

03_solido_rigido_cinematica

June 19, 2026

1 Apendice Tema 2 - Cinematica del Solido Rigido

Teoria de Maquinas y Mecanismos - 2o GIERM

1.1 Objetivos de aprendizaje

- Comprender la **condicion cinematica de rigidez** y su formulacion en velocidades y aceleraciones
- Demostrar y aplicar el **Teorema de Chasles** ($\vec{v}_{21}^P = \vec{v}_{21}^O + \vec{\omega}_{21} \wedge \overrightarrow{OP}$)
- Derivar las **formulas de Poisson** para la derivada de vectores unitarios en ejes moviles
- Calcular la **derivada de un vector** expresado en un sistema de referencia movil
- Aplicar la **composicion de movimientos relativos** en velocidades y aceleraciones
- Identificar y calcular la **aceleracion de Coriolis** ($2\vec{\omega}_{21} \wedge \vec{v}_{32}^P$)
- Resolver ejercicios de cinematica del solido rigido plano

Configuracion y helpers de dibujo cargados.

1.2 1. Formulario del Tema

Concepto	Formula	Notas
Condicion de rigidez	$ \vec{r}_{21}^P - \vec{r}_{21}^O ^2 = \text{cte}$	Distancia entre dos puntos del solido constante
Campo de velocidades	$(\vec{r}_{21}^P - \vec{r}_{21}^O) \cdot (\vec{v}_{21}^P - \vec{v}_{21}^O) = 0$	Campo equiproyectivo
Teorema de Chasles	$\vec{v}_{21}^P = \vec{v}_{21}^O + \vec{\omega}_{21} \wedge \overrightarrow{OP}$	Traslacion + rotacion
Formulas de Poisson	$\frac{d\vec{i}_2}{dt} = \vec{\omega}_{21} \wedge \vec{i}_2$, idem $\vec{j}_2, \vec{k}_2$	Derivada de vectores unitarios del triedro movil
Derivada en ejes moviles	$\left. \frac{d\vec{A}}{dt} \right _1 = \left. \frac{d\vec{A}}{dt} \right _2 + \vec{\omega}_{21} \wedge \vec{A}$	Relacion derivada absoluta/relativa
Aceleracion del SR	$\vec{a}_{21}^P = \vec{a}_{21}^O + \vec{\alpha}_{21} \wedge \overrightarrow{OP} + \vec{\omega}_{21} \wedge (\vec{\omega}_{21} \wedge \overrightarrow{OP})$	Tangencial + centripeta
Caso plano	$\vec{a}_{21}^P = \vec{a}_{21}^O + \vec{\alpha}_{21} \wedge \overrightarrow{OP} - \omega_{21}^2 \overrightarrow{OP}$	BAC-CAB simplificado
Composicion velocidades	$\vec{v}_{31}^P = \vec{v}_{32}^P + \vec{v}_{21}^P$	Mov. relativo

Concepto	Formula	Notas
Composicion omega	$\vec{\omega}_{31} = \vec{\omega}_{32} + \vec{\omega}_{21}$	(tambien $\omega_{ij} = \omega_{ik} + \omega_{kj}$)
Composicion aceleraciones	$\vec{a}_{31}^P = \vec{a}_{32}^P + \vec{a}_{21}^P + 2\vec{\omega}_{21} \wedge \vec{v}_{32}^P$	Incluye Coriolis
Composicion alpha	$\vec{\alpha}_{ij} = \vec{\alpha}_{ik} + \vec{\alpha}_{kj}$	Se suma directamente

1.3 2. Condicion cinematica de rigidez

Un **solido rigido** es aquel en el que la distancia entre cualesquiera dos de sus puntos permanece constante a lo largo del tiempo.

Sean O y P dos puntos cualesquiera del solido (cuerpo 2) moviendose respecto al sistema de referencia 1:

$$|\overrightarrow{OP}|^2 = (\vec{r}_{21}^P - \vec{r}_{21}^O) \cdot (\vec{r}_{21}^P - \vec{r}_{21}^O) = \text{constante}$$

Derivando respecto al tiempo:

