3.1. Otro Punto de Vista – Análisis Dinámico Estativo.

Existe incluso otro punto de vista para el planteamiento del criterio de movilidad, que resulta conveniente cuando se tiene que realizar el análisis de fuerzas estáticas en el mecanismo.

En un análisis de fuerzas estáticas de un mecanismo es necesario dibujar los denominados diagramas de cuerpo libre para todos sus componentes excepto para el cuerpo base. Es posible plantear seis ecuaciones de equilibrio para cada cuerpo libre. Por lo que hay $6 * (N - 1)$ ecuaciones que describen el comportamiento del sistema.

En cada par hay un número de componentes de fuerzas y momentos de reacción que es igual al número de restricciones que posee ese par. Esas componentes de fuerzas son las variables en un análisis de fuerzas estáticas. Ya que el número de restricciones en el par es $6 - f_i$, el número de variables es

$$\sum_{i=1}^{P}(6 - f_i) = 6 * P - \sum_{i=1}^{P} f_i$$

Por lo tanto, la diferencia entre el número de variables y el número de ecuaciones es

$$6 * P - \sum_{i=1}^{P} f_i - 6 * (N - 1) = -M$$

Luego la movilidad es significativa también desde un punto de vista de un análisis estático de fuerzas.

CASO 1

Si $M = 0$, el mecanismo no tiene capacidad de movimiento, siendo por tanto una *estructura*. El problema de posición puede resolverse con el fin de obtener las posiciones de los pares, que no podrán variar. El problema de equilibrio estático puede resolverse y obtener todas las componentes de las fuerzas y pares de reacción. La estructura se denomina "*estáticamente determinada*", al existir una única solución para el problema de equilibrio estático.

CASO 2

Si la movilidad es $M = -1$, el número de ecuaciones para el problema de posición excede el número de variables. Por tanto, en general no existirá una solución para el problema de posición. Para que pueda existir una solución es necesario que las ecuaciones sean dependientes. Lo que significa que la geometría del mecanismo debe satisfacer las condiciones necesarias para que dichas ecuaciones sean dependientes. *Desde un punto de vista físico, esto significa que, en general, no será posible ensamblar el mecanismo*. Uno o más de los lazos no será posible montarlos. Sin embargo, si se modifica la geometría de los componentes hasta conseguir alinear las superficies de los pares que forman los lazos, será posible ensamblar el mecanismo.
Desde el punto de vista del análisis de fuerzas, la movilidad es el número de ecuaciones de equilibrio estático menos el número de variables fuerza: situación homóloga a la que se da en el análisis de posición. Por tanto, si $M = -1$ es que hay una variable de fuerza mas que el número de ecuaciones que las relaciona. Consecuentemente, existen soluciones para el sistema, pero no existe una única solución. El problema de fuerzas no podrá ser resuelto sin información adicional que relaciona las fuerzas en el sistema. El mecanismo se dice que es una *estructura estáticamente indeterminada*. *Si se consideran en el análisis los cuerpos como elásticos, en lugar de considerarlos como cuerpos rígidos, la compatibilidad entre sus deformaciones bajo la influencia de las cargas, nos proporcionará la relación adicional necesaria para poder resolver el problema de fuerzas*.

CASO 3

De forma análoga, si la *movilidad es uno o mayor,* el número de variables de posición es mayor que el número de ecuaciones de posición. Existen soluciones para el sistema, pero no existe una solución única. El número de ecuaciones de fuerza es mayor que el número de variables de fuerza, por lo tanto, en general, no existirá solución para el problema estático de fuerzas. En la práctica, la aplicación de un conjunto de cargas sobre el mecanismo produce una rápida, aceleración incontrolada, no pudiéndose describir el comportamiento del sistema sin la ayuda de las ecuaciones que proporciona la dinámica. Lo cual, sin embargo, invalida la suposición de modelo estático.

3.2. Actuadores.

La especificación del valor de una variable de par es equivalente a fijar ese par. Desde un punto de vista físico, esto se puede conseguir colocando un *actuador* en ese par que lo mantenga en la posición deseada. El par puede soportar una fuerza, o un momento. *El efecto de especificar el valor de una variable de par es incrementar en una unidad el número de variables fuerza desconocidas*. Si un mecanismo tiene movilidad uno, el hecho de fijar la posición de un par con conectividad uno lo convierte en una estructura. Lo cual convierte el problema estático de fuerzas de uno en el que había una ecuación más que variables, en uno en el que el número de variables es el mismo que el número de ecuaciones. Es decir, convierte el problema en estáticamente determinado.

El hecho de fijar el *momento* aplicado en un *par giratorio*, o la *fuerza* aplicada mediante un actuador sobre un *par prismático,* tiene un efecto diferente si lo comparamos con el hecho de especificar el valor de una variable de par. No cambia el número de variables ni el número de ecuaciones ni del problema de posición ni del problema de fuerzas. Ello es debido al hecho que la consideración de un par pasivo es siempre equivalente a fijar la variable de fuerza o momento de ese par. El momento aplicado sobre un par giratorio pasivo tiene un valor fijo de cero. Cambiar este valor por otro no afecta al número de variables desconocidas. Obviamente, tampoco afecta al valor de las variables fuerza desconocidas.

