

ANÁLISIS DE FUERZAS EN MECANISMOS MÉTODO ANALÍTICO

Como se dijo antes el análisis de fuerzas en mecanismos puede realizarse a partir de la clasificación estructural del mismo. Se debe tener en cuenta, eso sí, que cuando se ejecuta el análisis cinemático de un mecanismo éste se realiza en el mismo orden de formación del mecanismo. Es decir, primero se examina el grupo que está unido al eslabón o eslabones primarios, después se examina el siguiente grupo y así sucesivamente. El orden de cálculo en el análisis de fuerza es *contrario*, es decir *el análisis de fuerzas se empieza con el último grupo agregado al mecanismo (contando desde el eslabón de entrada) y se termina con el cálculo del eslabón inicial*.

Analizaremos, entonces las particularidades del análisis de fuerzas para cada tipo de díada o grupo de Assur.

1. DÍADA RRR

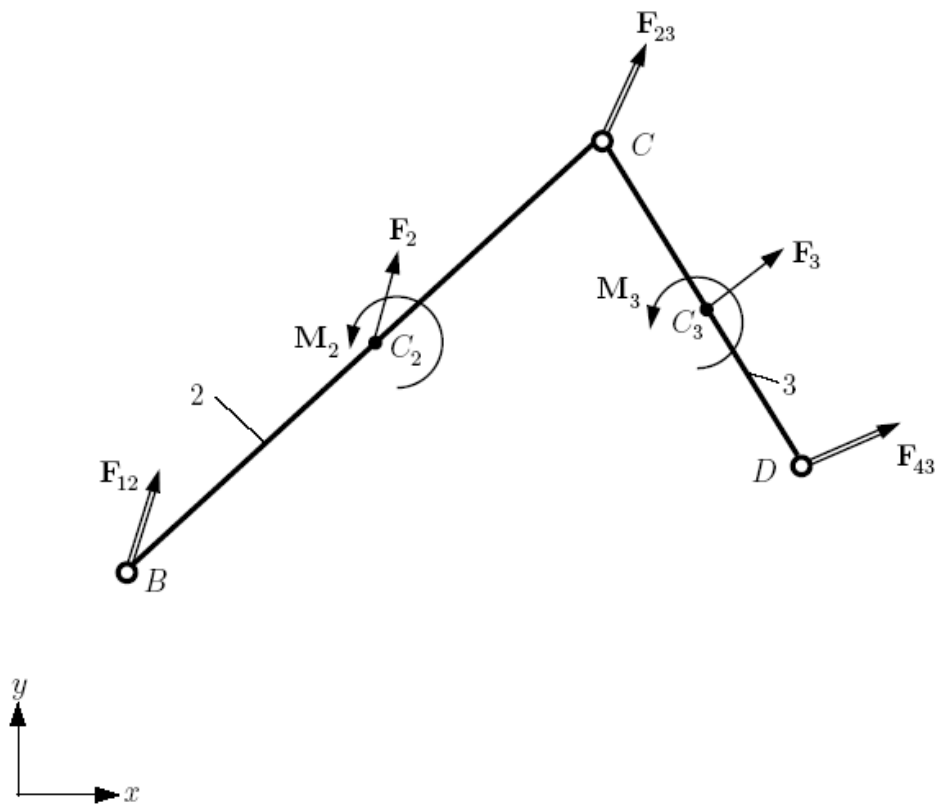


Fig. 1

La díada que se muestra tiene dos eslabones 2 y 3, y tres juntas giratorias B , C y D . Las incógnitas son las reacciones en los pares cinemáticos.

Para la determinación de las reacciones $\vec{F}_{12}$ y $\vec{F}_{43}$, se pueden plantear las siguientes ecuaciones.

- Ecuación de equilibrio del grupo, igualando a cero la suma de todas las fuerzas.

$$\sum \vec{F}^{(2,3)} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_{43} = \vec{0} \quad (1)$$

Ó

$$\begin{aligned}\sum \vec{F}^{(2,3)} \cdot \vec{i} &= F_{12x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{43x} = 0 \\ \sum \vec{F}^{(2,3)} \cdot \vec{j} &= F_{12y} + F_{2y} + F_{3y} + F_{43y} = 0\end{aligned}\quad (2)$$

- Suma de momentos en el eslabón 2 con respecto a C, igual a cero

$$\sum \vec{M}_{C/2} = (\vec{r}_B - \vec{r}_C) \times \vec{F}_{12} + (\vec{r}_{C2} - \vec{r}_C) \times \vec{F}_2 + \vec{M}_2 = \vec{0} \quad (3)$$

- Suma de momentos en el eslabón 3 con respecto a C, igual a cero

$$\sum \vec{M}_{C/3} = (\vec{r}_D - \vec{r}_C) \times \vec{F}_{43} + (\vec{r}_{C3} - \vec{r}_C) \times \vec{F}_3 + \vec{M}_3 = \vec{0} \quad (4)$$

A partir de las ecuaciones (2), (3) y (4) se calculan las componentes F_{12x} , F_{12y} , F_{43x} y F_{43y} .