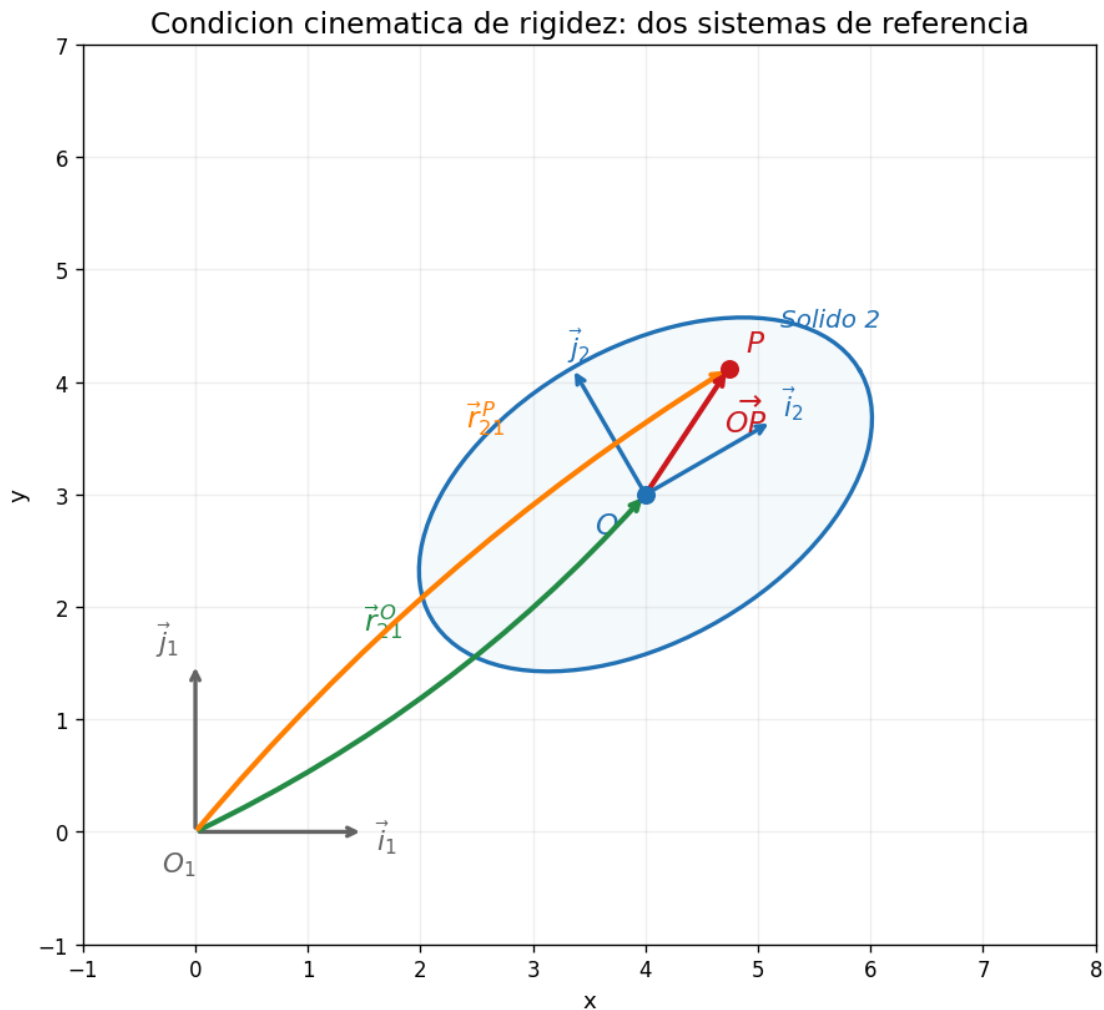
$$\frac{d}{dt}|\overrightarrow{OP}|^2 = 2(\vec{r}_{21}^P - \vec{r}_{21}^O) \cdot (\vec{v}_{21}^P - \vec{v}_{21}^O) = 0$$

Es decir:

$$\overrightarrow{OP} \cdot (\vec{v}_{21}^P - \vec{v}_{21}^O) = 0$$

Esto significa que la diferencia de velocidades entre dos puntos del solido es **perpendicular** al segmento que los une. Dicho de otra forma, las proyecciones de las velocidades de O y P sobre la recta OP son iguales: el campo de velocidades es **equiproyectivo**.

Campo equiproyectivo: Para todo par de puntos O, P del solido rigido, la proyeccion de $\vec{v}_O$ sobre $\overrightarrow{OP}$ es igual a la proyeccion de $\vec{v}_P$ sobre $\overrightarrow{OP}$.



1.4 3. Teorema de Chasles

El campo equiproyectivo tiene una estructura matematica concreta. Se puede demostrar que existe un unico vector $\vec{\omega}_{21}$ (la **velocidad angular**) tal que para todo punto P del solido:

$$\vec{v}_{21}^P = \vec{v}_{21}^O + \vec{\omega}_{21} \wedge \overrightarrow{OP}$$

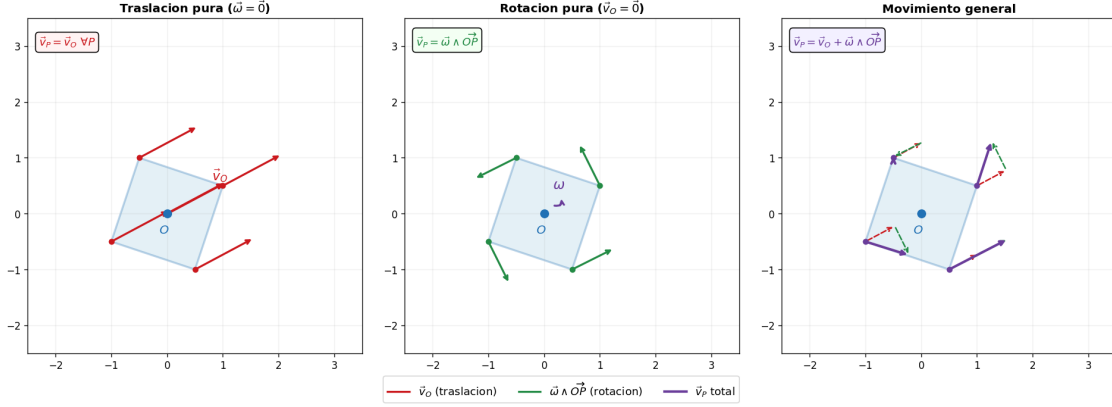
Esto descompone el movimiento de cualquier punto en:

1. **Traslacion** con la velocidad del punto de referencia O : $\vec{v}_{21}^O$
2. **Rotacion** alrededor de O : $\vec{\omega}_{21} \wedge \overrightarrow{OP}$

1.4.1 Propiedades importantes

- $\vec{\omega}_{21}$ es **independiente** del punto de referencia O elegido

- En movimiento plano: $\vec{\omega}_{21} = \omega_{21} \vec{k}$ (perpendicular al plano)
- Si $\vec{\omega}_{21} = \vec{0}$: movimiento de **traslacion pura** (todas las velocidades iguales)
- Si $\vec{v}_O^O = \vec{0}$: movimiento de **rotacion pura** alrededor de O



1.5 4. Formulas de Poisson

Sea $\{\vec{i}_2, \vec{j}_2, \vec{k}_2\}$ un triedro solidario al cuerpo 2 (sistema de referencia movil). Como los vectores unitarios tienen modulo constante, podemos aplicar la condicion de rigidez:

Consideramos $\vec{i}_2$ como el vector posicion de un punto del solido a distancia unidad del origen. Aplicando Chasles con $\vec{v}_O = 0$:

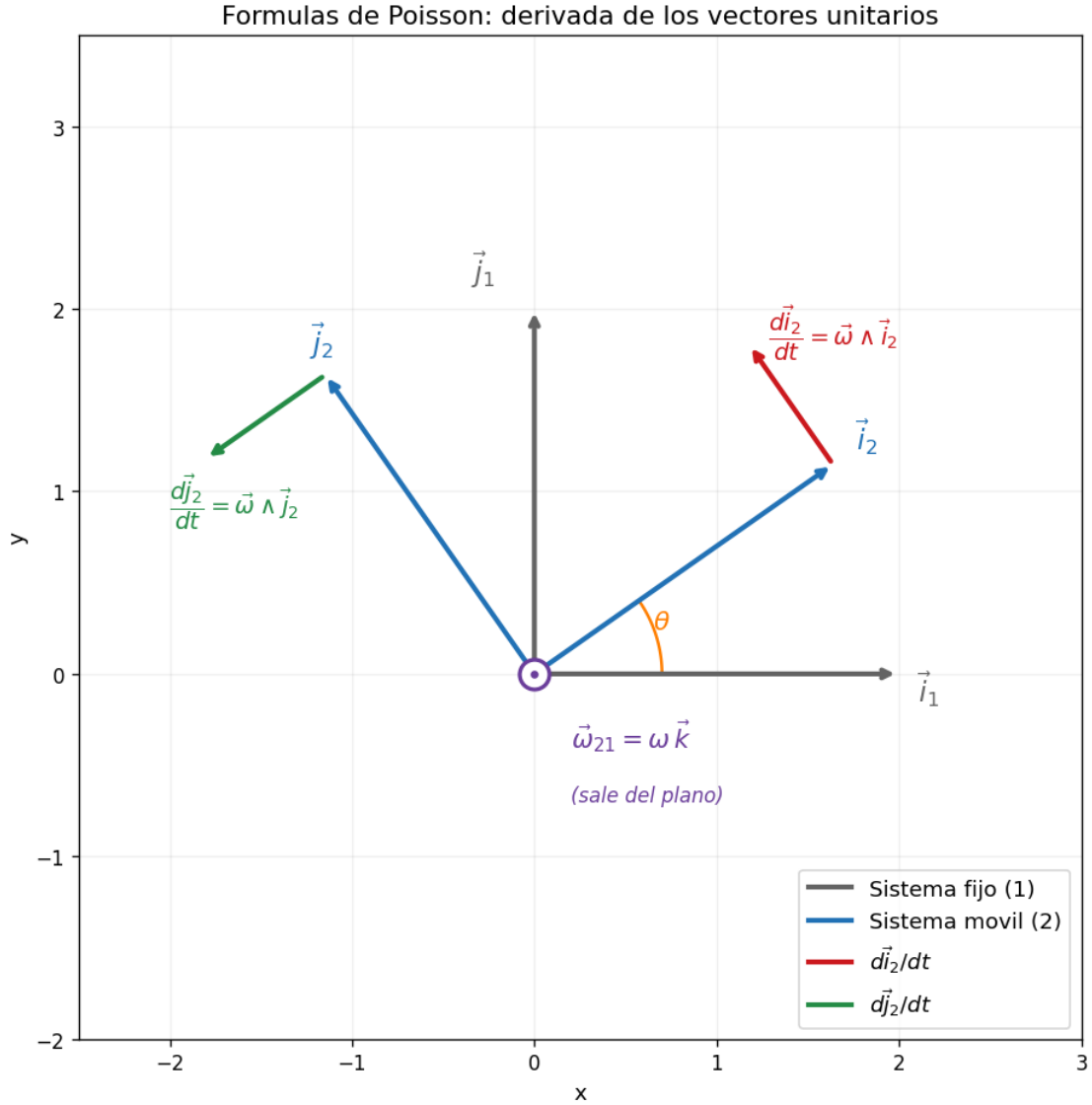
$$\frac{d\vec{i}_2}{dt} = \vec{\omega}_{21} \wedge \vec{i}_2$$

$$\frac{d\vec{j}_2}{dt} = \vec{\omega}_{21} \wedge \vec{j}_2$$

$$\frac{d\vec{k}_2}{dt} = \vec{\omega}_{21} \wedge \vec{k}_2$$

1.5.1 Interpretacion

Las **formulas de Poisson** expresan como cambian los vectores unitarios del triedro movil para un observador en el sistema fijo. Cada vector unitario “gira” alrededor de $\vec{\omega}_{21}$ con velocidad angular $|\vec{\omega}_{21}|$.



1.6 5. Derivada de un vector en ejes moviles

Sea un vector $\vec{A}$ expresado en componentes del sistema movil 2:

$$\vec{A} = A_1 \vec{i}_2 + A_2 \vec{j}_2 + A_3 \vec{k}_2$$

Su derivada temporal vista desde el sistema fijo 1:

$$\left. \frac{d\vec{A}}{dt} \right|_1 = \dot{A}_1 \vec{i}_2 + \dot{A}_2 \vec{j}_2 + \dot{A}_3 \vec{k}_2 + A_1 \frac{d\vec{i}_2}{dt} + A_2 \frac{d\vec{j}_2}{dt} + A_3 \frac{d\vec{k}_2}{dt}$$

Usando las formulas de Poisson:

$$\left. \frac{d\vec{A}}{dt} \right|_1 = \underbrace{\dot{A}_1 \vec{i}_2 + \dot{A}_2 \vec{j}_2 + \dot{A}_3 \vec{k}_2}_{\left. \frac{d\vec{A}}{dt} \right|_2} + \vec{\omega}_{21} \wedge \underbrace{(A_1 \vec{i}_2 + A_2 \vec{j}_2 + A_3 \vec{k}_2)}_{\vec{A}}$$

$$\boxed{\left. \frac{d\vec{A}}{dt} \right|_1 = \left. \frac{d\vec{A}}{dt} \right|_2 + \vec{\omega}_{21} \wedge \vec{A}}$$

Interpretacion: La derivada absoluta = derivada relativa (cambio de componentes) + arrastre (rotacion del triedro).