Esto es bastante importante en aplicaciones prácticas en mecanismos dotados de *múltiples actuadores*. Consideremos el manipulador robotizado que aparece en la Fig. 3. Posee siete componentes (simbolizados en la figura mediante números escritos en itálica) y seis pares. Las líneas a tramos con números escritos en negrita indican los ejes de los pares. Los pares 1, 2, 4, 5 y 6 son pares giratorios. El par número 3 es un par prismático. Los ejes de los pares 3 y 4 son coincidentes. El componente número uno es el cuerpo fijo o base.
Aplicando el criterio de movilidad a este mecanismo obtenemos:

$$N = 7,\ P = 6,\ \sum_{i=1}^{P} f_i = 6,\ M = 6 * (7 - 6 - 1) + 6 = 6$$

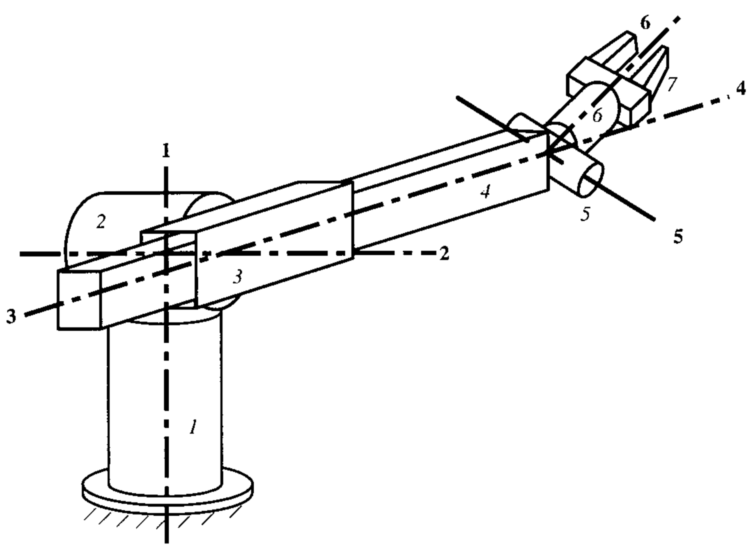

Imagen 3.2. Manipulador robotizado que se utiliza para obtener movimientos en el espacio de tipo general de su mordaza. El mecanismo posee siete componentes, señalados mediante letras en cursiva, y seis pares. Los pares 1, 2, 4, 5 y 6 son giratorios. El par 3 es prismático. Las líneas a tramos indican los ejes de los pares. Los ejes de los pares 3 y 4 son coincidentes.

Si situamos *actuadores en todos los pares* de tal manera que podamos especificar sus *posiciones*, la posición en el espacio de todos los componentes del mecanismo queda especificada.

Consideremos ahora lo que sucede si el manipulador coge un objeto que está fijado respecto al cuerpo base, tal y como aparece en la Fig. 4. Se supone que la mordaza coge el objeto con la suficiente fuerza como para que el movimiento relativo no sea posible. El efecto de esta situación es que el cuerpo 7 es ahora parte del cuerpo 1. Por tanto, aplicando el criterio de movilidad en este caso obtenemos:

$$N = 6,\ P = 6,\ \sum_{i=1}^{P} f_i = 6,\ M = 6 * (6 - 6 - 1) + 6 = 0$$

El mecanismo se ha convertido en una estructura, con lo que ya no tenemos la libertad de especificar las variables de par a cualesquiera valores que seleccionemos. *Intentar controlar el mecanismo mediante la especificación de las posiciones de los pares*, tal y como se realiza cuando el manipulador puede moverse libremente, *no es efectivo en este caso*.

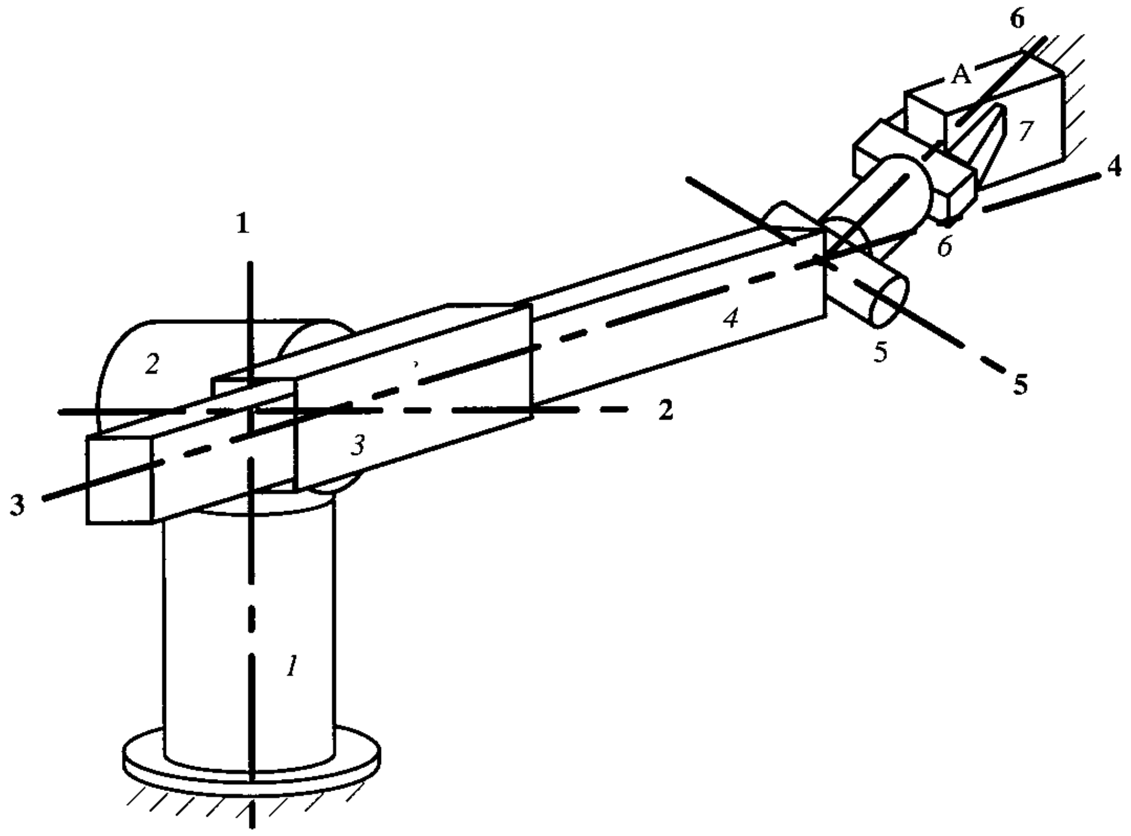

Imagen 3.3. El manipulador robotizado de la Fig. 3 cogiendo un cuerpo fijado a la base. Si la mordaza coge el objeto de tal forma que el movimiento relativo sea imposible, la mordaza resulta fija con el cuerpo base. Esto da como resultado una disminución de los componentes del sistema a seis y crea un lazo cerrado.

