

4

Fusión de la planificación y del generador de movimientos

Hasta ahora en los capítulos 2 y 3, se ha visto cómo calcular independientemente la secuencia de componentes a separar, para conseguir desensamblar un determinado componente, así como la trayectoria de movimientos que deben realizarse para poder separar un componente del resto.

En este capítulo se unen ambos conceptos, lo que supone una importante aportación original de esta tesis, para realizar el desensamblado de un componente en particular del producto. Para ello se plantea una introducción en la que se expone el problema a resolver, tras esta se plantea la fusión de la secuencia de desensamblado con el generador de movimientos. Después se presenta como se tiene que operar para, en base a la fusión realizada, considerar el robot que debe llevar a cabo la tarea así como los distintos aspectos que esta fusión plantea.

Por último se presenta como se fusiona toda esta información con el sistema real de desensamblado automático, considerando los distintos módulos que intervienen y el sistema de visión artificial.

4.1. Introducción

Este apartado plantea el problema que se pretende resolver mediante la fusión de la información, así como las consideraciones a tener en cuenta en esta fusión.

El problema a resolver consiste en realizar el desensamblado automático del componente deseado de un producto, para ello hay que decidir en que orden se deben separar los distintos componentes para alcanzar el objetivo, y

conjuntamente se tiene que calcular cual es la trayectoria de movimientos que debe seguir cada uno de esos componentes para separarlos del resto del producto. Así mismo hay que considerar que estas operaciones se llevan a cabo por un robot, teniendo por tanto restricciones extras por sus características. Además al disponer de un robot y de un producto, compuesto por diversos componentes, cada uno de ellos necesita de una herramienta distinta para desensamblarlo, pero puede darse el caso que varios componentes utilicen la misma herramienta, por lo que habrá que considerar el intercambio de herramientas que debe realizar el robot para poder llevar a cabo la totalidad de la tarea requerida minimizando los cambios a realizar, ya que cada cambio de herramienta conlleva un gasto de tiempo.

Por último cabe considerar las diferencias entre una simulación del sistema y la realización de las operaciones por un sistema real, incluyendo en esta parte la fusión de la información proveniente del sistema de visión artificial, mediante el uso del planificador global. En el primer caso la fusión se realiza basándose en la información contenida en la base de datos, mientras que en el otro caso dicha información se actualiza con datos provenientes del sistema sensorial.

4.2. Fusión de la planificación con el generador de movimientos

En este caso la fusión de la información que se pretende llevar a cabo consiste en unir la proveniente del planificador de desensamblado, la secuencia de acciones de desensamblado, con la del generador de movimientos para cada uno de los componentes implicados.

La fusión se lleva a cabo tomando cada una de las acciones implicadas en la secuencia de desensamblado y generando para cada una de ellas la secuencia de movimientos que tiene que realizar el componente o los componentes implicados en ella.

Antes de llevar a cabo esta fusión de la información hay que considerar que en el entorno real el proceso de desensamblado consta de una mesa de trabajo sobre la que se llevan a cabo las tareas de desensamblado (Figura 4.1).

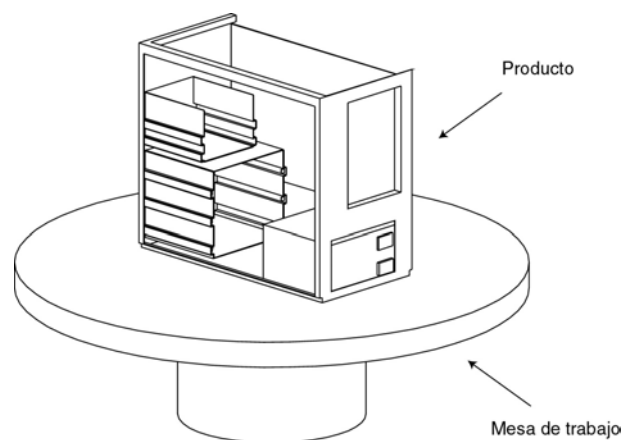


Figura 4.1: Entorno de trabajo el producto sobre la mesa de trabajo.

Con lo que a la hora de utilizar el generador de movimientos hay que incluir el modelo geométrico de la mesa de trabajo, ya que implica una serie de restricciones a tener en cuenta según su geometría.

Por lo tanto si se quiere desensamblar un determinado componente o un montaje, entonces la fusión de esta información se realiza de la siguiente forma:

- Calcular la secuencia de desensamblado para el componente deseado. Obteniendo las secuencia de acciones: a_1, a_2, \dots, a_n .
- Para $i=1$ hasta n hacer:
 - Calcular los movimientos de desensamblado correspondientes a la acción a_i .
 - Realizar los movimientos de separación obtenidos en el paso anterior.
- Fin para.

4.3. Fusión considerando un robot

Este planteamiento tiene en consideración que el desensamblado lo va a realizar un robot en concreto, con las limitaciones que ello impone al sistema, y además el entorno de desensamblado incluye una mesa de trabajo para realizar las tareas de separación de los componentes (Figura 4.2).