Nota: Si $\vec{A}$ es solidario al cuerpo 2 (componentes constantes en 2): $\left. \frac{d\vec{A}}{dt} \right|_2 = \vec{0}$, y se recupera la formula de Chasles.

1.7 6. Condicion de rigidez en aceleraciones

Derivando la expresion de Chasles:

$$\vec{v}_{21}^P = \vec{v}_{21}^O + \vec{\omega}_{21} \wedge \overrightarrow{OP}$$

$$\vec{a}_{21}^P = \vec{a}_{21}^O + \frac{d\vec{\omega}_{21}}{dt} \wedge \overrightarrow{OP} + \vec{\omega}_{21} \wedge \frac{d\overrightarrow{OP}}{dt}$$

Dado que $\overrightarrow{OP}$ es solidario al solido: $\frac{d\overrightarrow{OP}}{dt} = \vec{\omega}_{21} \wedge \overrightarrow{OP}$

$$\boxed{\vec{a}_{21}^P = \vec{a}_{21}^O + \vec{\alpha}_{21} \wedge \overrightarrow{OP} + \vec{\omega}_{21} \wedge (\vec{\omega}_{21} \wedge \overrightarrow{OP})}$$

donde $\vec{\alpha}_{21} = \frac{d\vec{\omega}_{21}}{dt}$ es la **aceleracion angular**.

1.7.1 Descomposicion de la aceleracion

Termino	Nombre	Direccion
$\vec{a}_{21}^O$	Aceleracion del punto de referencia	Depende del problema
$\vec{\alpha}_{21} \wedge \overrightarrow{OP}$	Aceleracion tangencial	Perpendicular a $\overrightarrow{OP}$
$\vec{\omega}_{21} \wedge (\vec{\omega}_{21} \wedge \overrightarrow{OP})$	Aceleracion centripeta	Dirigida de P hacia O

1.7.2 Caso plano

En movimiento plano, usando la identidad BAC-CAB: $\vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \overrightarrow{OP}) = -\omega^2 \overrightarrow{OP}$

$$\boxed{\vec{a}_{21}^P = \vec{a}_{21}^O + \vec{\alpha}_{21} \wedge \overrightarrow{OP} - \omega_{21}^2 \overrightarrow{OP}}$$

1.8 7. Movimiento relativo - Velocidades

Consideremos tres cuerpos (o sistemas de referencia): 1, 2 y 3. Para un punto P :

- $\vec{v}_{31}^P$: velocidad de P del cuerpo 3 vista desde 1 (**velocidad absoluta**)
- $\vec{v}_{32}^P$: velocidad de P del cuerpo 3 vista desde 2 (**velocidad relativa**)
- $\vec{v}_{21}^P$: velocidad del punto de 2 coincidente con P vista desde 1 (**velocidad de arrastre**)

La composicion de velocidades establece:

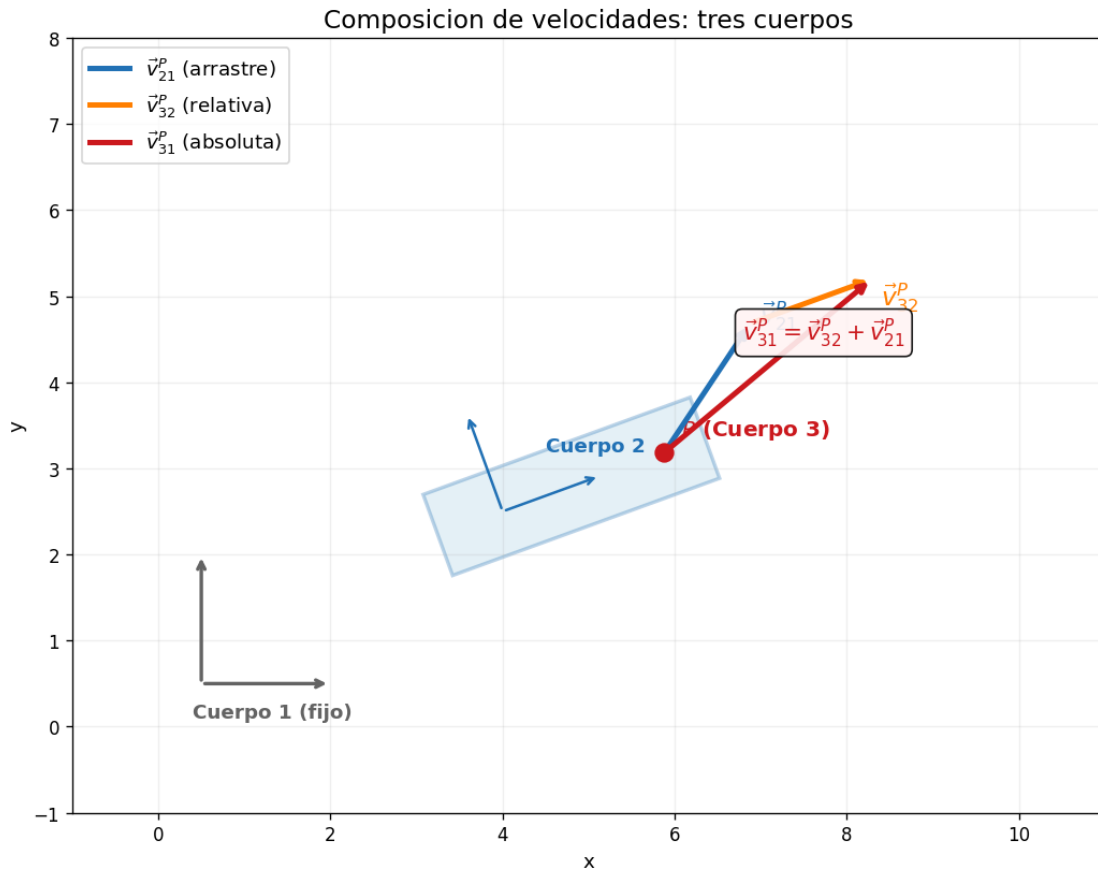
$$\boxed{\vec{v}_{31}^P = \vec{v}_{32}^P + \vec{v}_{21}^P}$$