Al ser la mayor parte de los manipuladores muy rígidos hace que pequeños errores de posición produzcan como resultado grandes fuerzas en los actuadores. Lo que produce a su vez que el controlador del actuador resulte inestable, produciendo como consecuencia un comportamiento vibratorio violento.

Sin embargo, *si los actuadores están controlados de forma que produzcan unas fuerzas o momentos determinados*, este problema no existe. Las fuerzas y momentos que producen los actuadores se pueden especificar a unos valores determinados. Con lo que es posible aplicar un sistema de fuerzas determinado sobre el objeto fijado A de la figura, por medio del manipulador.

Téngase en cuenta que las fuerzas y momentos con que se controlan los actuadores no siempre serán una solución. Si las fuerzas que realice el actuador están controladas cuando el manipulador se mueve libremente, el número de ecuaciones de equilibrio estático excede el número de variables en un rango de seis, con lo que el manipulador realizará movimientos rápidos incontrolados, violando la condición de estabilidad estática.

4. GRADOS de Libertad INÚTILES.

4.1. Mecanismos Espaciales.

$$M = 6 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^{P} f_i \qquad \text{(Ec. 3)}$$

La Ec. 3 en determinadas ocasiones da resultados inadecuados. Existen varias razones para justificar esos resultados. Consideremos el mecanismo que aparece en la **Fig. 1.** Está formado por cuatro componentes y cuatro pares. Dos de los pares son giratorios. Los otros dos son esféricos. *El mecanismo es bastante usado formando parte del sistema de suspensión de los automóviles*. Aplicando el criterio de movilidad, tenemos:

$N = 4$, $P = 4$, $\sum f_i = 2 * 1 + 2 * 3 = 8$, $M = 6 * (4 - 4 - 1) + 8 = 2$

Sin embargo, la experiencia práctica al tratar con este tipo de mecanismos nos muestra que existe un único valor del ángulo del seguidor, ϕ, para cada valor dado del ángulo del impulsor, θ. ¿Cómo puede explicarse esto?

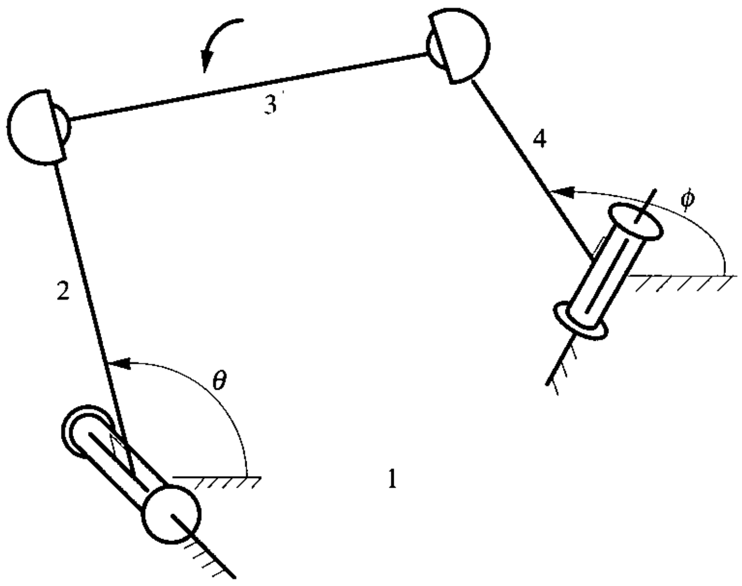

Imagen 3.4. Un mecanismo espacial formado por cuatro componentes y cuatro pares. Dos de los pares son giratorios. Los otros dos son pares esféricos. θ es el ángulo de entrada y ϕ es el ángulo de salida. El mecanismo tiene un grado de libertad inútil ya que el componente 3 puede girar alrededor de la línea que une los centros de los pares esféricos sin tener ningún efecto sobre la relación entre θ y ϕ.

Un examen detallado del mecanismo revela que *el acoplador tiene libertad para girar alrededor de la línea que pasa por los centros de los dos pares esféricos*. Este movimiento puede tener lugar en cualquier posición del mecanismo sin tener ningún efecto sobre los valores de los ángulos de entrada y salida. A este *grado de libertad* se le denomina *inútil*. Es decir, *es un grado de libertad que no afecta a la relación entre los ángulos de entrada y salida del mecanismo*.

El problema planteado aquí es real, y consiste en que usualmente no estamos interesados en la *movilidad del mecanismo completo*, es decir, de todos sus componentes. En su lugar, estamos interesados en la *conectividad que el mecanismo proporciona* considerándolo como si fuera todo el un par entre dos de sus componentes, los que consideremos como impulsor y seguidor, que en cada caso dependerán de la aplicación real que posea el mecanismo. Este es un nuevo uso del término conectividad. Anteriormente aplicábamos este término a pares simples mediante los cuales dos componentes contactaban entre ellos directamente. Sin embargo, un mecanismo restringe el número de grados de libertad de movimiento relativo de cualquiera dos de sus componentes. Por tanto se puede considerar todo el mecanismo como si fuese un par cinemático entre cualquiera dos de sus componentes.

De esta manera, podemos definir la *conectividad entre dos de sus componentes*, considerando el mecanismo que como si fuese un par entre esos componentes, como el número de grados de libertad de movimiento relativo que existen entre ambos componentes, a pesar que esos componentes no tienen un contacto real entre ambos, sino por medio de la existencia del mecanismo del que forman parte.

En el EJEMPLO de la Fig. 1, la *conectividad* del mecanismo entre los componentes de entrada y salida es uno, a pesar que la *movilidad* del mecanismo es dos, y la conectividad entre el componente 3 y el 1 es dos.

La movilidad actúa como un límite superior en la conectividad del mecanismo considerado como un par entre dos de sus componentes. No existe un método directo para determinar la conectividad, por eso se utiliza la ecuación de movilidad. Si la movilidad es uno y el mecanismo no está sobre-restringido en alguna región local, no hay problema. La conectividad del mecanismo considerado como si fuese un par entre cualquiera dos de sus miembros es también uno. Si la movilidad es mayor que uno, estrictamente hablando, todo lo que se puede decir es que la conectividad entre cualquiera dos de sus componentes puede ser o la movilidad o puede ser menor que ese número. Afortunadamente, los grados de libertad inútiles usualmente pueden ser identificados por inspección.

