

1

Introducción

1.1. Contexto

Durante los primeros años de la revolución industrial lo más importante era producir, sin preocuparse de los problemas medio ambientales que pudiera ocasionar un producto o su proceso de fabricación. Sin embargo, en los últimos años, la preocupación por el medio ambiente ha crecido y los gobiernos se ven en la necesidad de regular aspectos medio ambientales de la producción. Debido a ello la Comisión Europea introduce en 1998 un borrador para una directiva sobre la producción de residuos en productos eléctricos y electrónicos, *Waste Electrical and Electronical Equipment (WEEE)* [212], cuya última modificación se realizó en abril del 2002.

Estas normativas implican una fabricación que tenga en cuenta el medio ambiente, denominada en la bibliografía como *environmentally conscious manufacturing (ECM)*, lo que supone una política de producción que involucre todo el ciclo de vida del producto, desde la etapa de diseño, pasando por la entrega al consumidor, sin olvidarse del producto una vez que ha terminado su vida útil. Lo que se pretende con esta política es eliminar la cantidad de residuos generados al finalizar la vida útil de un producto así como causar un menor daño al medio ambiente. Mediante el reciclado y la reutilización de los productos o de algunas partes de ellos se consigue reducir la cantidad de residuos producidos.

Lo primero a considerar son las actividades en las que se puede dividir el ciclo de vida de un producto, en las cuales habrá que tomar consideraciones distintas para el tratamiento del producto (Figura 1.1). Las etapas son las siguientes [92]:

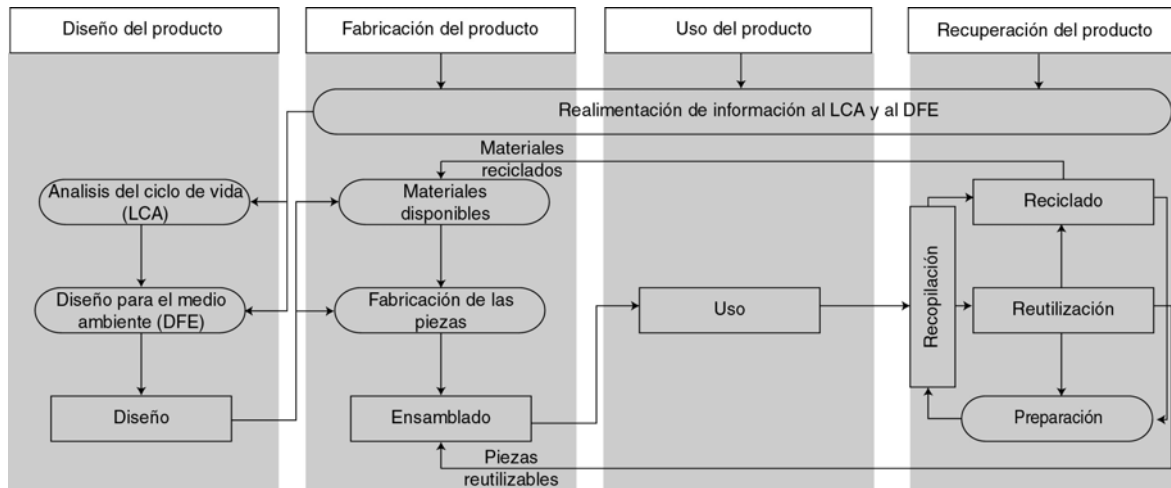


Figura 1.1: Interacción entre las distintas actividades del ciclo de vida de un producto (Fuente [92]).

- Diseño del producto: En esta etapa se realiza el diseño del producto en base a lo que se desea obtener y a la información que se pueda tener sobre los distintos componentes que formarán parte de él, teniendo en cuenta su impacto ambiental y su facilidad de reciclado y reutilización.
- Fabricación del producto: Esta fase es la encargada, como indica su nombre, de construir el producto propiamente dicho; teniendo en cuenta el diseño realizado se genera el producto para su uso.
- Uso del producto: Esta fase se corresponde con la utilización del producto por el usuario al que este destinado.
- Recuperación del producto: Es la última fase, y se aplica una vez que el producto ha dejado de ser utilizado. Consiste en el reciclado y la reutilización de las distintas partes del producto.

