16.7 Análisis del movimiento relativo: aceleración

Una ecuación que relacione la aceleración de dos puntos en una barra (cuerpo rígido) sometida a movimiento plano general puede determinarse al diferenciar $\mathbf{v}_B = \mathbf{v}_A + \mathbf{v}_{B/A}$ con respecto al tiempo. De aquí resulta

$$\frac{d\mathbf{v}_B}{dt} = \frac{d\mathbf{v}_A}{dt} + \frac{d\mathbf{v}_{B/A}}{dt}$$

Los términos $d\mathbf{v}_B/dt = \mathbf{a}_B$ y $d\mathbf{v}_A/dt = \mathbf{a}_A$ se miden con respecto a un sistema de *ejes x, y fijos* y representan las *aceleraciones absolutas* de los puntos B y A. El último término representa la aceleración de B con respecto a A medida por un observador fijo en los ejes trasladantes x', y' los cuales tienen su origen en el punto base A. En la sección 16.5 se demostró que para este observador el punto B parece moverse a lo largo de un *arco circular* con radio de curvatura $r_{B/A}$. Por consiguiente, $\mathbf{a}_{B/A}$ puede expresarse en función de sus componentes tangencial y normal; es decir, $\mathbf{a}_{B/A} = (\mathbf{a}_{B/A})_t + (\mathbf{a}_{B/A})_n$, donde $(a_{B/A})_t = \alpha r_{B/A}$ y $(a_{B/A})_n = \omega^2 r_{B/A}$. Por tanto, la ecuación de aceleración relativa se escribe en la forma

$$\boxed{\mathbf{a}_B = \mathbf{a}_A + (\mathbf{a}_{B/A})_t + (\mathbf{a}_{B/A})_n} \qquad (16\text{-}17)$$

donde

$\mathbf{a}_B$ = aceleración del punto B

$\mathbf{a}_A$ = aceleración del punto A

$(\mathbf{a}_{B/A})_t$ = componente de aceleración tangencial de B con respecto a A. La *magnitud* es $(a_{B/A})_t = \alpha r_{B/A}$ y la *dirección* es perpendicular a $\mathbf{r}_{B/A}$.

$(\mathbf{a}_{B/A})_n$ = componente de aceleración normal de B con respecto a A. La *magnitud* es $(a_{B/A})_n = \omega^2 r_{B/A}$ y la *dirección* siempre es de B hacia A.

En la figura 16-24 están representados gráficamente los términos de la ecuación 16-17. Aquí se ve que en un instante dado la aceleración de B, figura 16-24*a*, se determina al considerar que la barra se traslada con una aceleración $\mathbf{a}_A$, figura 16-24*b* y simultáneamente gira alrededor del punto base A con una velocidad angular instantánea $\boldsymbol{\omega}$ y una aceleración angular $\boldsymbol{\alpha}$, figura 16-24*c*. La adición vectorial de estos dos efectos, aplicados a B, resulta en $\mathbf{a}_B$, como se muestra en la figura 16-24*d*. En la figura 16-24*a* se ve que como los puntos A y B se mueven a lo largo de *trayectorias curvas*, la aceleración de estos puntos tendrán *tanto componentes tangenciales como normales*. (Recuerde que la aceleración de un punto es *tangente a la trayectoria sólo* cuando ésta es *rectilínea* o cuando es un punto de inflexión en una curva.)

