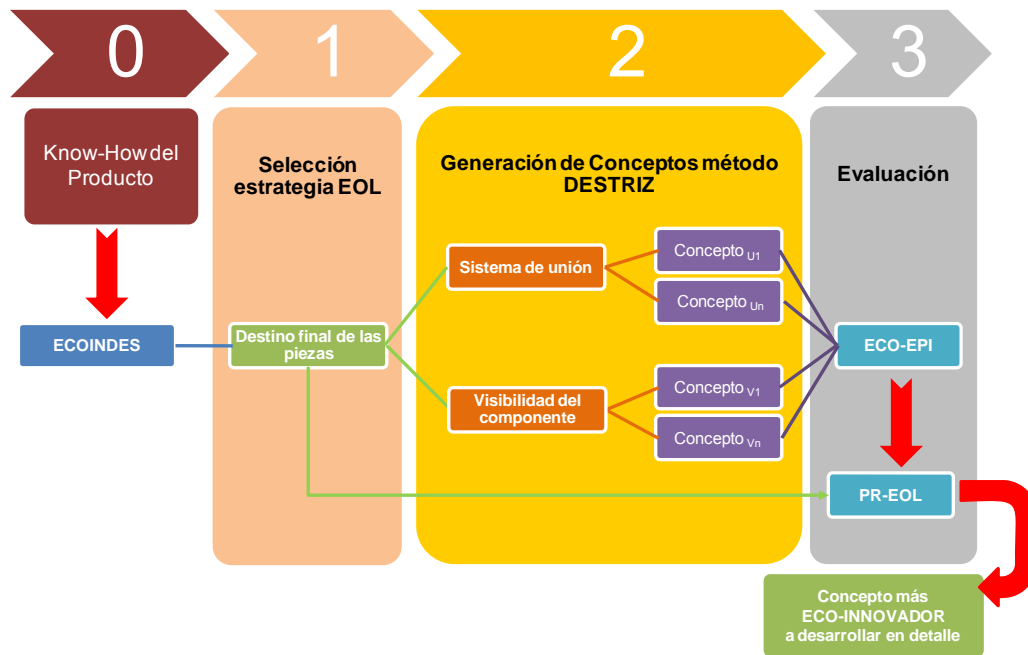


Figura 7.1: Fases de la metodología ECOINDES

7.2 Estrategia EOL de las piezas

El destino final real de los componentes de un producto varía en función de su rentabilidad económica y de la legislación que debe cumplir.

Rose (2000) y De Brito & Dekker (2004) teniendo en consideración el impacto ambiental del producto y la rentabilidad del EOL establecen el siguiente ranking de los diferentes destinos de EOL:

1. Reutilizar producto.
2. Reutilizar componentes.
3. Refabricar.
4. Reciclar.
5. Valorizar energéticamente.
6. Depositar en vertedero.

En un primer momento se puede pensar que las primeras opciones del ranking son las más rentables y las más respetuosas con el medio ambiente; y que las últimas opciones son las menos rentables y las más perjudiciales para el medio ambiente. Pero como sugieren De Brito & Dekker (2004), aunque en general puede ser cierta esta afirmación, se podría dar también el caso en que no fuera cierta. En esos casos se deberá realizar un estudio de costes y de impacto ambiental más exhaustivo. Por ejemplo, en cuanto al impacto ambiental se podría realizar un ACV, y en lo referente al valor económico de cada opción de recuperación habría que analizar la existencia de un mercado para la venta, ya que si no existen no se genera valor económico. Por lo tanto, es posible que un producto usado no tenga valor en el mercado como tal, pero en cambio puede ser muy valioso como recambio de piezas.

Hoy en día, ya es una práctica habitual aplicar las primeras estrategias del ranking EOL (reutilizar producto, reutilizar y refabricar componentes y reciclar) en los sectores con productos de alto valor económico; sin embargo, en productos de bajo valor es más habitual reciclar, valorizar y depositar en el vertedero. Por ejemplo, en automoción y maquinaria (tanto industrial como agrícola) el producto completo se reutiliza para alargar su servicio mediante su venta en mercados de segunda mano. Además, se desmontan partes para su reutilización, refabricación o reciclaje. Aunque el destino final más común es la trituración para después reciclar, valorizar o depositar en el vertedero las fracciones trituradas.

7.2.1.1 Determinar la estrategia EOL del producto

¿Se puede innovar a partir del destino final de las piezas?, a priori, y con el conocimiento que se tiene de las estrategias EOL parece que la respuesta a la pregunta es un sí. Un cambio en el destino final del producto conlleva una variación de lo establecido, y por consiguiente una innovación, que conlleva a su vez una mayor incertidumbre en cuanto a la aceptación de mercado, los cambios en la logística, al aumento o disminución de costes, etc.

Tal y como se puede observar en la Figura 7.2, la tendencia es ir a un estadio que sea mejor desde un punto de vista ambiental y económico que el actual. Siendo la situación ideal reutilizar el producto.

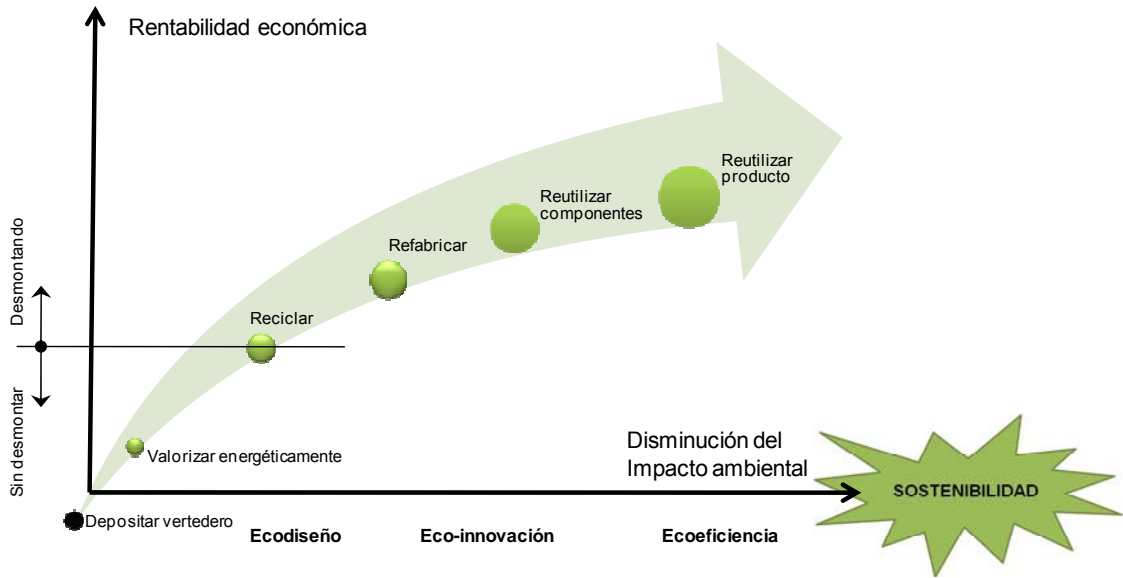


Figura 7.2: EOL de un producto

¿Pero es posible realizar los saltos de estadio en un producto? Rose (2000) desarrolló la herramienta *End-of-Life Design Advisor* (ELDA) con el fin de ayudar a decidir cuál es la estrategia EOL más adecuada para cada producto, y que utilizaremos en esta tesis. Para ello, se deben definir las características de producto de las Tabla 7.1 y 7.2, y mediante la lógica expuesta en la Tabla 7.3 se obtiene la estrategia EOL más apropiada para el producto.

Tabla 7.1 : Características del ELDA 1 (Rose, 2000)

CARACTERISTICAS	RANGO DE INPUTS
Desgaste	0÷20 años
Ciclo de tecnología	0÷20 años
Nivel de integración	Alto, Medio, Bajo
Número de partes	0÷1000
Ciclo de diseño	0÷7 años

Tabla 7.2: Características del ELDA 2 (Rose, 2000)

Motivo del rediseño	INPUTS	
Diseño original	1	
Rediseño notable	Mejora funcional	2
	Cambio estético	3
Pequeños cambios	Mejora funcional	4
	Cambio estético	5

ELDA define las características de la Tabla 7.2 de la siguiente manera:

- Desgaste: es el período de tiempo desde la compra del producto hasta que ya no cumple las funciones originales.
- Ciclo de tecnología: es el tiempo que el producto se encuentra en la vanguardia en su campo. Antes de que una nueva tecnología haga que el producto sea menos deseable.
- Nivel de integración: un producto con alto nivel de integración tiene una parte que cumple la mayoría de sus funciones. Además, en ese mismo caso los módulos de dicho producto tendrían una compleja interacción entre sí. Al contrario, un producto con nivel bajo de integración contiene partes que cumplen algunas funciones. En este caso la interacción entre módulos es más sencilla y está bien definida.
- Número de componentes: es el número aproximado de componentes del producto o máquina.
- Ciclo de diseño: es la frecuencia con la que las empresas diseñan nuevos productos o rediseñan sus productos existentes. Se consideran éstos tres motivos de nuevo diseño:
 - Diseño original, es decir, nuevo diseño para la empresa sin historia de diseño.
 - Diseño evolutivo (rediseño notable de un producto existente).
 - Cambios de detalles (pequeños cambios a un producto existente).

Una vez definida cuál va a ser la estrategia EOL para el producto se debe realizar el nuevo diseño o rediseño para cumplir con la misma. Para lo cual, entre otras cuestiones se deben considerar los aspectos clave que se mencionan en la Tabla 7.4. Como se puede apreciar en la misma, para las estrategias de reutilización de componentes, refabricación y reciclaje con desmontaje se deben definir los componentes que cumplen dichas estrategias, para que posteriormente se diseñen sus uniones pensando en el desensamblado de las mismas.

La estrategia de reutilización de producto, en función del EOL del producto, puede también estar influenciada por el diseño para desensamblado, ya que puede darse el caso de que se reutilicen sus componentes, o se refabriquen o se desmonten para reciclarse. Aunque este aspecto seguramente ya se habrá considerado previamente en el mantenimiento del producto. No obstante, puede ocurrir que desde el enfoque del EOL el número de componentes a desmontar sea mayor que desde el enfoque del mantenimiento.

Por tanto, todas las ideas de conceptos de producto desarrolladas para los sistemas de unión serán factibles de utilizar también para innovar en el destino final de las piezas.

Tabla 7.3: Estrategia EOL en función de las características del producto (Rose, 2000)

Estrategia EOL	Desgaste/ Ciclo tecnológico	Otras características de producto
Reutilizar producto	1 < n° de años < 4	Desgaste > 10,5 años Número de componentes > 108 Ciclo de diseño > 6 años
Reutilizar componente	1 < n° de años < 4	Desgaste > 10,5 años Número de componentes > 108 Ciclo de diseño < 6 años
Refabricar	n° de años ≤ 1	
	1 < n° de años < 4	Desgaste > 10,5 años Número de componentes > 108 Motivo del rediseño 1 ó 2 ó 4 Ciclo de diseño > 2,5 años
	1 < n° de años < 4	Desgaste < 10,5 años Nivel de integración bajo 13 < Número de componentes < 50
	n° de años ≥ 4	Ciclo de tecnología < 2,5 años
Reciclaje con desmontaje	1 < n° de años < 4	Desgaste > 10,5 años Número de componentes < 108 Motivo del rediseño 3 ó 5
	n° de años ≥ 4	Ciclo de tecnología > 2,5 años
Reciclaje sin desmontaje	1 < n° de años < 4	Desgaste > 10,5 años Número de componentes < 108 Motivo del rediseño 1 ó 2 ó 4 Ciclo de diseño < 2,5 años
	1 < n° de años < 4	Desgaste < 10,5 años Nivel de integración bajo Número de componentes < 13
	1 < n° de años < 4	Desgaste < 10,5 años Nivel de integración bajo Número de componentes > 50

Tabla 7.4: Estrategia EOL y aspectos de diseño clave a considerar

Estrategia EOL	Aspectos de diseño clave a considerar en el nuevo diseño
1.- Reutilizar producto	Estrategia de marcas Diseño Robusto y fiable Diseño Logística Viabilidad del proyecto Mejora Ambiental Fiabilidad de componentes Diseño del sistema de venta
2.- Reutilizar componentes	Estrategia de marcas Definir componentes a reutilizar Plataforma de producto Diseñar pensando en el desensamblado Fiabilidad de componentes Diseño Logística
3.- Refabricar	Estrategia de marcas Plataforma de producto Definir componentes a refabricar Diseño para la refabricación Plataforma de producto Diseñar pensando en el desensamblado
4.- Reciclaje con desmontaje	Definir componentes a reciclar con desmontaje. Diseñar pensando en el desensamblado
5.- Reciclaje sin desmontaje	Los tradicionales

7.3 Generación de conceptos con DESTRIZ

7.3.1 Introducción

En esta etapa se selecciona el factor DFD a partir del cual se obtendrán conceptos de producto innovadores.

En el capítulo 3 se identificaron los siete factores que condicionan el diseño para desensamblado: la legislación, el destino final de las piezas, la estructura del producto, el sistema de unión, la visibilidad del componente y del sistema de unión, las características de las piezas a desensamblar y las condiciones en que se realiza el desensamblado. De los siete factores, en esta tesis doctoral se consideran únicamente los siguientes tres como origen de la eco-innovación:

- El sistema de unión.
- La visibilidad (identificación) del componente y del elemento de unión.

A continuación, se muestra el método de innovación para cada factor y los métodos de evaluación de la eco-innovación Eco- EPI y PR-EOL.

7.3.2 Generación de conceptos a partir del sistema de unión

Un producto es un puzle en el cual se acoplan infinidad de elementos con finalidades distintas. Sobre una estructura básica se montan todos los elementos mecánicos, eléctricos, etc. que componen el sistema. En función de las especificaciones que deben cumplir los componentes se utilizan diferentes tipologías de unión, por tanto en un producto pueden coexistir gran variedad de sistemas de unión. Por ejemplo: uniones atornilladas, uniones soldadas, uniones remachadas, uniones mediante clipajes, etc.

Para generar conceptos innovadores a partir del sistema de unión se utiliza el método desarrollo en el capítulo 5, DESTRIZ (apartado 4.2.8). Para innovar en un producto a partir del sistema de unión es necesario identificar previamente la unión los componentes que se quiere mejorar. A partir de ahí, se generan conceptos de unión que sustituyen al sistema actual, por otros que necesitan un menor tiempo de desensamblado, y así, se generaran nuevos conceptos de producto potencialmente innovadores. Básicamente consiste en modificar la evolución que han seguido los sistemas de unión a lo largo de la historia (Figura 7.3).

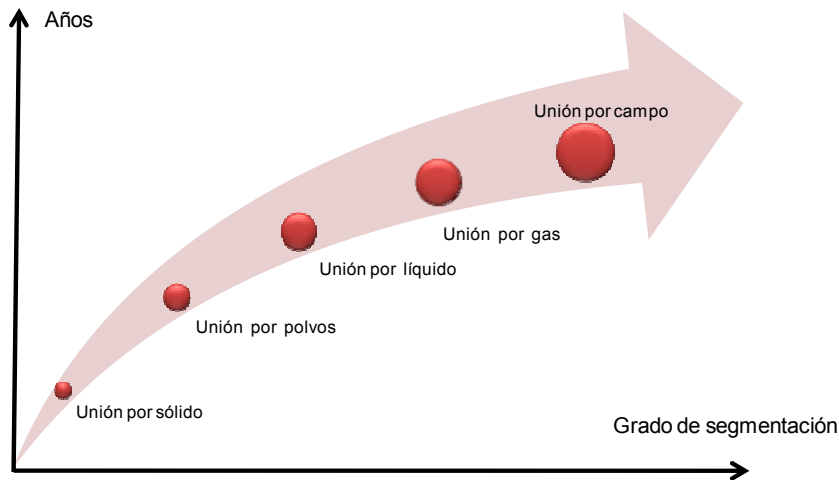


Figura 7.3: Evolución de los sistemas de unión

7.3.3 Generación de conceptos a partir de la identificación del componente y del elemento de unión

Al final de la vida útil del producto, la persona que realiza el desmontaje del mismo se puede encontrar con un producto deteriorado o en malas condiciones. Por ejemplo, la identificación de sus partes puede resultar difícil por estar el producto sucio. Por eso, la visibilidad del elemento de unión puede considerarse como un factor que condiciona el tiempo de desensamblado.