Este proceso no es en una única dirección, sino que, según se realizan las distintas etapas, éstas proporcionan información sobre el producto, que puede ser utilizada para realizar un mejor diseño de nuevas versiones del mismo así como de los nuevos productos, para que cada vez estén diseñados de una manera más consciente con el medio ambiente. Para ello se utiliza información para realizar un análisis del ciclo de vida del producto, denominado en la bibliografía como *life cycle analysis (LCA)*, que representa un estudio de todo lo que pasa con el producto una vez que ha sido diseñado [1] [3] [8] [13] [18] [22] [26] [37] [43] [49] [51] [57] [58] [69] [71] [72] [73] [96] [98] [99] [105] [111] [117] [118] [119] [120] [121] [122] [127] [130] [132] [141] [144] [149] [159] [183] [184] [197] [201] [221] [226] [228] [241] [253] [257] [261] [265] [283] [284] [285] [286] [294] [311].

La información recopilada también se utiliza para realizar nuevos diseños más conscientes con el medio ambiente, denominado en la bibliografía como *design for environment (DFE)*, para diseñar los nuevos productos teniendo en cuenta las ventajas e inconvenientes que se dan durante la vida del producto [7] [12] [16] [17] [19] [32] [33] [35] [36] [40] [47] [56] [63] [67] [68] [74] [75] [96] [101] [103] [104] [106] [120] [125] [139] [145] [151] [154] [157] [168] [169] [170] [179] [186] [187] [198] [215] [224] [226] [227] [230]

[231] [232] [234] [236] [237] [238] [239] [246] [251] [252] [261] [280]
[295] [305] [310].

Como consecuencia de la gran cantidad de residuos generados por los productos de las industrias, así como de las diferentes formas en que pueden aparecer (residuos sólidos, polución en el aire y en el agua, etc.), se contemplan dos iniciativas principales a la hora de luchar contra la existencia de estos residuos. La primera consiste en crear productos que no dañen el medio ambiente, lo que se denomina "ingeniería verde". La segunda consiste en desarrollar técnicas para recuperar los componentes que forman los productos así como para tratar los residuos.

Para poder llevar a cabo un diseño del producto teniendo en cuenta una estrategia que no dañe el medio ambiente, hay que tener un conocimiento de todo el ciclo de vida del producto [253]. Para ello no sólo basta con realizar decisiones que consideren el medio ambiente en la fase de diseño, sino que durante todo el ciclo de vida, hay que tomar decisiones respecto a aspectos medio ambientales del producto [177] [178]. En este sentido se pueden señalar tres maneras de diseñar un producto según los objetivos que se persigan.

- La primera de ellas sería la realización de un diseño para el reciclado, denominado en la bibliografía como *design for recycling (DFR)*, que plantea unos objetivos para que el producto sea fácilmente reciclable.
- La segunda manera de enfocar el diseño consiste en realizar un diseño para el medio ambiente, conocido como *design for environment (DFE)*, que dañe lo menos posible minimizando los componentes peligrosos.
- La tercera manera consiste en realizar un diseño para el desensamblado, conocido como *design for disassembly (DFD)*, que plantea una estrategia en la cual la separación de los componentes del producto, una vez finalizado su período de vida útil, puedan separarse para su posterior reciclado o reutilización.

Estas tres estrategias no son incompatibles entre sí, sino que se pueden combinar para conseguir un mejor diseño del producto.

El análisis del ciclo de vida de un producto como se ha comentado resulta muy importante para evitar problemas medioambientales con los nuevos productos. Sin embargo hay que tener en cuenta que normalmente el mayor daño para el medio ambiente se da cuando un producto se deja de utilizar, termina su vida útil, es por esto que los procesos de recuperación de materiales al término de su vida útil son muy importantes.