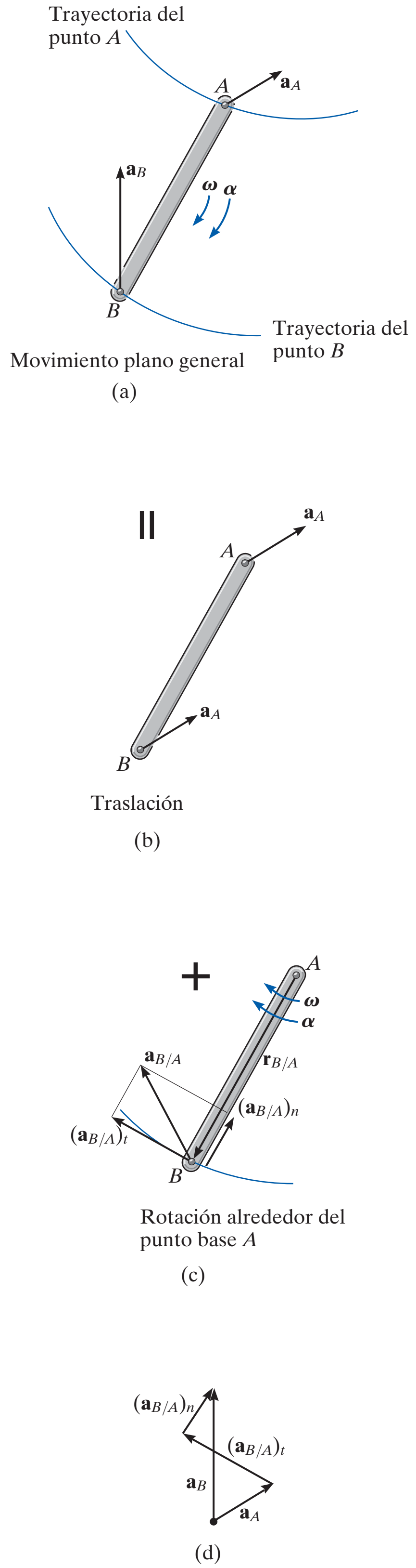


Fig. 16-24

16

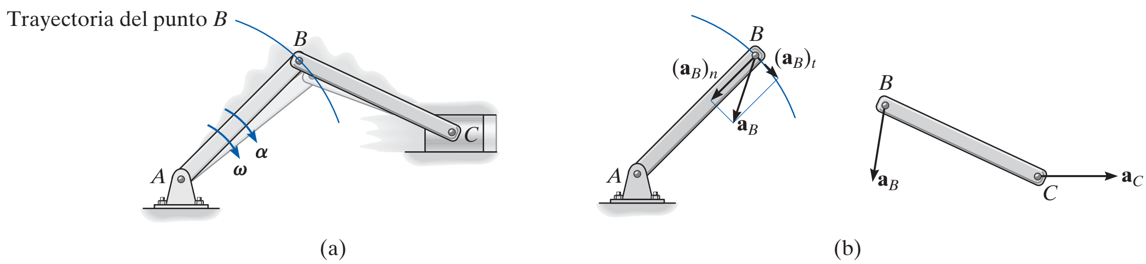


Fig. 16-25

Como los componentes de aceleración relativa representan el efecto de *movimiento circular* observado desde ejes trasladantes que tienen su origen en el punto base A, estos términos pueden expresarse como $(\mathbf{a}_{B/A})_t = \boldsymbol{\alpha} \times \mathbf{r}_{B/A}$ y $(\mathbf{a}_{B/A})_n = -\omega^2\mathbf{r}_{B/A}$, ecuación 16-14. Por tanto, la ecuación 16-17 se escribe

$$\boxed{\mathbf{a}_B = \mathbf{a}_A + \boldsymbol{\alpha} \times \mathbf{r}_{B/A} - \omega^2\mathbf{r}_{B/A}} \qquad (16\text{-}18)$$

donde

$\mathbf{a}_B$ = aceleración del punto B

$\mathbf{a}_A$ = aceleración del punto base A

$\boldsymbol{\alpha}$ = aceleración angular del cuerpo

$\boldsymbol{\omega}$ = velocidad angular del cuerpo

$\mathbf{r}_{B/A}$ = vector de posición dirigido de A a B

Si la ecuación 16-17 o la 16-18 se aplican de una manera práctica para estudiar el movimiento acelerado de un cuerpo rígido el cual está *conectado por medio de un pasador* a otros dos cuerpos, habrá que tener en cuenta que los puntos que *coinciden en el pasador* se mueven con la *misma aceleración*, puesto que la trayectoria del movimiento sobre la cual viajan es la *misma*. Por ejemplo, el punto B situado o en la barra BA o en la barra BC del mecanismo de manivelas de la figura 16-25*a* tiene la misma aceleración, puesto que las barras están conectadas por el pasador en B. Aquí el movimiento de B ocurre a lo largo de una *trayectoria circular*, de modo que $\mathbf{a}_B$ puede expresarse en función de sus componentes tangenciales y normales. En el otro extremo de la barra BC el punto C se mueve a lo largo de una *trayectoria de línea recta*, definida por el pistón. Por tanto, $\mathbf{a}_C$ es horizontal, figura 16-25*b*.

Si dos cuerpos se ponen en contacto *sin deslizarse*, y los *puntos en contacto* se mueven a lo largo de *trayectorias diferentes*, entonces las *componentes tangenciales* de su aceleración serán las *mismas*; sin embargo, las *componentes normales* en general *no* serán las mismas. Por ejemplo, considere los dos engranes acoplados en la figura 16-26*a*. El punto A se encuentra en el engrane B y un punto coincidente A' se encuentra en el engrane C. Debido al movimiento de rotación, $(\mathbf{a}_A)_t = (\mathbf{a}_{A'})_t$; sin embargo, como los dos puntos siguen trayectorias circulares diferentes, $(\mathbf{a}_A)_n \neq (\mathbf{a}_{A'})_n$ y por consiguiente $\mathbf{a}_A \neq \mathbf{a}_{A'}$, figura 16-26*b*.