No obstante, éste no es un factor prioritario dentro del proceso de desmontaje. Si no se observa adecuadamente la ubicación del elemento de unión se produce una ralentización en la operación de desensamblado. Aunque en la realidad, la persona que realiza el desensamblado dispone de suficiente información como para que este factor pueda menospreciarse.

La primera vez que se realiza el desensamblado de un producto, el tiempo que se requiere es mayor, ya que aunque se conozca el proceso de desmontaje y las ubicaciones de los elementos de unión, el proceso está afectado por la inexperiencia. Por eso, todos los puestos de trabajo necesitan un periodo de aprendizaje antes de pedir una actividad productiva determinada.

Aún así, se puede decir que este factor puede ayudar a innovar en el producto. En el capítulo 5 de la tesis se desarrolló mediante el método DESTRIZ el proceso de generación de conceptos innovadores a partir de la visibilidad del componente y del

sistema de unión (apartado 4.3.7). Básicamente consiste en variar el sentido utilizado para la identificación de los componentes y del elemento de unión (Figura 4.14).

7.4 Evaluación de la eco-innovación en el DFD

7.4.1 Introducción

Una vez generados los conceptos de producto se deben de evaluar éstos para seleccionar aquellos con mayor potencial de eco-innovación para desarrollarlos en la fase posterior de diseño en detalle.

Para evaluar la eco-innovación en el DFD se estudian, en primer lugar, las técnicas que se pueden emplear para determinar el impacto ambiental de cada uno de los factores DFD analizados:

- El destino final de las piezas, EOL.
- El sistema de unión.
- La visibilidad (identificación) del componente y del elemento de unión.

Después, con el resultado de estos análisis se desarrollan los métodos Eco-EPI y PR-EOL para evaluar la eco-innovación en el DFD. El método Eco-EPI se selecciona el concepto de producto con mayor potencial de eco-innovación, para lo que se adapta el método EPI anteriormente desarrollado en el capítulo 6. El método PR-EOL determina la mejora en el final de vida (*End-Of-Life*, EOL) del producto.

7.4.2 Evaluación del destino final de las piezas

En Europa, al final de la vida útil de los productos es habitual que los mismos se trituren para reciclar, valorizar o depositar en vertedero las distintas fracciones de materiales.

Esta tesis se centra en el diseño conceptual (Figura 7.4). Sin embargo, la decisión sobre el destino final que siguen las piezas de un producto en su EOL es una decisión estratégica de la empresa, ya que influye y condiciona muchos aspectos relevantes del proceso de lanzamiento de un producto al mercado.

Aunque la Planificación Estratégica de Producto no forma parte de esta tesis, sus consecuencias tienen gran repercusión en el Diseño Conceptual y en la aplicación de las metodologías que se desarrollan en esta tesis.

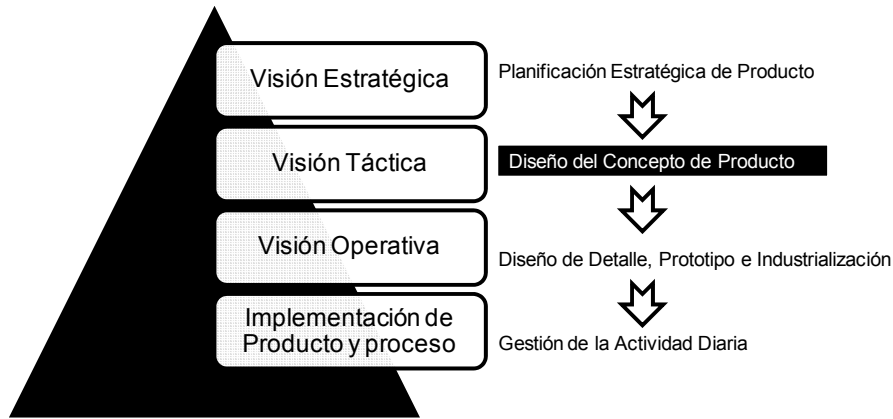


Figura 7.4: Desde la planificación estratégica al producto entregado al cliente

En la Tabla 7.5 se propone una relación genérica entre las estrategias EOL, la sostenibilidad (Figura 2.3) y el riesgo de la ejecución del proyecto. La reutilización de producto se enmarca dentro de la eco-eficiencia de producto ya que el riesgo es el más elevado en comparación con otras estrategias. La reutilización de componentes, la refabricación y el reciclaje con desmontaje se encuadran en la eco-innovación ya que para lograrlas se deben tener en cuenta estas estrategias desde la concepción del producto. En cambio, esto no es necesario para el reciclaje sin desmontaje y la valorización energética, por lo que éstas se incluyen dentro del ecodiseño.

Desde una perspectiva teórica del diseño, cabría pensar que en la fase de Diseño Conceptual todas las alternativas generadas deben cumplir el mismo destino EOL deseado. Por ejemplo, parece coherente pensar que si se generan alternativas de conceptos para reutilizar el producto todas ellas tendrán el mismo EOL de cara a la evaluación del destino final de las piezas, es decir, todos se reutilizan. En cambio, en la realidad industrial no siempre ocurre esto. En general, la gran mayoría de los productos tienen reglamentada su EOL, o si no, siguen el canal preestablecido para los sectores con reglamentación. Dos ejemplos son: los Aparatos Eléctrico Electrónicos (AEE) y los Vehículos Fuera de Uso (VFU). En las Tablas 7.7 y 7.6 se muestran las exigencias mínimas establecidas en sus respectivos Reales Decretos (RD). La consecuencia es que dentro de un mismo producto hay unos componentes que se reciclan, otros que se reutilizan y otros que se valorizan o se depositan en el vertedero con el fin de cumplir la legislación.

Tabla 7.5: Relación de las estrategias EOL con la Sostenibilidad.

Estrategia EOL	Camino hacia la Sostenibilidad	Riesgo de ejecución (1 a 5)
1.- Reutilizar producto	Eco-eficiencia	5
2.- Reutilizar componentes	Eco-innovación	4
3.- Refabricar	Eco-innovación	3
4.- Reciclaje con desmontaje	Eco-innovación	2
5.- Reciclaje sin desmontaje	Ecodiseño	1

Tabla 7.6: Porcentajes de valorización, reutilización y reciclado de AEE (RD 208/2005)

Categorías de productos	Reciclar y reutilizar	Valorizar
1. Grandes electrodomésticos	75%	80%
2. Pequeños electrodomésticos	50%	70%
3. Equipos de informática y telecomunicaciones	65%	75%
4. Aparatos electrónicos de consumo	65%	75%
5. Aparatos de alumbrado	50%	70%
6. Herramientas eléctricas o electrónicas (excepto las herramientas industriales fijas permanentemente, de gran envergadura e instaladas por profesionales)	50%	70%
7. Juguets y equipos deportivos o de tiempo libre	50%	70%
8. Aparatos médicos (excepto todos los productos implantados e infectados)	-	-
9. Instrumentos de vigilancia o control	50%	70%
10. Máquinas expendedoras	75%	80%

Tabla 7.7: Porcentajes de valorización, reutilización y reciclado de VFU (RD 1383/2002)

Año	Reciclar y reutilizar	Valorizar
2006	80%	85%
2015	85%	95%

Cuando la reglamentación no establece el EOL, es la rentabilidad económica la que lo determina. Se pueden desmontar ciertos componentes para reutilizar, refabricar y reciclar si son rentables, o porque es obligatorio descontaminar el producto; y en cambio, en otros casos, se tritura todo para después reciclar, valorizar o depositar en vertedero.

Por tanto, teniendo en cuenta el EOL real de los productos, la legislación y las estrategias EOL se valora el impacto ambiental en el EOL de un producto valorando:

- ¿Se reutiliza el producto?
- % de componentes reutilizados
- % de metales reciclados
- % de plásticos reciclados (sin mezcla)
- % de plásticos reciclados (mezclados)
- % de valorización
- % de deposición en vertedero

Se ha decidido diferenciar entre plásticos reciclados mezclados y sin mezclar, ya que en la práctica el valor económico del material depende de ello.

7.4.3 Evaluación del sistema de unión

La valoración de la desmontabilidad de los sistemas de unión en la etapa de Diseño Conceptual se puede realizar de manera cualitativa o cuantitativa, tal y como se remarcó en el capítulo 3.

La evaluación de la desmontabilidad del sistema de unión se realiza en esta tesis mediante la estimación del tiempo de desensamblado (valoración cuantitativa). Además, con esta información se puede realizar una valoración económica del EOL del producto.

Como ya se ha comentado anteriormente en el capítulo 5, para la estimación del tiempo de desensamblado de las operaciones apertura de *snap*s, destornillar y extraer se empleará el método AIDED, y para el resto de operaciones se empleará el método de Desai & Mital (2003). La desviación de la estimación respecto el tiempo medio cronometrado en ambos métodos es inferior a la 30%, puesto que las estimaciones se realizan en la etapa de diseño conceptual se consideran desviaciones aceptables (Justel et ál., 2006c; Torrano et ál., 2008).

7.4.4 Evaluación de la visibilidad del elemento de unión

La evaluación de la visibilidad del elemento de unión es un criterio que influye en la estimación del tiempo de desensamblado, por tanto este factor se evalúa conjuntamente con el sistema de unión.

7.4.5 Método Eco-EPI

Teniendo como inputs los conceptos de producto y la información de los requisitos de diseño, el método Eco-EPI, selecciona desde la perspectiva del DFD, el concepto de producto con mayor potencial de eco-innovación (Figura 7.5).

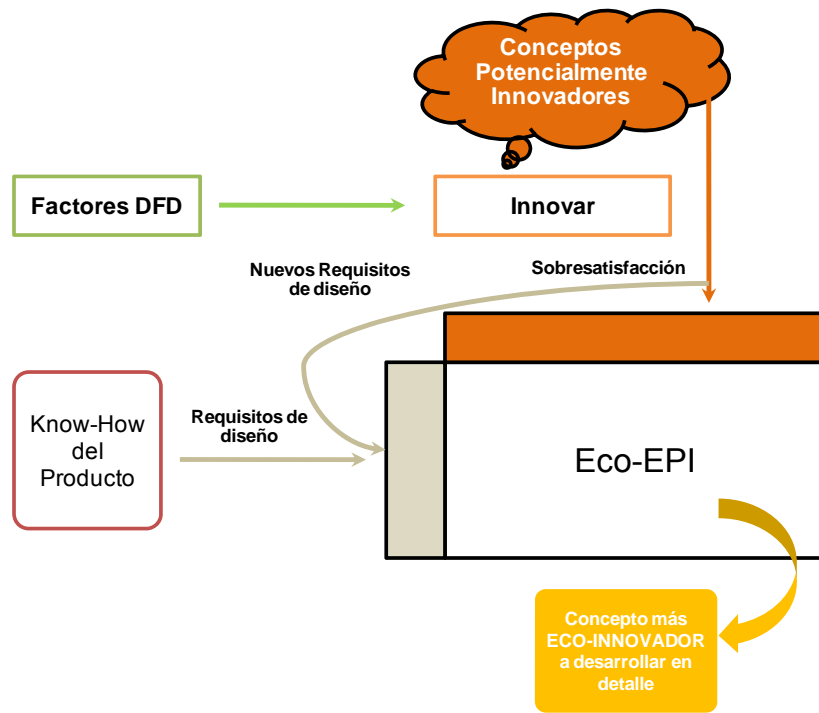


Figura 7.5: Obtención del Concepto más eco-innovador

El método Eco-EPI es una variante del método EPI (anteriormente desarrollado en el capítulo 6) para evaluar la eco-innovación en el DFD. Las modificaciones que se realizan al método original son:

- Para la empresa que desmonta un producto al final de su vida útil es una sobresatisfacción encontrarse con que el mismo es fácilmente desmontable. Por eso, se introduce la desmontabilidad como un requisito de diseño obligatorio. Este requisito tiene un valor de ponderación de “9” al ser considerado como requisito de sobre-satisfacción. La estimación del tiempo de desensamblado de cada concepto se realiza mediante los métodos AIDED y Desai & Mital (2003).
- El grado de novedad del concepto determina el tipo de mejora ambiental que se logra (Tabla 7.8). Así, un grado de novedad de concepto de “1” corresponde con una mejora de ecodiseño, un grado de novedad de concepto de “2” corresponde con una mejora de eco-innovación, y un grado de novedad de concepto de “3” corresponde con una mejora de eco-eficiencia.

Tabla 7.8: Relación entre el grado de novedad del concepto y la mejora ambiental obtenida

Grado de novedad	Tipo de innovación	Mejora ambiental
1	Incremental	Ecodiseño
2	Moderada	Eco-innovación
3	Radical	Eco-eficiencia

Además, en determinadas ocasiones puede ocurrir que debido a la novedad del concepto sea necesario incorporar nuevos requisitos de diseño para su evaluación, ya que el concepto creado genera una sobre-satisfacción en el usuario, y ésta no está incluida en los requisitos de diseño iniciales.

7.4.6 Método PR-EOL

Las mejoras ambientales que se pueden lograr teniendo en cuenta el desensamblado de los productos son muy específicas, y van encaminadas a la mejora ambiental en EOL.

Con el método PR-EOL se evalúa la mejora ambiental real en el EOL. A partir del conocimiento del EOL de los productos (Justel et ál., 2007b) se han definido las siguientes estrategias EOL:

- Reutilizar el producto.
- % de componentes reciclados.
- % de metales reciclados.
- % de plásticos reciclados sin mezclar.
- % de plásticos mezclados reciclados.
- % de valorización de producto.
- % de producto depositado en vertedero.

Esta evaluación permite comparar la mejora EOL de los productos. La evaluación valora los porcentajes en peso de cada estrategia de EOL (Tabla 7.9). Es aconsejable que en la comparación se incluya los valores del producto actual, los valores del producto rediseñado y los valores de otros productos de la competencia. Esta comparación resulta similar a las efectuadas en otras metodologías de diseño como por el ejemplo el QFD. Como se puede observar en los resultados del ejemplo teórico, el nuevo diseño es mejor que el producto actual y que los competidores C1 y C2, ya que se reciclan más materiales y se deposita menor cantidad de material en el vertedero.

Como ya se ha comentado en el capítulo 3, en España, el EOL de los productos varía en función del EOL de cada comunidad autónoma que se analice, por ejemplo, en algunas comunidades los CATs sólo desmontan los componentes rentables, en otras desmontan la fracción ligera de plásticos (plásticos mezclados) y se recicla como materia prima, en

otras se valoriza y en otras comunidades se deposita en vertedero. Los CATs sólo desmontan los componentes rentables.