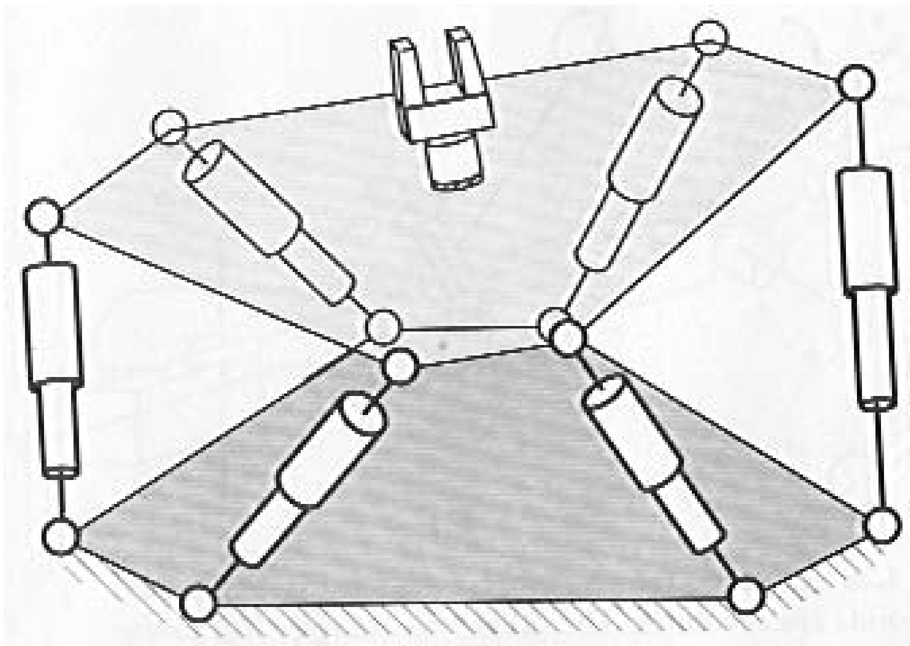

Imagen 3.5. Plataforma de Stewart.

Otro EJEMPLO se muestra en la Fig. 2. Se trata de una variedad del denominado *mecanismo* plataforma de *Stewart. El mecanismo se utiliza comúnmente para producir movimientos espaciales generales en simuladores de aviones para el entrenamiento de pilotos*. El componente de salida (o seguidor) está conectado a la base mediante seis “miembros”, cada uno de los cuales posee un actuador en el par prismático situado en el medio y dos pares esféricos uno en cada extremo. Hay 14 componentes, $N = 14$: dos en cada miembro más los componentes base y de salida. Hay 18 pares, $P = 18$: 6 pares prismáticos y 12 pares esféricos. Por tanto $\sum f_i = 6 * 1 + 12 * 3 = 42$. Por tanto, su *movilidad* es

$$M = 6 * \left(14 - 18 - 1\right) + 42 = 12$$

Sin embargo, es fácil observar que cada miembro tiene libertad de giro alrededor de la línea que une los centros de los pares esféricos sin tener ello efecto sobre la posición del componente de salida respecto al componente base. Por tanto, el mecanismo tiene *seis grados de libertad inútiles*, siendo su *conectividad considerado como un par entre la base y el componente de salida* igual a

$$C = M - 6 = 6$$

Por tanto, posicionando adecuadamente los actuadores prismáticos, el componente de salida puede colocarse en cualquier posición dentro de su volumen de trabajo.

4.2. Mecanismos Planos.

$$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^{P} f_i \qquad \text{(Ec. 1)}$$

Mientras que los grados de libertad pasivos son muy comunes en los mecanismos espaciales, también pueden aparecer en mecanismos planos. Típicamente, esto ocurre cuando consideramos levas y seguidores de rodillo. Por **EJEMPLO**, si calculamos la movilidad del mecanismo de la **Fig. 3**, encontraríamos que es 1, si existe contacto de rodadura sin deslizamiento entre el seguidor de rodillo (componente 5) y la leva (componente 6) en el punto C. Sin embargo, si consideramos contacto tipo leva en C, la movilidad calculada será 2.

Contacto por rodadura sin deslizamiento en punto C:

$$N = 6, P = 7, \sum f_i = 7 * 1 = 7, M = 3 * (6 - 7 - 1) + 7 = 1$$

Contacto tipo leva en punto C:

$$N = 6, P = 7, \sum f_i = 6 * 1 + 1 * 2 = 8, M = 3 * (6 - 7 - 1) + 8 = 2$$

El grado de libertad extra está asociado con el giro libre del componente 5 respecto al cuerpo base. Normalmente, esta rotación no será de interés ya que el movimiento de todos los componentes en el mecanismo no se verá afectado por esta rotación.