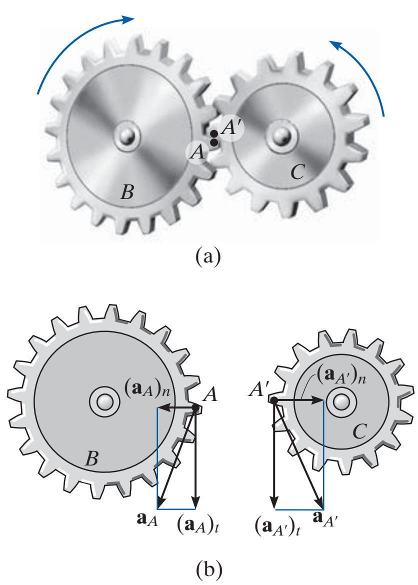


Fig. 16-26

Procedimiento para el análisis

La ecuación de aceleración relativa puede aplicarse entre dos puntos A y B de un cuerpo o por medio de análisis vectorial cartesiano, o escribir las ecuaciones de componentes escalares x y y directamente.

Análisis de la velocidad.

- Determine la velocidad angular $\boldsymbol{\omega}$ del cuerpo por la velocidad como se vio en la sección 16.5 o 16.6. Además, determine las velocidades $\mathbf{v}_A$ y $\mathbf{v}_B$ de los puntos A y B *si éstos se mueven a lo largo de trayectorias curvas*.

Análisis vectorial

Diagrama cinemático.

- Establezca la dirección de las coordenadas x, y fijas y trace el diagrama cinemático del cuerpo. Indique en él $\mathbf{a}_A$, $\mathbf{a}_B$, $\boldsymbol{\omega}$, $\boldsymbol{\alpha}$ y $\mathbf{r}_{B/A}$.
- Si los puntos A y B se mueven a lo largo de *trayectorias curvas*, entonces sus aceleraciones deben indicarse en función de sus componentes tangenciales y normales, es decir, $\mathbf{a}_A = (\mathbf{a}_A)_t + (\mathbf{a}_A)_n$ y $\mathbf{a}_B = (\mathbf{a}_B)_t + (\mathbf{a}_B)_n$.

Ecuación de aceleración.

- Para aplicar $\mathbf{a}_B = \mathbf{a}_A + \boldsymbol{\alpha} \times \mathbf{r}_{B/A} - \omega^2\mathbf{r}_{B/A}$, exprese los vectores en forma vectorial cartesiana y sustitúyalos en la ecuación. Evalúe el producto vectorial (cruz) y luego iguale los respectivos componentes $\mathbf{i}$ y $\mathbf{j}$ para obtener dos ecuaciones escalares.
- Si la solución resulta una respuesta *negativa* para una magnitud *desconocida*, ello indica que el sentido del vector es opuesto al que aparece en el diagrama cinemático.

Análisis escalar

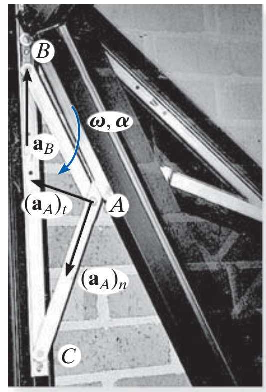
Diagrama cinemático.

- Si la ecuación de aceleración se aplica en forma escalar, entonces deben establecerse las magnitudes y direcciones de los componentes de aceleración relativa $(\mathbf{a}_{B/A})_t$ y $(\mathbf{a}_{B/A})_n$. Para ello trace un diagrama cinemático como el de la figura 16-24*c*. Puesto que se considera que el cuerpo está momentáneamente "fijo por medio de un pasador" en el punto base A, las *magnitudes* de estos componentes son $(a_{B/A})_t = \alpha r_{B/A}$ y $(a_{B/A})_n = \omega^2 r_{B/A}$. Su *sentido de dirección* se establece a partir del diagrama de modo que $(\mathbf{a}_{B/A})_t$ actúe perpendicular a $\mathbf{r}_{B/A}$, de acuerdo con el movimiento de rotación $\boldsymbol{\alpha}$ del cuerpo y la dirección de $(\mathbf{a}_{B/A})_n$ es de B hacia A.*

Ecuación de aceleración.