Tabla 7.9: Ejemplo teórico de evaluación del EOL de un producto, PR-EOL

ESTRATEGIA EOL	ACTUAL	NUEVO	C1	C2
¿Se reutiliza el producto?	NO	NO	NO	NO
% de componentes reutilizados	0	0	0	0
% de metales reciclados	30	50	35	40
% de plásticos reciclados sin mezclar	5	5	5	5
% de plásticos mezclados reciclados	0	0	0	0
% de valorización	5	5	5	5
% de deposición en vertedero	60	40	55	50
Total %	100	100	100	100

Para contemplar esta casuística se han definido los escenarios fin de vida de la Tabla 7.10. La definición de los escenarios se ha realizado considerando los materiales que componen los electrodomésticos de línea blanca y que en el CAT se realiza el desensamblaje de ciertos componentes. El escenario E1 es el más catastrofista y el escenario E4 es el más futurista. En el escenario E1 los CATs no desmontan para reciclar y reutilizar, y sólo se reciclan los metales. En el escenario E2 los CATs desmontan para reciclar pero no para reutilizar, se reciclan los metales, el cemento del contrapeso y los plásticos fácilmente separables. En el escenario E3 los CATs desmontan para reciclar y reutilizar, se comienza a reutilizar componentes, los plásticos sin mezclar se reciclan y los plásticos mezclados se valorizan. En el último escenario, el E4, los CATs desmontan para reciclar y reutilizar, se reutiliza la mayoría de los componentes y los plásticos al final de la vida útil se reciclan. Considerando el EOL actual podemos decir que los escenarios más reales son el E1 y el E2.

Tabla 7.10: Escenarios EOL lavadora

	E1	E2	E3	E4
Metales férricos y no férricos	R	R	R	R
Vidrio	VER	R/VER	R	REU
Cemento contrapeso	VER	R	R	REU
Componentes eléctricos	R/VER	R/V	R	REU
Fracción ligera (plásticos sin mezclar)	VER	R	R	REU/R
Fracción ligera (plásticos mezclados)	VER	VER	V	R
CAT desmonta componentes de plástico fácilmente separables	No	Si	Si	Si
CAT desmonta para reutilizar componentes	No	No	Si	Si
CAT desmonta contrapeso cemento	No	Si	Si	Si

R: Reciclaje
 REU: Reutilización
 V: Valorización
 VER: Deposición en vertedero

7.5 Aplicación de ECOINDES en el sector electrodoméstico

La metodología ECOINDES se ha aplicado en una lavadora de la empresa Fagor Electrodomésticos S.Coop. (Fagor de aquí en adelante).

Fagor es una empresa muy preocupada por el medioambiente, así por ejemplo, en el año 2006 el negocio de lavado de Fagor se convirtió en la primera empresa en obtener la certificación UNE 150301:2003 de Gestión Ambiental del Proceso de Diseño y Desarrollo - Ecodiseño.

A continuación se muestra, paso a paso, el proceso seguido para la validación de ECOINDES en el modelo de lavadora Fagor 1F-4613X. En primer lugar, y antes de comenzar a aplicar ECOINDES, se analiza el producto para conocer el mismo. Una vez analizado el producto, se desarrolla la metodología ECOINDES para el caso de la encimera de la lavadora, y se comprueba el grado de cumplimiento de la directiva RAEE. Finalmente se concluye el capítulo con las conclusiones extraídas en el proceso de validación de la metodología.

7.5.1 Conocimiento y análisis del producto

La metodología ECOINDES se va aplicar en el modelo de lavadora 1F-4613X (Figura 7.6).

Una lavadora se puede dividir en los grupos que se muestran en la Tabla 7.11. Estos grupos se han analizado individualmente para conocer:

- Las funciones que cumplen.
- Los sistemas de unión que utilizan.
- El fin de vida que siguen.
- Los componentes de que están compuestos.
- Los materiales y pesos de cada componente.



Figura 7.6: Lavadora modelo 1F-4613X de Fagor Electrodomésticos S.Coop.

A continuación, se desarrolla con más profundidad un sub-sistema del grupo CARROCERIA COMPLETA.

Tabla 7.11: Grupos de la lavadora y su EOL actual

Grupos de la lavadora
CARROCERIA COMPLETA
RECINTO LAVADO
PORTAMANDOS COMPLETO
ESCOTILLA COMPLETA
ENTRADA DE AGUA
DESAGUE COMPLETO
COMPONENTES DE CONTROL
FILTRO ANTIPOLILLAS
EMBALAJE COMPLETO
PARTE ELECTRICA

La CARROCERIA COMPLETA de la lavadora está constituida por los sub-sistemas: mueble, encimera y zócalo. El sub-sistema encimera está a su vez compuesto por tres piezas: la encimera, el marco y las grapas (Figura 7.7 a y b). La encimera es de madera y se une al marco que es de ABS por medio de grapas. Debe cumplir, básicamente las funciones estética y estructural. El marco debe cumplir la función estética y la encimera de madera debe cumplir la función estructural y, en menor medida, la función estética.

El sub-sistema encimera se fija al mueble mediante tornillos. El proceso de montaje consiste en posicionar la encimera por medio de cuatro guías de plástico, y posteriormente se fija al mueble mediante dos tornillos. Estas uniones dificultan la separación de los distintos materiales y, por lo tanto, su EOL es valorización o deposición en vertedero.

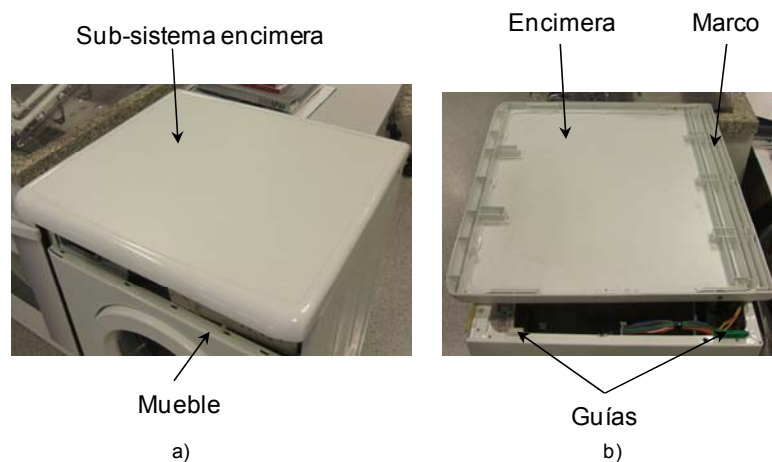


Figura 7.7: Encimera de la lavadora modelo 1F-4613X de Fagor Electrodomésticos S.Coop.

7.5.2 Determinar la estrategia EOL

Primero se determina la estrategia EOL adecuada para el producto aplicando la herramienta *End-of-Life Design Advisor* (ELDA) desarrollada por Rose (2000). Una vez

determinada la estrategia se generan conceptos de producto para lograr el destino EOL definido.

7.5.2.1 Determinar la estrategia EOL

Introduciendo los datos de las características ELDA de la lavadora (Tabla 7.12) en la Una vez definida cuál va a ser la estrategia EOL para el producto se debe realizar el nuevo diseño o rediseño para cumplir con la misma. Para lo cual, entre otras cuestiones se deben considerar los aspectos clave que se mencionan en la Tabla 7.4. Como se puede apreciar en la misma, para las estrategias de reutilización de componentes, refabricación y reciclaje con desmontaje se deben definir los componentes que cumplen dichas estrategias, para que posteriormente se diseñen sus uniones pensando en el desensamblado de las mismas.

La estrategia de reutilización de producto, en función del EOL del producto, puede también estar influenciada por el diseño para desensamblado, ya que puede darse el caso de que se reutilicen sus componentes, o se refabriquen o se desmonten para reciclarse. Aunque este aspecto seguramente ya se habrá considerado previamente en el mantenimiento del producto. No obstante, puede ocurrir que desde el enfoque del EOL el número de componentes a desmontar sea mayor que desde el enfoque del mantenimiento.

Por tanto, todas las ideas de conceptos de producto desarrolladas para los sistemas de unión serán factibles de utilizar también para innovar en el destino final de las piezas.

Tabla 7.3 se obtienen las dos posibles estrategias globales de producto EOL: refabricar y reciclar con desmontaje.

En este caso, se decide no considerar la estrategia de refabricar porque ello podría suponer cambios de cuantía económica muy elevada en la plataforma del producto actual. En cambio si se observa factible el poder reutilizar ciertos componentes siempre y cuando no se modifique la plataforma del producto.

Tabla 7.12 : Características del ELDA de la lavadora

CARACTERISTICAS	INPUTS
Desgaste	10 ±12 años
Ciclo de tecnología	3 años
Nivel de integración	Medio
Número de partes	> 108
Ciclo de diseño	2±3 años

Estas estrategias de producto (reutilizar componentes y reciclar con desmontaje) se trasladan a nivel de componentes. En la Tabla 7.13 se muestra el ejemplo de tres componentes del grupo CARROCERIA COMPLETA. La encimera está compuesta por tres componentes de materiales distintos, por eso tiene tres destinos EOL diferentes. En el zócalo se produce la misma situación por lo que en la Tabla 7.13 se ha simplificado la relación de EOL.

Tabla 7.13 : Estrategia EOL de tres componentes de la CARR.COMPLETA

Componentes	EOL Actual	Estrategia EOL
Mueble	Reciclaje sin desmontaje	Reciclaje sin desmontaje
Encimera	Vertedero -Valorizar – Reciclar sin desmontaje	Reciclaje con desmontaje
Encimera (madera)	Vertedero	
Marco (ABS)	Valorizar	
Tornillos (Acero)	Reciclaje sin desmontar	
Zócalo	Valorizar – Reciclaje sin desmontaje	Reciclaje con desmontaje

7.5.3 Generación de conceptos con el método DESTRIZ

Hoy en día, la lavadora es un producto al que le afecta la directiva RAEE y para poder cumplirla se requiere modificaciones en el diseño para que tenga en cuenta el EOL.

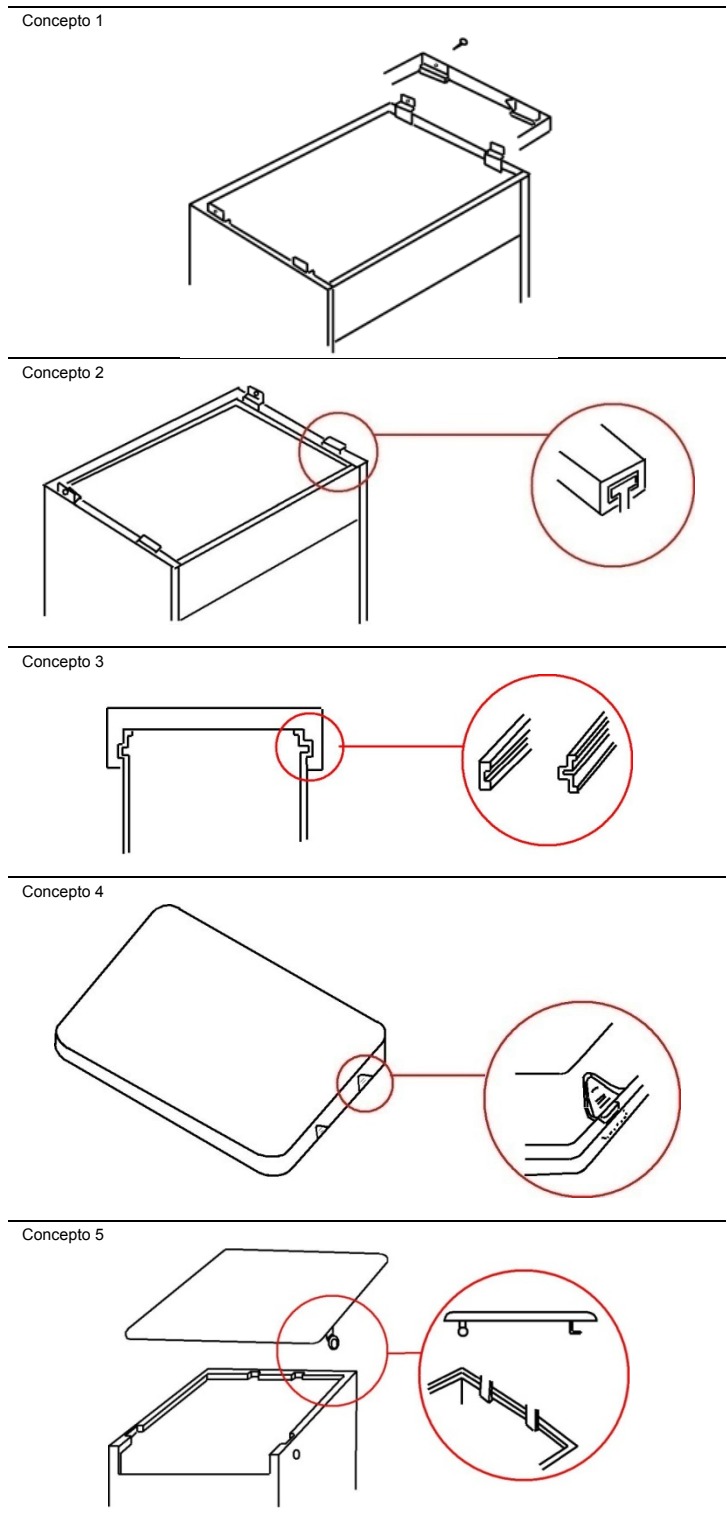
A partir de las ideas de las estrategias genéricas de DFD de la Tabla 3.2 y de las específicas del sistema de unión de la Tabla 4.6 se desarrollan conceptos para la encimera con el fin de obtener el EOL deseado. En la Tabla 7.14 se muestran los conceptos desarrollados.

Los conceptos 1, 2 y 3 eliminan las guías de plástico y el posicionado se realiza sobre el mueble directamente. Así no hay que soltar las guías de plástico y se ahorra tiempo de desmontaje. La unión se realiza por medio de dos tornillos en los conceptos 1 y 2, y en el concepto 3 la unión se produce al amarrar el portamandos en el mueble.

En los concepto 4 y 5, también se eliminan las guías de plástico y el posicionado se realiza directamente sobre el mueble. La unión en estos conceptos se realiza mediante clipajes.

Así mismo, todos los conceptos desarrollados son monomaterial con el fin de mejorar la rentabilidad del EOL y la reciclabilidad.

Tabla 7.14: Conceptos del sub-sistema encimera



7.5.4 Evaluación ambiental

Como ya se ha mencionado en el apartado 7.5 del presente capítulo la eco-innovación se evalúa a nivel de sub-sistemas (conceptos) y de producto. A nivel de conceptos se realiza empleando el método Eco-EPI y a nivel de producto mediante el método PR-EOL.

7.5.4.1 Evaluación a nivel de conceptos con Eco-EPI

En la Figura 7.8 se muestra el resultado de la evaluación de los conceptos generados (Tabla 7.14) mediante el método Eco-EPI.

Primero mediante la encuesta de Kano (Figura 6.3) se determinan cuáles de los requisitos de diseño (estética e integridad estructural) se consideran en la evaluación. Únicamente se seleccionan aquellos requisitos de sobre-satisfacción y unidimensionales. La integridad estructural se ha desestimado por ser un requisito esperado. La ponderación de cada requisito se determina, en este caso, considerando el CAT y el usuario. Actualmente, la encimera no se desmonta debido al excesivo tiempo que requiere dicha operación y al coste en el que se incurre. La facilidad de desensamblado tiene una ponderación de “9” al ser un requisito de sobre-satisfacción, mientras que el ser estético, al ser un requisito unidimensional tiene una ponderación de “3”.

Después se determina el grado de novedad de cada concepto empleando el método de Garcia & Calantone (2002) (Tablas 2.3 y 2.4). Los conceptos 1, 2 y 3 tienen un grado de novedad de “1” y con ellos se obtendría una mejora de ecodiseño, en cambio, con los conceptos 3 y 4 se lograría una mejora de eco-innovación ya que tienen un grado de novedad de “2”.