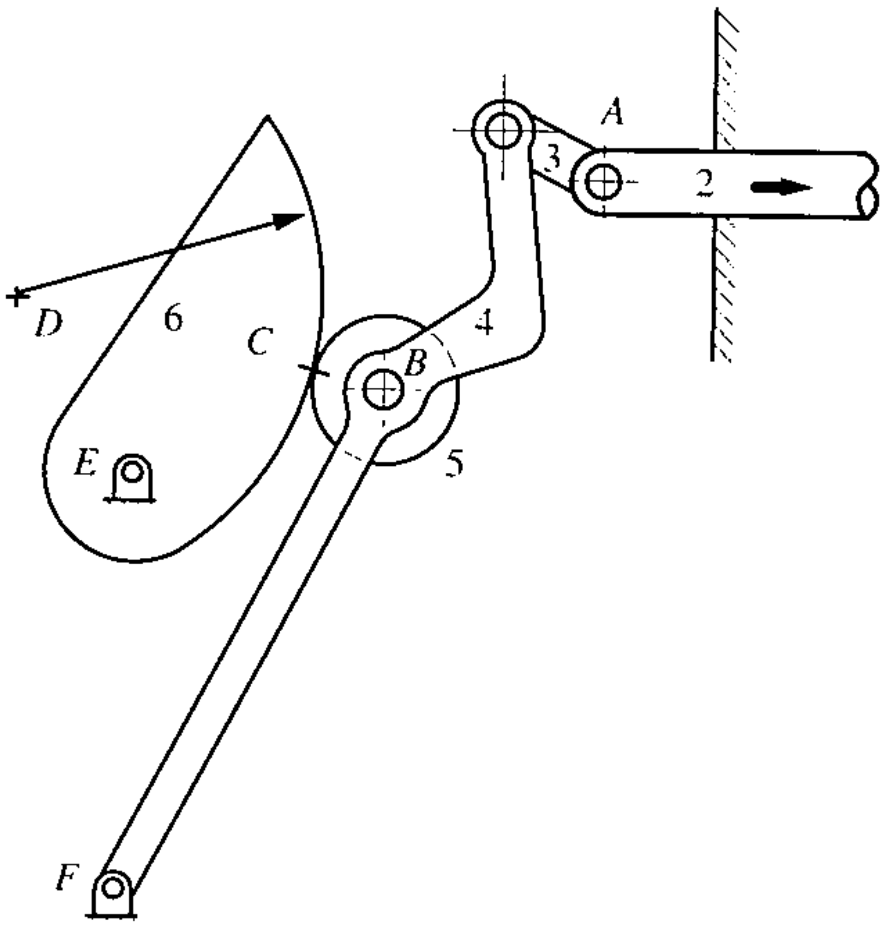

Imagen 3.6. Mecanismo plano con un grado de libertad inútil.

5. Mecanismos con RESTRICCIONES EN EXCESO.

Una segunda razón por las que las ecuaciones de movilidad algunas veces proporcionar resultados inadecuados se puede encontrar en el fenómeno de la *sobre-restricción* o *existencia de restricciones en exceso*. Un mecanismo puede estar sobre-restringido bien localmente o bien de forma general.

5.1. Mecanismos Sobre-restringidos Localmente.

Si el mecanismo esta sobre-restringido localmente, una parte del mismo puede ser una estructura, pero sin embargo todo el mecanismo puede tener capacidad de movimiento. *Cuando esto sucede, lo que hay que hacer es sustituir esa parte del mecanismo por un solo cuerpo rígido y volver a calcular la movilidad del mismo*. Podemos ver un EJEMPLO en la Fig. 1a.

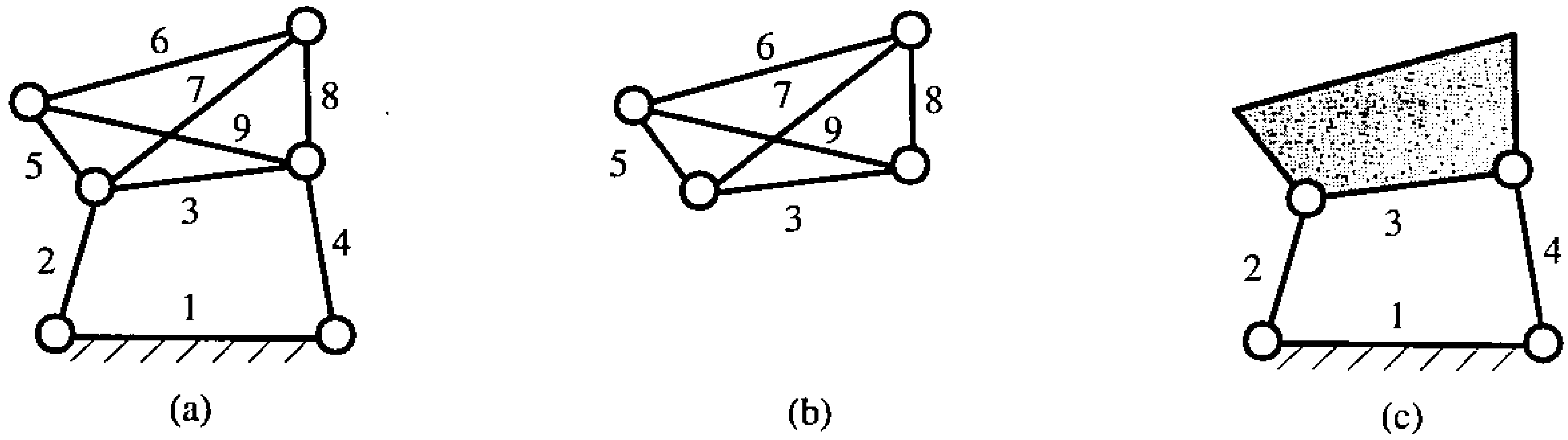

Imagen 3.7. (a) Un mecanismo plano en el que una parte del mismo es una estructura, dando lugar a un cálculo incorrecto de la movilidad al utilizar la ecuación correspondiente a mecanismos planos. Todos los pares son giratorios. (b) Parte del mecanismo que es una estructura estáticamente indeterminada. (c) Modelo modificado del mecanismo con el que se podría utilizando la fórmula calcular un valor correcto de la movilidad.

En ese mecanismo tenemos que: $N = 9, P = 2 * 1 + 2 * 2 + 2 * 3 = 12$. Téngase en cuenta que existen dos uniones en las que existen tres componentes conectados y dos en las que existen cuatro componentes conectados. $\sum f_i = P = 12$. Por tanto,

$$M = 3 * (9 - 12 - 1) + 12 = 0$$

Sin embargo, es posible observar que la parte del mecanismo formada por los componentes 3, 5, 6, 7, 8 y 9 constituyen una *estructura estáticamente indeterminada*. Esa parte se muestra aislada en la *Fig. 1b*. En ella si aplicamos la ecuación de la movilidad obtenemos: $N = 6$, y ya que en cada unión están conectados tres componentes, $P = 4 * 2 = 8$. En este caso, $\sum f_i = P = 8$. Por tanto,

$$M = 3 * (6 - 8 - 1) + 8 = -1$$

Revelando la naturaleza estáticamente indeterminada de la estructura y la fuente del error en el cálculo de la movilidad. Téngase en cuenta que la existencia en una parte de un mecanismo de una estructura estáticamente determinada no va a provocar un error en el cálculo de la movilidad.