- Represente los vectores en $\mathbf{a}_B = \mathbf{a}_A + (\mathbf{a}_{B/A})_t + (\mathbf{a}_{B/A})_n$ gráficamente y muestre sus magnitudes y direcciones debajo de cada término. Las ecuaciones escalares se determinan con los componentes x y y de estos vectores.

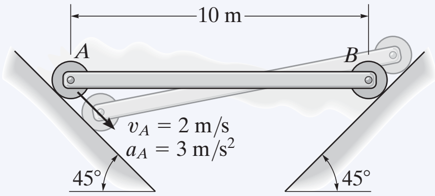
*La notación $\mathbf{a}_B = \mathbf{a}_A + (\mathbf{a}_{B/A(\text{pasador})})_t + (\mathbf{a}_{B/A(\text{pasador})})_n$ puede ser útil para recordar que se supone que A está conectado con un pasador.



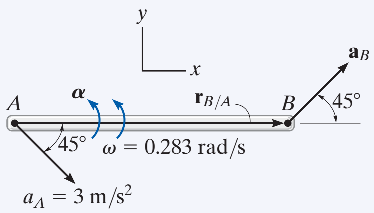
Se muestra el mecanismo de una ventana. Aquí CA gira alrededor de un eje fijo a través de C, y AB experimenta movimiento plano general. Como el punto A se mueve a lo largo de una trayectoria curva tiene dos componentes de aceleración, en tanto que el punto B se mueve a lo largo de una corredera recta y la dirección de su aceleración está especificada.

16

EJEMPLO 16.14



(a)



(b)

La barra AB de la figura 16-27a está confinada a moverse a lo largo de los planos inclinados en A y B. Si la aceleración del punto A es de 3 m/s^2 y su velocidad de 2 m/s, ambas dirigidas hacia abajo del plano en el instante en que la barra está horizontal, determine la aceleración angular de la barra en este instante.

SOLUCIÓN I (ANÁLISIS VECTORIAL)

Aplicaremos la ecuación de aceleración en los puntos A y B de la barra. Para hacerlo primero se tiene que determinar la velocidad angular de la barra. Demuestre que es $\omega = 0.283$ rad/s ↻ por la ecuación de velocidad o el método de centros instantáneos.

Diagrama cinemático. Como los puntos A y B se mueven a lo largo de trayectorias de línea recta, *no* tienen componentes de aceleración normales a las trayectorias. En la figura 16-27b hay dos incógnitas, es decir, a_B y α.

Ecuación de aceleración.

$$\mathbf{a}_B = \mathbf{a}_A + \boldsymbol{\alpha} \times \mathbf{r}_{B/A} - \omega^2 \mathbf{r}_{B/A}$$

$$a_B \cos 45°\mathbf{i} + a_B \operatorname{sen} 45°\mathbf{j} = 3 \cos 45°\mathbf{i} - 3 \operatorname{sen} 45°\mathbf{j} + (\alpha\mathbf{k}) \times (10\mathbf{i}) - (0.283)^2(10\mathbf{i})$$

Al realizar el producto vectorial e igualar los componentes $\mathbf{i}$ y $\mathbf{j}$ se obtiene

$$a_B \cos 45° = 3 \cos 45° - (0.283)^2(10) \qquad (1)$$

$$a_B \operatorname{sen} 45° = -3 \operatorname{sen} 45° + \alpha(10) \qquad (2)$$

Al resolver, tenemos

$$a_B = 1.87 \text{ m/s}^2 \measuredangle 45°$$

$$\alpha = 0.344 \text{ rad/s}^2 \circlearrowleft \qquad \textbf{\textit{Resp.}}$$

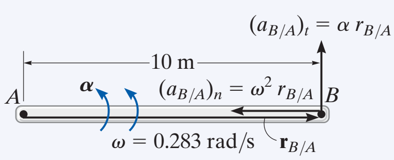
SOLUCIÓN II (ANÁLISIS ESCALAR)

Con el diagrama cinemático, que muestra los componentes de aceleración relativa $(\mathbf{a}_{B/A})_t$ y $(\mathbf{a}_{B/A})_n$, figura 16-27c, tenemos

$$\mathbf{a}_B = \mathbf{a}_A + (\mathbf{a}_{B/A})_t + (\mathbf{a}_{B/A})_n$$

$$\begin{bmatrix} a_B \\ \measuredangle 45° \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 \text{ m/s}^2 \\ \searrow 45° \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \alpha(10 \text{ m}) \\ \uparrow \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (0.283 \text{ rad/s})^2(10 \text{ m}) \\ \leftarrow \end{bmatrix}$$

Al igualar los componentes x y y se obtienen las ecuaciones 1 y 2, y la solución prosigue como antes.