En estos momentos resulta de vital importancia el reciclado de productos al final de su vida útil, ya que existen millones de unidades que han sido diseñados sin tener en cuenta al medio ambiente, con lo que al llegar éstos al final de su vida útil hay que llevar a cabo una de las opciones posibles, el reciclado o la reutilización.

El reciclado por su parte trata de recuperar los materiales utilizados durante la fabricación, mediante el desensamblado y la separación de los materiales, utilizando procesos químicos para su recuperación una vez

desensamblados del resto [27] [30] [38] [45] [76] [100] [102] [114] [115] [116] [122] [123] [137] [143] [166] [191] [193] [194] [195] [209] [217] [233] [242] [304] [310]. Estas técnicas implican el uso de desensamblado destructivo, ya que se puede dañar un componente para conseguir separar una determinada materia prima del resto del producto; es decir, se trata de desensamblar el producto, no separándolo en sus componentes individuales, sino separando los distintos materiales que lo forman.

La reutilización del producto intenta en lugar de recuperar los distintos materiales que lo componen, hacerlo con las piezas que lo forman, para ello se necesitan técnicas de desensamblado, así como para clasificar y restaurar las distintas piezas [1] [11] [15] [19] [29] [31] [34] [54] [55] [59] [60] [93] [108] [109] [113] [122] [138] [175] [192] [197] [203] [208] [217] [220] [254] [271] [274] [286]. Para poder llevar a cabo la reutilización de los componentes se requieren técnicas de desensamblado no destructivo ya que para volver a utilizar un componente se requiere que no se haya dañado durante su desensamblado.

El desensamblado es el proceso clave que permite la recuperación de las partes deseadas de un producto así como la separación de los materiales que lo forman. Esto implica una reducción en el tiempo necesario para fabricar nuevos productos gracias a la reutilización de las partes desensambladas en buen estado [20] [191], ya que así no se tienen que volver a fabricar esas partes.

Teniendo en cuenta estos criterios se define el tipo de desensamblado utilizado como: destructivo o no destructivo [124] [158]:

- Se denomina desensamblado destructivo a aquel en el que se debe romper algún componente, es decir si para realizar el desensamblado hay que deteriorar algún componente (Figura 1.2).

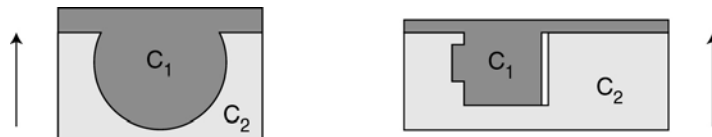


Figura 1.2: Componentes que necesitan un desensamblado destructivo para poder separarlos en la dirección indicada (Fuente [243]).

Un claro ejemplo de este tipo de desensamblado se presenta cuando se desea separar dos elementos unidos mediante una soldadura, es decir siempre que para acceder a un elemento hay que cortar otro que impide el paso se está trabajando con un desensamblado destructivo [64] [290].

- Se conoce como desensamblado no destructivo al que realiza un desensamblado sin dañar ni romper ningún componente, este tipo de desensamblado es el más indicado para tareas de mantenimiento ya que no se debe de dañar un componente para poder sustituir otro. También es más indicado para tareas que requieran una reutilización de los productos completos, ya que recupera los distintos elementos que lo forman sin dañarlos. Por el contrario no siempre es posible realizar el desensamblado completo de un producto mediante desensamblado no destructivo, especialmente si se trata de productos antiguos que no han sido diseñados para su

recuperación. El algoritmo que aporta esta tesis plantea una nueva solución al problema del desensamblado no destructivo.

Todos estos conceptos se encuentran relacionados entre sí, y son las soluciones que se plantean para los problemas medio ambientales que surgen (Figura 1.3).