Para conseguir un valor correcto de la movilidad, el mecanismo debería remodelarse tal como aparece en la Fig. 1c con la parte del mismo que es una estructura reemplazada por un solo componente rígido. El mecanismo de esta forma aparece como un cuadrilátero articulado cuya movilidad sabemos que es uno.

5.2. Mecanismos Sobre-restringidos Globalmente.

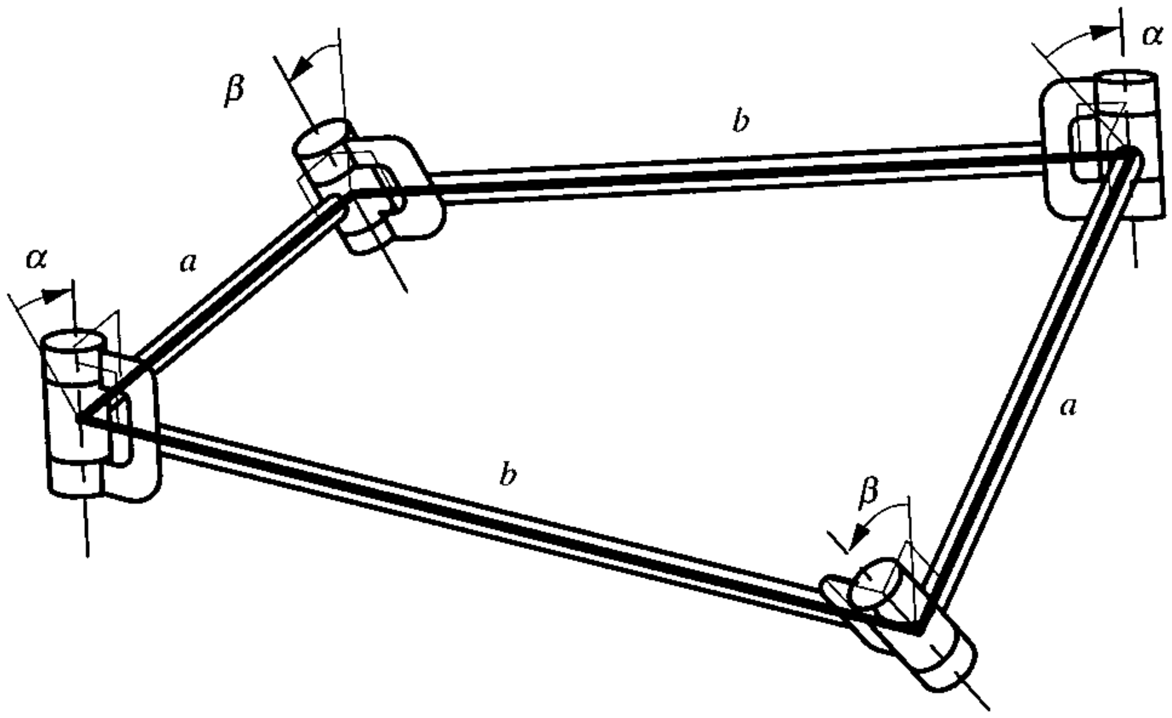

Imagen 3.8. El mecanismo de Bennett. Las longitudes de sus componentes y los ángulos que forman los ejes de los pares giratorios verifican la relación
$a * \mathrm{Sin}[\beta] = b * \mathrm{Sin}[\alpha]$.

Los mecanismos y especialmente los mecanismos espaciales pueden estar sobre-restringidos globalmente. La **Fig. 2** muestra un **EJEMPLO** de un mecanismo espacial con cuatro componentes y cuatro pares giratorios. *El mecanismo tiene una geometría especial*. Los componentes opuestos son idénticos, y las normales a los ejes de los pares en cada componente se intersectan justamente en los ejes de los pares. Las longitudes de esas normales (a y b) están relacionadas con los ángulos entre ejes sucesivos (α y β) por la ecuación

$$a * \mathrm{Sin}[\beta] = b * \mathrm{Sin}[\alpha]$$

Bennett demostró hace mas de cien años que la movilidad de este mecanismo es uno. Sin embargo, si aplicamos la ecuación de movilidad tenemos: $N = P = 4$, y $\sum f_i = 4$, siendo por tanto $M = 6 * (4 - 4 - 1) + 4 = -2$.

En este caso, debido a la geometría especial, las ecuaciones de posición del mecanismo resultan ser independientes en cualquier posición. Por este motivo, el número efectivo de ecuaciones es sólo tres, en lugar de las seis que se podría esperar de un mecanismo formado por un solo lazo. Ya que el criterio de restricción o ecuación de movilidad lo que hace es calcular la diferencia entre el número de variables de posición y el número de ecuaciones disponibles, es por lo que en este caso el resultado es inferior en tres unidades a la movilidad real.

El *número* de mecanismos en los que la movilidad calculada resulta incorrecta, tal y como sucede en el mecanismos de Bennett, es bastante *grande*. A todos ellos se les denomina *mecanismos con restricciones en exceso o sobre-restringidos*. La mayoría de ellos son *curiosos* pero *sin aplicaciones prácticas apenas*. Sin embargo, existen *varias familias* muy importantes de mecanismos sobre-restringidos que son *comunes en la práctica de la ingeniería*.

5.3. Familia de los Mecanismos Planos.

El ejemplo más común de sobre-restringidos es la *familia de los mecanismos planos*. No existe “a priori” ninguna razón que justifique por qué los mecanismos planos no cumplen el criterio de movilidad espacial general. Pues de hecho no lo cumplen. *La Ec. 3 proporciona un valor cuando se aplica a estos mecanismos que es siempre* $3 * e$ *inferior al valor correcto, donde* e *es el número de ecuaciones de lazo independientes para el mecanismo*. El hecho que los mecanismos planos cumplan el criterio de movilidad para mecanismos planos, que tiene la misma forma que el correspondiente a mecanismos espaciales, pero en el que se ha reemplazado el coeficiente 6 por el 3, indica que *solo tres de las ecuaciones producidas por cualquier lazo son independientes en mecanismos planos*.