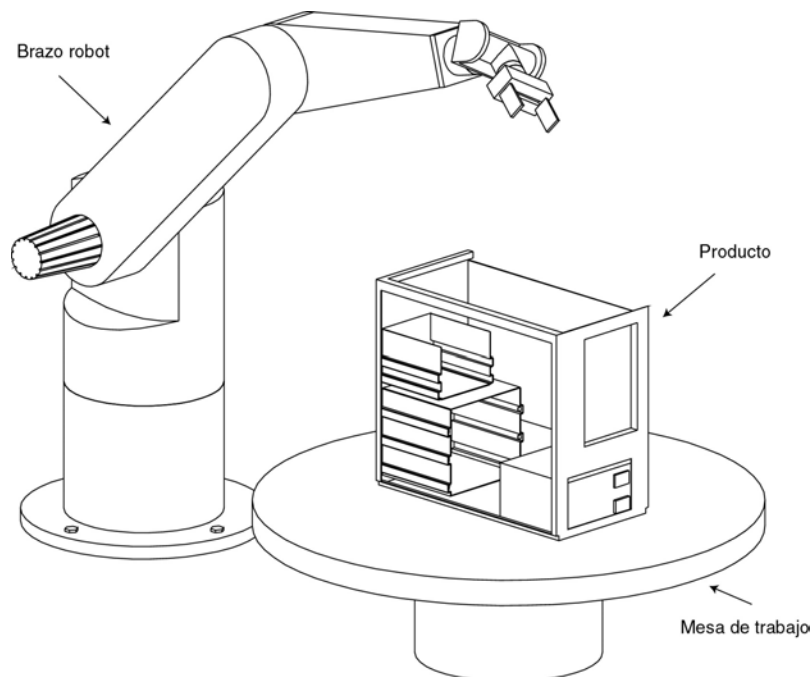


Figura 4.2: Entorno de trabajo formado por un robot y el producto sobre la mesa de trabajo.

Por lo tanto es necesario considerar que el extremo del robot tiene que realizar una determinada trayectoria lineal que viene definida por el generador de movimientos de desensamblado.

A la hora de calcular la trayectoria a seguir por el robot se pueden tener en cuenta diferentes aspectos [14] [164] [167] [171] [196] [266] como: minimizar el tiempo, no forzar las articulaciones, realizar un movimiento suave, mantener una fuerza constante, etc. El método que se utiliza en esta

tesis consiste en comprobar si la trayectoria de desensamblado es correcta cinemáticamente y si se puede llevar a cabo en el entorno de trabajo existente.

La consideración del robot se puede realizar de dos maneras distintas: la primera de ellas, la más sencilla de realizar, consiste en suponer el producto a desensamblar fijo en una posición, por ejemplo sobre la mesa de trabajo, y el robot ubicado en una posición conocida. Con esta estrategia, cada vez que se calcula un desplazamiento a realizar por el generador de movimientos de desensamblado, hay que comprobar si el robot puede realizarlo, lo que implica que pueda llegar al punto origen del desplazamiento con una orientación determinada y pueda desplazarse al punto destino manteniendo la orientación ya que se trabaja con trayectorias cartesianas lineales.

A la hora del cálculo de las trayectorias lineales se pueden seguir distintas aproximaciones según los parámetros y la forma en que se realiza la trayectoria. Además también influye el tipo de interpolador que se utilice, con lo que se consigue una trayectoria más o menos ajustada a la línea recta deseada.

En esta tesis se ha optado por utilizar una trayectoria punto a punto, a la hora de realizar las comprobaciones cinemáticas, lo que quiere decir que el robot debe poder posicionarse en el origen del movimiento y en el destino, con lo que se reducen los cálculos necesarios ya que sólo hay que comprobar dos posiciones. Esta aproximación es buena si se realizan desplazamientos pequeños para cada movimiento, con lo que se asegura, parcialmente, la linealidad de la trayectoria entre ambos puntos.

Otra manera de plantear el problema es con el robot en una posición conocida y el producto sobre la mesa de trabajo cuya posición también es conocida, de tal manera que el producto se puede trasladar y rotar sobre la mesa de trabajo. Este último planteamiento es el que se utiliza en esta tesis.

El problema de introducir un brazo robot en el entorno de trabajo se considera como un problema cinemático, sin considerar las relaciones dinámicas que aparecen.

Para poder resolver este problema se necesita conocer la cinemática inversa del brazo robot que se va a utilizar para realizar el desensamblado, ya que ésta permite calcular si se puede posicionar en un lugar y con una orientación determinada o no. De tal manera que la posición y orientación del extremo, para coger el componente, podemos expresarla mediante una matriz de transformación homogénea como:

$${}^{\text{base}}\mathbf{T}_{\text{extremo}} = \begin{bmatrix} x_{\text{extremo}}^{\text{base}} & y_{\text{extremo}}^{\text{base}} & z_{\text{extremo}}^{\text{base}} & x_{\text{extremo}}^{\text{base}} \\ y_{\text{extremo}}^{\text{base}} & y_{\text{extremo}}^{\text{base}} & y_{\text{extremo}}^{\text{base}} & y_{\text{extremo}}^{\text{base}} \\ z_{\text{extremo}}^{\text{base}} & z_{\text{extremo}}^{\text{base}} & z_{\text{extremo}}^{\text{base}} & z_{\text{extremo}}^{\text{base}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Donde se ha utilizado la siguiente notación:

$(x_{\text{destino}}^{\text{origen}}, y_{\text{destino}}^{\text{origen}}, z_{\text{destino}}^{\text{origen}}) \rightarrow$ se corresponden con las coordenadas (x, y, z) del vector que va desde el origen del sistema de coordenadas "origen" hasta el origen del sistema de coordenadas "destino".

$(x_{x_{destino}^{origen}}, y_{y_{destino}^{origen}}, z_{z_{destino}^{origen}}) \rightarrow$ se corresponden con las coordenadas (x, y, z) del vector unitario que representa la dirección del eje x del sistema de coordenadas "destino" respecto del sistema de coordenadas "origen".

${}^{origen}T_{destino} \rightarrow$ representa la matriz de transformación homogénea para convertir las coordenadas de un vector respecto del sistema "destino" en las correspondientes respecto al sistema "origen".

Si se utilizara el planteamiento en el que el producto se encuentra estático en el centro de la mesa de trabajo y con una orientación de cero grados y además se ha planteado el modelo del entorno para realizar el cálculo de la trayectoria de movimientos incluyendo la mesa, entonces, se está incluyendo las restricciones correspondientes a la mesa en el modelo, ya que añade direcciones en las que es imposible realizar un movimiento.