Posteriormente se evalúa cómo cumplen los conceptos los criterios de selección facilidad de desensamblado y estética. Para determinar cómo cumple cada concepto con el criterio facilidad de desensamblado se ha estimado el tiempo de desensamblado mediante el método AIDED. A partir de ese tiempo se ha determinado la importancia de la correlación para cada concepto (Tabla 7.15).

Tabla 7.15: Valor de correlación facilidad de desensamblado Vs. Conceptos

Conceptos	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	Concepto 4	Concepto 5
Tiempo de desensamblado (s)	20,7	20,7	3,3	7,7	7,7
Valor correlación	1	1	9	3	3

En el caso de la función estética, el responsable de marketing valoró de 1 a 10 los conceptos. En la Tabla 7.16 se muestra dicha valoración y la correlación de cada concepto que aparece en la Figura 7.8.

Tabla 7.16: Valor de correlación de la estética Vs. Conceptos

Conceptos	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	Concepto 4	Concepto 5
Estética	6	5	2	5	9
Valor correlación	3	3	1	3	9

		Diseños Conceptuales				
		Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	Concepto 4	Concepto 5
Grado de novedad		1	1	1	2	2
Nº	Requisitos de diseño	Ponderación requisitos				
1	Facilidad de desensamblado	9	1	1	9	3
2	Estética	3	3	3	1	3
Potencial Absoluto		18	18	84	72	108
Potencial Relativo		8.3	8.3	78	67	100
Variables de Influencia		Factor de ponderación				
Eficiencia económica		4	0	0	0	40
Encaje estratégico		6	30	30	100	80
POTENCIAL INNOVADOR		26	26	138	131	164
Patentabilidad (Si/No)		si	si	si	si	si
Orden de importancia				2	3	1

Correlaciones	
Satisfactoria	9
Media	3
Débil	1

Figura 7.8: Eco-EPI aplicado al sub-sistema encimera

A continuación, mediante la ecuación 6.1 se obtienen los conceptos con mayor potencial absoluto de innovación, siendo el concepto con mayor puntuación el número 5 seguido del número 3 y del número 4.

Finalmente, para obtener el concepto con mayor potencial de eco-innovación se debe evaluar previamente los factores de éxito empresarial: eficiencia económica y encaje estratégico.

- **Eficiencia económica:** se atribuye una puntuación a cada concepto considerando las previsiones de coste, complejidad de fabricación y montaje, inversiones, etc. Se realiza una valoración heurística con una escala de 0 a 100 como cumple cada concepto de diseño este factor. Los conceptos 1, 2 y 3 tienen una puntuación de cero porque su realización supondría una inversión muy elevada. En cambio, para el caso de los conceptos 4 y 5, aunque también hay que modificar moldes se considera una puntuación de 40 sobre 100. A este factor se le ha otorgado un peso de 4.
- **Encaje estratégico:** un valor alto indicará que el concepto de producto encaja muy bien con la visión estratégica de la empresa. Se realiza una valoración heurística con una escala de 0 a 100 como cumple cada concepto de diseño este factor. Los conceptos 4 y 5 tienen una puntuación de 80 porque encajan con la estrategia definida de reciclabilidad. En este caso, el concepto que facilita más el desensamblado obtiene mayor puntuación, ya que todos son monomateriales. Al concepto 3 se decide otorgarle una puntuación de 100 al ser el que mejor encaja con la estrategia de reciclabilidad, es el concepto que se desmonta más fácilmente. A este factor se le ha otorgado un peso de 6.

Finalmente, mediante la ecuación 6.2 se obtiene el concepto con mayor potencial de eco-innovación. En este caso el concepto 5 es el que mayor puntuación logra, y por tanto, al tener un grado de novedad de “2” se obtendrá con él una mejora de eco-innovación cuando se venda en el mercado.

7.5.4.2 Evaluación a nivel del EOL del producto - PR-EOL

Una vez finalizada la selección de los conceptos de producto potencialmente más eco-innovadores se realiza la evaluación ambiental de todo el producto. La valoración consiste en evaluar la mejora ambiental del producto considerando el fin de vida (EOL) del mismo.

Una vez definidos los escenarios EOL, Tabla 7.10, se evalúa el EOL del producto actual (A) y del producto nuevo (N) (Tabla 7.17). En esta tabla se considera que el nuevo concepto tiene un peso (kg) similar al actual, ya que hasta la fase de diseño en detalle no se conocerá el peso exacto. Los datos de la Tabla 7.17 se han obtenido a partir del conocimiento del producto y el EOL del mismo (Figura 3.5, Justel et ál., 2007b).

En general se observa que el nuevo producto desde la perspectiva EOL es mejor que el actual para casi todos los escenarios definidos (Figura 7.9). En el escenario E1 no hay

diferencias entre el diseño actual (E1 A) y el nuevo diseño (E1 N). En el escenario E2, con el nuevo producto (E2 N) se obtiene un 7% de plástico reciclado sin mezclar ya que se desmontan los componentes diseñados para tal fin; en cambio, en el caso del producto actual (E2 A) este valor es de 0 % ya que no es rentable para el CAT su desmontaje. En los escenarios E3 N y E4 N se repite este hecho, y además, se reutilizan ciertos componentes con lo que se logra disminuir hasta un 1% la deposición de materiales en vertedero.

Tabla 7.17: Evaluación del impacto EOL del producto actual (A) y del producto eco-innovador (N)

Evaluación EOL	E1 A	E1 N	E2 A	E2 N	E3 A	E3 N	E4 A	E4 N
¿Se reutiliza el producto?	No	No	No	No	No	No	No	No
% de componentes reutilizados	0	0	0	0	0	7	0	7
% de metales reciclados	37	37	37	37	37	30	37	30
% de plástico reciclado sin mezclar	0	0	0	7	0	7	0	7
% de plástico reciclado mezclado	0	0	0	0	10	3	10	3
% de materiales cemento y vidrio reutilizados y reciclados respectivamente	0	0	42	44	44	44	44	44
% de valorización	18	18	8	8	8	8	8	8
% de deposición en vertedero	45	45	13	4	1	1	1	1
Total %	100	100	100	100	100	100	100	100

Con los datos aportados podemos decir que el diseño nuevo es medioambientalmente mejor que el actual. Al eco-innovar en el producto se obtienen mejores resultados.

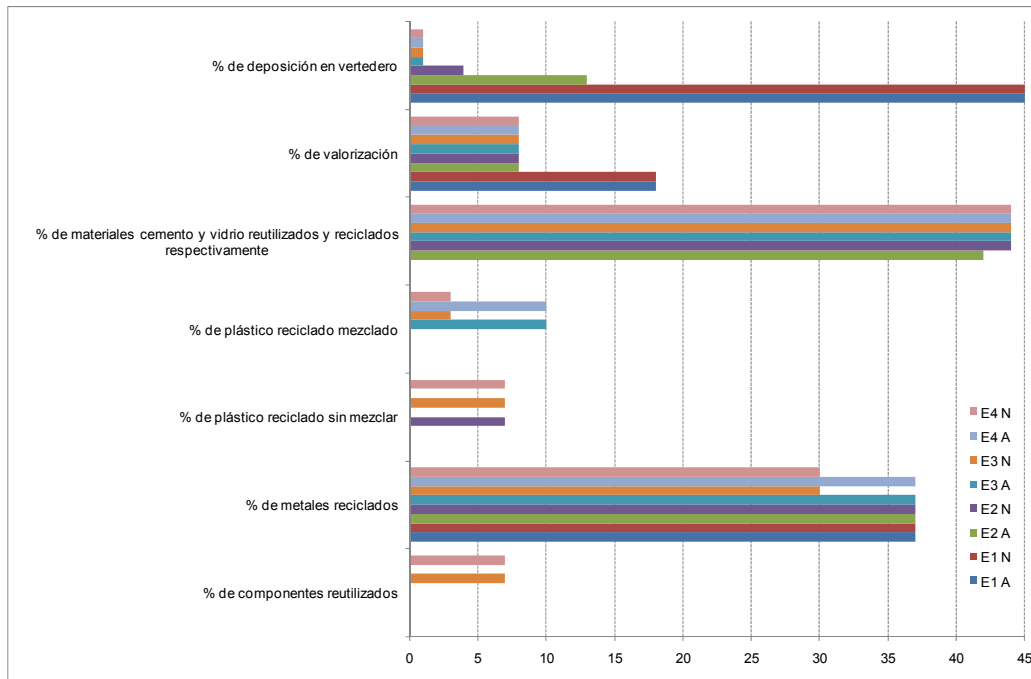


Figura 7.9: PR-EOL de Lavadora Fagor modelo 1F-4613X

7.5.4.3 Cumplimiento de la directiva RAEE

A partir de los datos de la Tabla 7.17 se ha determinado el grado de cumplimiento de la directiva RAEE (Tabla 7.18). En el único escenario en el que no se cumplirían los mínimos es en el E1, tanto para el diseño actual E1 A como para el nuevo diseño E1 N (Figura 7.10). En este escenario no se recicla ni reutiliza el contrapeso (de cemento) y por consiguiente no se llega a los mínimos establecidos. El contrapeso supone un 42% del peso de la lavadora analizada. Por tanto, los escenarios EOL necesarios para cumplir con la directiva RAEE son el E2, el E3 o el E4. En éstos se logra cumplir la RAEE tanto con el producto actual (A) como con el nuevo producto (N).

Tabla 7.18: Cumplimiento de la RAEE en función de los escenarios y productos

	RAEE	E1 A	E1 N	E2 A	E2 N	E3 A	E3 N	E4 A	E4 N
Reciclar y reutilizar (%)	75	37	44	79	88	91	91	91	91
Valorizar (%)	80	55	55	87	96	99	99	99	99

Sin embargo, para cumplir con el porcentaje objetivo de un 95% de valorización, establecido en el anexo 9 de la versión preliminar del Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) 2008-2015 en el producto actual y en el nuevo producto sería necesario:

- Con el producto actual se cumpliría en los escenarios E3 A y E4 A. Aunque ya se ha mencionado que éstos no se dan actualmente.
- Con el nuevo producto se cumpliría en el escenario E2 N, o E3 N y E4 N.

Por tanto, el producto más conveniente es el nuevo en el escenario E2 N.

Como conclusión podemos decir que la eco-innovación ayuda a las empresas a estar preparadas para los futuros retos ambientales.

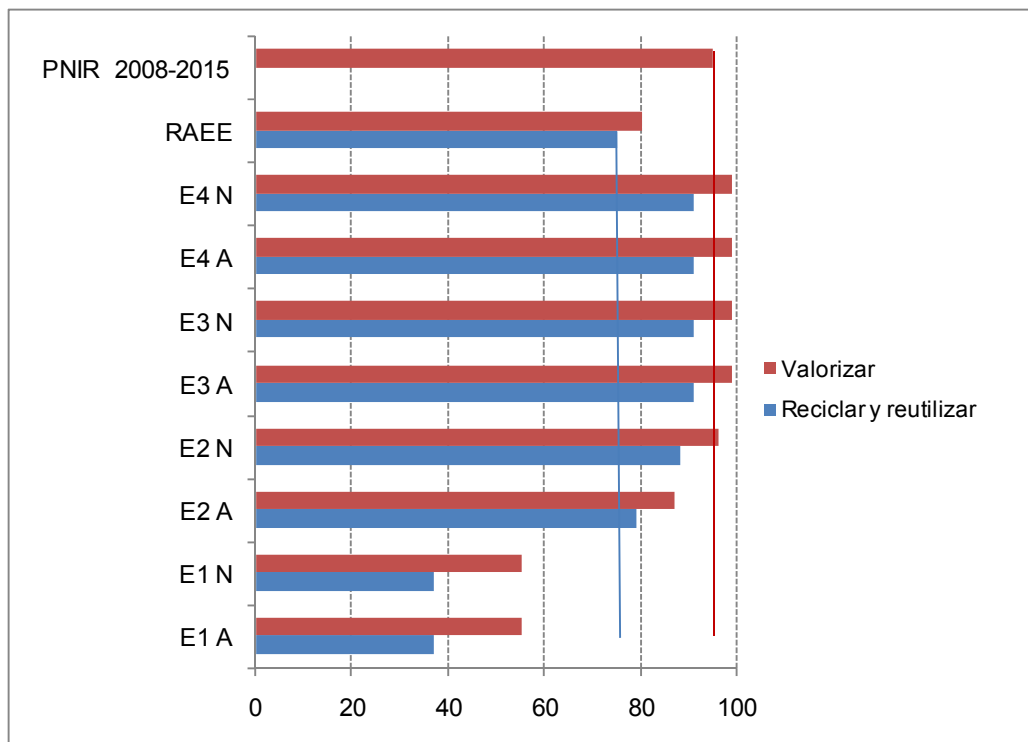


Figura 7.10: Cumplimiento de la directiva RAEE y del PNIR 2008-2015

7.6 Conclusiones

La nueva lavadora se ha desarrollado a partir del destino final de las piezas (EOL), es potencialmente eco-innovadora, aunque hasta que no se venda en el mercado y tenga éxito no se podrá afirmar que es innovadora. El producto se ha desarrollado a partir de conceptos con los que se lograría una innovación moderada, es decir, concepto eco-innovadores. Además, el nuevo producto tiene mejores prestaciones en su EOL, ya que se ha diseñado para facilitar su desmontaje y así reciclar más materiales y reutilizar componentes.

Además, en base al trabajo realizado y a los comentarios de las personas que han participado se extraen las siguientes conclusiones:

- La herramienta ELDA de Rose (2000) es una herramienta que ayuda a identificar las posibles estrategias EOL a adoptar, aunque es responsabilidad final de la empresa su adopción. En este sentido, cabe señalar que la elección del EOL deseado es una decisión estratégica de la empresa. Por tanto, sería conveniente que el plan estratégico de producto contemplara diferentes aspectos

ambientales, y no únicamente los relacionados con consumos eléctricos u otros de tipo económico.

- Los grupos de ideas desarrolladas en las Tabla 3.2 y 4.3 han sido de gran ayuda a la hora de incentivar la creatividad de las personas que han participado. Se ha valorado muy positivamente las mismas. Han ayudado a abrir el abanico de alternativas y romper bloqueos.
- El método ECOINDES ayuda a generar conceptos de productos eco-innovadores en el caso de la lavadora. Además, ayuda a las empresas a afrontar nuevos retos. En este caso el PNIR 2008-2015.
- Algunos conceptos generados se han rechazado finalmente por generar grandes cambios respecto el sistema actual. Los resultados hubieran sido mejores si cuando se realizó el proyecto no hubiera estado en marcha la nueva plataforma de lavadoras. Muchas opciones potencialmente innovadoras no se consideraron finalmente por suponer un coste de inversión muy elevado. Las personas de Fagor que participaron en el proyecto comentaban que era una pena no poder modificar más el producto, pero que tomaban buena nota de estos resultados para tenerlos presentes en el desarrollo de la futura plataforma. Por ello, es interesante gestionar esos conceptos dentro de la empresa para poderlos utilizar más adelante si se alinean con la estrategia de la empresa.
- El método Eco-EPI es sencillo de utilizar y proporciona conceptos de producto eco-innovadores desde la perspectiva del desensamblado. Al ser un método multicriterio ayuda a una selección más correcta de los conceptos, sobre todo cuando hay varios requisitos de diseño.
- Con el método AIDED se ha podido valorar de una manera rápida y satisfactoria el tiempo de desensamblado en la fase de diseño conceptual. Aunque en operaciones en las que el elemento de unión tiene grandes dificultades de extracción se comete una desviación elevada.
- Conocer el EOL real del producto es clave para ayudar a generar conceptos que puedan llevarse a cabo finalmente. El destino final de los productos depende en gran medida de la cadena logística existente y del beneficio económico que se puede obtener del mismo.
- Para mejorar la reutilización de componentes se debería llegar a acuerdos entre fabricantes para poder reutilizar ciertos componentes. Esto parece factible debido a la existencia de SIGs como ECOLEC, que está formada por más de un fabricante.