5.4. Familia de los Mecanismos Esféricos.

Otra familia muy común de mecanismos sobre-restringidos es la *familia de los mecanismos esféricos*. En ellos *todos sus pares son giratorios, y los ejes de todos esos pares pasan a través de un punto único*. La Fig. 3 muestra un mecanismo esférico formado por cuatro componentes.

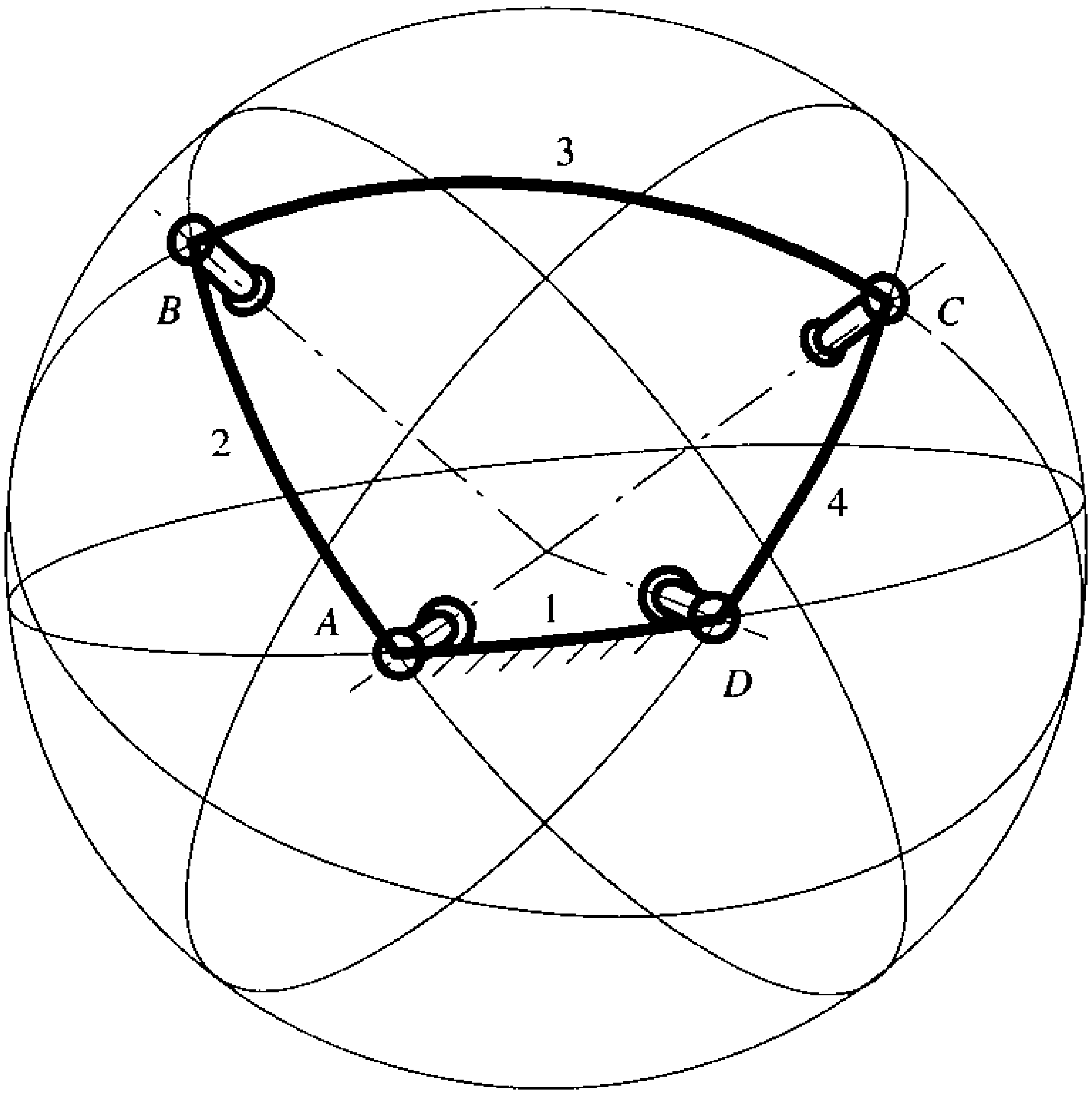

Imagen 3.9. Mecanismo esférico de cuatro componentes.

Los mecanismos esféricos *cumplen la misma forma de ecuación de movilidad que los mecanismos planos* y el mecanismo de Bennett. Por tanto, *tres de las ecuaciones que resultan por cada lazo cerrado en un mecanismo esférico son siempre dependientes*.

5.5. Propiedades de los Mecanismos Sobre-restringidos Globalmente.

Comparados con los mecanismos adecuadamente restringidos (aquellos que cumplen la ecuación de movilidad para mecanismos espaciales), los *mecanismos sobre-restringidos* tienen propiedades que son diferentes en ciertas aplicaciones prácticas importantes. Por una parte tienen tendencia a ser *muy rígidos* y *resistentes* para soportar cargas, particularmente si esas cargas son ortogonales a la dirección del movimiento en el punto de aplicación. Sin embargo, son *sensibles a la exactitud dimensional de sus componentes*. Necesitan ser construidos con tolerancias relativamente ajustadas, lo cual puede incrementar el coste.

En contraposición, los *mecanismos adecuadamente restringidos* son completamente *insensibles a la geometría de sus componentes*, en cuanto a la movilidad se refiere. Esto significa que, en situaciones de *carga suave*, pueden absorber solicitaciones excesivas que deformen sus componentes y todavía funcionar, al menos de alguna manera. Esta es una importante propiedad en situaciones como el control de mecanismos en máquinas agrícolas.

En situaciones de *carga elevada*, el ingeniero de diseño a menudo de forma deliberada *incrementara el grado de sobre*-restricción para *mejorar la rigidez y la resistencia*. Un EJEMPLO lo podemos encontrar en *mecanismo que soporta la cuchara de una cargadora frontal*. Una fotografía de la cargadora se muestra en la Fig. 4., mientras que en la *Fig. 5* se identifica uno de los mecanismos de soporte de la cuchara.