La reacción $\vec{F}_{32} = -\vec{F}_{23}$ puede ser hallada a partir de la suma de todas las fuerzas sobre el eslabón 2.

$$\sum \vec{F}^{(2)} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_2 + \vec{F}_{32} = \vec{0}$$

Ó

$$\begin{aligned}\sum \vec{F}^{(2)} \cdot \vec{i} &= F_{12x} + F_{2x} + F_{32x} = 0 \\ \sum \vec{F}^{(2)} \cdot \vec{j} &= F_{12y} + F_{2y} + F_{32y} = 0\end{aligned}$$

2. ESLABÓN PRIMARIO CON PAR GIRATORIO

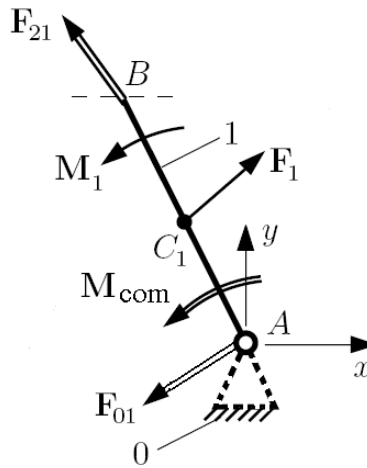


Fig. 2

La reacción $\vec{F}_{01}$ puede ser determinada a partir de la ecuación de equilibrio de fuerzas del eslabón.

$$\sum \vec{F}^{(1)} = \vec{F}_{21} + \vec{F}_1 + \vec{F}_{01} = \vec{0} \quad (5)$$

Ó

$$\begin{aligned}\sum \vec{F}^{(1)} \cdot \vec{i} &= F_{21x} + F_{1x} + F_{01x} = 0 \\ \sum \vec{F}^{(1)} \cdot \vec{j} &= F_{21y} + F_{1y} + F_{01y} = 0\end{aligned}\quad (6)$$

El momento compensador se encuentra con ayuda de la ecuación de momentos en el eslabón con respecto a A:

$$\sum \vec{M}_{A/1} = \vec{r}_B \times \vec{F}_{21} + \vec{r}_{C1} \times \vec{F}_1 + \vec{M}_1 + \vec{M}_{com} = 0 \quad (7)$$

Ejemplo

Realizar el análisis de fuerzas del mecanismo de cuatro barras mostrado, en la posición cuando dada cuando $\varphi_1 = 40^\circ$.

Datos: longitud de los eslabones $l_{AB} = 0,100 \text{ m}$; $l_{BC} = 0,250 \text{ m}$; $l_{CD} = 0,200 \text{ m}$; $l_{AD} = 0,300 \text{ m}$; $l_{AS1} = 0,050 \text{ m}$; $l_{BS2} = 0,125 \text{ m}$; $l_{CS3} = 0,100 \text{ m}$;

Cargas sobre los eslabones del mecanismo $F_1 = 6 \text{ N}$, dirigida a lo largo del eslabón 1; $F_2 = 40 \text{ N}$ está dirigida bajo un ángulo de -30° con respecto al eslabón 2; $F_3 = 20 \text{ N}$ aplicada perpendicularmente al eslabón 3;

$M_2 = 0,4 \text{ N}\cdot\text{m}$; $M_3 = 0,7 \text{ N}\cdot\text{m}$. La dirección de los momentos se muestra en el esquema.

El momento compensador M_{com} está aplicado al eslabón 1.

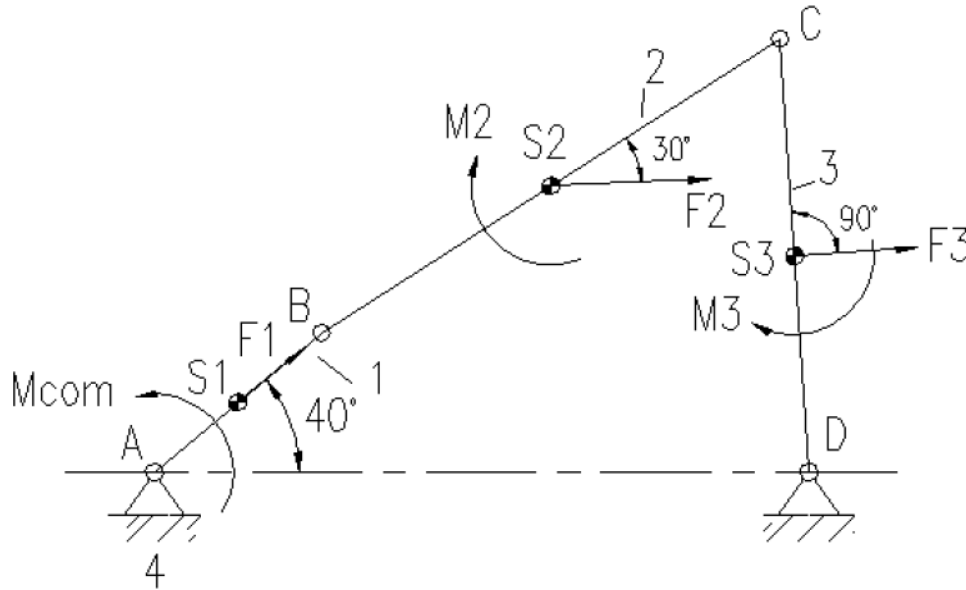


Fig. 3

Del análisis de posición se obtienen los siguientes datos:

$$\vec{r}_A = 0\vec{i} + 0\vec{j} \text{ m};$$

$$\vec{r}_B = 0,0766\vec{i} + 0,0643\vec{j} \text{ m};$$

$$\vec{r}_C = 0,2868\vec{i} + 0,1996\vec{j} \text{ m};$$

$$\vec{r}_D = 0,3000\vec{i} + 0,0000\vec{j} \text{ m};$$

$$\vec{r}_{S1} = 0,0383\vec{i} + 0,0321\vec{j} \text{ m};$$

$$\vec{r}_{S2} = 0,1817\vec{i} + 0,1319\vec{j} \text{ m};$$

$$\vec{r}_{S3} = 0,2934\vec{i} + 0,0998\vec{j} \text{ m};$$

$$\vec{F}_1 = 4,5963\vec{i} + 3,8567\vec{j} \text{ N}$$

$$\vec{F}_2 = 39,9535\vec{i} + 1,9275\vec{j} \text{ N}$$

$$\vec{F}_3 = 19,9566\vec{i} + 1,3164\vec{j} \text{ N}$$

$$\vec{M}_2 = -0,4\vec{k} \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$\vec{M}_3 = -0,7\vec{k} \text{ N}\cdot\text{m}$$

Díada RRR

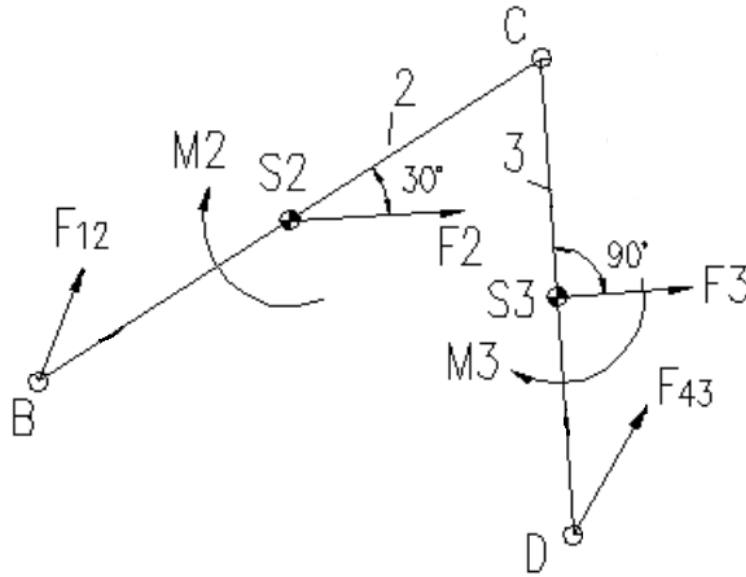


Fig. 4

- igualando a cero la suma de todas las fuerzas del grupo:

$$\sum \vec{F}^{(2,3)} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_{43} = \vec{0} \quad (8)$$

Ó

$$\begin{aligned} \sum \vec{F}^{(2,3)} \cdot \vec{i} &= F_{12x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{43x} = 0 \\ \sum \vec{F}^{(2,3)} \cdot \vec{j} &= F_{12y} + F_{2y} + F_{3y} + F_{43y} = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

- Suma de momentos en el eslabón 2 con respecto a C, igual a cero

$$\sum \vec{M}_{C/2} = (\vec{r}_B - \vec{r}_C) \times \vec{F}_{12} + (\vec{r}_{S2} - \vec{r}_C) \times \vec{F}_2 + \vec{M}_2 = \vec{0} \quad (10)$$

- Suma de momentos en el eslabón 3 con respecto a C, igual a cero

$$\sum \vec{M}_{C/3} = (\vec{r}_D - \vec{r}_C) \times \vec{F}_{43} + (\vec{r}_{S3} - \vec{r}_C) \times \vec{F}_3 + \vec{M}_3 = \vec{0} \quad (11)$$

De la ecuación (10)

$$\begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x_B - x_C & y_B - y_C & 0 \\ F_{12x} & F_{12y} & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x_{S2} - x_C & y_{S2} - y_C & 0 \\ F_{2x} & F_{2y} & 0 \end{vmatrix} + M_2 \vec{k} = \vec{0}$$

De la ecuación (11)

$$\begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x_D - x_C & y_D - y_C & 0 \\ F_{43x} & F_{43y} & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x_{S3} - x_C & y_{S3} - y_C & 0 \\ F_{3x} & F_{3y} & 0 \end{vmatrix} + M_3 \vec{k} = \vec{0}$$

Es decir

$$(x_B - x_C) \cdot F_{12y} - (y_B - y_C) \cdot F_{12x} + (x_{S2} - x_C) \cdot F_{2y} - (y_{S2} - y_C) \cdot F_{2x} + M_2 = 0 \quad (12)$$

$$(x_D - x_C) \cdot F_{43y} - (y_D - y_C) \cdot F_{43x} + (x_{S3} - x_C) \cdot F_{3y} - (y_{S3} - y_C) \cdot F_{3x} + M_3 = 0 \quad (13)$$

Sustituyendo por valores numéricos en (9), (12) y (13)

$$\begin{cases} F_{12x} + 39,9535 + 19,9566 + F_{43x} = 0; \\ F_{12y} + 1,9275 + 1,3164 + F_{43y} = 0; \\ (0,0766 - 0,2868) \cdot F_{12y} - (0,0643 - 0,1996) \cdot F_{12x} + (0,1817 - 0,2868) \cdot 1,9275 - \\ - (0,1319 - 0,1996) \cdot 39,9535 - 0,4 = 0; \\ (0,3 - 0,2868) \cdot F_{43y} - (0 - 0,1996) \cdot F_{43x} + (0,2934 - 0,2868) \cdot 1,3164 - \\ - (0,0998 - 0,1996) \cdot 19,9566 - 0,7 = 0; \end{cases}$$

Resolviendo este sistema de ecuaciones 4×4 con ayuda de Matlab Symbolic, por ejemplo, tenemos:

$$\vec{F}_{12} = -52,0554\vec{i} - 23,5055\vec{j} \text{ N}$$

$$\vec{F}_{43} = -7,8547\vec{i} + 20,2614\vec{j} \text{ N}$$

La reacción $\vec{F}_{32} = -\vec{F}_{23}$ puede ser hallada a partir de la suma de todas las fuerzas sobre el eslabón 2.