(c)

Fig. 16-27

16

EJEMPLO 16.15

En un instante dado, el cilindro de radio r, de la figura 16-28*a*, tiene una velocidad angular $\boldsymbol{\omega}$ y una aceleración angular $\boldsymbol{\alpha}$. Determine la velocidad y aceleración de su centro G y la aceleración del punto de contacto en A si rueda sin deslizarse.

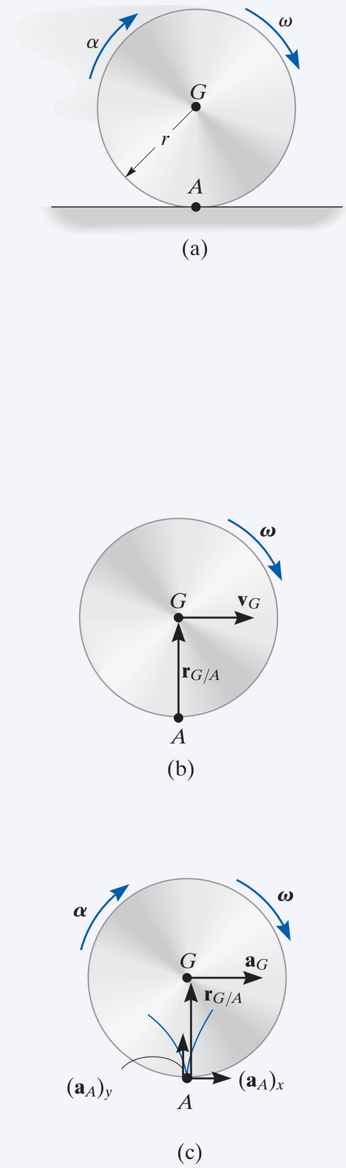


Fig. 16-28

SOLUCIÓN (ANÁLISIS VECTORIAL)

Análisis de velocidad. Como no ocurre deslizamiento en el instante en que A toca el suelo, $\mathbf{v}_A = \mathbf{0}$. Por tanto, de acuerdo con el diagrama cinemático en la figura 16-28*b* tenemos

$$\mathbf{v}_G = \mathbf{v}_A + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}_{G/A}$$

$$v_G\mathbf{i} = \mathbf{0} + (-\omega\mathbf{k}) \times (r\mathbf{j})$$

$$v_G = \omega r \qquad (1) \quad \textit{Resp.}$$

Este mismo resultado también puede obtenerse directamente si se observa que el punto A representa el centro instantáneo de velocidad cero.

Diagrama cinemático. Como el movimiento de G siempre es a lo largo de una *línea recta*, entonces su aceleración se determina al considerar la derivada con respecto al tiempo de su velocidad, de lo cual resulta

$$a_G = \frac{dv_G}{dt} = \frac{d\omega}{dt} r$$

$$a_G = \alpha r \qquad (2) \quad \textit{Resp.}$$

Ecuación de aceleración. La magnitud y dirección de $\mathbf{a}_A$ es desconocida, figura 16-28*c*.

$$\mathbf{a}_G = \mathbf{a}_A + \boldsymbol{\alpha} \times \mathbf{r}_{G/A} - \omega^2\mathbf{r}_{G/A}$$

$$\alpha r\,\mathbf{i} = (a_A)_x\mathbf{i} + (a_A)_y\mathbf{j} + (-\alpha\mathbf{k}) \times (r\mathbf{j}) - \omega^2(r\mathbf{j})$$

Si evaluamos el producto vectorial e igualamos las componentes $\mathbf{i}$ y $\mathbf{j}$, tenemos

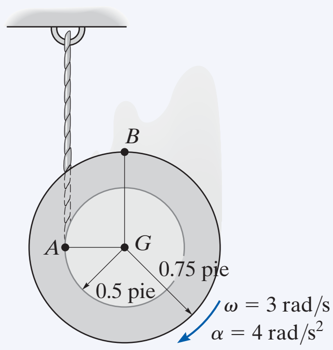
$$(a_A)_x = 0 \qquad \textit{Resp.}$$

$$(a_A)_y = \omega^2 r \qquad \textit{Resp.}$$

NOTA: los resultados, de que $v_G = \omega r$ y $a_G = \alpha r$, pueden aplicarse a cualquier objeto circular: bola, cilindro, disco, etcétera, que ruede *sin* deslizarse. Además, el hecho de que $a_A = \omega^2 r$ indica que el centro instantáneo de velocidad cero, el punto A, *no* es un punto de aceleración cero.