Por otra parte a la hora de desensamblar un determinado componente, hay que decidir por qué punto debe engancharlo el brazo robot, para lo cual el sistema se basa en información de la base de datos y del sistema de visión que le indicarán cuál es el punto óptimo de enganche así como la orientación. Para ello se utiliza información existente en la base de datos sobre dónde debería encontrarse dicho punto en el componente. Hay que indicar que el punto de agarre dependerá de la herramienta que se esté utilizando para realizar el desensamblado del componente, ya que para un mismo componente pueden existir distintos puntos de agarre según la herramienta que se utilice para llevar a cabo el desensamblado.

Como se acaba de mencionar se incluye una herramienta en el problema, que corresponderá con el extremo del robot, de tal manera que dicha herramienta y por consiguiente el robot entero, debe de ser incluido en el modelo geométrico para poder calcular las posibles colisiones de éste con el resto del producto ya que existirán configuraciones en las que un robot no pueda llegar a coger un componente, porque no pueda introducir su extremo por una determinada parte del producto, de tal manera que habrá que buscar una vía alternativa para poder desensamblar el componente. Este caso se presenta con mayor detalle en el apartado 4.3.1.

Como puede verse en la Figura 4.3 existen configuraciones en las que no es posible enganchar un componente, debido a que la herramienta interseca con alguna parte del producto, con lo cual de las posibles configuraciones habrá que seleccionar la que no interseca el resto del producto.

La introducción de todo el robot a la hora de realizar los cálculos de colisiones incrementa sustancialmente el coste computacional de los mismos con lo que, si se conoce que algunos eslabones no influyen en las colisiones, se pueden eludir, como sería en caso de los primeros eslabones en la mayoría de los robots, e incluso dependiendo del producto a desensamblar, se podría considerar sólo la herramienta que debe realizar la tarea.

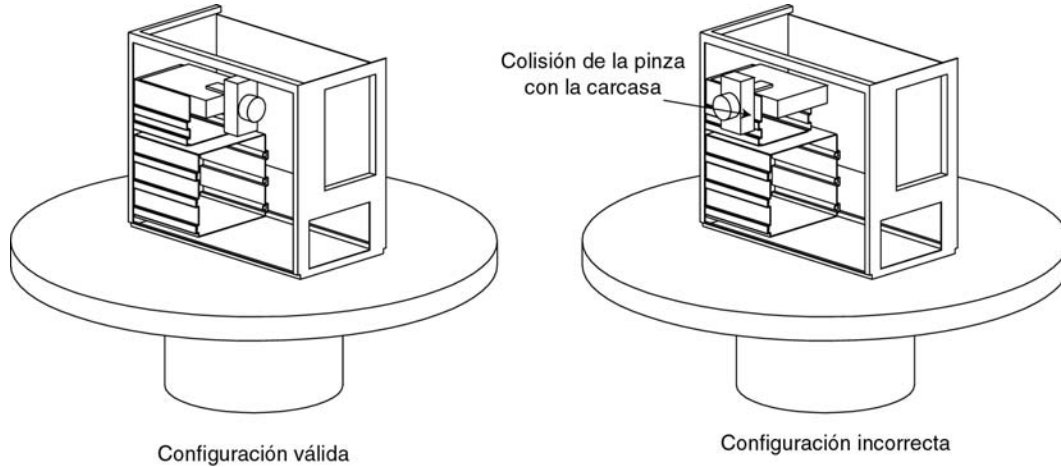


Figura 4.3: Varias posibilidades de desensamblar el disco duro.

Una de las aportaciones que plantea esta tesis consiste en un método para calcular la trayectoria teniendo en cuenta la posibilidad de trasladar y rotar el producto. Estas posibilidades amplían enormemente la capacidad de desensamblado de un robot ya que le añaden al sistema grados de libertad adicionales. En este caso el número de grado de libertad que se van a añadir al sistema es de tres, permitiendo una traslación en el eje x (d_x), una traslación en el eje y (d_y), así como una rotación a lo largo del eje z (θ), definidas por la matriz de transformación \mathbf{T} siguiente:

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\text{sen } \theta & 0 & d_x \\ \text{sen } \theta & \cos \theta & 0 & d_y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

En la Figura 4.4 se muestran las relaciones existentes entre el extremo del robot, la base del mismo y la mesa de trabajo.

En donde la matriz de transformación ${}^{\text{base}}\mathbf{T}_{\text{mesa}}$ se corresponde con la relación existente entre el sistema de la base del robot y el sistema en la mesa de trabajo.

$${}^{\text{base}}\mathbf{T}_{\text{mesa}} = \begin{bmatrix} x_{\text{mesa}}^{\text{base}} & y_{\text{mesa}}^{\text{base}} & z_{\text{mesa}}^{\text{base}} & x_{\text{mesa}}^{\text{base}} \\ y_{\text{mesa}}^{\text{base}} & y_{\text{mesa}}^{\text{base}} & y_{\text{mesa}}^{\text{base}} & y_{\text{mesa}}^{\text{base}} \\ z_{\text{mesa}}^{\text{base}} & z_{\text{mesa}}^{\text{base}} & z_{\text{mesa}}^{\text{base}} & z_{\text{mesa}}^{\text{base}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

También se tiene que la matriz de transformación ${}^{\text{mesa}}\mathbf{T}_{\text{extremo}}$ se corresponde con la matriz que define la posición del extremo del robot para poder coger un componente respecto al sistema de coordenadas de la mesa. En base a estas relaciones se deduce, combinando las ecuaciones 4.1 y 4.3, que:

$${}^{\text{mesa}}\mathbf{T}_{\text{extremo}} = {}^{\text{base}}\mathbf{T}_{\text{mesa}}^{-1} \cdot {}^{\text{base}}\mathbf{T}_{\text{extremo}} \quad (4.4)$$