Finalmente es importante recordar que las empresas para poder continuar en el mercado deben cumplir con las directivas que les afecten y también deben generar beneficios. Una manera de conseguirlo puede ser con un producto más ecológico en su fin de vida. Hoy en día existen etiquetas que aseguran que un electrodoméstico es más eficiente (consumo energético, eficiencia de lavado, etc.). En este sentido, se podría crear una etiqueta que valore el EOL real, de tal manera que éste pudiera llegar a ser un factor de compra del aparato. La etiqueta se podría utilizar para diferenciar el EOL de cada producto, de tal manera que beneficie al mejor fabricante con una disminución del coste de tratamiento de EOL. Otra posibilidad sería que los gobiernos premien al productor que vende el producto que genera menos residuos en el EOL (Justel et ál., 2007b, Zuidwijk & Krikke, 2008). Además, este criterio podría ser un factor fijado por la nueva directiva PUE para lograr el marcado CE del producto.

8 Conclusiones y líneas futuras

8.1 Introducción

En esta memoria de tesis se ha presentado la metodología de eco-innovación ECOINDES con el fin de generar productos más respetuosos con el medio ambiente. La mejora ambiental se puede lograr por diferentes caminos y en esta tesis se ha seleccionado el fin de vida (*End-Of-Life*, EOL) de los productos. La sociedad occidental esta basada en el consumismo y esto hace que el ciclo de vida de los productos se acorte cada vez más, en consecuencia, la cantidad de residuos en el EOL aumenta y su aprovechamiento no es el más eficiente. Aunque, la escasez de recursos del planeta obligará en un futuro no muy lejano a realizar cambios en este sentido, ya que el aumento del coste de las materias primas hará más rentable el reciclado y la reutilización de todo tipo de productos.

Las conclusiones particulares de cada capítulo se han presentado al final de los mismos y a continuación se presenta un resumen de las mismas.

En el capítulo inicial de esta tesis se han presentado las bases de la metodología ECOINDES: el método de generación de conceptos a partir del diseño para desensamblado, denominado DESTRIZ y los métodos de evaluación ambiental Eco-EPI y PR-EOL, las hipótesis a verificar, los objetivos planteados y la metodología de la investigación.

En el capítulo 2 de la tesis se ha realizado una revisión bibliográfica de eco-innovación y se han obtenido las siguientes conclusiones:

- Un producto es eco-innovador cuando cumple tres requisitos: que el origen de la innovación sea un aspecto ambiental, que el producto sea creativo y que tenga éxito en el mercado. Los tipos de eco-innovación que se pueden dar son: incremental, moderada y radical.
- Las metodologías de eco-innovación tienen tres fases: determinación de aspectos ambientales a mejorar, generación de conceptos y evaluación de la mejora obtenida. Para determinar los aspectos ambientales a mejorar se emplean métodos de ecodiseño o los siete indicadores de eco-eficiencia del WBCSD (Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo sostenible). En cuanto a la generación de ideas, la metodología TRIZ es la más empleada. La evaluación de la eco-innovación en la fase de diseño conceptual se enfoca hacia el cálculo de la eco-eficiencia empleando los siete indicadores del WBCSD.

- Se ha definido la diferencia entre los términos ecodiseño, eco-innovación y eco-eficiencia en base al tipo de innovación obtenida. En esta tesis se considera ecodiseño cuando la innovación es incremental, eco-innovación cuando la innovación es moderada y eco-eficiencia cuando la innovación es radical.
- No se ha constatado la existencia de ninguna metodología de eco-innovación que utilice como origen el diseño para desensamblado (DFD).

La revisión bibliográfica del diseño para desensamblado realizada en el capítulo 3, ha permitido:

- Identificar los siete factores que condicionan el diseño para desensamblado: legislación, destino final (EOL) de las piezas, la estructura del producto, el tipo y el número de elementos de unión, la visibilidad del componente y del elemento de unión, las características de las piezas a desensamblar y las condiciones en las que se realiza el desensamblaje. De los siete factores se decide utilizar tres en esta tesis: el EOL de las piezas por ser la razón del desensamblaje del producto, el elemento de unión y la visibilidad de los componentes porque son los factores sobre los que se puede actuar con mayor libertad en la fase de diseño conceptual.
- Se ha identificado la necesidad de realizar un estudio que compare los métodos de estimación de tiempos de desensamblado (Dowie & Kelly, 1994, Kroll, 1995, Desai & Mital, 2003 y Sodhi et ál., 2004) entre sí y que ofrezca información sobre qué método realiza estimaciones más precisas.
- Conocer el fin de vida de los electrodomésticos en España.

En el capítulo 4 se ha creado el método de innovación DESTRIZ a partir de los factores DFD y de las herramientas TRIZ: análisis funcional, efectos, principio de idealidad, principios inventivos y evolución de los sistemas. La innovación se origina con la evolución de los dos factores DFD analizados: el elemento de unión y la visibilidad del componente y del elemento de unión. Para soportar el proceso de innovación se ha identificado la evolución de cada uno de los factores y se han generado conceptos de producto que permiten evolucionar a los mismos.

En el capítulo 5 se han presentado los datos de los ensayos realizados para determinar cuál de los 4 métodos de estimación de tiempos de desensamblado (Dowie & Kelly, 1994, Kroll, 1995, Desai & Mital, 2003 y Sodhi et ál., 2004) se desvía menos del tiempo real cronometrado. Tras los mismos se observa lo siguiente:

- El único de los métodos que se puede emplear íntegramente en la etapa de diseño conceptual es el Desai & Mital (2003).
- El método de Sodhi et ál. (2004) se descarta debido a los malos resultados que se obtienen con él.
- No hay un método que sea el mejor en todos los casos. Analizando las desviaciones cometidas en cada operación se observa que al ser unas positivas (estimación superior al tiempo cronometrado) y otras negativas, la desviación para el tiempo global obtenido queda compensada. Estos hechos permiten desarrollar el método de estimación de tiempos de desensamblado AIDED para las operaciones: apertura de *snaps*, destornillar y extraer.

En el capítulo 6 se ha creado y validado el método de Evaluación del Potencial Innovador de un diseño conceptual (EPI). En el marco de la metodología QFD el método integra la evaluación de la novedad de los conceptos, la determinación de los requisitos de diseño atractivos para el cliente y los factores de éxito empresarial, para así obtener, el concepto de producto con mayor potencial real de innovación. El método identifica en la etapa conceptual el tipo de innovación que se obtendrá cuando el producto tenga éxito en el mercado. Las bases del método EPI son:

- La evaluación del grado de novedad del concepto de un producto mediante las discontinuidades de Garcia & Calantone (2002), con lo que se discierne entre los tipos de innovación que se lograría con el concepto: innovación radical, innovación moderada e innovación incremental.
- La patentabilidad del producto desarrollado a partir del concepto.
- La selección de requisitos de diseño atractivos para el cliente mediante la encuesta de Kano (Kano et ál., 1996).
- La determinación y evaluación de las variables de viabilidad empresarial.
- La matriz QFD I en la que se integran todas las evaluaciones mencionadas.
- Es un método cualitativo y sencillo de utilizar. Se ha intentado huir de valoraciones cuantitativas de cumplimiento de cada criterio con cada concepto, porque el tiempo empleado hubiera sido muy superior y en numerosas ocasiones requeriría de información no disponible.
- Está basado en el consenso de un equipo de desarrollo multidisciplinar, lo cual, aporta confianza y seguridad en el resultado.

En el capítulo 7 se ha presentado la metodología de eco-innovación denominada ECOINDES. La metodología comienza con la selección del EOL deseado para el producto mediante el método de Rose (2000). Después, por la aplicación del método

DESTRIZ (desarrollado en el capítulo 4) se generan conceptos de producto innovadores. Posteriormente se valora el impacto ambiental mediante los métodos Eco-EPI y PR-EOL. Con Eco-EPI se selecciona el concepto más eco-innovador, y finalmente con PR-EOL se evalúa la mejora ambiental del producto en diferentes escenarios de EOL.

Finalmente, se ha validado la metodología ECOINDES aplicándola en una lavadora de la empresa Fagor. La nueva lavadora se ha desarrollado a partir de conceptos de producto con los que se logrará una innovación moderada cuando se venda con éxito en el mercado. Por tanto, los conceptos son potencialmente eco-innovadores. El nuevo producto tiene mejores prestaciones en su EOL, ya que se ha diseñado para facilitar su desmontaje para poder reciclar más materiales y reutilizar componentes. Además, se ha realizado un análisis del grado de cumplimiento de la directiva RAEE y del PINR 2008-2015 en la lavadora actual y en la nueva propuesta, tras lo cual, se observa que con ambas lavadoras se cumple la directiva RAEE, pero no así el futuro PNIR 2008-2015, en este caso sólo el nuevo concepto de lavadora lo cumpliría. Por tanto, podemos decir que la metodología ayuda a las empresas a afrontar los nuevos retos de EOL. Para sobrevivir en este entorno no es suficiente con mantener vivo el producto o servicio de la empresa con leves actualizaciones, es necesario tener un conocimiento de las necesidades y expectativas de los consumidores para poder ofrecer productos que las satisfagan, así como productos claramente diferenciados de los de los competidores.

8.2 Validación de las hipótesis

El desarrollo de los métodos y de la propia metodología ha permitido confirmar las dos hipótesis enunciadas en la tesis : (I) el DFD es un punto de partida valido para lograr la eco-innovación en productos industriales y (II) el TRIZ es una herramienta con la que se pueden obtener nuevos conceptos de producto en el DFD.

(I) El DFD es un punto de partida válido para lograr la eco-innovación en productos industriales

La revisión bibliográfica de eco-innovación y del DFD ha permitido constatar que no había ninguna metodología de eco-innovación que utilizará como origen de la misma el DFD. Aunque autores como Kriwet et ál. (1995) mencionan la necesidad de desarrollo de métodos y herramientas que incorporen consideraciones ambientales en el diseño de producto, y De Caluwe (1997) clasifica al DFD como una herramienta de mejora medioambiental específica, ya que las mejoras se obtienen a partir del destino final del producto.

Finalmente con la aplicación de la metodología ECOINDES en la lavadora de Fagor se confirma que a partir de DFD se puede eco-innovar en productos industriales.

(II) TRIZ es una herramienta con la que se pueden obtener nuevos conceptos de producto basados en el DFD

El TRIZ es una técnica que ayuda al ingeniero de diseño a resolver las contradicciones que surgen durante el proceso de innovación (Althsuller, 1996; Terminko et ál., 1998; Salamatov, 1999). Además, debido a su probada capacidad de resolver problemas o conflictos de carácter técnico, TRIZ se ha venido utilizando en la eco-innovación (Mann & Jones, 2000; Low et ál., 2000; Low et ál., 2001; Liu & Chen; 2001a, b, c; Chen, 2002; Chen & Liu, 2002; Chen & Liu, 2003; Kobayashi, 2003; Strasser & Wimmer, 2003).

En este trabajo se ha aplicado TRIZ para generar conceptos de productos a partir del DFD. Con la metodología DESTTRIZ se generan conceptos de producto innovadores a partir de los factores DFD: sistema de unión y visibilidad de los componentes y del sistema de unión DFD. La validez de esta metodología para generar nuevos conceptos de producto en base al DFD se ha corroborado con los ejemplos de aplicación de la misma presentados en el capítulo 4: el puntal extensible, el freno-embrague y la venta de electrodoméstico en un “*lineal*”. Así como, en la aplicación de la metodología ECOINDES en la lavadora Fagor, presentada en el capítulo 7.

En general se puede afirmar que con la metodología TRIZ se aportan soluciones de diferentes campos del conocimiento que ayudan a romper la inercia psicológica que el diseñador puede tener. Aunque, hay que tener en cuenta que la generación de conceptos de producto se realiza en base al *Know-How* y la capacidad creativa de las personas, por lo que, en función del perfil de éstas, será necesaria la utilización de técnicas de creatividad para mejorar la cantidad y calidad de los conceptos generados.

8.3 Aportaciones más relevantes

El objeto de esta tesis ha sido realizar una aportación relevante para conseguir productos más sostenibles a partir del diseño para el desensamblado. Haciendo referencia a los objetivos de la tesis, las aportaciones de este trabajo se enmarcan dentro de: (I) lograr conceptos de producto potencialmente eco-innovadores a partir de los factores que condicionan el DFD, (II) discernir el grado de innovación de cada concepto, (III) discernir el grado de eco-innovación de cada concepto, (IV) permitir el desarrollo de productos con menores tiempos de desensamblado, (V) sentar las bases de estrategias de EOL más evolucionadas desde el punto de vista ambiental (tendencia hacia la reutilización de producto) y (VI) obtener productos eco-innovadores en consonancia con la estrategia de la empresa a partir del diseño para desensamblado.

1. En la revisión de técnicas empleadas en eco-innovación se identificó la metodología TRIZ como la más utilizada para la síntesis creativa (Justel et ál., 2004). En el capítulo 4 se ha desarrollado una aplicación específica de TRIZ para generar conceptos de producto a partir del DFD, creándose así el método DESTTRIZ. Partes de este trabajo se han presentado en congresos:
 - Justel, D., Vidal, R., Chiner, M. “Eco-innovación en el desmontaje para buscar la sostenibilidad de la sociedad”. *IX Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, AEIPRO*. 2005a. Málaga, España. 22, 23 y 24 de Junio.
 - Justel, D., Vidal and R., Chiner, M. “TRIZ applied for Eco-innovation in Design for Disassembly”. *1st IFIP TC-5 Working conference on CAI*. 2005b. Ulm, Germany. 14- 15 November.
 - Justel, D., Vidal and R., Chiner, M. “TRIZ applied to innovate in design for disassembly”. *13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, LCE*. 2006a. Lovaina, Bélgica. 31 may - 2 June.
2. El método de Evaluación del Potencial Innovador de los conceptos de producto (EPI) es una de las aportaciones más relevantes de esta tesis. Un producto se considera innovador cuando incorpora algún aspecto novedoso y tiene éxito en el mercado La innovación se podría evaluar con cualquiera de los métodos multicriterio revisados en el capítulo 6 considerándola como otro criterio más de evaluación de conceptos. El problema surge cuando se debe discernir entre

el tipo de innovación del concepto, ya que hay que tener en cuenta que la interpretación del término innovación de producto es idiosincrásica.

La novedad del método EPI radica en que logra integrar en el método de selección de conceptos la distinción del grado de novedad en el mercado y el grado de novedad tecnológica del concepto de producto, con los atributos de producto atractivos para el cliente y con factores de éxito empresarial, así se disminuye la incertidumbre relativa al éxito o fracaso del desarrollo en la fase de Diseño Conceptual.

La distinción del grado de novedad de cada concepto se logra con el método de Garcia & Calantone (2002) y con ello se determina el tipo de innovación que se logra con cada concepto: radical, moderada o incremental.