16

EJEMPLO 16.16



(a)

El carrete que se ilustra en la figura 16-29*a* se desenreda de la cuerda, de modo que en el instante que se muestra tiene una velocidad angular de 3 rad/s y una aceleración angular de 4 rad/s^2. Determine la aceleración del punto *B*.

SOLUCIÓN I (ANÁLISIS VECTORIAL)

"Parece" que el carrete rueda hacia abajo sin deslizarse en el punto *A*. Por consiguiente, podemos utilizar los resultados del ejemplo 16.15 para determinar la aceleración del punto *G*, es decir,

$$a_G = \alpha r = (4 \text{ rad/s}^2)(0.5 \text{ pies}) = 2 \text{ pies/s}^2$$

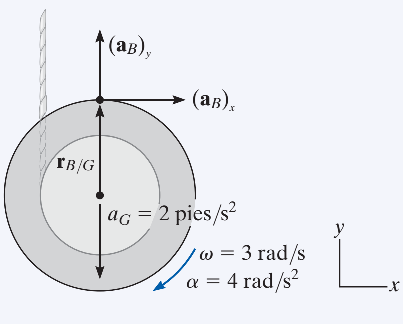
Aplicaremos la ecuación de aceleración a los puntos *G* y *B*.

Diagrama cinemático. El punto *B* se mueve a lo largo de una *trayectoria curva* de radio de curvatura *desconocido*.* Su aceleración estará representada por sus componentes *x* y *y* desconocidas, como se muestra en la figura 16-29*b*.

Ecuación de aceleración.

$$\mathbf{a}_B = \mathbf{a}_G + \boldsymbol{\alpha} \times \mathbf{r}_{B/G} - \omega^2 \mathbf{r}_{B/G}$$

$$(a_B)_x\mathbf{i} + (a_B)_y\mathbf{j} = -2\mathbf{j} + (-4\mathbf{k}) \times (0.75\mathbf{j}) - (3)^2(0.75\mathbf{j})$$



(b)

Al igualar los términos **i** y **j**, las ecuaciones de componentes son

$$(a_B)_x = 4(0.75) = 3 \text{ pies/s}^2 \rightarrow \qquad (1)$$

$$(a_B)_y = -2 - 6.75 = -8.75 \text{ pies/s}^2 = 8.75 \text{ pies/s}^2 \downarrow \qquad (2)$$

La magnitud y dirección de $\mathbf{a}_B$ son, por consiguiente,

$$a_B = \sqrt{(3)^2 + (8.75)^2} = 9.25 \text{ pies/s}^2 \qquad \textbf{\textit{Resp.}}$$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{8.75}{3} = 71.1° \qquad \textbf{\textit{Resp.}}$$

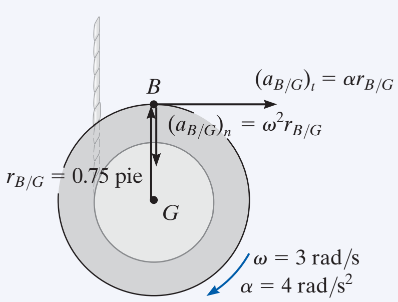
SOLUCIÓN II (ANÁLISIS ESCALAR)

Este problema se resuelve si se escriben directamente las ecuaciones de componentes escalares. El diagrama cinemático de la figura 16-29*c* muestra las componentes de aceleración relativa $(\mathbf{a}_{B/G})_t$ y $(\mathbf{a}_{B/G})_n$. Por tanto,

$$\mathbf{a}_B = \mathbf{a}_G + (\mathbf{a}_{B/G})_t + (\mathbf{a}_{B/G})_n$$

$$\begin{bmatrix} (a_B)_x \\ \rightarrow \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (a_B)_y \\ \uparrow \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \text{ pies/s}^2 \\ \downarrow \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 4 \text{ rad/s}^2 \ (0.75 \text{ pie}) \\ \rightarrow \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (3 \text{ rad/s})^2(0.75 \text{ pie}) \\ \downarrow \end{bmatrix}$$

Los componentes *x* y *y* dan las ecuaciones 1 y 2 anteriores.