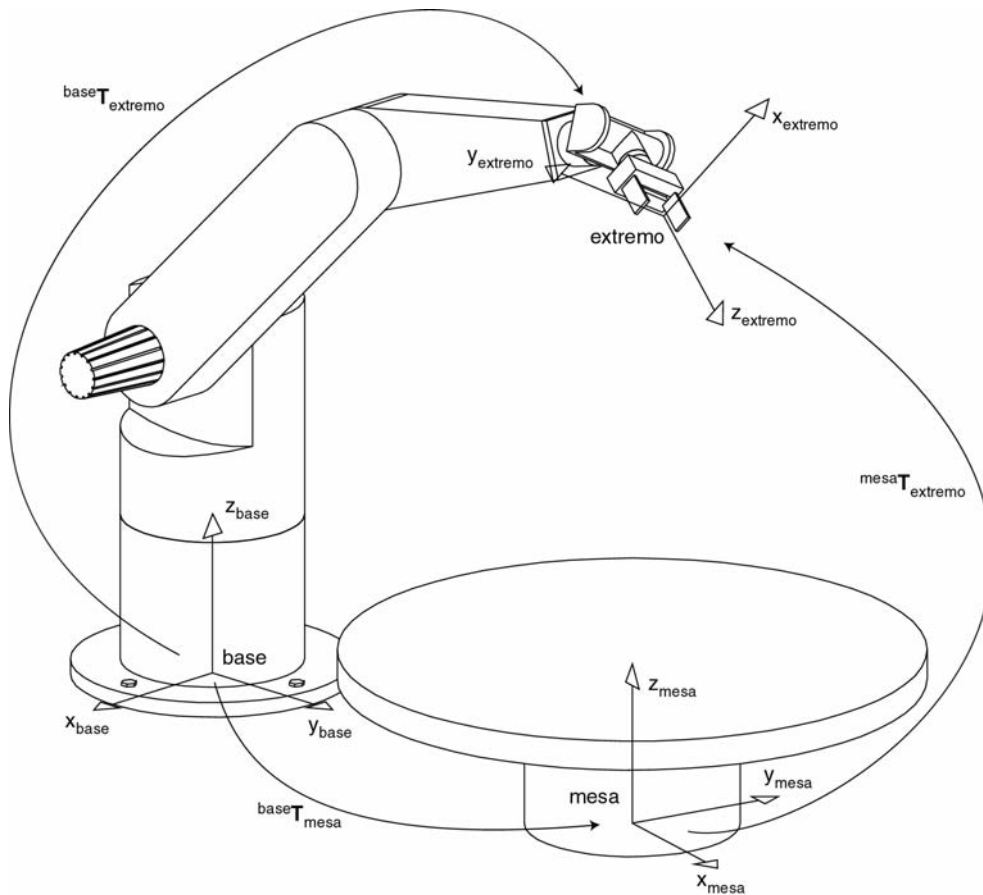


Figura 4.4: Relación entre el robot y la mesa de trabajo.

Una vez se tiene esta relación, se aplica el desplazamiento y rotación definidos por la matriz \mathbf{T} (Ecuación 4.2), de tal manera que se obtiene la nueva posición del extremo respecto de la mesa, ${}^{mesa}\mathbf{T}'_{extremo}$ como:

$${}^{mesa}\mathbf{T}'_{extremo} = \mathbf{T} \cdot {}^{mesa}\mathbf{T}_{extremo} = \mathbf{T} \cdot {}^{base}\mathbf{T}_{mesa}^{-1} \cdot {}^{base}\mathbf{T}_{extremo} \quad (4.5)$$

Una vez obtenida la nueva posición del extremo del robot respecto a la mesa, hay que calcular cuál es dicha posición en función del sistema de la base del robot (Ecuación 4.3), para poder aplicarle la cinemática inversa; con lo que se obtiene la matriz ${}^{base}\mathbf{T}'_{extremo}$ como:

$${}^{base}\mathbf{T}'_{extremo} = {}^{base}\mathbf{T}_{mesa} \cdot {}^{mesa}\mathbf{T}'_{extremo} = {}^{base}\mathbf{T}_{mesa} \cdot \mathbf{T} \cdot {}^{base}\mathbf{T}_{mesa}^{-1} \cdot {}^{base}\mathbf{T}_{extremo} \quad (4.6)$$

Con la nueva matriz, que define la localización del extremo del robot, hay que resolver la cinemática inversa para esa posición y orientación, considerando siempre que es preferible mantener los desplazamientos con un valor de cero, si se dispone de varias posibilidades, así como que el giro deberá ser nulo, si es posible, para evitar movimientos extras del producto una vez posicionado sobre la mesa de trabajo.

Con los cálculos realizados hasta este momento se tiene posicionado el robot en el punto correcto y se pueden calcular los movimientos de desensamblado a realizar para ser realizados por el robot.

Además de considerar el posicionamiento del producto sobre la mesa de trabajo hay que introducir información geométrica sobre el robot que tiene que realizar el desensamblado, de manera que se incluya dicha información en el cálculo de los movimientos de desensamblado y así evitar las posibles colisiones del robot con el producto.

La introducción del modelo del robot produce un incremento en el coste computacional ya que se introducen nuevos poliedros, que representan las distintas partes del robot, es por ello que se puede simplificar el cálculo de la secuencia de desensamblado si en lugar de considerar el modelo completo del robot sólo se considera la herramienta.

El hecho de considerar solamente la herramienta depende del entorno de desensamblado que se disponga y del producto a desensamblar.

En el siguiente apartado se describen los pasos a seguir si se considera sólo la herramienta en el modelo geométrico y tras éste se presenta el caso en el que es necesario introducir el robot completo y como se debe realizar.

4.3.1. Introducción de una herramienta

La introducción de un robot implica como se ha dicho anteriormente la consideración de su modelo geométrico para el cálculo de la trayectoria de desensamblado.

Esta primera aproximación consiste en introducir sólo la herramienta a utilizar, junto con el eslabón correspondiente al extremo del robot, en el modelo geométrico (Figura 4.5).