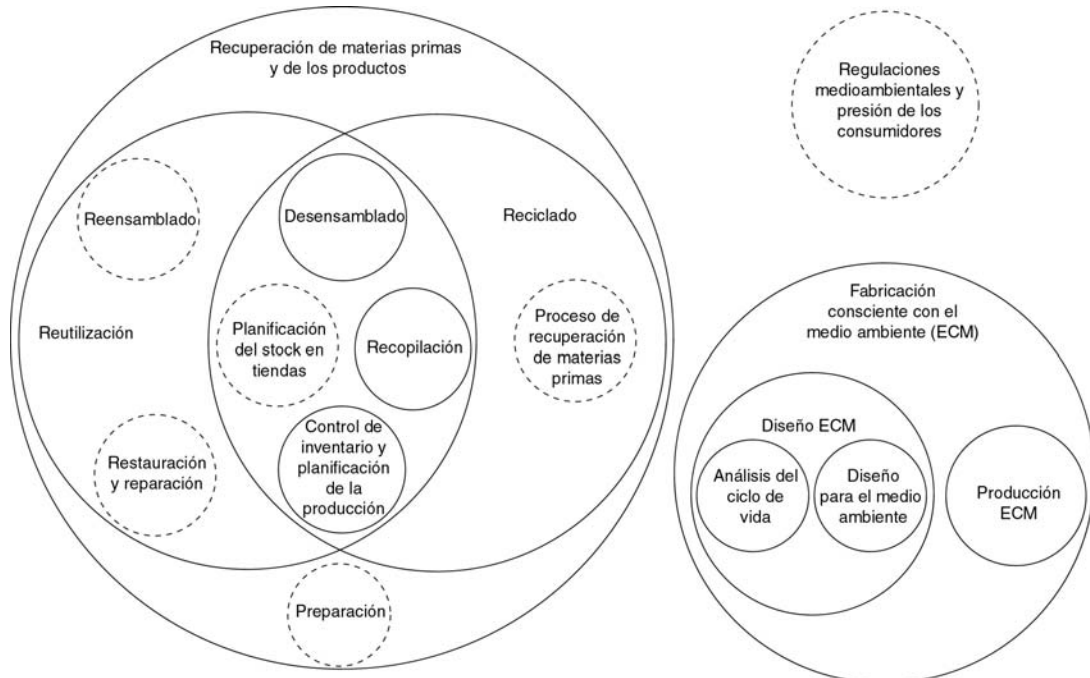


Figura 1.3: Respuesta a los problemas medio ambientales (Fuente [92]).

Además de realizar consideraciones a la hora de diseñar un producto, se deben también utilizar estrategias para la recuperación una vez utilizados, esta etapa en la bibliografía se denomina como *collection*, [41] [59] [60] [66] [70] [87] [108] [122] [128] [129] [134] [146] [153] [172] [219] [286].

Además, en base a estas técnicas, se deben generar estrategias para realizar un control del inventario de manera que se evite un exceso de producción que llevaría a un aumento de los residuos producidos [1] [11] [29] [31] [60] [113] [129] [138] [140] [142] [176] [208] [222] [223] [245] [254] [272] [273] [274].

Muy ligada a una correcta estrategia para el control del inventario está el control de la producción así como una correcta planificación de ella para poder tener un control del inventario apropiado [4] [20] [34] [40] [60] [77] [78] [79] [80] [81] [82] [83] [84] [85] [86] [94] [108] [109] [123] [131] [135] [138] [141] [142] [143] [147] [198] [203] [204] [205] [220] [229] [244] [254] [259] [260] [261] [264] [271].

Teniendo en consideración todas estas técnicas se plantean métodos para realizar un adecuado proceso de desensamblado de los productos, denominado en la bibliografía como *disassembly process planning (DPP)* [5] [6] [10] [28] [48] [88] [89] [90] [91] [93] [95] [110] [124] [133] [136] [152] [157] [160] [165] [185] [188] [189] [190] [200] [202] [213] [214] [240] [244] [248] [256] [261] [263] [268] [270] [275] [276] [277] [278] [279] [281] [290] [291] [292] [293] [296] [297] [298] [299] [304] [309] [310].