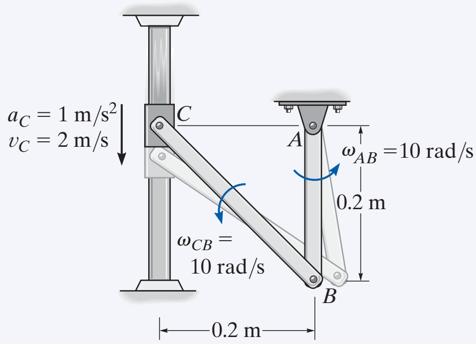
(c)

Fig. 16-29

*Dese cuenta que el radio de curvatura ρ no es igual al radio del carrete, puesto que éste no gira alrededor del punto *G*. Además, ρ no se define como la distancia de *A* (*CI*) a *B*, puesto que la ubicación del *CI* depende solamente de la velocidad de un punto y no de la geometría de su trayectoria.

EJEMPLO 16.17

El collarín C en la figura 16-30*a* se mueve hacia abajo con una aceleración de 1 m/s^2. En el instante que se muestra, su rapidez es de 2 m/s, la cual imprime a las articulaciones CB y AB una velocidad angular $\omega_{AB} = \omega_{CB} = 10$ rad/s (vea el ejemplo 16.8). Determine la aceleración angular de CB y AB en este instante.



(a)

SOLUCIÓN (ANÁLISIS VECTORIAL)

Diagrama cinemático. Los diagramas cinemáticos de *ambos* eslabones AB y CB se muestran en la figura 16-30*b*. Para la solución, aplicaremos la ecuación cinemática apropiada a cada eslabón.

Ecuación de aceleración.

Eslabón *AB* (rotación alrededor de un eje fijo):

$$\mathbf{a}_B = \boldsymbol{\alpha}_{AB} \times \mathbf{r}_B - \omega_{AB}^2 \mathbf{r}_B$$

$$\mathbf{a}_B = (\alpha_{AB}\mathbf{k}) \times (-0.2\mathbf{j}) - (10)^2(-0.2\mathbf{j})$$

$$\mathbf{a}_B = 0.2\alpha_{AB}\mathbf{i} + 20\mathbf{j}$$

Observe que $\mathbf{a}_B$ tiene componentes n y t puesto que se mueve a lo largo de una *trayectoria circular*.

Eslabón *BC* (movimiento plano general): con el resultado de $\mathbf{a}_B$ y si aplicamos la ecuación 16-18, tenemos

$$\mathbf{a}_B = \mathbf{a}_C + \boldsymbol{\alpha}_{CB} \times \mathbf{r}_{B/C} - \omega_{CB}^2 \mathbf{r}_{B/C}$$

$$0.2\alpha_{AB}\mathbf{i} + 20\mathbf{j} = -1\mathbf{j} + (\alpha_{CB}\mathbf{k}) \times (0.2\mathbf{i} - 0.2\mathbf{j}) - (10)^2(0.2\mathbf{i} - 0.2\mathbf{j})$$

$$0.2\alpha_{AB}\mathbf{i} + 20\mathbf{j} = -1\mathbf{j} + 0.2\alpha_{CB}\mathbf{j} + 0.2\alpha_{CB}\mathbf{i} - 20\mathbf{i} + 20\mathbf{j}$$

Por tanto,

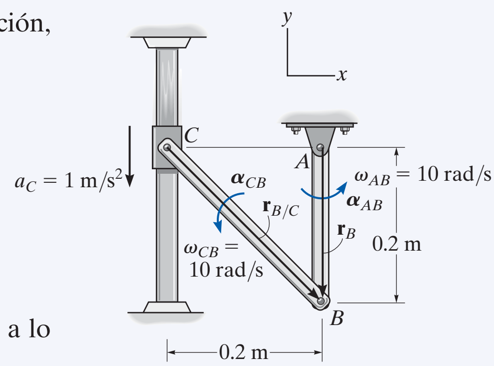
$$0.2\alpha_{AB} = 0.2\alpha_{CB} - 20$$

$$20 = -1 + 0.2\alpha_{CB} + 20$$

Al resolver,

$$\alpha_{CB} = 5 \text{ rad/s}^2 \circlearrowleft \qquad \textit{\textbf{Resp.}}$$

$$\alpha_{AB} = -95 \text{ rad/s}^2 = 95 \text{ rad/s}^2 \circlearrowright \qquad \textit{\textbf{Resp.}}$$

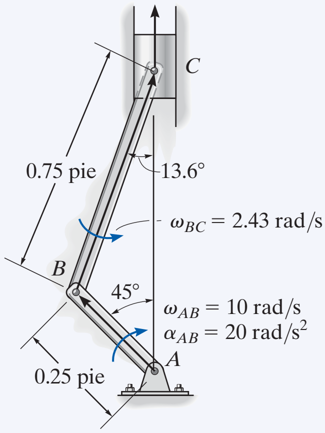


(b)

Fig. 16-30

16

EJEMPLO 16.18



(a)

El cigüeñal AB gira con una aceleración angular en sentido horario de 20 rad/s^2, figura 16-31a. Determine la aceleración del pistón cuando AB está en la posición que se ilustra. En este instante $\omega_{AB} =$ 10 rad/s y $\omega_{BC} = 2.43$ rad/s (vea el ejemplo 16.13) .

