

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y MECATRÓNICA

Principios de Dinámica
Mecanismo de avance intermitente

Oscar Iván Rojas Balcázar
Diego Alejandro Chacón Rangel
Juan Sebastián Dueñas Salamanca
Andrés Felipe Rivera Torres

Presentado a:
Prof. Nelson Arzola de la Peña

Bogotá D.C 5 de junio de 2019

Índice

	Página
1 Resumen	3
2 Fundamentación Teórica	3
2.1 Contexto	3
2.2 Mecanismo de 4 barras	4
2.3 Materiales	5
2.3.1 Madera (MDF)	5
2.3.2 Acrílico	6
2.4 Motores	6
2.5 Poleas	7
2.6 Elaboración(Proceso de manufactura)	8
2.6.1 Corte Laser	8
2.6.2 Impresión 3d	8
3 Fase de diseño conceptual	8
3.1 Planteamiento del problema	8
3.2 Análisis Dimensional	8
3.3 Análisis Cinemático	9
4 Anexo	12
4.1 Código	12
5 Referencias	14

1. Resumen

Este proyecto de mecanismos planos se fundamenta en el estudio del movimiento en un cuerpo rígido; a partir de estas herramientas matemáticas y de la necesidad de transportar objetos selectivamente en una cadena de producción, elaboramos este producto funcional, enfocado a la industria, en el cuál se observaran todos los pasos de diseño y fabricación del mecanismo; análisis, diseño, desarrollo y finalmente los resultados obtenidos.

2. Fundamentación Teórica

2.1. Contexto

En muchas industrias se utilizan métodos de *Líneas de producción* en las cuales de manera automática (en este caso) se transportan los insumos para cada parte del ensamblaje del producto; de esta manera el mecanismo de transporte juega un papel fundamental para llevar el ritmo y la sincronicidad en la manufactura del producto. En la industria podemos observar diferentes formas para transportar los objetos, frecuentemente se suelen utilizar *bandas transportadoras y rodillos* Fig(1a) y Fig(1b)

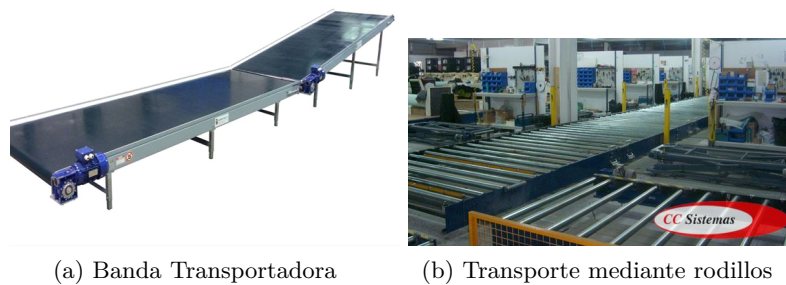


Figura 1: Formas comunes de transporte

Para que una banda transportadora debe tener las siguientes características:

1. Gran velocidad: Dependiendo del tipo de producción deberá tener una gran capacidad de transportar los objetos en un tiempo determinado, algunas empresas usan el método *leadtime* lo que requiere que la velocidad de producción sea variable.
2. Capacidad de recorrer diferentes distancias: Muchas industrias como en el caso de las extractoras requieren de transportar materia prima por muchas distancias y en diferentes etapas.
3. Resistencia: Para mejorar la calidad de transporte, debemos garantizar el buen estado y la llegada del material requerido.
4. Diseñadas para usos específicos: Muchos de los objetos que se necesitan transportar tienen características y geometrías diferentes.

En comparativa el mecanismo de transporte propuesto tiene un concepto diferente a los comunes; éste mecanismo se enfoca en el transporte de materiales específicos de manera selectiva y con un ritmo constante, en el caso del prototipo transportamos objetos con geometría rectangular; sin embargo se puede modificar para transportar objetos con geometría específica; un ejemplo común sería el transporte de maletas en el aeropuerto, esto evitaría la pérdida de maletas.

2.2. Mecanismo de 4 barras

Es un mecanismo formado por tres barras móviles y una cuarta barra fija (por ejemplo, el suelo), unidas mediante nudos articulados. Las barras móviles están unidas a la fija mediante pivotes.

Para el estudio de mecanismos de 4 barras se tiene que entender la LEY DE GRASHOF

Esta ley establece, para el mecanismo de 4 barras, que la condición necesaria para que al menos una barra del mecanismo pueda realizar giros completos respecto de otra, es:

Si $s + l < p + q$ entonces, al menos una barra del mecanismo podrá realizar giros completos

Donde s es la longitud de la barra más corta, l es la longitud de la barra más larga y p, q son las longitudes de las otras dos barras.