Partes de este trabajo se han presentado en varios congresos:

- Justel, D., Chiner, M. y Vidal, R. “Interrelación de técnicas de creatividad y métodos de ecodiseño”. *VIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, AEIPRO*. 2004. Bilbao, España. 6-8 Octubre.
 - Justel, D., Arriaga, E., Vidal, R. and Val, E. “Diseño de un método para la evaluación del potencial innovador de un diseño conceptual”. *X Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, AEIPRO*. 2006b. Valencia, 13-15 Septiembre.
 - Justel, D., Arriaga, E., Vidal, R., Franco, V. and Val, E. “Evaluation method for selecting innovative product concepts with greater potential marketing success”. *16th International Conference on Engineering Design, ICED*. 2007a. Paris, August 28-31.
 - Justel, D., Bartolomé, E., Vidal, R., Gallo, A. y Val, E. “Estudio de métodos de selección de conceptos”. *XI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, AEIPRO*. 2007c. Lugo, 13-15 Septiembre.
3. El método de estimación de tiempos de desmontaje AIDED es otra de las aportaciones de esta tesis. Durante la revisión bibliográfica de los métodos de evaluación de estimación de tiempos de desensamblado se detectaron cuatro métodos: Dowie & Kelly (1994), Kroll (1995), Desai & Mital (2003) y Sodhi et ál. (2004). Tras realizar en el capítulo 5 diferentes ensayos para determinar qué método de estimación se aproxima mejor al tiempo cronometrado se observó que éste variaba en función de la operación analizada. Con el método AIDED

se logra siempre la mejor aproximación (Tablas 5.14 y 5.17). Parte de este trabajo se ha presentado en el congreso:

- Justel, D., Igartua, A., García, M. y Vidal, R. “Estudio de métodos de evaluación de la desmontabilidad de productos industriales.”. *X Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, AEIPRO*. 2006c. Valencia, 13-15 Septiembre.
 - Torrano, I., Justel, D., Vidal, R., Lauroba, N., García, M. y Espartero, S. “Validación de métodos de estimación de tiempos de desmontaje en el sector del mueble”. *XII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, AEIPRO*. 2008. Zaragoza, 9-11 Julio.
4. El método Eco-EPI es una variante del método EPI que permite discernir el grado de eco-innovación de cada concepto y desarrollar con menores tiempos de desensamblado, para ello, conjunta la evaluación de la desmontabilidad del método AIDED con las consideraciones del método EPI.
5. La metodología de eco-innovación ECOINDES, a partir del factor destino final (EOL) de las piezas propone innovar variando el EOL actual de los componentes y del producto, siendo la meta EOL la reutilización. Para valorar la mejora del EOL del producto se ha desarrollado el método PR-EOL. Parte de este trabajo se ha presentado en el congreso:
- Justel, D., Agirrezabal, L., Valor, A., Galdos, A. Sarrionandia M.A. y Lauroba, N. “Análisis del grado de reciclabilidad real de los materiales empleados en el sector electrodomésticos”. *XI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, AEIPRO*. 2007b. Lugo, 13-15 Septiembre.
6. La metodología de eco-innovación ECOINDES se basa en los métodos DESTRIZ, Eco-EPI y PR-EOL para generar conceptos de producto más eco-innovadores a partir de los factores de diseño para desensamblado. Para obtener productos eco-innovadores se ha integrado la estrategia del producto en dos puntos de ECOINDES: en la decisión del EOL del producto y en la inclusión de los factores de éxito empresarial.

8.4 Líneas futuras

Para finalizar, se debe remarcar que a medida que se ha avanzado en la investigación, han ido quedando abiertos temas que pueden ser abordados en trabajo futuros, los cuáles se exponen a continuación.

1. Se debería aplicar a más productos industriales con el objeto de tener más casos de aplicación y poder determinar la robustez del método. Además, se puede implementar la misma en un software para facilitar su uso. Para ello, convendría que estuviera perfectamente integrada dentro de las arquitecturas para la asistencia al diseño que existen en la empresa.
2. La metodología se puede integrar como parte del proceso de desarrollo de nuevos productos de la empresa para que se sistematice su utilización.
3. No debemos olvidar que las metodologías de eco-innovación deben estar integradas dentro de las estrategias de innovación de la empresa. Aunque en esta tesis no se ha mencionado, es importante incluir la metodología dentro del marco de la gestión de la innovación. Por ejemplo, habría que analizar como incluirla dentro de la familia de normas UNE 16600:2006 Gestión de la I+D+i.
4. Sería interesante incluir dentro de la metodología ECOINDES un análisis de *Design for Assembly* (DFA), ya que antes de desensamblar un producto hay que ensamblarlo.
5. Además, se podría integrar la metodología ECOINDES con otras metodologías de desarrollo de producto como: QFD, Six & Sigma, Análisis Modal de Fallos y sus efectos potenciales (AMFE), Análisis de Valor (AV), etc., con el fin de optimizar el diseño y disminuir el *lead time* del producto.
6. El autor de esta tesis está participando conjuntamente con otros investigadores en el Proyecto Singular Estratégico LightCarbonCars: reducción del impacto ambiental de automóviles mediante el aligeramiento estructural basado en composites de carbono de bajo coste, sin comprometer la seguridad y el confort, del Ministerio de Educación y Ciencia (PSE-370100-2007-1). Para que el automóvil cumpla la directiva VFU y el futuro PNIR (2008-2012), los nuevos componentes de material compuesto de carbono deben ser fácilmente extraíbles al final de su vida útil, por tanto, se requiere de nuevos sistemas de unión que permitan facilitar el desensamblado. En este sentido, la aplicación de ECOINDES ayudará a lograr los objetivos EOL del proyecto.

7. En cuanto al método EPI, representa un avance en los procedimientos de selección del potencial innovador de los conceptos de producto. El método se ha aplicado con éxito en productos de dos empresas Super Ego – Rothenberger S.A. y Tuboplast Hispania S.A (ésta última no se ha incluido en la tesis). De todas maneras, conviene seguir aplicando el método para ir adaptándolo a las casuísticas que puedan surgir. Además, convendría realizar un análisis de sensibilidad para valorar la robustez.

El método EPI busca que el concepto seleccionado tenga éxito en el mercado y para ello selecciona requisitos de diseños atractivos para el cliente. Aunque también se puede innovar en un producto considerando aspectos en los que el cliente no es tan importante, por ejemplo, con un producto más barato, o más seguro, o más fácil de producir, etc. Por ello el método EPI habría que generalizarlo para su aplicación en diferentes casos.

Por último, cabe destacar que el método EPI se está implementando dentro del proyecto FaBeS: sistema integrado de eco-innovación de producto en PYMEs basado en el conocimiento del Ministerio de Educación y Ciencia (DPI2006-15570-C02-01). El autor de esta tesis está participando conjuntamente con otros investigadores en él. El proyecto aborda el diseño y desarrollo de un sistema de gestión del ciclo de vida del producto basado en el conocimiento, enfocado a la optimización y automatización de las decisiones en las fases de diseño de producto en PYMEs por medio de técnicas y herramientas basadas en el conocimiento. En el proyecto se integra mediante una ontología basada en el *Function Behaviour Structure* y los sistemas CAD, la metodología TRIZ, el ACV y el método EPI.

8. Respecto al método Eco-EPI, se podría realizar una adaptación para valorar la eco-innovación de producto a nivel global mediante la utilización de un ACV simplificado. Además, en algunos casos podría ser interesante el integrar dentro Eco-EPI el método PR-EOL.
9. Durante la gestación del método DESTRIZ se ha desarrollado una matriz de contradicciones específica para los factores DFD. Esta matriz se podría utilizar para optimizar el producto si hiciera falta. Además, se podría realizar una aplicación como la realizada por Chang & Chen (2004) para solucionar problemas de diseño en CAD.

10. En cuanto al TRIZ como método de generación de ideas se podría medir la creatividad respecto de otros métodos de creatividad.
11. En el desarrollo de la tesis se ha generado el método de estimación de tiempos de desensamblado AIDED en base a los métodos Dowie & Kelly (1994), Kroll (1995) y Desai & Mital (2003). Para confirmar los resultados obtenidos habría que realizar más ensayos y también habría que añadir nuevas operaciones.
12. En cuanto a las estrategias EOL, el camino hacia la reutilización pasa por una aceptación por el mercado y por la viabilidad empresarial. Por tanto, es necesario que la estrategia de la empresa contemple también el EOL ya que cualquier cambio de lo establecido acarrea una incertidumbre y si no está considerado este riesgo no se asume. El objetivo prioritario de cualquier empresa es ganar dinero para poder continuar en el mercado. Por tanto, si no intuye beneficio en un proyecto seguramente no lo ejecute, a no ser que haya una legislación que obligue a ello. Por ello, sería interesante que la Comisión Europea desarrollara una eco-etiqueta que valore el EOL real, de tal manera que éste pudiera llegar a ser un factor de compra del aparato. En este sentido, otra posibilidad es que los gobiernos premien al que mejor lo hace (Justel et ál., 2007b, Zuidwijk & Krikke, 2008). La eco-etiqueta y premiar a la industria que mejor lo hace son criterios que se pueden incluir en futuras revisiones de las directivas RAEE, VFU.

Finalmente, comentar que se están preparando cinco artículos de los métodos y metodologías creados para su publicación en revistas indexadas:

1. El método de generación de conceptos DESTTRIZ.
2. El método de Evaluación del Potencial Innovador de un diseño conceptual.
3. Los métodos de evaluación de la eco-innovación Eco-EPI y PR-EOL.
4. La metodología ECOINDES aplicada en el caso de la lavadora FAGOR.
5. El método de estimación de tiempos de desensamblaje AIDED.

9 Referencias

A

- Abraham, B.P. and Moitra, S.D. "Innovation assessment through patent analysis". *Technovation*. 2000, Vol. 21, pp. 245-252.
- Acs, Z. J., Anselin, L. and Varga, A. "Patents and innovation counts as measures of regional production of new knowledge". *Research policy*. 2002. Vol. 31, pp. 1069-1085.
- Acs, Z.J., Audretsch, D. "Patents as a measure of innovative activity". *Kyklos*. 1989. Vol. 42, pp. 171-180.
- Ahshuller, G. "And suddenly the inventor appeared-TRIZ, the theory of inventive problem solving. *Technical Innovation Center*. 1996. Worcester, MA.
- Altshuller, G. To find Idea. Novosibirsk. *Nauka*. 1986 (in Russian).
- Amezquita, T., Hammond, R., Salaza, M. and Bras, B. "Characterizing the remanufacturability of engineering systems". *ASME Adv Des Automat Conf*. 1995. Boston, MA, pp. 271-279.
- Aoe, T. "Green products indicators in matsushita electric group". *Proceedings of fifth international conference on ecobalance, SNIT*. 2002. pp. 423-426.
- Aragonés, P., Pastor Ferrando, J.P., Sánchez, M.A., and Gómez--Senent, E."Multi-expert PRES II methodology for multi-criteria decision aid in the design process". *Proceedings of the 12th International Conference on Engineering Design. ICED*. 1999, Munich, Germany, August. 24-26.

B

- Balachandra, R., Brockhoff, K. and Pearson, A.W. "R&D project termination decisions: processes, communication, and personal changes". *Journal of Product Innovation Management*. 1996. Vol. 13, pp. 245-256.
- Balbontin, A., Yazdani, B., Cooper, R. and Souder, W.E. " New product development success factors in American and British firms". *International Journal of Technology Management*. 1999. Vol. 17, pp. 259-279
- Baddeley, A. "Working Memory: Looking Back and Looking Forward". *Nature Reviews*. 2003. Vol. 4, pp. 829-839.

- Barczak, G. "New product strategy, structure, process, and performance in the telecommunications industry". *Journal of Product Innovation Management*. 1995. Vol. 12, pp. 224-234.
- Behrendt, S., Jasch, C., Constança, M. and van Weenen, H.. "Life cycle design. A manual for small and medium-sized enterprises". *Springer-Verlag*. 1997.
- Binz, H. and Reichle M. "Evaluation method to determinate the success potential and the degree of innovation of technical product ideas and products". *15th International Conference on Engineering Design. ICED*. 2005. Melbourne, August 15-18.
- Boks, C. and Templeton, E. "Future disassembly and recycling technology. Results of a Delphi study". *Futures*. 1988. Vol. 30, n° 5, pp. 425-442.
- Bouyssou, D, Marchant, T., Pirlot, M., Tsoukiàs, A and Vincke, P. (2006). "Evaluation and decision models with multiple criteria. Stepping stones for the analyst". *Springer, New York, USA*. 2006. ISBN- 10: 0-387-3 1098-3.
- Bouyssou, D, Marchant, T., Pirlot, M., Perny, P., Tsoukiàs, A and Vincke, P. "Evaluation and decision models: a critical Perspectiva". *Kluwer Academia Publishers, Massachussets, USA*. 2000. ISBN: 0-7923-7250-6
- Brentani de, U. "Success and failure in new industrial services." *Journal of Product Innovation Management*. 1989. Vol. 6, pp. 239-258.
- Brezet, H. et ál. "PROMISE manual". Delf University of Technology. *TME Institute and TNO product centre*. The Netherlands. 1996.
- Bryan, C., Eubanks, C. and Ishii, K. "Data representation for serviceability design". *Design theory and methodology, DE-42, ASME*. 1992. Scoottsdale, AZ, pp. 301-308.
- BSI. "BS7000: Guide to managing product design". *British Standards Institute*. 1989.
- Buzan, T. and Buzan, G. "The mind map book". *London BBC books*. 1995.

C

- Calantone, R.J. and di Benedetto, C.A. "An integrative model of the new product development process". *Journal of Product Innovation Management*. 1988. Vol. 5, pp. 201-215.

- Calantone, R.J., Schmidt, J.B. and di Benedetto, C.A. "New product activities and performance: the moderating role of environmental hostility". *Journal of Product Innovation Management*. 1997. Vol. 14, pp. 179-189.
- Capuz, S. y Navarro, T. "Ecodiseño. Ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles". *Editorial UPV*. 2002.
- Carlsson, B., Jacobson, S., Holmen, M. and Rickne, A. "Innovation systems: analytical and methodological issues". *Research Policy*. 2002. Vol. 31, pp. 233-245.
- CE. "European Energy and transport- trends to 2030- update 2005". *Comunidad Europea*. 2006. DG TREN, Luxemburgo.
- Chang, H-T. and Chen J.L. "Eco-Innovative examples for 40 TRIZ inventive principles". *The TRIZ Journal* (<http://www.trizjournal.com>). 2003. August.
- Chang, H-T. and Chen J.L. "The conflict-problem-solving CAD software integrating TRIZ into eco-innovation". *Advances in Engineering Software*. 2004. Vol. 35, pp. 553-566.
- Chen, J.L. "Green evolution rules and ideality laws for green innovative design of products". *CARE INNOVATION*. 2002. Vienna, November, pp. 25-28,
- Chen, J.L. and Liu C-C. "Green innovation design of products by TRIZ inventive principles and green evolution rules". *International CIRP Design Seminar*. 2002, May 16-18, Hong Kong.
- Chen, J.L. and Liu, C-C. An eco-innovative design approach incorporating the TRIZ method without contradiction analysis. *Journal of Sustainable Product Design*. 2001. Vol. 1, n° 4, pp. 263-272.
- Chen, R., Navin-Chandra, D. and Prinz, F. "Product design for recyclability: a cost benefits analysis model and its applications". *IEEE Int Symp on Electronics and Environment*. 1993. Arlington, VA. pp. 178-183.
- Chirag, B.E. "Designing a tool for measuring disassembly efficiency". Master of Science, Faculty of the graduate school of The University of Texas at El Paso. 2002.
- Collins, C., Fanning, A., Crowe, M. and Meaney B. "End of life vehicles in Ireland". *A sectorial report. Ireland.EPA*. 2002.
- Cooper, R. G. "New product strategies: what distinguishes the top-performers". *Journal of Product Innovation Management*. 1984. Vol. 2, pp.151-164.