O equivalentemente: **velocidad absoluta = velocidad relativa + velocidad de arrastre.**

1.8.1 Generalizacion

La composicion se extiende a cualquier numero de cuerpos intermedios. Por ejemplo, con 4 cuerpos:

$$\vec{v}_{41}^P = \vec{v}_{43}^P + \vec{v}_{32}^P + \vec{v}_{21}^P$$



1.9 8. Movimiento relativo - Velocidades angulares

Las velocidades angulares tambien se componen por suma vectorial:

$$\vec{\omega}_{31} = \vec{\omega}_{32} + \vec{\omega}_{21}$$

1.9.1 Propiedad de indices

La regla general es que los indices intermedios se “cancelan”:

$$\vec{\omega}_{ij} = \vec{\omega}_{ik} + \vec{\omega}_{kj}$$

1.9.2 Propiedad antisimetrica

$$\vec{\omega}_{ij} = -\vec{\omega}_{ji}$$

1.9.3 Ejemplo con multiples cuerpos

Para un tren de engranajes con 4 ruedas:

$$\vec{\omega}_{41} = \vec{\omega}_{43} + \vec{\omega}_{32} + \vec{\omega}_{21}$$

1.10 9. Movimiento relativo - Aceleraciones

La composicion de aceleraciones introduce un termino adicional respecto a la de velocidades:

$$\vec{a}_{31}^P = \vec{a}_{32}^P + \vec{a}_{21}^P + 2\vec{\omega}_{21} \wedge \vec{v}_{32}^P$$

El termino adicional $2\vec{\omega}_{21} \wedge \vec{v}_{32}^P$ es la **aceleracion de Coriolis**.

1.10.1 Desglose de cada termino

Termino	Nombre	Descripcion
$\vec{a}_{31}^P$	Aceleracion absoluta	Aceleracion de P del cuerpo 3 vista desde 1
$\vec{a}_{32}^P$	Aceleracion relativa	Aceleracion de P del cuerpo 3 vista desde 2
$\vec{a}_{21}^P$	Aceleracion de arrastre	Aceleracion del punto de 2 coincidente con P vista desde 1
$2\vec{\omega}_{21} \wedge \vec{v}_{32}^P$	Aceleracion de Coriolis	Aparece cuando hay rotacion relativa Y velocidad relativa

1.10.2 Composicion de aceleraciones angulares

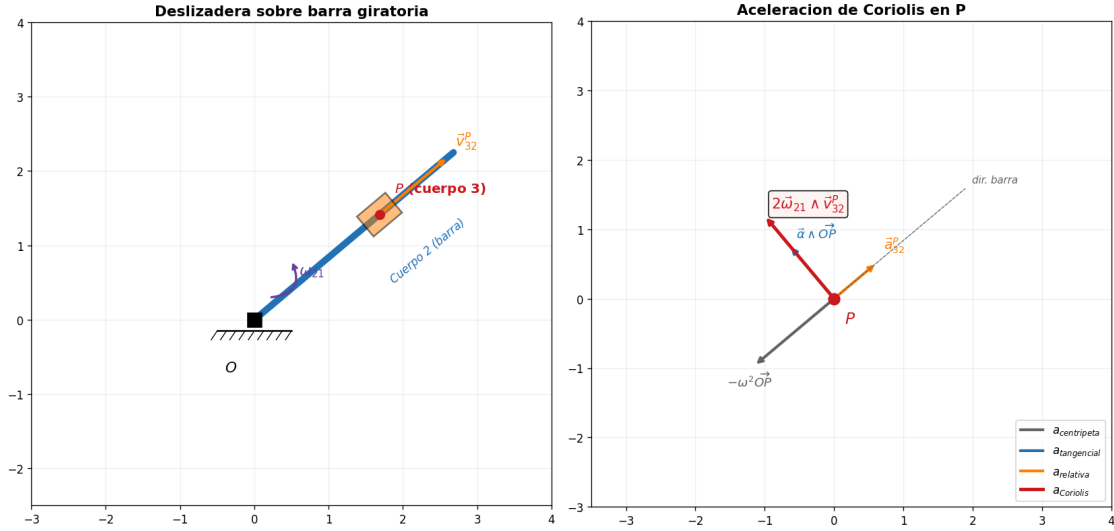
$$\vec{\alpha}_{ij} = \vec{\alpha}_{ik} + \vec{\alpha}_{kj}$$

Atencion: la aceleracion angular se compone por suma directa (sin termino de Coriolis), pero solo en el caso plano. En el caso espacial hay un termino adicional $\vec{\omega}_{21} \wedge \vec{\omega}_{32}$.

1.10.3 Cuando aparece Coriolis?

La aceleracion de Coriolis es **no nula** cuando se cumplen simultaneamente: 1. El cuerpo 2 **rota** respecto a 1 ($\vec{\omega}_{21} \neq \vec{0}$) 2. El punto P del cuerpo 3 tiene **velocidad relativa** respecto a 2 ($\vec{v}_{32}^P \neq \vec{0}$)

Su direccion es **perpendicular** tanto a $\vec{\omega}_{21}$ como a $\vec{v}_{32}^P$.



1.11 10. Ejercicios resueltos

1.11.1 Ejercicio 1: Velocidades en una barra en rotacion

Una barra OA de longitud $L = 0.5$ m gira alrededor de O con $\omega_{21} = 4$ rad/s y $\alpha_{21} = 2$ rad/s². Calcular la velocidad y aceleracion del extremo A .