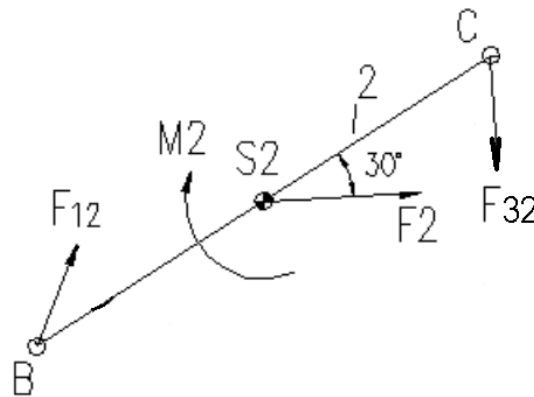


Fig. 5

$$\sum \vec{F}^{(2)} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_2 + \vec{F}_{32} = \vec{0}$$

$$\sum \vec{F}^{(2)} \cdot \vec{i} = F_{12x} + F_{2x} + F_{32x} = 0$$

$$\sum \vec{F}^{(2)} \cdot \vec{j} = F_{12y} + F_{2y} + F_{32y} = 0$$

De donde

$$F_{32x} = 52,0554 - 39,9535 = 12,1019 \text{ N}$$

$$F_{32y} = 23,5055 - 1,9275 = 21,578 \text{ N}$$

Es decir:

$$\vec{F}_{32} = 12,1019\vec{i} + 21,578\vec{j} \text{ N.}$$

Mecanismo primario

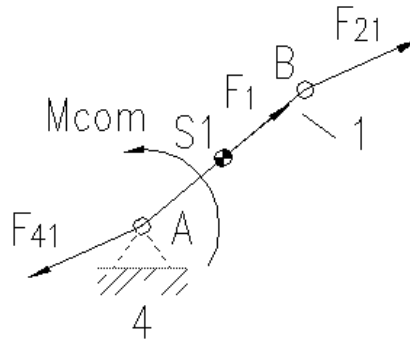


Fig. 6

La reacción $\vec{F}_{41}$ puede ser determinada a partir de la ecuación de equilibrio de fuerzas del eslabón.

$$\sum \vec{F}^{(1)} = \vec{F}_{21} + \vec{F}_1 + \vec{F}_{41} = \vec{0} \quad (14)$$

Ó

$$\sum \vec{F}^{(1)} \cdot \vec{i} = F_{21x} + F_{1x} + F_{41x} = 0$$

$$\sum \vec{F}^{(1)} \cdot \vec{j} = F_{21y} + F_{1y} + F_{41y} = 0 \quad (15)$$

Sustituyendo valores numéricos y resolviendo

$$F_{41x} = -4,5963 - 52,0554 = -56,6517 \text{ N}$$

$$F_{41y} = -3,8567 - 23,5055 = -27,3622 \text{ N}$$

Es decir:

$$\vec{F}_{41} = -56,6517\vec{i} + 27,3622\vec{j} \text{ N.}$$

El momento compensador se encuentra con ayuda de la ecuación de momentos en el eslabón, con respecto a A:

$$\sum \vec{M}_{A/1} = \vec{r}_B \times \vec{F}_{21} + \vec{r}_{S1} \times \vec{F}_1 + \vec{M}_{com} = \vec{0} \quad (16)$$

$$\begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x_B & y_B & 0 \\ F_{21x} & F_{21y} & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x_{S1} & y_{S1} & 0 \\ F_{1x} & F_{1y} & 0 \end{vmatrix} + M_{com} \vec{k} = \vec{0};$$

$$x_B \cdot F_{21y} - y_B \cdot F_{21x} + x_{S1} \cdot F_{1y} - y_{S1} \cdot F_{1x} + M_{com} = 0;$$

$$-M_{com} = 0,0766 \cdot 23,5055 - 0,0643 \cdot 52,0554 + 0,0383 \cdot 3,8567 - 0,0321 \cdot 4,5963;$$