- Cooper, R.G. "Benchmarking new product performance: Results of the best practices study". *European Management Journal*. 1998. Vol. 16, pp. 1-17.
- Cooper, R.G. "Debunking the myths of new product development". *Research Technology Management*. 1994. July/August, pp. 40-50.
- Cooper, R.G. "From experience: the invisible success factors in product innovation". *Journal of Product Innovation Management*. 1999. Vol. 16, pp. 115-133.
- Cooper, R.G. "New product performance and product innovation strategies". *Research Management*. 1986. May/June, pp. 17-25.
- Cooper, R.G. "New products: what distinguishes the winners". *Research Technology Management*. 1990. November/December, pp. 27-31.
- Cooper, R.G. "Overhauling the new product process". *Industrial Marketing Management*. 1996. Vol. 25, pp. 465-482.
- Cooper, R.G. and Kleinschmidt, E.J. "An investigation into the new product process: steps, deficiencies and impact". *Journal of Product Innovation Management*. 1986. Vol. 3, pp. 71-85.
- Cooper, R.G. and Kleinschmidt, E.J. "Benchmarking the firm's critical success factors in new product development". *Journal of Product Innovation Management*. 1995a. Vol. 12, pp. 374-391.
- Cooper, R.G. and Kleinschmidt, E.J. "New products: what separates winners from losers". *Journal of Product Innovation Management*. 1987. Vol. 4, pp. 169-184.
- Cooper, R.G. and Kleinschmidt, E.J. "Performance typologies of new products projects". *Industrial Marketing Management*. 1995b. Vol. 24, pp. 439-456.
- Cooper, R.G. and Kleinschmidt, E.J. "Uncovering the keys to new product success". *Engineering Management Review*. 1993. Vol. 11, pp. 5-18.
- Czarnitzki, D. and Kraft, K. "Innovation indicators and corporate credit ratings: evidence from German firms". *Economic letters*. 2004. Vol. 82, pp. 377-384.

D

- De Brito, M. P. and Dekker, R. A framework for reverse logistics. In: Dekker, R., Fleischmann, M., Inderfurth, K. and van Wassenhove. L.N. Reverse logistics:

- quantitative models for closed-loop supply chains. Springer. 2004, pp. 3–27. ISBN: 978-3-540-40696-9.
- De Caluwe, N. "Ecotools manual". A comprehensive review of design for environment tools". Manchester. Metropolitan University. 1997.
- De Ron, A.J., Penev, K.D. "Disassembly and recycling of electronics consumer products: an overview". *Technovation*. 1995. Vol. 15, n° 6, pp. 363-374.
- Desai, A. and Mital, A. "Evaluation of disassemblability to enable design for disassembly in mass production". *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2003. Vol. 32, April, pp.265-281.
- Desimone, L.D. and Popoff, F. "Eco-efficiency: the business link to sustainable development". *Massachusetts Institute of Technology*. 1997. Cambridge, MA.
- Domb, E. "Contradictions". *The TRIZ Journal* (<http://www.trizjournal.com>). 1997b. July.
- Domb, E. "QFD and TIPS/TRIZ". *The TRIZ Journal* (<http://www.trizjournal.com>). 1998. June.
- Domb, E. "The ideal final result: tutorial". *The TRIZ Journal* (<http://www.trizjournal.com>). 1997a. February.
- Dowie, T. and Kelly, P. "Estimation of disassembly times". *Unpublished technical report, Manchester Metropolitan University*. 1994.
- Duffy, A.H.B, Andreasen, M. M., Maccallum, K. J. and Reijs, L. N. "Design co-ordination for concurrent engineering". *Journal of Engineering Design*. 1993. Vol. 4, pp. 251-261.
- Dwyer, L. and Mellor, R. "Organizational environment, new product success activities, and project outcomes". *Journal of Product Innovation Management*. 1991. Vol. 8, pp. 39-48.

E

- Ebadi, Y.M. and Utterback, J.M. "The effects of communication on technological innovation". *Management Science*. 1984. Vol. 30, pp. 572-585.

- Eltzer, Th., Caillaud, E., Cavallucci, D., Lutz, P. “Joining standard and inventive design. Application to injection holding”. *International Conference on Engineering Design*. 2005. Melbourne, August, 15-18.
- Ernst, H., “Success factors of new product development: a review of the empirical literature”. *International Journal of Management Reviews*. 2002. Vol. 4, n° 1, pp. 1-40.
- Eubanks, C. and Ishii, K. “AI methods for life-cycle serviceability design of mechanical systems”. *Artificial Intelligence in Engineering*. 1993. Vol. 8, n°2, pp. 127-140.

F

- Fargnoli, M., Pighimi, U. and di Litta, E., “Design for assembly and design for disassembly: Two ways for the development of sustainable products”. *Proceedings of 14th International Conference on Engineering Design, ICED*. 2003. Stockholm.
- Fricke, G. “Successful Approaches in Dealing with Differently Precise Design Problems”. *Design Studies*. 1999. Vol. 20, pp. 417-429.
- Fuse, K., Horikoshi, Y., Kumai, T. and Taniguchi, T. “Application of ecoefficiency factor to mobile phone and scanner. *Proc third int symp env cons des and inverse manuf, IEEE*. 2003. New York, pp. 356–359.
- Fussler, C. and James, P. “Driving Eco-Innovation: a breakthrough discipline for innovation and sustainability”. *Pitman Publishing*. London. 1996.

G

- Garcia, R. and Calantone, R. “A critical look at technological innovation typology and innovativeness terminology: a literature review”. *The Journal of Product Innovation Management*. 2002. Vol. 19, pp.110 -132.
- Gershenson, J. and Ishii, K. “Lyfe-cycle serviceability design”. *Design theory and methodology, DE-31, ASME*. 1991, Miami, FL, pp. 127-134.
- Gómez, T. “Propuesta metodológica para la mejora de la ecoeficiencia de los productos industriales a lo largo de su ciclo de vida. Aplicación a las PYME de la Comunidad Valenciana”. *Tesis doctoral de la UPV*. 2004.

- Griffin, A. (1997). "PDMA research on new product development practices: updating trends and benchmarking best practices". *Journal of Product Innovation Management*. 1997. Vol. 14, pp. 429-458
- Gungor, A. and Gupta, S.M. "Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey". *Computers & Industrial Engineering*. 1999. Vol. 36, pp. 811 -853.
- Gurnani, A.P., See, T. and Lewis, K. "An Approach to Robust Multiattribute Concept Selection". *Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, ASME*. 2003. Chicago, Illinois, USA, September 2-6.

H

- Harr, S. T., Claussing, D. and Eppinger, S. "Integration of Quality Function Deployment and the Design Structure Matrix". *MIT Working Paper*. 1993. Cambridge, MA.
- Hemmelskamp, J. "Environmental Policy Instruments and their Effects on Innovation". *Eur. Plan. Stud.* 1997. Vol. 2, pp. 177-194.
- Henstock, M. "Design for recyclability". *The Institute of Metals*. 1988.
- Herbertsson, J. "Holistic Design for Manufacture – A Theoretical Analysis". *Thesis N^o 483, Linköping University*. 1995. Linköping.
- Hesselbach, J. and Kühn, M. "Disassembly assessment and planning for electronic consumer appliances". *Proceedings of the 1st International Working Seminar on Reuse*. 1996. Eindhoven.
- Hoed, v.d. R. "An exploration of approaches towards sustainable Innovation". In proceedings : *The Greening of Industry Conference*. 1997. Kathalys, Delf, The Netherlands. November, pp.16-19.
- Howell, J. M. and Shea, M. "Individual differences, environmental scanning, innovation framing, and champion behavior: key predictors of project performance". *Journal of Product Innovation Management*. 2001. Vol. 18, pp. 15-27.

I

Ishii, K., Eubanks, C. and Di Marco, P. "Design for product retirement and material life-cycle". *Materials & Design*. 1994. Vol 15, n°4.

J

James, P. "The sustainability circle: a new tool for product development and design". *Journal of Sustainable Product Design*. 1997. Vol. 2, July, pp. 52-57.

Janson, L. "Verksamhetsinriktade produktstrukturer". Ph.D. Thesis, Department of Production Engineering, Chalmers University of Technology. 1993. Göteborg (in Swedish)

Johansson, G., and Björkman, M. "Disassembleability- Essential Component/ Product Proprieties". *Proceedings of the International Conference on Engineering Design*. 1997. Tampere.

Johnson, M.R. and Wang, M.H. Evaluation policies and automotive recovery options according to the European Union Directive on end-of-life vehicles (ELV). *Automot Eng*. 2002. Vol. 9, pp. 723-39.

Jones, E. and Harrison, D. "Investigating the use of TRIZ in Eco-Innovation". *The TRIZ Journal* (<http://www.trizjournal.com>). 2000. September.

Jones, E., Darrel, M., Harrison, D. and Stanton, N.A. "An Eco-innovation case study of Domestic Dishwashing through the application of TRIZ tools". *Creativity and Innovation Management*. 2001a. Vol. 10, N°1, pp. 3-14.

Jones, E., Harrison, D. and McLaren, J. "Managing Creative Eco-Innovation structuring outputs from eco-innovation Projects". *The Journal of Sustainable Product Design*. 2001b. Vol. 1, n°1, pp. 27-39.

Jones, E., Stanton N.A. and Harrison D. "Applying structures methods to Eco-Innovation. An evaluation of the Product Ideas Tree diagram". *Design Studies*. 2001c. Vol. 22, pp. 519-542.

Jovane, F., Alting, L., Armillotta, A., Eversheim, E., Feldmann, K., Seliger, G. and Rooth, N. "A key Issue in Product Life Cycle: Disassembly". *Annals of CIRP*. 1993. Vol. 42.

- Justel, D., Agirrezabal, L., Valor, A., Galdos, A. Sarrionandia M.A. y Lauroba, N. "Análisis del grado de reciclabilidad real de los materiales empleados en el sector electrodomésticos". *XI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, AEIPRO*. 2007b. Lugo, 13-15 Septiembre.
- Justel, D., Arriaga, E., Vidal, R. and Val, E. "Diseño de un método para la evaluación del potencial innovador de un diseño conceptual". *X Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, AEIPRO*. 2006b. Valencia, 13-15 Septiembre.
- Justel, D., Arriaga, E., Vidal, R., Franco, V. and Val, E. "Evaluation method for selecting innovative product concepts with greater potential marketing success". *16th International Conference on Engineering Design, ICED*. 2007a. Paris, August 28-31.
- Justel, D., Bartolomé, E., Vidal, R., Gallo, A. y Val, E. "Estudio de métodos de selección de conceptos". *XI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, AEIPRO*. 2007c. Lugo, 13-15 Septiembre.
- Justel, D., Chiner, M. y Vidal, R. "Interrelación de técnicas de creatividad y métodos de ecodiseño". *VIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, AEIPRO*. 2004. Bilbao, España. 6-8 Octubre.
- Justel, D., Igartua, A., garcia, M. y Vidal, R. "Estudio de métodos de evaluación de la desmontabilidad de productos industriales.". *X Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, AEIPRO*. 2006c. Valencia, 13-15 Septiembre.
- Justel, D., Vidal and R., Chiner, M. "TRIZ applied for Eco-innovation in Design for Disassembly". *1st IFIP TC-5 Working conference on CAI*. 2005b. Ulm, Germany. 14- 15 November.
- Justel, D., Vidal and R., Chiner, M. "TRIZ applied to innovate in design for disassembly". LCE2006, *13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*. 2006a. Lovaina, Bélgica. 31 May - 2 June.
- Justel, D., Vidal, R., Chiner, M. "Eco-innovación en el desmontaje para buscar la sostenibilidad de la sociedad". *IX Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, AEIPRO*. 2005a. Málaga, España. 22, 23 y 24 de Junio.

K

- Kano, N., Seraku, N., Takahashi, F. and Tsuji, S. "Attractive quality and must-be quality. In The best on quality". *Book Series of the International Academy for Quality. Milwaukee: ASQC Quality Press.* 1996. Vol. 7.
- King, A.M. and Sivaloganathan, S. "Development of a methodology for concept selection in flexible design strategies". *Journal of Engineering Design.* 1999. Vol. 10, n° 4, pp. 229-439.
- Kirbly, J. and Wadehra, I. "Designing business machines for disassembly and recycling". *IEEE Int Symp on Electronics and Environment.* 1993. Arlington, VA. pp. 32-36.
- Klemmeer, P., Lehr, U. and Löbbe, K. "Environmental Innovation". Volume 3 of publications from a Joint Project on Innovation Impacts of Environmental Policy Instruments. Synthesis Report of a Project Commissioned by German Ministry of Research and Technology (BMBF). Analytica-Verlag. 1999. Berlin.
- Kobayashi, H. "A systematic approach to eco-innovative product design based on life cycle planning". *Advanced Engineering Informatics.* 2006. Vol. 20, pp. 113-125
- Kobayashi, H. "Idea generation and risk evaluation methods for life cycle planning". *Proc third int symp env cons des and inverse manuf. New York: IEEE.* 2003, pp. 117-123.
- Kotzbauer. "Erfolgsfaktoren neuer Produkte: der Einfluss der Innovationshöhe auf den Erfolg technischer Produkte". *Frankfurt: Lang.* 1992.
- Kriwet, A., Zussman, E. and Seliger, G. "Systematic integration of design-for-recycling into product design". *International Journal of Production Economics.* 1995. Vol. 38, pp. 15-22.
- Kroll, E. "Application of work-measurement analysis to product disassembly for recycling". *Concurrent Engineering Research and Applications.* 1996. Vol., n° 2, June, pp. 149-157.
- Kroll, E. "Ease-of-Disassembly Evaluation in Product Recycling". Unpublished technical report. Department of Mechanical Engineering. Texas A&M University. 1995. May.

- Kroll, E. and Carver, B. "Disassembly analysis through time estimation and other metrics". *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*. 1999. Vol. 15, pp. 191-200.
- Kroll, E. and Hanft, T.A. "Quantitative evaluation of product disassembly for recycling". *Research in engineering Design*. 1998. Vol. 10, pp.1-14.
- Kumar, S.S. "Components of Science-Based Innovation Measurements and Their Links to Public Policies". *Technological Forecasting and Social Change*. 2000. Vol. 64, pp. 261-269.
- Kusunoki, K. "Incapability of technological capability: a case study on product innovation in the japanese Facsimile machine industry". *Journal of Product Innovation Management*. 1997. Vol. 4, n° 36, pp. 8-82.
- Kuuva, M. and Airala, M. "Design for Recycling". *Proceedings of the International Conference on Engineering Design*. 1993. The Hague.

L

- Laperriere, L. and ElMaraghy, H. "Planning of products assembly and disassembly". *Ann CIRP*. 1994. Vol. 41, n° 1, pp 5-9.
- Levitt, T. "Marketing intangible products and product intangibles". *Harvard Business Review*. 1981. Vol. 59, n° 3, pp. 94-102.
- Levitt, T. "Marketing intangible products and product intangibles". *Harvard Business Review*. 1981. Vol. 59, n° 3, pp. 94-102.
- Liu, C.C and Chen, J.L. "A TRIZ inventive product design method without contradiction information". *TRIZ Journal* (<http://www.trizjournal.com>). 2001b. September.
- Liu, C.C and Chen, J.L. "Development of product green innovation design method". *Proc second int symp env cons des and inverse manuf., IEEE*. 2001a. New York, pp. 168-173.
- Liu, C-C. and Chen, J.L. "Development of product green innovation design method". *Proceedings of EcoDesign 2001: Second International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*. 2001c. Tokyo, Japan, December 11-15, pp.168-173.