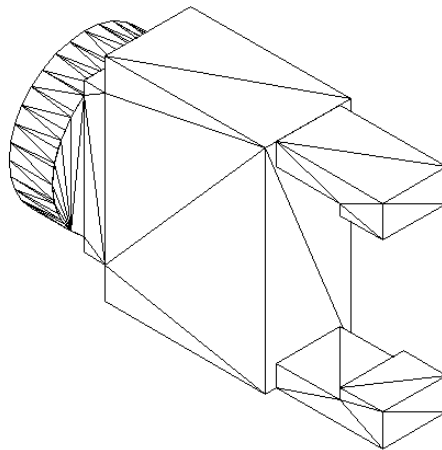


Figura 4.5: Modelo geométrico de una pinza paralela de dos dedos.

Esta aproximación, como puede verse en el modelo de la Figura 4.5, introduce un nuevo poliedro en el sistema, lo que implica una mayor cantidad de cálculos a la hora de generar la trayectoria de movimientos de desensamblado.

Una vez se tiene el modelo geométrico de la herramienta que va a utilizar el sistema para realizar el desensamblado del componente, hay que localizarla correctamente en el modelo geométrico del producto.

Teniendo en cuenta que la herramienta debe enganchar a un componente por un punto determinado, el punto de agarre, se considera la herramienta

como parte del propio componente a desensamblar, posicionada en el punto de enganche (Figura 4.6).

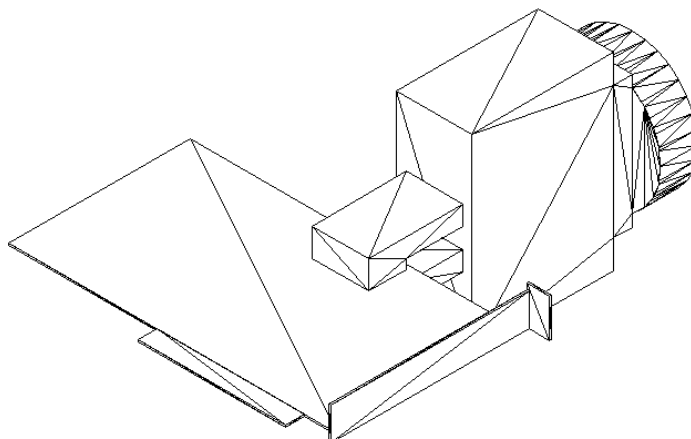


Figura 4.6: Modelo geométrico de la herramienta enganchada al componente.

Una vez realizada esta fusión, entre la herramienta y el componente, hay que comprobar que el nuevo modelo del componente no interseca con el modelo de otro componente, ya que de ser así dicha posición de enganche para la herramienta no sería válida y habría que seleccionar otro punto de enganche o utilizar una herramienta distinta. Si estas opciones no fuesen posibles entonces el componente seleccionado no puede ser desensamblado mientras no se desensamble el componente que produce la colisión. Y en consecuencia habría que informar al planificador de desensamblado para que seleccione otro componente a desensamblar o decida que el componente deseado no se puede desensamblar utilizando las herramientas disponibles y con el producto actual.

Si por el contrario no hay ninguna intersección entre los componentes se puede proceder al cálculo de la trayectoria de desensamblado tal y como se ha explicado en el capítulo 3.

4.3.2. Introducción del robot completo

En esta aproximación se debe considerar que se introduce el modelo geométrico del robot en el sistema. Por lo que se va a incrementar el coste computacional debido al incremento de poliedros.

La introducción del modelo completo del robot no siempre es necesaria; tal y como se ha comentado anteriormente, en muchos casos valdría con incluir sólo el modelo correspondiente a la herramienta. Se debe introducir cuando se disponga de un entorno donde se requiera que parte del robot, más allá de la herramienta, se introduzca dentro de lo que se podría considerar como el volumen ocupado por el producto.

Por ejemplo en la Figura 4.7 se muestra la necesidad de considerar todo el robot para poder desensamblar el ladrillo objetivo ya que se debe realizar el desensamblado por la zona libre de ladrillos, la que limita los movimientos del robot. Como se aprecia, hay configuraciones que son imposibles de realizar debido a que se intersectan con la zona ocupada por el resto de componentes.

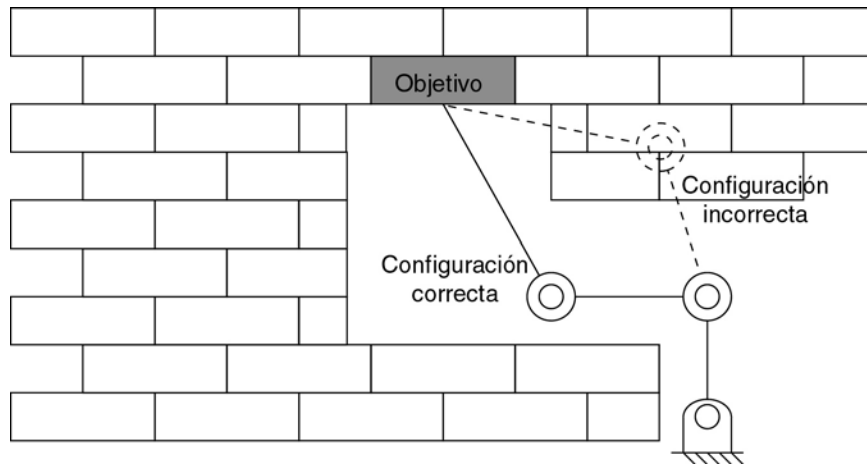


Figura 4.7: Necesidad de considerar el modelo completo del robot para realizar el desensamblado.

La manera de proceder consiste en unir la herramienta al componente a desensamblar por su punto de enganche, tal y como se realizaba en el caso de incluir sólo la herramienta, pero en este caso, además se introduce el modelo completo del robot unido a ésta, no sólo la herramienta, teniendo en cuenta el modelo cinemático correspondiente para asignarle una posición a las articulaciones que sea válida, para evitar problemas como el representado en la Figura 4.7.