$$M_{com} = 1,546 \text{ N}\cdot\text{m};$$

DÍADA RRP

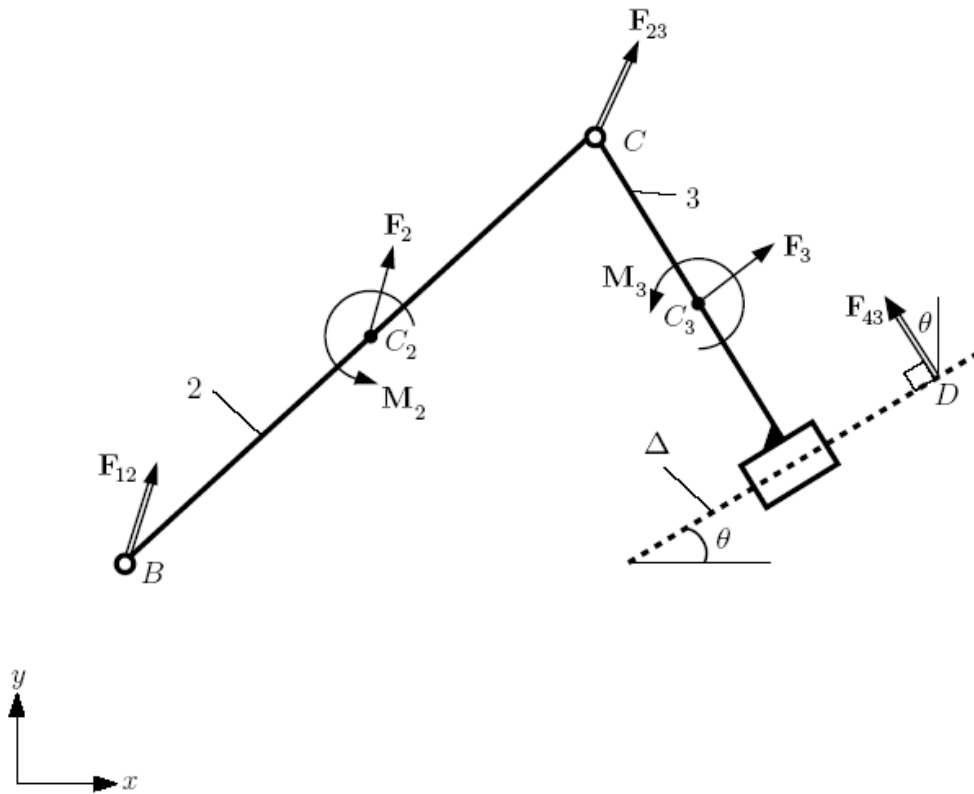


Fig. 7

Las reacciones $\vec{F}_{12}$ y $\vec{F}_{43}$ y $\vec{F}_{23} = -\vec{F}_{32}$ se deben determinar. Se sabe que la reacción $\vec{F}_{43}$ es perpendicular a Δ , es decir:

$$\vec{F}_{43} \cdot \Delta = (F_{43x} \vec{i} + F_{43y} \vec{j}) \cdot (\cos \theta \vec{i} + \sin \theta \vec{j}) = 0 \quad (17)$$

Con el objeto de determinar $\vec{F}_{12}$ y $\vec{F}_{43}$ podemos escribir las siguientes ecuaciones

- Suma de todas las fuerzas sobre los eslabones 2 y 3 (grupo) es igual a cero

$$\sum \vec{F}^{(2,3)} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_{43} = \vec{0} \quad (18)$$

Ó

$$\begin{aligned} \sum \vec{F}^{(2,3)} \cdot \vec{i} &= F_{12x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{43x} = 0 \\ \sum \vec{F}^{(2,3)} \cdot \vec{j} &= F_{12y} + F_{2y} + F_{3y} + F_{43y} = 0 \end{aligned} \quad (19)$$

- Suma de momentos en el eslabón 2 con respecto a C, igual a cero

$$\sum \vec{M}_{C/2} = (\vec{r}_B - \vec{r}_C) \times \vec{F}_{12} + (\vec{r}_2 - \vec{r}_C) \times \vec{F}_2 + \vec{M}_2 = \vec{0} \quad (20)$$

Solucionando simultáneamente las ecuaciones (17), (19) y 20 se determinan las componentes F_{12x} , F_{12y} , F_{43x} y F_{43y} .

La reacción $\vec{F}_{32} = -\vec{F}_{23}$ puede ser hallada a partir de la suma de todas las fuerzas sobre el eslabón 2.

$$\sum \vec{F}^{(2)} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_2 + \vec{F}_{32} = \vec{0}$$

Ó

$$\begin{aligned} \sum \vec{F}^{(2)} \cdot \vec{i} &= F_{12x} + F_{2x} + F_{32x} = 0 \\ \sum \vec{F}^{(2)} \cdot \vec{j} &= F_{12y} + F_{2y} + F_{32y} = 0 \end{aligned} \quad (21)$$

Ejemplo

Realizar el análisis de fuerzas del mecanismo de manivela - deslizador de un compresor, en la posición dada cuando $\varphi_1 = 45^\circ$.

Datos: medidas de los eslabones: $l_{AB} = 100 \text{ mm}$; $l_{BC} = 400 \text{ mm}$; $l_{AS1} = 20 \text{ mm}$; $l_{BS2} = 100 \text{ mm}$

Cargas sobre los eslabones del mecanismo:

$F_1 = 400 \text{ N}$, dirigida a lo largo de la línea AB y está aplicada en el punto S1;

$F_2 = 600 \text{ N}$ está dirigida bajo un ángulo de $\varphi_2 = 60^\circ$ con respecto a la línea BC y está aplicada en el punto S2;

$F_3 = 1000 \text{ N}$ aplicada a lo largo de la línea Ax, su línea de acción pasa por el punto C;

$M_2 = 8,0 \text{ N}\cdot\text{m}$; la dirección del momento se muestra en el esquema.

El momento compensador M_{com} está aplicado al eslabón 1.

Se pide determinar : la reacción $R_{C'}$ en el par cinemático deslizante C' ; la reacción R_C en el par cinemático giratorio C ; la reacción R_B en el par giratorio B ; la reacción R_A en el par giratorio A y el momento compensador M_{com} .