En los mecanismos que cumplen la ley de Grashof el accionamiento del mecanismo puede realizarse mediante un motor de giro continuo. Existen cuatro tipos diferentes de mecanismos de Grashof que cumplen la ley que son:

- Manivela - Balancín** El mecanismo manivela-balancín se obtiene cuando la barra más corta es una manivela. En este mecanismo esta manivela más corta realiza una rotación completa mientras que la otra barra articulada a tierra (barra estática) posee un movimiento de rotación alternativa (Balancín). En pocas palabras a este sistema le entra un movimiento rotativo y sale un movimiento de balancín

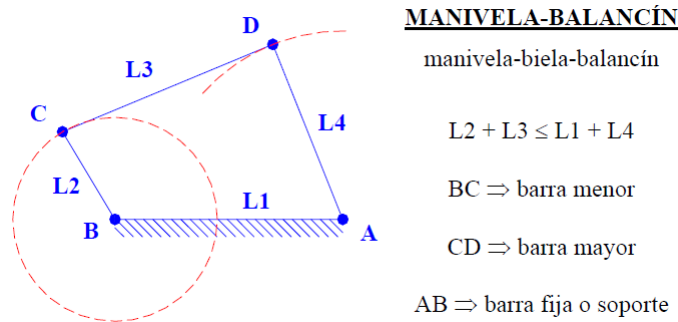


Figura 2: Manivela Balancín

- Doble Manivela** El mecanismo de doble manivela (o manivela - manivela) se obtiene cuando fijamos el eslabón más pequeño a tierra. En este caso los dos eslabones articulados al eslabón fijo realizan una rotación completa

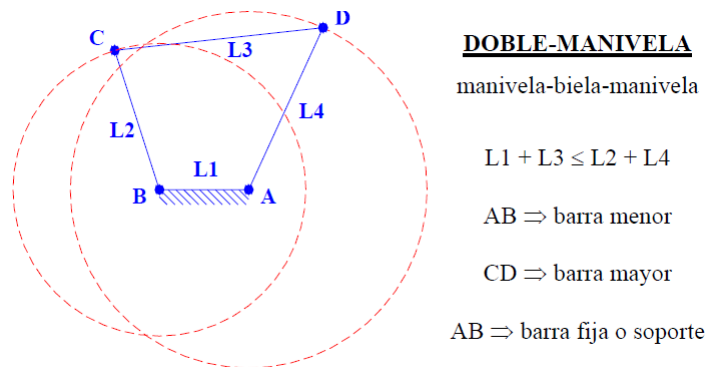


Figura 3: Doble Manivela

- Doble Balancín** El mecanismo de doble balancín (o balancín - balancín) se obtiene cuando el eslabón mas corto es el acoplador. Este mecanismo esta formado por dos eslabones que actúan como balancines acoplados a tierra o eslabón fijo.

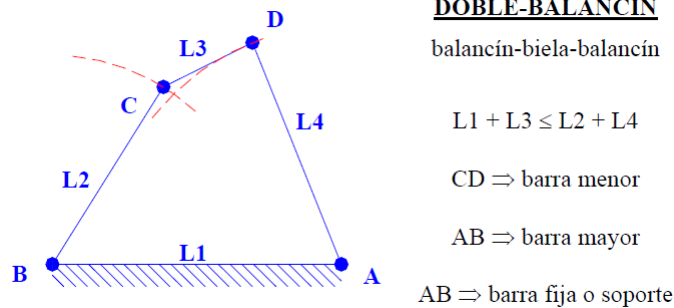
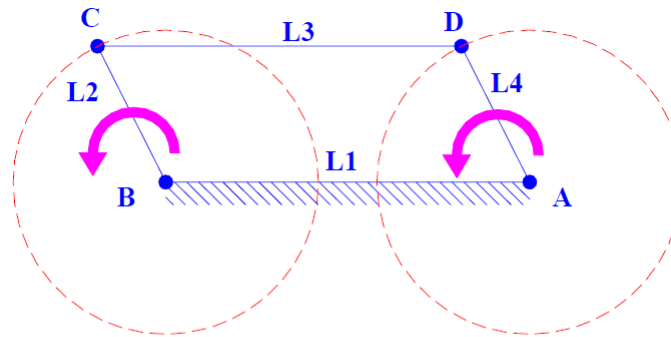


Figura 4: Doble Balancín

- Paralelogramo Articulado** Un mecanismo plegable ocurre cuando se cumple la ecuación $S+L=P+Q$. Es decir que en alguna posición los 4 eslabones van a quedar alineados. Cuando el mecanismo sale de la posición plegada puede tomar diferentes configuraciones



PARALELOGRAMO ARTICULADO
 $L1 + L2 = L3 + L4$ siendo $(L1 = L3)$ y $(L2 = L4)$
 BC y AD tienen el mismo sentido de giro

Figura 5: Paralelogramo Articulado

2.3. Materiales

Para la elaboración de este mecanismo se necesitan de diferentes materiales que se ajusten a los requerimientos del diseño, sin embargo para este prototipo podemos optar entre varias alternativas.

2.3.1. Madera (MDF)

Tablero de fibras de madera de densidad media, unidas mediante adhesivos urea-formaldehído en un proceso de prensado continuo a altas temperaturas, lo que le otorga excelentes propiedades físico-mecánicas y una gran calidad superficial. Sus características principales son:

- Superficie lisa y homogénea, fácil de pintar, enchapar y recubrir con laminados de alta presión y folios.