Datos: O fijo, $L = 0.5$ m, $\omega = 4$ rad/s, $\alpha = 2$ rad/s², $\theta = 30^\circ$.

Solucion:

Como O es fijo: $\vec{v}_{21}^O = \vec{0}$ y $\vec{a}_{21}^O = \vec{0}$

Velocidad de A (Chasles):

$$\vec{v}_A = \vec{\omega} \wedge \overrightarrow{OA} = \omega \cdot L = 4 \times 0.5 = 2 \text{ m/s}$$

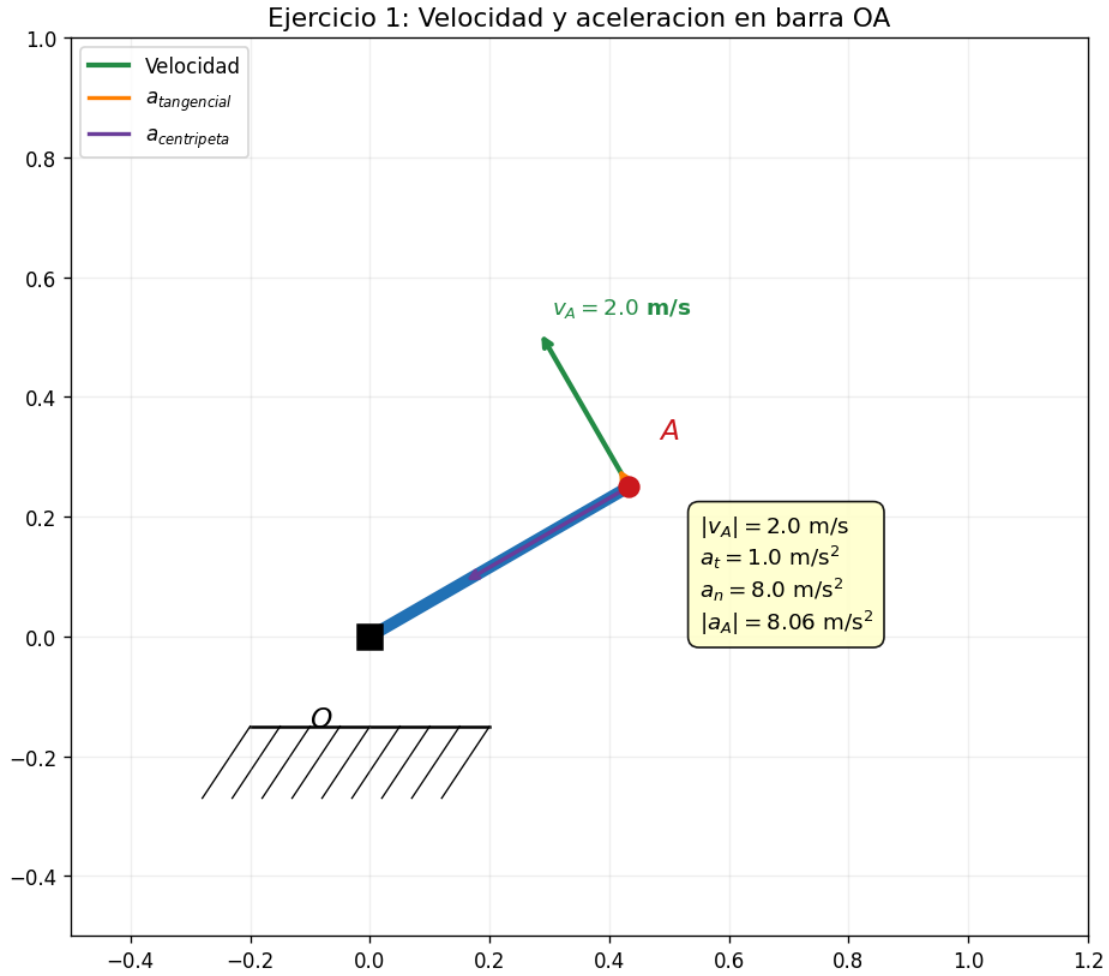
Direccion: perpendicular a OA .

Aceleracion de A:

$$a_t = \alpha \cdot L = 2 \times 0.5 = 1 \text{ m/s}^2 \quad (\text{tangencial})$$

$$a_n = \omega^2 \cdot L = 16 \times 0.5 = 8 \text{ m/s}^2 \quad (\text{centripeta})$$

$$|\vec{a}_A| = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = \sqrt{1 + 64} = \sqrt{65} \approx 8.06 \text{ m/s}^2$$



1.11.2 Ejercicio 2: Derivada de un vector en ejes móviles

Un disco gira con $\omega_{21} = 3 \text{ rad/s}$ (constante). Un vector $\vec{A}$ expresado en el sistema móvil tiene componentes $\vec{A} = (2t)\vec{i}_2 + (3)\vec{j}_2$. Calcular $\left. \frac{d\vec{A}}{dt} \right|_1$ en $t = 1 \text{ s}$ cuando el disco está en $\theta = 0$.

Solucion:

En $t = 1 \text{ s}$, $\theta = \omega \cdot t = 3 \text{ rad}$, $\vec{A} = 2\vec{i}_2 + 3\vec{j}_2$

$$\left. \frac{d\vec{A}}{dt} \right|_2 = \dot{A}_1 \vec{i}_2 + \dot{A}_2 \vec{j}_2 = 2\vec{i}_2 + 0\vec{j}_2 = 2\vec{i}_2$$

$$\vec{\omega}_{21} \wedge \vec{A} = 3\vec{k} \wedge (2\vec{i}_2 + 3\vec{j}_2) = 6\vec{j}_2 - 9\vec{i}_2$$

$$\left. \frac{d\vec{A}}{dt} \right|_1 = (2 - 9)\vec{i}_2 + (0 + 6)\vec{j}_2 = -7\vec{i}_2 + 6\vec{j}_2$$

$$\left| \left. \frac{d\vec{A}}{dt} \right|_1 \right| = \sqrt{49 + 36} = \sqrt{85} \approx 9.22$$

1.11.3 Ejercicio 3: Aceleracion de Coriolis - deslizadera sobre barra giratoria

Una barra OB gira alrededor de O con $\omega_{21} = 5$ rad/s (constante, $\alpha_{21} = 0$). Una deslizadera P (cuerpo 3) se mueve a lo largo de la barra con velocidad relativa $v_{32} = 0.4$ m/s y aceleracion relativa $a_{32} = 0.1$ m/s² (ambas hacia fuera). En el instante analizado, P esta a $r = 0.3$ m de O y $\theta = 45^\circ$.