El objetivo perseguido con estas técnicas consiste en estudiar como desensamblar un producto completamente para aprovechar sus piezas, o como separar las piezas o materias primas para que resulte rentable su reciclado o reutilización.

1.2. Marco de la tesis

La presente tesis se enmarca dentro de la búsqueda de sistemas de desensamblados flexibles, planteando un sistema para la planificación y realización de un proceso de desensamblado automático destinado a la reutilización de componentes empleando técnicas no destructivas.

Dentro del ámbito del reciclado y la "ingeniería verde", el desensamblado y más aún el desensamblado automático es un factor muy importante debido a las posibilidades que ofrece.

De cara a la reutilización de los componentes que forman los productos se tiene que el uso de técnicas adecuadas de desensamblado permite la correcta separación de los componentes sin que estos sufran daño.

Es por tanto, otro de los factores a tener en consideración para un sistema automático orientado a la reutilización, el llevar a cabo un desensamblado no destructivo, ya que si se utilizan técnicas destructivas se dañarían los componentes a recuperar y por tanto no se podrían utilizar para llevar a cabo una reutilización de los componentes.

Hay que destacar que un proceso de desensamblado no puede verse simplemente como el inverso del proceso de ensamblado sino que hay que ir más allá dado que pueden existir modificaciones, debido al uso, o cambios de los componentes que forman un producto.

Por todo ello se plantea esta tesis relacionada con el proyecto de investigación financiado por la CICYT (TAP 1999-0436), "Sistema robotizado de desensamblado automatizado basado en modelos y visión artificial".

La arquitectura que se plantea para la resolución del problema de desensamblado se muestra en la Figura 1.4.

Esta arquitectura se plantea teniendo en mente un sistema orientado a la reutilización de los componentes, es por ello que las técnicas que se van a plantear son técnicas no destructivas.

Según la arquitectura planteada se parte de la información sobre lo que se quiere desensamblar, bien sea un componente individual, un conjunto de ellos o el desensamblado total del producto.

Esta información se suministra al "planificador global", el cual considerando la información suministrada decide obtener el modelo genérico del producto correspondiente que se encuentra almacenado en la base de datos.

Dicho modelo se basa en las relaciones de jerarquía, modelo relacional, existentes entre los componentes, que permite definir la secuencia de acciones que se deben realizar para poder separar el componente deseado.