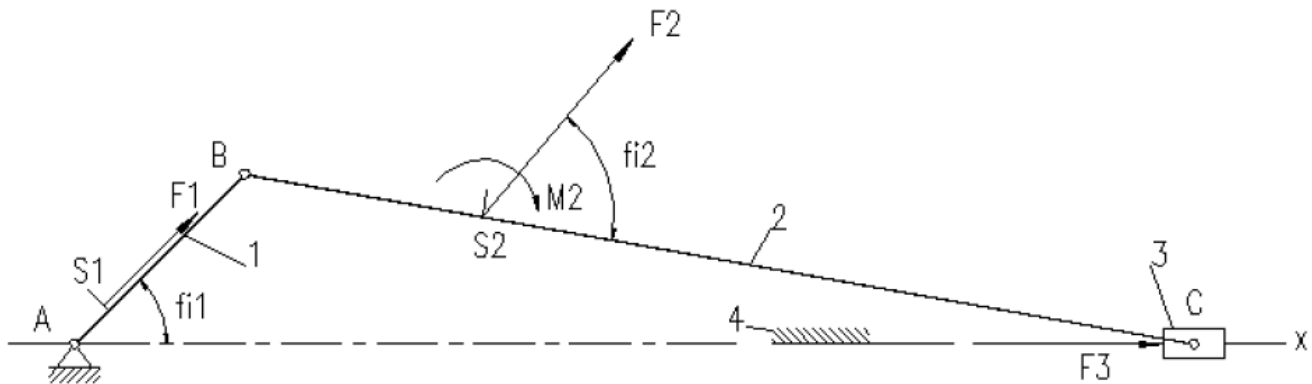


Fig. 8

El mecanismo se compone de un eslabón primario y un grupo de Assur de segunda clase tipo RRP

Del análisis de posición se obtienen los siguientes datos:

$$\vec{r}_A = 0\vec{i} + 0\vec{j} \text{ m};$$

$$\vec{r}_B = 0,070711\vec{i} + 0,070711\vec{j} \text{ m};$$

$$\vec{r}_C = 0,464411\vec{i} + 0\vec{j} \text{ m};$$

$$\vec{r}_{S1} = 0,014142\vec{i} + 0,014142\vec{j} \text{ m};$$

$$\vec{r}_{S2} = 0,169136\vec{i} + 0,053033\vec{j} \text{ m};$$

$$\vec{F}_1 = 282,843\vec{i} + 282,843\vec{j} \text{ N}$$

$$\vec{F}_2 = 387,131\vec{i} + 458,399\vec{j} \text{ N}$$

$$\vec{F}_3 = 1000,000\vec{i} + 0\vec{j} \text{ N}$$

$$\vec{M}_2 = -8\vec{k} \text{ N}\cdot\text{m}$$

Díada RRP

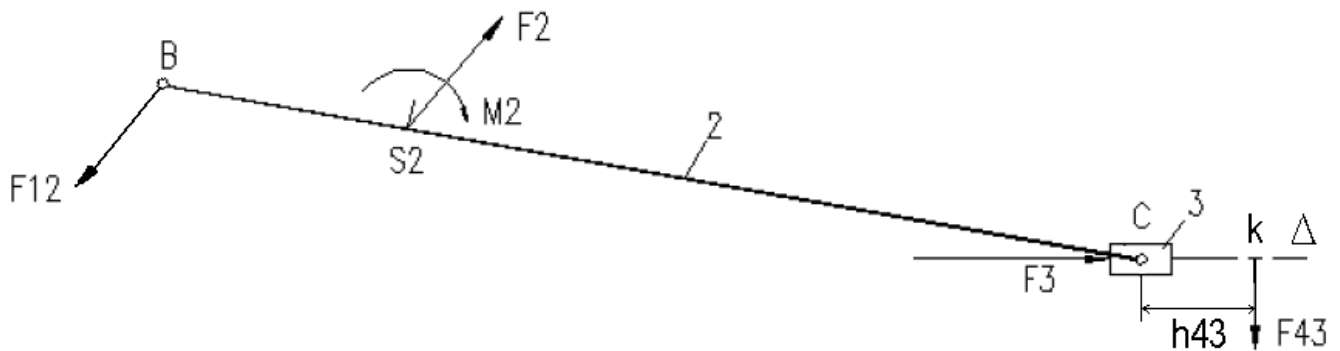


Fig. 9

La reacción $\vec{F}_{43}$ es perpendicular a Δ , es decir:

$$\vec{F}_{43} \cdot \Delta = (F_{43x}\vec{i} + F_{43y}\vec{j}) \cdot (\cos\theta\vec{i} + \sin\theta\vec{j}) = F_{43x}\cos\theta + F_{43y}\sin\theta = 0;$$

$$F_{43x} = 0.$$

(Lo que además es evidente tomando en cuenta el esquema)

- Suma de todas las fuerzas sobre los eslabones 2 y 3 (grupo) es igual a cero

$$\sum \vec{F}^{(2,3)} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_{43} = \vec{0} \quad (22)$$

O sea

$$\sum \vec{F}^{(2,3)} \cdot \vec{i} = F_{12x} + F_{2x} + F_{3x} = 0$$

$$\sum \vec{F}^{(2,3)} \cdot \vec{j} = F_{12y} + F_{2y} + F_{43y} = 0 \quad (23)$$