SOLUCIÓN (ANÁLISIS VECTORIAL)

Diagrama cinemático. Los diagramas cinemáticos de AB y BC se muestran en la figura 16-31b. Aquí $\mathbf{a}_C$ es vertical puesto que C se mueve a lo largo de una trayectoria de línea recta.

Ecuación de aceleración. Mediante la expresión de cada uno de los vectores de posición en forma vectorial cartesiana

$$\mathbf{r}_B = \{-0.25 \text{ sen } 45°\mathbf{i} + 0.25 \cos 45°\mathbf{j}\} \text{ pies} = \{-0.177\mathbf{i} + 0.177\mathbf{j}\} \text{ pies}$$

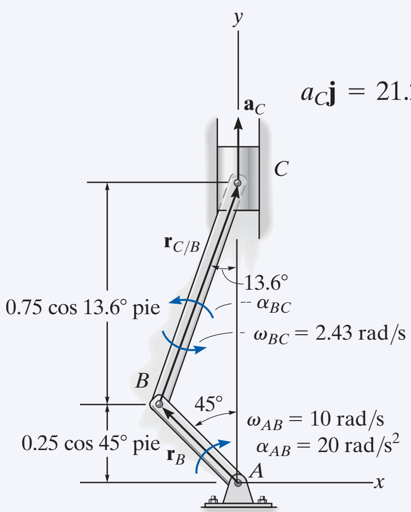
$$\mathbf{r}_{C/B} = \{0.75 \text{ sen } 13.6°\mathbf{i} + 0.75 \cos 13.6°\mathbf{j}\} \text{ pies} = \{0.177\mathbf{i} + 0.729\mathbf{j}\} \text{ pies}$$

16

Cigüeñal *AB* (rotación alrededor de un eje fijo):

$$\begin{aligned}\mathbf{a}_B &= \boldsymbol{\alpha}_{AB} \times \mathbf{r}_B - \omega_{AB}^2\mathbf{r}_B \\ &= (-20\mathbf{k}) \times (-0.177\mathbf{i} + 0.177\mathbf{j}) - (10)^2(-0.177\mathbf{i} + 0.177\mathbf{j}) \\ &= \{21.21\mathbf{i} - 14.14\mathbf{j}\} \text{ pies/s}^2\end{aligned}$$

Biela *BC* (movimiento plano general): con el resultado de $\mathbf{a}_B$ y si observamos que $\mathbf{a}_C$ está en la dirección vertical, tenemos



(b)

Fig. 16-31

$$\mathbf{a}_C = \mathbf{a}_B + \boldsymbol{\alpha}_{BC} \times \mathbf{r}_{C/B} - \omega_{BC}^2\mathbf{r}_{C/B}$$

$$a_C\mathbf{j} = 21.21\mathbf{i} - 14.14\mathbf{j} + (\alpha_{BC}\mathbf{k}) \times (0.177\mathbf{i} + 0.729\mathbf{j}) - (2.43)^2(0.177\mathbf{i} + 0.729\mathbf{j})$$

$$a_C\mathbf{j} = 21.21\mathbf{i} - 14.14\mathbf{j} + 0.177\alpha_{BC}\mathbf{j} - 0.729\alpha_{BC}\mathbf{i} - 1.04\mathbf{i} - 4.30\mathbf{j}$$

$$0 = 20.17 - 0.729\alpha_{BC}$$

$$a_C = 0.177\alpha_{BC} - 18.45$$

Al resolver tenemos

$$\alpha_{BC} = 27.7 \text{ rad/s}^2 \circlearrowleft$$

$$a_C = -13.5 \text{ pies/s}^2$$ ***Resp.***

NOTA: como el pistón se mueve hacia arriba, el signo negativo de a_C indica que el pistón se desacelera, es decir, $\mathbf{a}_C = \{-13.5\mathbf{j}\}$ pies/s^2. Esto hace que la rapidez del pistón se reduzca hasta que AB está casi vertical, momento en el cual el pistón está momentáneamente en reposo.