En este caso pueden existir varias soluciones para posicionar el robot, por lo que se opta por aquella en la que ninguna parte del producto interseca algún eslabón del robot, ya que dicha configuración no se puede utilizar.

La manera de proceder para realizar el cálculo de la trayectoria de desensamblado varía respecto a la manera explicada en el capítulo 3 de la siguiente manera:

1. Se calcula la dirección de desensamblado a utilizar.
2. Se desplaza el componente según dicha dirección.
3. Se actualiza el valor de todas las articulaciones del robot, para que alcance la nueva posición. Si no es posible dicha posición no es una dirección de desensamblado válida.
4. Se actualiza el modelo geométrico del robot según la nueva posición
5. Se comprueba que no existe intersección del robot con el resto del producto.
 - a. Si existe intersección entonces hay que seleccionar otra solución de la cinemática inversa para dicha posición.
 - b. Si no existe intersección es un movimiento válido.
6. Si se aún no se tiene desensamblado el componente se vuelve al paso 1 para realizar otro desplazamiento.

De esta manera se consigue calcular la trayectoria que debe seguir el componente para separarse del resto del producto, teniendo en cuenta que existe un robot concreto en el sistema para realizar la tarea.

4.3.3. Utilización de diversas herramientas

A la hora de obtener una planificación de desensamblado, ésta está compuesta por una secuencia de acciones, las cuales implican el desensamblado de una serie de componentes. Así mismo si observamos la secuencia, tal y como se ha dicho anteriormente, existen operaciones que se pueden realizar en paralelo, por lo tanto si se dispone sólo de un robot entonces hay que tener en cuenta que el sistema las tiene que realizar secuencialmente, pero ¿cuál es la mejor secuencia?

Para poder decir que una secuencia es mejor que otra se utiliza la información relativa a la herramienta necesaria para llevar a cabo el desensamblado de cada uno de los componentes; de manera que se va a minimizar el número de cambios de herramientas necesarios para llevar a cabo las operaciones de desensamblado.

En base a esta información se ordenan, las operaciones de desensamblado en las que se ha dividido cada acción, en una lista, de manera que se puedan realizar secuencialmente. Para configurar la lista de operaciones se lleva a cabo la ejecución de un algoritmo de ordenación que tenga en consideración un determinado coste a la hora de realizar un intercambio de herramientas, de manera que se opte por realizar las operaciones que requieran la misma herramienta seguidas y no alternándolas.

Un ejemplo en el que se ve claramente la pérdida de eficacia del sistema si se esta cambiando continuamente de herramienta aparece cuando se desea desensamblar de un ordenador una serie de tarjetas, las cuales se encuentran unidas a la carcasa mediante un tornillo, por lo tanto se puede optar por eliminar el tornillo de la tarjeta 1, después desensamblar la tarjeta 1, a continuación eliminar el tornillo de la tarjeta 2, tras esto desensamblar la tarjeta 2, etc.

La otra opción consiste en eliminar primero el tornillo de la tarjeta 1, el tornillo de la tarjeta 2, etc., y a continuación desensamblar las distintas tarjetas, primero la 1, luego la 2, etc.

Como puede apreciarse en este ejemplo en el primer caso para cada operación se está realizando un cambio de herramienta, luego si suponemos que inicialmente se dispone de la herramienta correcta se tendría que se han realizado, para un total de n tarjetas, $2n-1$ cambios de herramientas.

Por otra parte para el segundo ejemplo, sólo se ha realizado 1 cambio de herramienta, independientemente del número de tarjetas que se estén desensamblando; siempre que se suponga que todas las tarjetas se pueden desensamblar utilizando la misma herramienta. En caso contrario, si se requieren m herramientas distintas ($m \leq n$) se tendría que hay que realizar un total de m cambios de herramientas, ya que se podría ordenar la extracción de las tarjetas para desensamblar seguidas aquellas que requieran de la misma herramienta.

Observando estos resultados, se aprecia claramente que el realizar una ordenación previa de las operaciones a realizar, teniendo en consideración las herramientas que se deben utilizar para el desensamblado de cada uno de los componentes, permite un importante ahorro de tiempo.

El algoritmo seguido para realizar la ordenación de las operaciones de desensamblado es:

1. Para cada uno de los nodos raíces del grafo de operaciones obtenido por el planificador de desensamblado.
 - a. Para cada uno de los nodos hijos del nodo raíz:
 - i. Suponer que se ejecuta dicha operación y calcular el coste del resto del grafo añadiendo a la lista de nodos raíces los hijos del nodo raíz y eliminar éste de la lista.
2. Volver al paso 1 si la lista de nodos raíces no es vacía.
3. Seleccionar la secuencia de que posee un menor coste, en este caso el coste se calcula como la cantidad de cambios de herramientas.

4.4. Desensamblado virtual

Este apartado describe como se fusiona la información de los apartados anteriores para simular una secuencia completa de desensamblado de un producto. Esta simulación se ha denominado desensamblado virtual y constituye una aportación original de esta tesis.

La realización del desensamblado virtual se divide en un conjunto de tareas (Figura 4.8), en donde se realiza una planificación de la secuencia de desensamblado en base a la información contenida en la base de datos y al tipo de desensamblado que se quiera realizar.