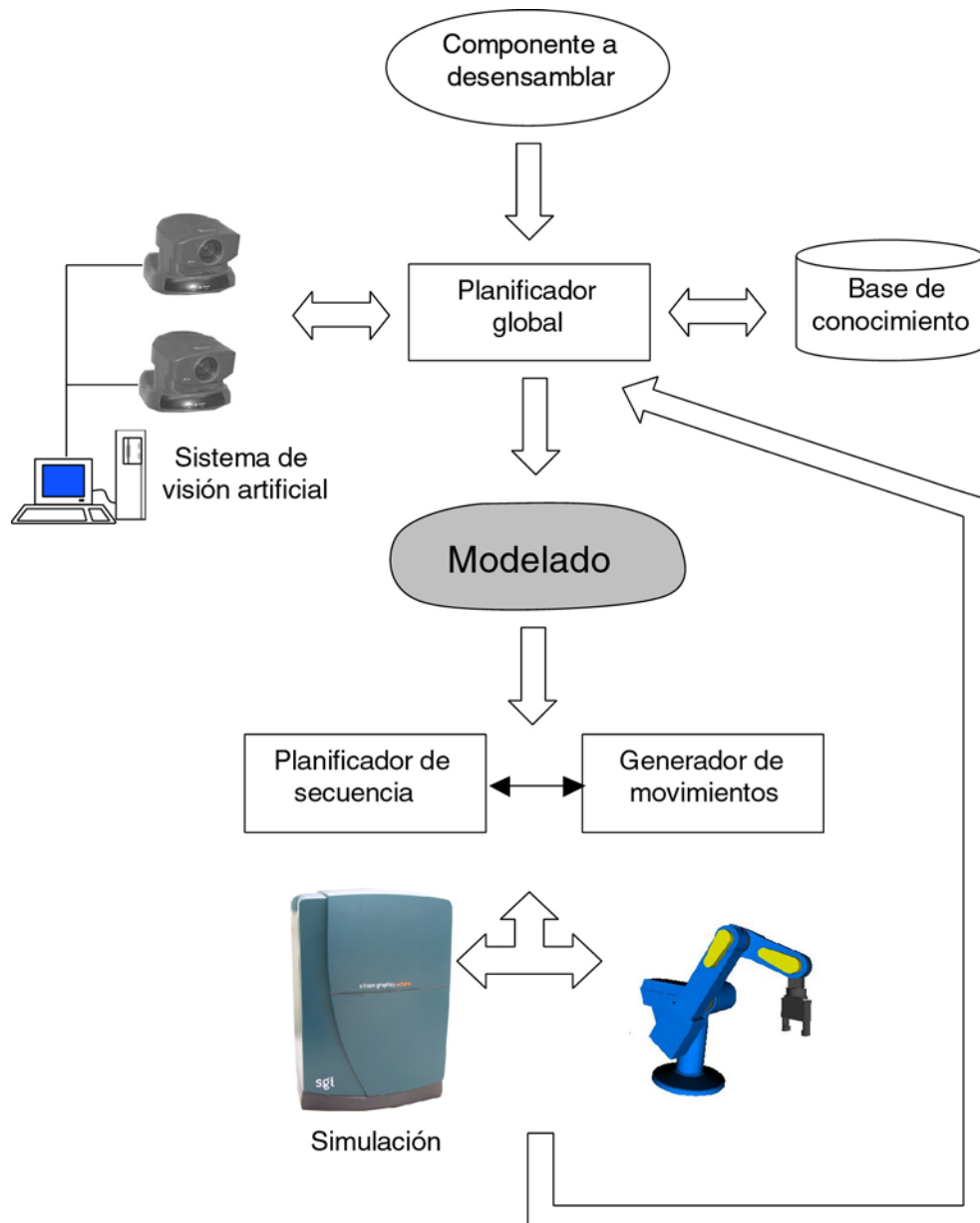


Figura 1.4: Arquitectura del proceso de desensamblado automático.

Por su parte el "sistema de visión artificial" se encarga de obtener, mediante un par estereoscópico información precisa sobre el producto que realmente se tiene para desensamblar. Este sistema debe ser capaz de reconocer los componentes del producto que se está desensamblando así como obtener su localización.

Para ello el "sistema de visión artificial" utiliza la información, contenida en la "base de conocimiento", sobre los modelos de los distintos componentes, así como información relativa a sus posibles ubicaciones en el producto.

Por tanto el planificador global utilizando un modelo relacional genérico del producto a desensamblar obtendrá un modelo preciso del producto que realmente se tiene para desensamblar, mediante el "sistema de visión artificial".

Este modelado que se realiza del producto se componen de dos partes: un modelo relacional y un modelo geométrico.

El modelo relacional es utilizado por el "planificador de secuencia" para generar la secuencia de operaciones a seguir para llevar a cabo la tarea especificada, teniendo en cuenta el modelo actual.

Esta secuencia se compone de la lista de componentes que hay que separar para poder alcanzar, y por tanto desensamblar, el componente objetivo.