- Suma de momentos en el eslabón 2 con respecto a C, igual a cero

$$\sum \vec{M}_{C/2} = (\vec{r}_B - \vec{r}_C) \times \vec{F}_{12} + (\vec{r}_{S2} - \vec{r}_C) \times \vec{F}_2 + \vec{M}_2 = \vec{0} \quad (24)$$

$$\begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x_B - x_C & y_B - y_C & 0 \\ F_{12x} & F_{12y} & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x_{S2} - x_C & y_{S2} - y_C & 0 \\ F_{2x} & F_{2y} & 0 \end{vmatrix} + M_2 \vec{k} = \vec{0}$$

$$(x_B - x_C) \cdot F_{12y} - (y_B - y_C) \cdot F_{12x} + (x_{S2} - x_C) \cdot F_{2y} - (y_{S2} - y_C) \cdot F_{2x} + M_2 = 0 \quad (25)$$

Sustituyendo por valores numéricos en (23) y (25)

$$\begin{cases} F_{12x} + 387,131 + 1000 = 0; \\ F_{12y} + 458,399 + F_{43y} = 0; \\ (0,070711 - 0,464411) \cdot F_{12y} - (0,070711 - 0) \cdot F_{12x} + (0,169136 - 0,464411) \cdot 458,399 - \\ - (0,053033 - 0) \cdot 387,131 - 8 = 0; \end{cases}$$

Resolviendo este sistema de ecuaciones, con ayuda de Matlab Symbolic, por ejemplo, tenemos:

$$\begin{aligned} \vec{F}_{12} &= -1387,131\vec{i} - 167,13\vec{j} \text{ N} \\ \vec{F}_{43} &= 0\vec{i} - 291,269\vec{j} \text{ N} \end{aligned}$$

La reacción $\vec{F}_{32} = -\vec{F}_{23}$ puede ser hallada a partir de la suma de todas las fuerzas sobre el eslabón 2.

$$\sum \vec{F}^{(2)} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_2 + \vec{F}_{32} = \vec{0}$$

ó

$$\begin{aligned} \sum \vec{F}^{(2)} \cdot \vec{i} &= F_{12x} + F_{2x} + F_{32x} = 0 \\ \sum \vec{F}^{(2)} \cdot \vec{j} &= F_{12y} + F_{2y} + F_{32y} = 0 \end{aligned} \quad (26)$$

Despejando y sustituyendo:

$$\begin{aligned} F_{32x} &= 1387,131 - 387,131 = 1000 \text{ N} \\ F_{32y} &= 167,13 - 458,399 = -291,269 \text{ N} \end{aligned}$$

En conclusión:

$$\vec{F}_{32} = 1000\vec{i} - 291,269\vec{j} \text{ N}$$

La distancia h_{43} puede ser determinada con la suma de momentos para el eslabón 3

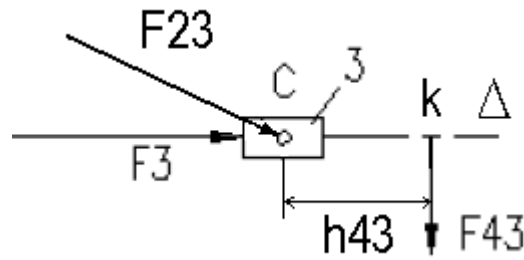


Fig. 10

$$\sum \vec{M}_{C/3} = \vec{r}_3 \times \vec{F}_3 + \vec{r}_{23} \times \vec{F}_{23} + \vec{r}_k \times \vec{F}_{43} = \vec{0}$$

De donde

$$\vec{r}_k = \vec{0}, \text{ es decir: } h_{43} = 0$$

Mecanismo primario

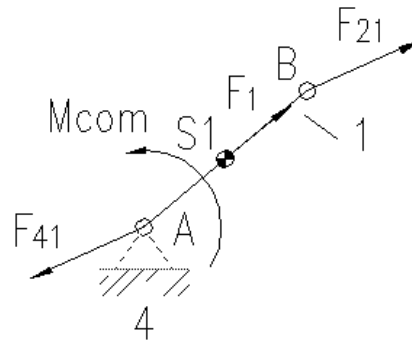


Fig. 11

La reacción $\vec{F}_{41}$ puede ser determinada a partir de la ecuación de equilibrio de fuerzas del eslabón.

$$\sum \vec{F}^{(1)} = \vec{F}_{21} + \vec{F}_1 + \vec{F}_{41} = \vec{0} \quad (27)$$

ó

$$\begin{aligned} \sum \vec{F}^{(1)} \cdot \vec{i} &= F_{21x} + F_{1x} + F_{41x} = 0 \\ \sum \vec{F}^{(1)} \cdot \vec{j} &= F_{21y} + F_{1y} + F_{41y} = 0 \end{aligned} \quad (28)$$

Sustituyendo valores numéricos y resolviendo

$$F_{41x} = -282,843 - 1387,131 = -1669,7 \text{ N}$$

$$F_{41y} = -282,843 - 167,13 = -449,97 \text{ N}$$

Es decir:

$$\vec{F}_{41} = -1669,97\vec{i} - 449,97\vec{j} \text{ N.}$$

El momento compensador se encuentra con ayuda de la ecuación de momentos en el eslabón, con respecto a A:

$$\sum \vec{M}_{A/1} = \vec{r}_B \times \vec{F}_{21} + \vec{r}_{S1} \times \vec{F}_1 + \vec{M}_{com} = \vec{0} \quad (29)$$

$$\begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x_B & y_B & 0 \\ F_{21x} & F_{21y} & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x_{S1} & y_{S1} & 0 \\ F_{1x} & F_{1y} & 0 \end{vmatrix} + M_{com} \vec{k} = \vec{0};$$