Calcular la aceleracion absoluta $\vec{a}_{31}^P$.

Solucion:

Usando $\vec{a}_{31}^P = \vec{a}_{32}^P + \vec{a}_{21}^P + 2\vec{\omega}_{21} \wedge \vec{v}_{32}^P$:

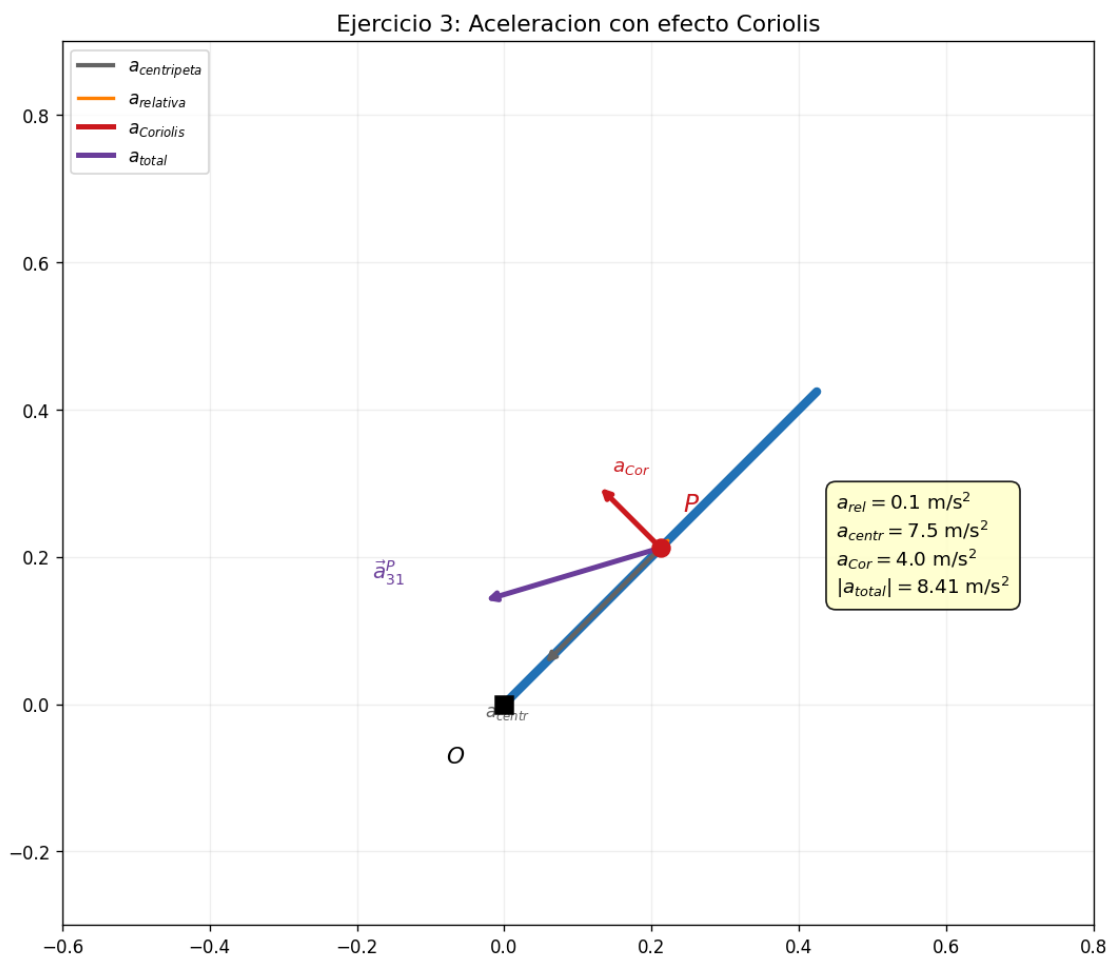
1. **Aceleracion relativa:** $\vec{a}_{32}^P = 0.1\vec{u}_r$ (a lo largo de la barra)

2. **Aceleracion de arrastre:**

- Tangencial: $\alpha \times r = 0$ (omega constante)
- Centripeta: $\omega^2 \times r = 25 \times 0.3 = 7.5$ m/s² (hacia O)
- $\vec{a}_{21}^P = -7.5\vec{u}_r$

3. **Coriolis:** $2\omega_{21} \cdot v_{32} = 2 \times 5 \times 0.4 = 4.0$ m/s² (perpendicular a la barra)

Componentes en el sistema de la barra ($\vec{u}_r, \vec{u}_\theta$): - Radial: $a_r = 0.1 - 7.5 = -7.4$ m/s² - Tangencial: $a_\theta = 0 + 4.0 = 4.0$ m/s² - $|\vec{a}_{31}^P| = \sqrt{7.4^2 + 4.0^2} = \sqrt{70.76} \approx 8.41$ m/s²



1.12 11. Catalogo de ejercicios

1.12.1 Tipo A: Formulas de Poisson y derivadas en ejes moviles

A1. Un sistema de referencia 2 gira respecto al fijo con $\omega_{21} = 2 \text{ rad/s}$ (constante). Un vector $\vec{B} = t^2 \vec{i}_2 + (1-t) \vec{j}_2$ esta definido en componentes del sistema movil. Calcular $\left. \frac{d\vec{B}}{dt} \right|_1$ en $t = 2 \text{ s}$.