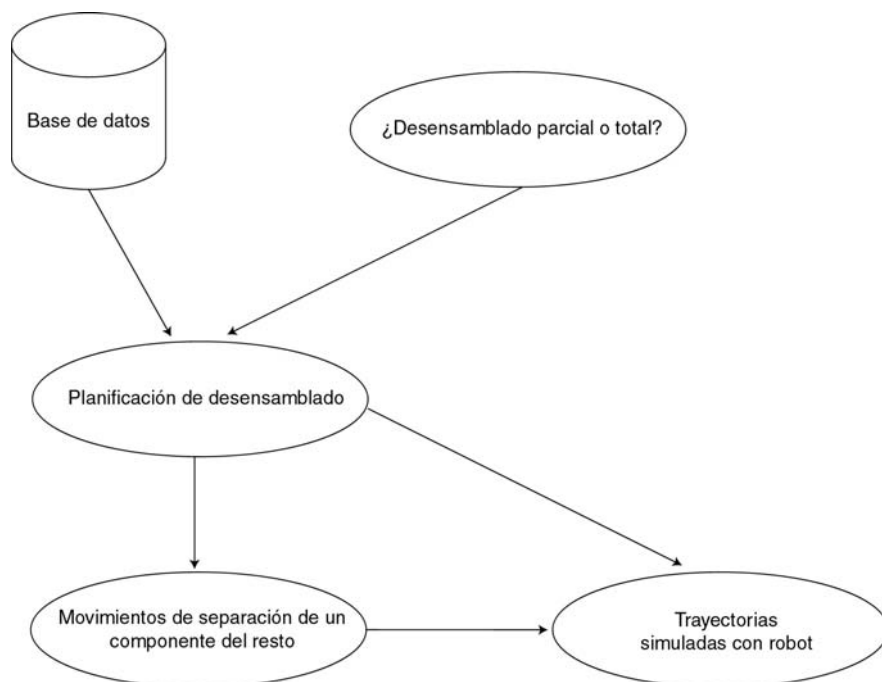


Figura 4.8: Esquema del sistema de desensamblado virtual.

Considerando esta planificación, se calcula tal y como se ha dicho en los apartados precedentes la secuencia de desensamblado correspondiente, teniendo en cuenta si se está utilizando un robot, sólo la herramienta o simplemente calculando la secuencia de desensamblado del producto sin utilizar ningún robot.

Por tanto para generar las distintas trayectorias de desensamblado se utiliza el siguiente algoritmo:

1. Calcular la secuencia de acciones de desensamblado a_1, a_2, \dots, a_n para desensamblar el componente objetivo.
2. Para $i=1$ hasta n hacer
 - Calcular los movimientos de desensamblado correspondientes a la acción i .
 - Si existe un problema al desensamblar el componente:
 - Si el problema se debe a que la herramienta utilizada intersecta el volumen correspondiente al resto del producto se buscan en la base de datos si existen herramientas alternativas que permitan desensamblar el componente.
 - Si existen herramientas alternativas: se selecciona la siguiente, según criterios incluidos en la base de datos e incluso teniendo en cuenta cual es el punto de enganche para cada una de ellas, y se vuelve al comienzo del bucle.
 - Si no existen herramientas alternativas: entonces se parte del hecho de que el componente no puede ser desensamblado en estos momentos debido a restricciones geométricas del producto y por tanto hay que ver si existe la posibilidad de desensamblar otro componente en estos momentos, si no existe tal posibilidad entonces el desensamblado se da por terminado incluyendo un mensaje de error debido a que resulta imposible seguir desensamblando por las características geométricas del producto.
 - Si el problema se debe a que no existe ninguna trayectoria de desensamblado que permita separar el componente del resto entonces hay que ver si se puede desensamblar otro componente, para posteriormente intentar desensamblarlo otra vez, ya que en estos momentos aunque el desensamblado tendría que ser intercambiable, por cuestiones de la geometría de los componentes no se puede llevar a cabo.
 - Sino hay ningún problema entonces se desensambla el componente correspondiente.

3. Fin Para

Con esto se tendría generada la secuencia para llevar a cabo el desensamblado del componente o del montaje deseado, con lo que se podría simular rápidamente tras haber realizado todos los cálculos.

4.5. Desensamblado real

Además de realizar un desensamblado virtual un sistema flexible de desensamblado automático debe de poder realizar sobre el sistema real las

operaciones correspondientes, por lo tanto en este apartado se explica como se lleva a cabo la fusión de toda la información generada hasta estos momentos en la presente tesis para que un sistema real pueda llevar a cabo el desensamblado de los productos que se le presenten. Siendo este apartado una importante aportación original de esta tesis.

A la hora de plantear el desensamblado real se pueden optar por distintas estrategias:

- Realizar un desensamblar virtual inicial y después el desensamblado real sin ningún tipo de supervisión ni control sobre lo que se tiene realmente.
- Llevar a cabo un desensamblado real que se realiza simultáneamente al virtual, de manera que la información utilizada para el desensamblado virtual se actualiza conforme se van separando los componentes del producto y por tanto permite una mayor flexibilidad a la hora de realizar un desensamblado.

La primera aproximación plantea un sistema en el que se supone que se dispone de un modelo perfecto del producto a desensamblar, lo cual no es realmente viable ya que un producto a desensamblar puede haber cambiado durante el transcurso de su ciclo de vida y por tanto no es correcto realizar dicha suposición sobre un producto a desensamblar, con lo que sólo es factible para pruebas de laboratorio, ya que permite comprobar la eficacia de los algoritmos de planificación de desensamblado, el generador de movimientos así como la fusión de información entre ambos.

Por otra parte, el segundo planteamiento sí que permite realizar un sistema flexible de desensamblado ya que se podrá adaptar a posibles errores en el diseño y también permite trabajar en un entorno que no se encuentre totalmente estructurado ya que va a utilizar un sistema sensorial para reconocer y localizar los componentes del producto que se desea desensamblar.

Este sistema sensorial puede ser de múltiples tipos, según las características del producto que se desee desensamblar y de la precisión que se requiera para ello. En esta tesis se plantea el uso de un sistema de visión artificial.

Las tareas a seguir para poder realizar el desensamblado real del producto se pueden esquematizar tal y como se muestra en la Figura 4.9.

Los pasos que debe seguir para llevar a cabo el desensamblado del producto se detallan como:

1. Partiendo del modelo del producto existente en la base de datos, y del tipo de desensamblado a realizar. Se realiza el reconocimiento del producto a desensamblar, utilizando algoritmos de visión artificial, que permiten seleccionar el modelo correcto de la base de datos, además se utilizan los algoritmos de visión artificial para ajustar los tamaños y posiciones reales del producto y de sus componentes.