E

Imagen 3.10. Cargadora frontal. Si se analiza utilizando las ecuaciones de movilidad para mecanismos planos, resulta que se obtiene un número de grados de libertad inferior a uno. Se utilizan actuadores paralelos en ambos lados de la máquina para equilibrar la carga e incrementar la rigidez. La parte correspondiente al control de la cuchara tiene dos grados de libertad.

En principio, sólo uno de los dos mecanismos deslizadera – manivela invertido plano son necesarios para soportar y levantar la cuchara. En este caso tenemos: $N = P = \sum f_i = 4$, y $M = 6 * (4 - 4 - 1) + 4 = -2$. Pero la movilidad real de este mecanismo sabemos es uno, luego el *grado de sobre-restricción* es $1 - (-2) = 3$.

Sin embargo, el mecanismo está repetido dos veces con el fin de soportar cada uno de los extremos de la cuchara. Con lo que $N = 6$ (dos componentes adicionales para el otro cilindro hidráulico), $P = \sum f_i = 8$, y por tanto$M = 6 * (6 - 8 - 1) + 8 = -10$. Por lo tanto, para el mecanismo duplicado el *grado de sobre-restricción* es $1 - (-10) = 11$.

El resultado es un mecanismo mucho más robusto ya que mecanismos planos individuales no podrían soportar los momentos de elevado valor fuera del plano que este dispositivo ha de soportar. El coste que hay que pagar está en que los ejes de los pares correspondientes en cada lado deben ser colineales con un nivel muy alto de exactitud, por lo que requieren una cuidadosa fabricación.

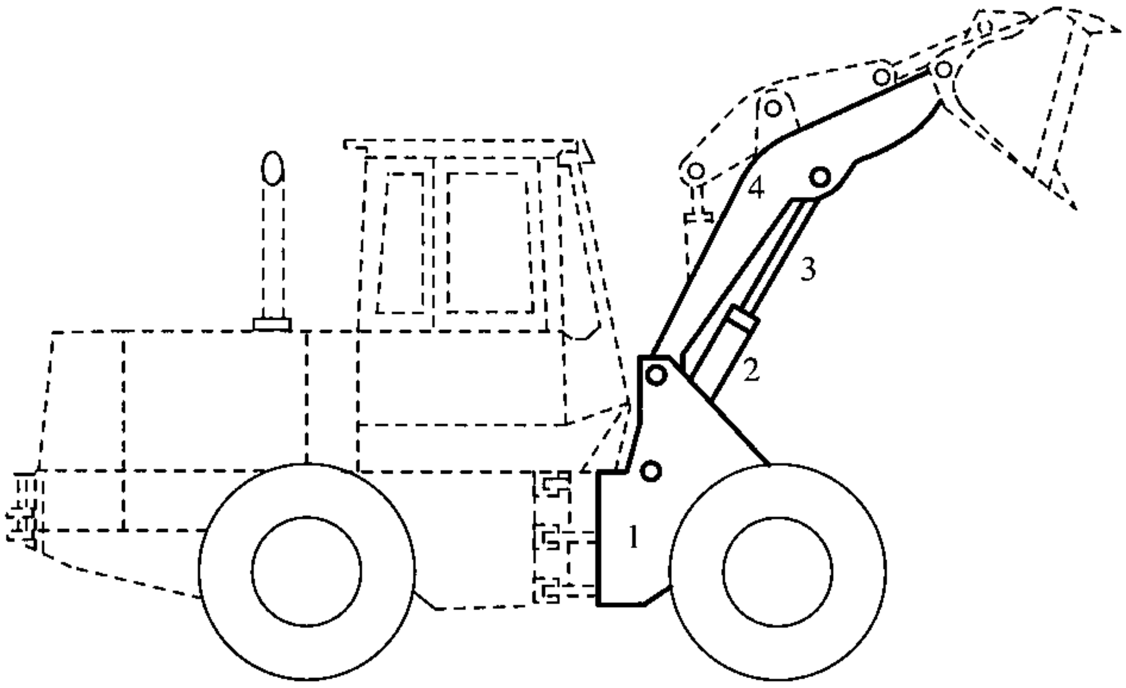

Imagen 3.11. Esquema del mecanismo de soporte derecho de la cuchara para la cargadora frontal de la Fig. 4.

6. UTILIDAD del Criterio de Movilidad.

El criterio de movilidad resulta de mucha utilidad para el ingeniero cuando está examinando un sistema mecánico con el que no está familiarizado. Permite un chequeo rápido para determinar si los componentes, pares, y actuadores que se han identificado son consistentes con la función del sistema. Cualquier inconsistencia puede indicar que algunos elementos se han identificado incorrectamente o que existen grados de libertad pasivos. En el caso que el mecanismo sea plano o esférico, deberá utilizarse la forma del criterio de movilidad para mecanismos planos en lugar de la forma general.

Es posible formular expresiones para la movilidad que incluyan lazos cerrados sobre-restringidos de cualquier tipo. Esas expresiones son equivalentes a la siguiente ecuación:

$$M = \sum_{k=1}^{c} b_k + \sum_{i=1}^{P} f_i$$

donde $c = N - P - 1$ es el número de lazos cerrados en el mecanismo.

Desgraciadamente, a menos que los valores de b_k asociados con los diferentes lazos se puedan identificar por inspección, tales expresiones no tienen valor alguno. La razón está en que la ecuación de movilidad proporciona un rápido chequeo del número de variables de posición y de ecuaciones independientes sin la necesidad de llegar a formular esas ecuaciones. Sin embargo, la única manera de verificar un lazo sobre-restringido de un tipo no identificable por inspección es desarrollar las ecuaciones correspondientes y analizarlas desde el punto de vista de la dependencia entre ellas. En este caso por tanto, la ventaja de la ecuación de movilidad de proporcionar un chequeo rápido desaparece, y no hay forma de obtener información del mecanismo sin realizar un análisis de posición completo.