El modelo geométrico se basa en un modelo poliédrico del producto. Este es utilizado por el "generador de movimientos" para calcular para cada uno de los componentes que se deben separar, información que proporciona el "planificador de secuencia", cuáles son los movimientos que tiene que seguir para separarse del resto del producto, teniendo en cuenta un manipulador determinado y evitando posibles colisiones.

Estos dos últimos módulos, el "planificador de secuencia" y el "generador de movimientos", intercambian información ya que si el "generador de movimientos" detecta que el componente indicado por el "planificador de secuencia" no puede ser desensamblado en un determinado instante, debido a restricciones geométricas del producto, entonces el "planificador de secuencia" debe reestructurar la secuencia de componentes a desensamblar para tener en consideración dicha eventualidad.

Una vez se tienen generados los movimientos de un componente, se llevan a cabo por el sistema de simulación y también por el manipulador que se está utilizando.

Por último existe en la arquitectura del sistema un bucle de retorno de información, que sirve, para una vez se ha desensamblado un componente, actualizar mediante el "sistema de visión artificial" el modelo del producto, realizando el planificador global un nuevo modelado más preciso del producto disponible en estos momentos.

En esta tesis se realizan los módulos correspondientes al planificador global, a la base de conocimiento, al planificador de secuencia, al generador de movimientos así como la simulación y su posterior realización por el sistema real, de tal manera que se abordan todas las partes del sistema mostradas en la Figura 1.4 excepto la correspondiente al sistema de visión artificial que no se lleva a cabo en esta tesis.

El módulo correspondiente al "sistema de visión artificial" no se desarrolla en esta tesis, ya que se parte del hecho que dicho sistema realiza correctamente las tareas que le corresponden y se trabaja con dicha información.

1.3. Estructura de la tesis

La presente tesis se estructura en una serie de capítulos en los que se van a ir tratando los distintos temas planteados para la resolución del problema de desensamblado.

En el capítulo 1 se presenta un estado del arte actual de los métodos de planificación para sistemas de desensamblado; tras esta introducción se

presenta el método original aportado en esta tesis para realizar la planificación de desensamblado, ya sea parcial o total.

En el capítulo 2 se presenta un método que permite calcular la trayectoria de movimientos que debe realizar un componente para poder desensamblarse del resto del producto. Esta trayectoria se plantea desde el punto de vista de una secuencia de movimientos cartesianos lineales del componente.

En el capítulo 3 se explica como se lleva a cabo la fusión de la información proveniente del capítulo 1 y del capítulo 2, añadiendo un robot que realiza el desensamblado. Además se presentan cuales son las diferencias entre realizar un desensamblado virtual, y un desensamblado real. En el primero no se requiere un brazo robot real, sólo se realiza una simulación y en el segundo se tiene el sistema completo y se deben realizar los movimientos con el robot, realizando correctamente la fusión entre la información obtenida en los capítulos 2 y 3.

En el capítulo 4 se aplican los conocimientos aportados en la presente tesis a un sistema real, se realiza el desensamblado de varios PCs, mostrando los pasos seguidos así como secuencias del sistema real llevando a cabo la tarea. También se incluye una descripción de la base de datos utilizada para la generación de los ejemplos.

En el capítulo 5 se presentan las conclusiones de la tesis así como un resumen de las principales aportaciones que realiza. En este capítulo también se describen posibles temas de trabajo futuro que plantea esta tesis.

Seguidamente se incluyen las referencias bibliográficas que se han utilizado.

Por último se incluyen tres anexos: El primero de ellos describe la aplicación creada para el sistema flexible de desensamblado, que permite la introducción de los modelos relacionales y la generación de los movimientos de desensamblado.

El segundo anexo, incluye los cálculos seguidos para obtener el modelo cinemático del robot utilizado en las aplicaciones de desensamblado de PCs.

El último anexo contiene el desarrollo de los cálculos necesarios, tal como se verá en el capítulo 4, para adaptar la cinemática inversa del robot utilizado en la aplicación, para que tenga en consideración una mesa de trabajo que permite rotar y desplazar el producto.