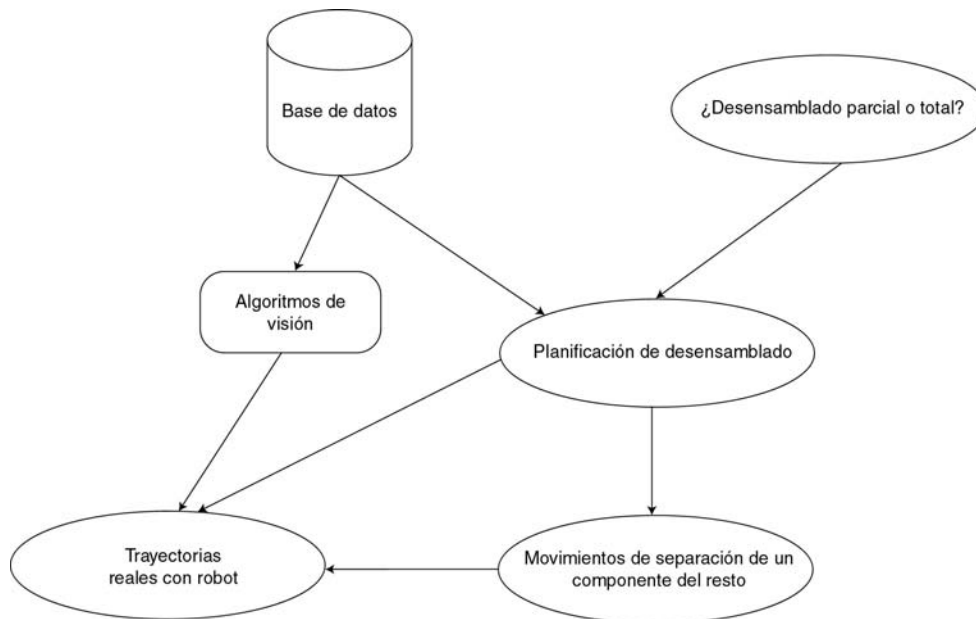


Figura 4.9: Esquema del sistema de desensamblado real.

Se tiene en cuenta que el modelo relacional seleccionado es un modelo genérico y que no posee información detallada sobre los componentes internos del producto que se esté analizando. A este respecto el modelo contendrá información sobre a que nivel de desensamblado es necesario llegar para poder reconocer la existencia de los distintos componentes.

2. Utilizando la información del sistema de visión, se ajusta el modelo a la realidad añadiendo los componentes que sean visibles y eliminando aquellos que no existen en el producto.
3. Una vez se tiene el modelo del producto el sistema calcula la secuencia de desensamblado a seguir.
4. En base al resultado obtenido se calcula la trayectoria de movimientos de desensamblado que debe realizar el componente a desensamblar.

La trayectoria se calcula teniendo en cuenta información tanto de la base de datos, modelo geométrico genérico, así como la información obtenida por el sistema de visión, tamaño y localización de los distintos componentes. Además la trayectoria se calcula teniendo en cuenta el método de fusión requerido entre la planificación y el generador de movimientos para que considere además el robot o en su defecto que considere la herramienta que va a llevar a cabo el desensamblado.

5. Si el componente desensamblado es el componente objetivo ya se ha terminado el proceso de desensamblado.
6. Una vez desensamblado un componente, se actualiza el modelo mediante los algoritmos de visión, para conseguir mejorar la información existente de manera que sea más exacta. Y para detectar aquellos componentes que no se podían detectar por la existencia del que ha sido desensamblado. Para ello, tal y como se

ha dicho, el modelo relacional de la base de datos debe incluir información que especifique al sistema de visión desde que momento del desensamblado se puede ver un componente, de manera que se aumente la información en el instante adecuado.

7. Cuando ya se ha actualizado el nuevo modelo del producto se sigue con el paso 3 del algoritmo para continuar desensamblando el resto de componentes requeridos.

Tal y como se ha dicho hay que actualizar el modelo del producto según se van desensamblando los distintos componentes, esto es debido a que un mal modelo geométrico produciría colisiones entre los componentes que implicarían un desensamblado erróneo del producto.

Por otra parte la actualización de los componentes permite obtener información sobre la existencia de ciertos componentes sin necesidad de realizar el desensamblado de algunos que sería necesario eliminar para poder acceder hasta ellos.

Un ejemplo de este tipo de situación aparece cuando se intenta desensamblar la disquetera de 5¼ de un ordenador. El montaje correspondiente a los periféricos no está accesible mientras no se elimine el componente "carcasa exterior"; no se puede desensamblar la disquetera mientras no se abra el ordenador, pero el saber si un ordenador tiene o no disquetera de 5¼ se puede realizar sin necesidad de desensamblar la carcasa exterior. Con lo que el reconocimiento de la existencia del componente, disquetera 5¼ se puede realizar inicialmente, con el ordenador sin desensamblar ningún componente. Esto sirve para no realizar desensamblados inútiles, ya que el desensamblado de la carcasa exterior en un ordenador que no disponga de disquetera de 5¼ no tendría sentido ya que al no poseer el componente no se puede desensamblar, con lo que se habría realizado una operación innecesaria (Figura 4.10).



Figura 4.10: Ordenador con disquetera de 5¼ y sin disquetera de 5¼.

Por otro lado si lo que se pretende desensamblar es un disco duro, para poder reconocer su existencia es necesario desensamblar el componente "carcasa exterior", ya que se trata de un componente que no es directamente visible desde el montaje "PC completo"; es decir hay que abrir el ordenador para comprobar si tiene o no un disco duro. Con lo que se podrían realizar

operaciones de separación de componentes en productos para los cuales no se va a poder desensamblar el objetivo, pero en este caso no se pueden evitar ya que no se puede conocer la existencia dichos componentes mientras no se realice el desensamblado de los que los ocultan.