Pista: Aplicar $\left. \frac{d\vec{B}}{dt} \right|_1 = \left. \frac{d\vec{B}}{dt} \right|_2 + \vec{\omega}_{21} \wedge \vec{B}$. Resultado: $(-2) \vec{i}_2 + (8+1) \vec{j}_2$.

A2. Un vector unitario $\vec{u}$ rota con velocidad angular $\omega = 6 \text{ rad/s}$. Calcular $|d\vec{u}/dt|$. (Respuesta: $|d\vec{u}/dt| = \omega = 6 \text{ rad/s}$, perpendicular a $\vec{u}$.)

1.12.2 Tipo B: Aceleracion de Coriolis

B1. En una maquina de ranura, un pin (cuerpo 3) se mueve en una ranura de un disco giratorio (cuerpo 2). El disco gira con $\omega_{21} = 10 \text{ rad/s}$ y $\alpha_{21} = -2 \text{ rad/s}^2$. En el instante analizado, el pin esta a $r = 0.15 \text{ m}$ del centro con velocidad relativa $v_{32} = 0.6 \text{ m/s}$ y aceleracion relativa $a_{32} = -0.3 \text{ m/s}^2$ (hacia dentro). Determinar $\vec{a}_{31}^P$.

Pista: No olvidar la aceleracion tangencial de arrastre ($\alpha \neq 0$). Coriolis = $2 \times 10 \times 0.6 = 12 \text{ m/s}^2$.

B2. Una persona camina radialmente hacia fuera a $v = 1.5 \text{ m/s}$ sobre un tiiovivo que gira a $\omega = 2 \text{ rad/s}$. A que distancia del centro la aceleracion de Coriolis iguala a la centripeta?

Pista: $2\omega v = \omega^2 r \Rightarrow r = 2v/\omega$. Resultado: $r = 1.5 \text{ m}$.

1.12.3 Tipo C: Movimiento relativo completo

C1. En un mecanismo biela-manivela, la manivela OA (cuerpo 2) gira con $\omega_{21} = 100 \text{ rpm}$ constante. La biela AB (cuerpo 3) conecta A con la corredera B (cuerpo 4). Longitudes: $OA = 0.05 \text{ m}$, $AB = 0.15 \text{ m}$. Cuando $\theta_{OA} = 90^\circ$, calcular: - $\vec{v}_B$ y ω_{31} usando composicion de velocidades - $\vec{a}_B$ incluyendo todos los terminos de composicion

C2. Dos discos concentricos giran: el disco interior (2) con $\omega_{21} = 3 \text{ rad/s}$, el disco exterior (3) con $\omega_{31} = 5 \text{ rad/s}$ (ambos respecto al suelo). Un punto P esta en el borde del disco exterior a distancia $R = 0.2 \text{ m}$ del centro. Calcular $\vec{v}_{32}^P$ y $\vec{a}_{32}^P$.

Pista: $\omega_{32} = \omega_{31} - \omega_{21} = 2 \text{ rad/s}$.

1.13 12. Resumen y formulas clave

1.13.1 Cinematica del solido rigido

#	Formula	Nombre
1	$\vec{OP} \cdot (\vec{v}_P - \vec{v}_O) = 0$	Condicion de rigidez (velocidades)
2	$\vec{v}_{21}^P = \vec{v}_{21}^O + \vec{\omega}_{21} \wedge \vec{OP}$	Teorema de Chasles
3	$\frac{d\vec{i}_2}{dt} = \vec{\omega}_{21} \wedge \vec{i}_2$	Formulas de Poisson
4	$\left. \frac{d\vec{A}}{dt} \right _1 = \left. \frac{d\vec{A}}{dt} \right _2 + \vec{\omega}_{21} \wedge \vec{A}$	Derivada en ejes moviles
5	$\vec{a}_{21}^P = \vec{a}_{21}^O + \vec{\alpha}_{21} \wedge \vec{OP} + \vec{\omega}_{21} \wedge (\vec{\omega}_{21} \wedge \vec{OP})$	Aceleracion del solido rigido
6	$\vec{a}_{21}^P = \vec{a}_{21}^O + \vec{\alpha}_{21} \wedge \vec{OP} - \omega_{21}^2 \vec{OP}$	Caso plano (BAC-CAB)

1.13.2 Movimiento relativo

#	Formula	Nombre
7	$\vec{v}_{31}^P = \vec{v}_{32}^P + \vec{v}_{21}^P$	Composicion de velocidades
8	$\vec{\omega}_{31} = \vec{\omega}_{32} + \vec{\omega}_{21}$	Composicion de omega

#	Formula	Nombre
9	$\vec{a}_{31}^P = \vec{a}_{32}^P + \vec{a}_{21}^P + 2\vec{\omega}_{21} \wedge \vec{v}_{32}^P$	Composicion de aceleraciones (con Coriolis)
10	$\vec{\alpha}_{ij} = \vec{\alpha}_{ik} + \vec{\alpha}_{kj}$	Composicion de alpha (plano)

1.13.3 Reglas mnemotecnicas

- **Velocidad absoluta** = relativa + arrastre
- **Aceleracion absoluta** = relativa + arrastre + **Coriolis**
- Coriolis aparece cuando hay **rotacion del sistema intermedio Y velocidad relativa**
- La aceleracion de Coriolis es **perpendicular** a la velocidad relativa
- En el caso plano: centripeta = $-\omega^2 \overrightarrow{OP}$ (simplificacion BAC-CAB)
- Los indices de omega se “cancelan”: $\omega_{ij} = \omega_{ik} + \omega_{kj}$
- Antisimetria: $\omega_{ij} = -\omega_{ji}$