- Low, M., Lamvik, T., Walsh, K. and Myklebust, O. "Manufacturing a green service: engaging the TRIZ model of innovation". *IEEE Trans Elec Pack Manufact.* 2001. Vol. 24, n°1, pp. 10–17.
- Low, M.K., Lamvik, T., Walsh, K. and Myklebust, O. "Product to service ecoinnovation: the TRIZ model of creativity". *Proceedings of International Symposium on Electronics and the Environment, IEEE.* 2000. San Francisco, California. May 8–10, pp. 209–214.
- Luttropp, C. "Design for Disassembly- Good separating surfaces a key to sorting borders". *Proceedings of NordDesign.* 1996b. Espoo.
- Luttropp, C. "Design for Disassembly- The approach of sorting borders and separating surfaces". *Proceedings of the 3rd International Seminar on Life Cycle Engineering.* 1996a. Zürich.
- Luttropp, C. "Design for Disassembly- The resting loadcase". *Proceedings of the International Conference on Engineering Design.* 1995. Praha.
- Luttropp, C. "Disassembly structures- An approach to understand product structures from separation point of view". In: *Kraude, F-L. and Seliger, G. (ed.) Life Cycle Networks.* 1997. Chapman & Hall, London.

M

- Maidique, M.O. and Zirger, B.J. (1984). "A study of success and failure in product innovation: the case of the U.S. electronics industry". *IEEE Transactions on Engineering Management.* 1984. EM-31, pp. 192-203.
- Mann, D. and Dewulf, S. Evolutionary-Potential™ in Technical and Business Systems. *The TRIZ Journal* (<http://www.trizjournal.com>). 2002, June.
- Mann, D. and Jones, E. "Sustainable services & systems (3s) through systematic innovation methods". *Journal of Sustainable Product Design.* 2000. Vol. 2, pp.131–139.
- Marconi, J. and Marconi, W. "ARIZ : The Algorithm for Inventive Problem Solving". An Americanized Learning Framework. *The TRIZ Journal* (<http://www.trizjournal.com>). 1998. May.
- Martinez, A and Navarro, L. "Product Innovation Management in Spain". *Product Innovation Management.* 1991. Vol. 8, pp. 49-51.

- Marzal, J.A., Diego Más, J. A. y Artacho, M.A. “Diseño de producto. Métodos y técnicas”. Editorial UPV. 2001.
- Maynard, H.B., Stegmerten, G.J. and Schwab, J.L.. “Methods – Time Measurement, MTM”. *McGraw-Hill*. 1948. New York.
- McGrath, J.E. “Groups: Interaction and Performance”. *Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall Inc*. 1984.
- Mc Quarter, R.E., Peters, A.J., Dale, B.G., Spring, M., Rogerson, J.H. and Rooney, E.M. “ The management and organisational context of new product development: diagnosis and self assessment”. *International Journal of Production Economics*. 1998. Vol. 55, pp. 121-131.
- Miller, G.A.” The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information”. *The Psychological Review*. 1956. Vol. 63, pp. 81-97.
- Mishra, S., Kim, D. and Lee, D.H. “Factors affecting new product success: cross-country comparisons”. *Journal of Product Innovation Management*. 1996. Vol. 13, pp. 530-550.
- Mok, H.S., Kim, H.J. and Moon, K.S. “Disassemblability of mechanical parts in automobiles for recycling”. *Computers and Industrial Engineering*. 1997. Vol. 33, N° 3-4, pp. 621-624.
- Montoya-Weiss, M. and Calantone, R. “Determinants of new product performance: a review and meta-analysis”. *Journal of Product Innovation Management*. 1994. Vol. 11, pp. 397-417.
- Morete, J.P and A.H. Nuchera, A.H. “Gestión e innovación. Un enfoque estratégico”. *Editorial Pirámide*. 1997.

N

- Nevins, J.L. and Whitney, D.E. “Concurrent Design of Products and Processes”. *McGraw-Hill*. 1989. New York.
- Nieminen, E. and Järvinen, J. “Teollisen muotoilun teknologiaohjelman esiselvitys”. *Helsinki, Tekesin teknologiakatsaus*. 2001. Vol. 119.
- Noller, R. “Design for disassembly tactics”. *Assembly*. 1992, pp. 24-26.

NRCC, National Research Council Canada. http://dfe-sce.nrc-nrc.gc.ca/dfestra/dfestra7/dfestra7_2_e.html. 2004

Nuij, R. "Eco-innovation: Helped or hindered by Integrated Product Policy". *The Journal of Sustainable Design*. 2001. Vol. 1, pp. 49-51.

O

OECD. "Proposed Guidelines for collecting and interpreting technological innovation data-Oslo Manual". *OECD/Eurostat*, Paris, 1997.

OECD. "The nature of innovation and the evolution of the productive system. Technology and productivity". *The challenge for economic policy*. OECD. 1991. Paris, pp. 303-14.

OECD. "Manual de OSLO. Tercera edición". 2005. *EUROSTAT & OECD*. Paris, Francia.

Otto, KN and Wood, L. (1995). "Estimating errors in concept selection". American Society of Mechanical Engineers, Design Engineering Division (Publication) DE, 9th International Conference on Design Theory and Methodology. 1995. Vol. 83, n° 2, pp. 397-412.

Ozer, M. "A survey of new product evaluation models". *Journal of Product Innovation Management*. 1999. Vol. 16, pp. 77-94.

P

Parry, M.E. and Song, X.M.. "Identifying new product successes in China". *Journal of Product Innovation Management*. 1994. Vol. 11, pp. 15-30.

Path, G. and Beitz, W. "Engineering Design". *The Design Council*. 1984, pp. 119-138.

Peattie, K. "Trappings versus substance in the greening of marketing planning". *Journal of Strategic Marketing*. 1999. Vol. 7, pp. 131-148.

Penrose, E. "The economics of the International Patent System". *John Hopkins Press, Baltimore, MD*. 1951.

PNIR 2008-2015. "Versión preliminar del Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR)". *Ministerio de Medio Ambiente*. 2007. España.

- Popp, D. "Lessons from patents: Using patents to measure technological change in environmental models". *Ecological Economics*. 2005. Vol. 54, pp. 209-226.
- PUE 2005/32/CE. "Directiva 2005/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de julio de 2005, por la que se instaure un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos que utilizan energía y por la que se modifica la Directiva 92/42/CEE del Consejo y las Directivas 96/57/CE y 2000/55/CE del Parlamento Europeo y del Consejo". *Parlamento Europeo*. 2005. Europa.
- Pugh, S. "Creative Innovative Products Using Total Design". *Addison-Wesley*. 1996, p.544.
- Pugh, S. "Total Design. Integrated Methods for Successful Product Engineering". *Addison-Wesley*. 1991, pp. 67-101.
- Pujari, D. "Eco-innovation and new product development: understanding the influences on market performance". *Technovation*. 2006. Vol. 26, n° 1, pp. 76-85.
- Pujari, D., Peattir, K. and Wright, G. "Organizational antecedents of environmental responsiveness in industrial new product development". *Industrial Marketing Management*. 2004. Vol. 33, n° 5, pp. 381-391.
- Pujari, D., Wright, G. and Peattie, K. "Green and competitive: influences on environmental new product development (ENPD) performance. *Journal of business Research*. 2003. Vol. 56, n° 8, pp. 657-671.

R

- RAEE 2002/96/CE. "Directiva 2002/96/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de enero de 2003, sobre Residuos de Aparatos Eléctricos y/o Electrónicos (RAEE). *Parlamento Europeo*. 2003. Europa.
- RD 208/2005. "Real decreto 208/2005, de 25 de febrero, sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos". *Boletín Oficial del Estado Español (BOE)*. 2005. España.
- RoHS 2002/95/CE. "Directiva 2002/95/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de enero de 2003, sobre Restricciones al uso de Determinadas Sustancias Peligrosas". *Parlamento Europeo*. 2003. Europa.

- Romijn, H. and Albaladejo, M. “Determinants of innovation capability in small electronics and software firms in sotheast England”. *Research Policy*. 2002. Vol. 31, pp. 1053-1067.
- Rose, C. “Design for environment: a method for formulating product end-of-life strategies”. *Phd Thesis, Department of Mechanical Engineering, Stanford University*. 2000, pp. 19-144.
- Rose, C. and Stevels, ALM. “Metrics for end-of-life strategies (ELSEIM)”. *IEEE International Symposium on Electronics and Environment*. 2001. Denver, Colorado. Piscataway, N.J.
- Rose, C., Beiter, K. and Ishii, K. “Determining of end-of-life strategies as a part of product definition”. *IEEE International Symposium for Electronic and the Environment*. 1999. Danvers, MA.
- Rosemann, B and Meerkamm, H. “Eco Design: Make it happen by an environmental innovative product design”. *International Design Conference. 2004*. Dubrovnik, May 18-21.
- Rothwell, R., Freeman, C., Horlsey, A., Jervis, V.T.P., Roberston, A.B. and Townsend J. “SAPPHO updated-project SAPPHO phase II”. *Research Policy*. 1974. Vol. 3, pp. 258-291.

S

- Saaty T.L. “How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process”. *European Journal of Operational Research*. 1990. Vol. 48, pp. 9-26.
- Salamatov, Y. “TRIZ: the right solution at the right time: a guide to innovative problem solving”. *Netherlands: Insytec BV*. 1999.
- Salonen M. and Perttula M. “Utilization of Concept Selection Methods – A Survey of Finnish Industry”. *International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, ASME*. 2005. September 24-28, Long Beach, California USA.
- Schnauber, H. “CLEANTECH – a European project for product disassembly”. *Documentation from the Workshop on Design for Recycling, AFR-report 97*. 1995. Stockholm.
- Schumpeter, J. “Capitalism, Socialism and Democracy”. *Harper*. 1942. New York.

- Seliger, G. Disassembly Factories for Recovery of Resources in Product and material Cycles. *Documentation from the Advanced Course on Sustainable Production*. Venezia. 1996.
- Shu, L.H. and Flowers, W. "Application of a design-for remanufacture framework to the selection of product life-cycle fastening and joining methods". *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*. 1999. Vol. 15, pp. 179-190.
- Simon, M., Fogg, B. and Chambellant, F. "Design for cost-effective disassembly". *Design and Recycling Technical Report (DDR/TR1)*.1991. Manchester Metropolitan University, U.K. June.
- Singh, K. "Mechanical Design Principles". *Nantel Publications*. 1996.
- Sirivasan, H., Shyamsundar, N., Gadh, R. "A virtual disassembly tool to support environmentally conscious design". *Proceedings of the IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*. 1997. San Francisco, California.
- Sodhi, R., Sonnenberg, M. and Das, S. "Evaluation the unfastening effort in design for disassembly and serviceability". *Journal of Engineering Design*. 2004, Vol. 15, N°1, February, pp.69-90.
- Song, X.M. and Parry, M.E. "A cross-national comparative study of new product development processes: Japan and the United States". *Journal of Marketing*. 1997. Vol. 61, pp. 1-18.
- Song, X.M. and Parry, M.E. "The R&D marketing interface in Japanese hightechnology firms". *Journal of Product Innovation Management*. 1992. Vol. 9, pp. 91-112.
- Sonnenberg, M. "Force and effort analysis of unfastenning actions in disassembly processes". *Phd Thesis. New Jersey Institute of Technology*.2001.
- Souder, W.E. and Chakrabarti, A.K. "The R&D/Marketing interface: results from an empirical study of innovation projects". *IEEE Transactions on Engineering Management*. 1978. EM-25, pp. 88-93.
- Spur, G. Life Cycle Modeling as a Management Challenge. In: Jansen, H., Krause, F-L. (eds). *Life Cycle Modelling for Innovative Products and Processes*, Chapman & Hall. 1995. London.
- Strasser, C & Wimmer, W. "Supporting customer driven eco-solutions— implementing ecodesign in the daily work of product developers". *Proceedings of third int symp env cons des and inverse manuf. New York: IEEE*. 2003, pp. 757–762.

Subramani, A. and Dewhurst, P. "Automatic generation of product disassembly sequences". *Ann CIRP*. 1991. Vol. 40, n°1, pp. 115-118.

Slater, S.F. and Narver, J.C. "Market oriented is more than being customer-led". *Strategic Management Journal*. 1999. Vol. 20, n°12, pp. 1165-1168.

T

Thamhain, H.J. "Managing technologically innovative team efforts toward new product success". *Journal of Product Innovation Management*. 1990. Vol. 7, pp. 5-18.

Takai, S. and Ishii, K. "Modifying Pugh's decision concept evaluation methods". *Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, ASME*. 2004. September 28-October 2, Salt Lake City, Utah USA.

Taylor, C.T. and Silberston, Z.A. "The Economic Impact of the Patent System: a Study of the British Experience". *Cambridge University Press*. 1973. London.

TechOptimizer V.3. *Invention Machine*. 1999.

Terninko, J., Zusman, A. and Zlotin, B. "Systematic innovation—an introduction to TRIZ". New York, St Lucie Press. 1998.

Thurston, D. L. and Carnahan, J. V. "Fuzzy Ratings and Utility Analysis in Preliminary Design Evaluation of Multiple Attributes". *Journal of Mechanical Design*. 1992. Vol. 114, pp. 648-658.

Torrano, I., Justel, D., Vidal, R., Lauroba, N., García, M. and Espartero, S. "Validación de métodos de estimación de tiempos de desmontaje en el sector del mueble". *XII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, AEIPRO*. 2008. Zaragoza, 9-11 Julio.

U

Ullman, D. G. "The Mechanical Design Process". *McGraw-Hill*. 1992. New York.

UNE-EN ISO 14021. "Etiquetas ecológicas y declaraciones medioambientales. Autodeclaraciones medioambientales (Etiquetado ecológico Tipo II)". *ISO 14021:2002*.

V

- VDI 2243. Konstruieren Recyclinggerechter technischer Produkte, Verein Deutscher Ingenieurue (VDI). -*Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb*. Berlin.
- Verganti, R. "Leveraging on systematic learning to manage the early phases of product innovation projects". *R & D Management*. 1997. Vol. 27, pp. 377-392.
- VFU 2000/53/CE. "Directive 2000/53/CE of the European Parliament and of the Council, of 18 September 2000, on end of life vehicles". *European Comission*. 2000. Europa.

W

- Wang, J. "Ranking engineering design concepts using a fuzzy outranking preference model". *Fuzzy Set and System*. 2001. V 119, pp. 161.
- WCDE. "The World Commission on Environment and Development, Our Common Future". *Oxford University Press*, New York, 1987.
- Weaver, P. and Schmidt-Bleek, F. "Factor-10". *Greenleaf Publishing Ltd*. 2000.
- Wezsacker, E., Lovins, A. and Lovins H. "Faktor vier". *Droemer Knaur Mchn*. 1997.
- Wimmer, W. and Züst R. "Ecodesign Pilot. Product Investigation, Learning and Optimization Tool for Sustainable Product Development, with CD-ROM". *Kluwer Academic Publishers*. 2001.

Y

- Yap, C.M. and Souder, W.E. "Factors influencing new product success and failure in small entrepreneurial high-technology electronic firms". *Journal of Product Innovation Management*. 1994. Vol. 11, pp. 418-432.

Z

- Zandin, KB. "MOST work measurement systems". *Marcel Dekker*. 1980. New York.
- Zuidwijk, R. and Krikke, H. "Strategic response to EEE returns: Product eco-design or new recovery processes?". *European Journal of Operational Research*. 2008. Vol. 191, pp. 1206-1222.

Zussman, E., Wriwet, A. and Seliger, G. "Disassembly-oriented assessment methodology to support design for recycling". *Annals CIRP*. 1994. Vol. 43, n° 1, pp. 9-14.