$$x_B \cdot F_{21y} - y_B \cdot F_{21x} + x_{S1} \cdot F_{1y} - y_{S1} \cdot F_{1x} + M_{com} = 0;$$

$$-M_{com} = (0,070711 \cdot 167,13) - (0,070711 \cdot 1387,131) = -86,27 \text{ N}\cdot\text{m};$$

$$M_{com} = 86,27 \text{ N}\cdot\text{m};$$

DÍADA RPR

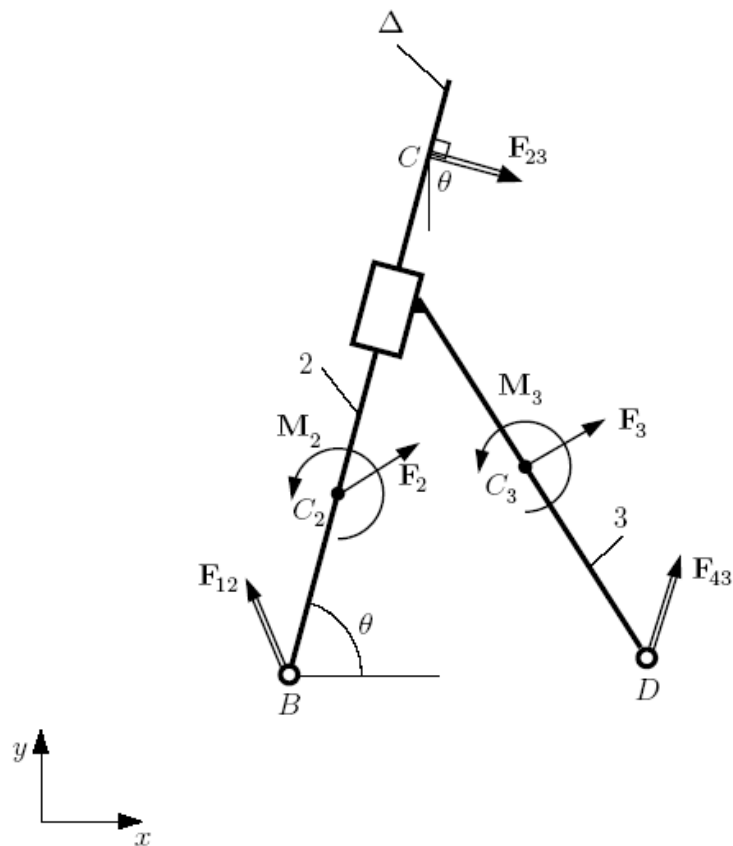


Fig. 12

Con el objeto de determinar $\vec{F}_{12}$ y $\vec{F}_{43}$, para esta díada se pueden escribir las siguientes relaciones

- Suma de todas las fuerzas sobre los eslabones 2 y 3 (grupo) es igual a cero

$$\sum \vec{F}^{(2,3)} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_{43} = \vec{0} \quad (30)$$

Ó

$$\begin{aligned} \sum \vec{F}^{(2,3)} \cdot \vec{i} &= F_{12x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{43x} = 0 \\ \sum \vec{F}^{(2,3)} \cdot \vec{j} &= F_{12y} + F_{2y} + F_{3y} + F_{43y} = 0 \end{aligned} \quad (31)$$

- Suma de momentos en el grupo (eslabones 2 y 3) con respecto a B, igual a cero

$$\sum \vec{M}_{B/\text{grupo}} = (\vec{r}_D - \vec{r}_B) \times \vec{F}_{43} + (\vec{r}_{C3} - \vec{r}_B) \times \vec{F}_3 + \vec{M}_3 + (\vec{r}_{C2} - \vec{r}_B) \times \vec{F}_2 + \vec{M}_2 = \vec{0} \quad (32)$$

- Suma de todas las fuerzas sobre el eslabón 2 proyectadas en la dirección de deslizamiento $\Delta = \cos \theta \vec{i} + \sin \theta \vec{j} = 0$ es cero

$$\sum \vec{F}^{(2)} \cdot \Delta = (\vec{F}_{12} + \vec{F}_2) \cdot (\cos \theta \vec{i} + \sin \theta \vec{j}) = 0 \quad (33)$$

Solucionando simultáneamente las ecuaciones (31), (32) y 33 se determinan las componentes F_{12x} , F_{12y} , F_{43x} y F_{43y} .

La reacción $\vec{F}_{32} = -\vec{F}_{23}$ puede ser hallada a partir de la suma de todas las fuerzas sobre el eslabón 2.

Ó

$$\begin{aligned} \sum \vec{F}^{(2)} &= \vec{F}_{12} + \vec{F}_2 + \vec{F}_{32} = \vec{0} \\ \sum \vec{F}^{(2)} \cdot \vec{i} &= F_{12x} + F_{2x} + F_{32x} = 0 \\ \sum \vec{F}^{(2)} \cdot \vec{j} &= F_{12y} + F_{2y} + F_{32y} = 0 \end{aligned} \quad (34)$$

¿Y las diádas PPR y PRP? ...

BIBLIOGRAFÍA

Artobolevski I.I. Teoría de mecanismos y máquinas. Moscú. Nauka 1988.

Marghitu D., Crocker M. Analytical Elements of Mechanisms. Cambridge University Press 2001.

Hsu Hwei P. Análisis Vectorial. Fondo Educativo Interamericano. 1973.