- Gran versatilidad de aplicaciones, que permite obtener excelentes terminaciones, con un importante ahorro de pintura y un menor desgaste de herramientas.
- Densidad y comportamiento uniforme, ideal para moldurar, curvar, fijar, fresar, entre otros.

Algunas de las propiedades para una pieza delgada de madera, las podemos encontrar en la fig 6

PROPIEDADES	MÉTODO DE REFERENCIA	UNIDAD	VALORES			TOLERANCIA
Espesor		mm	3	4	5,5	-
Densidad	EN 323	[kg/m ³]				
Flexión	EN 310	[N/mm ²]	820 ± 50	770 ± 40	730 ± 25	± 10
Tracción	EN 319	[N/mm ²]	1,00	1,00	1,00	± 0,20
Hinchamiento 24 horas	EN 317	[%]	Max.37	Max.35	Max.30	-
Formato		mm	1520 x 2440			

Figura 6: Propiedades Mecánicas[3]

Este material ofrece una muy buena resistencia y maquinabilidad para desarrollar el prototipo, además de brindar soporte, sin embargo hay opciones más versátiles, que se adecúan mejor al prototipo.

2.3.2. Acrílico

Tiene una gran variedad de aplicaciones como lo son: señalización, cubiertas, domos, protecciones en maquinaria, acuarios y piscinas, obras de arte entre otros; y ofrece características que se destacan frente a otros plásticos transparentes en cuanto a resistencia a la intemperie, transparencia y resistencia al rayado. En la fig 8 podemos ver las propiedades generales, en ellas podemos evidenciar que no es un material resistente como la madera; sin embargo para efectos del mecanismo no tenemos requerimientos específicos sobre la resistencia del material. El acrílico nos ofrece una solución sencilla y estética para la manufactura del prototipo, además de brindar resistencia a la intemperie.

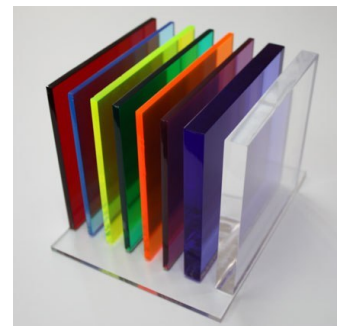


Figura 7: Láminas de acrílico

2.4. Motores

Para éste prototipo hemos optado usar un motor paso a paso, de esta manera poder controlar el giro del motor mediante un Arduino, además de poder realizar movimientos más precisos y detallar el movimiento del mecanismo; la referencia de el motor es NEMA 17 fig 9 cuyas características son:

- Peso: 285g (10 onzas)
- Pasos por revolución: 200
- Corriente: 1.68A por bobina
- Voltaje: 2.7 V
- Torque: 3.7Kg-cm (51 onzas-in)



Figura 9: Motor paso a paso NEMA 17

Propiedades mecánicas	UNIDADES	NORMAS ASTM	COLADO	EXTRUIDO	EXTRUIDO ALTO IMPACTO
Resistencia en el límite elástico	kg/cm2	D-638			
Resistencia a la rotura	kg/cm2	D-638	562-773	492-773	386
Elongación a la rotura	%	D-638	4,5	5,0	
Módulo de elasticidad	kg/cm2	D-638	24.600-31.000	23000-31.000	
Flexión					
Resistencia en el límite elástico o rotura	kg/cm2	D-790	840-1.300	740-1.300	562
Módulo de elasticidad	kg/cm2	D-790	27.500-33.400	22.800-32.300	17.500
Compresión					
Resistencia a la compresión (ruptura)	kg/cm2	D-695	773-1.330	740-1260	
Módulo de compresión	kg/cm2	D-695	27.500-33.300	26.000-32.300	
Impacto					
Resistencia al impacto IZOD	kg/cm2	D-256 A	1,9	2,4	6,52
Dureza					
Rockwell		D-795	M-80-M-100	M-68 M-105	R-99
Barcol		D-2583	50	50	35

Figura 8: Propiedades mecánicas del acrílico[4]

A partir de estas características se realiza el diseño y análisis del mecanismo; este motor va a estar ensamblado directamente a una polea, para esto el motor va a necesitar de un *buje universal* fig 10a.

2.5. Poleas

Para transmitir el movimiento principal de un punto a otro se requiere del uso de un sistema polea-correa fig 10b, de esta manera podemos implementar el diseño sin la necesidad de utilizar un segundo motor;



(a) Buje Universal (b) Sistema Correa-Polea

Figura 10: Buje universal - Poleas

2.6. Elaboración(Proceso de manufactura)

2.6.1. Corte Laser

Es una técnica empleada para cortar piezas de chapa caracterizada en que su fuente de energía es un láser que concentra luz en la superficie de trabajo. Para poder evacuar el material cortado es necesario el aporte de un gas a presión como por ejemplo oxígeno, nitrógeno o argón. Es especialmente adecuado para el corte previo y para el recorte de material sobrante pudiendo desarrollar contornos complicados en las piezas. Entre las principales ventajas de este tipo de fabricación de piezas se puede mencionar que no es necesario disponer de matrices de corte y permite efectuar ajustes de silueta. También entre sus ventajas se puede mencionar que el accionamiento es robotizado para poder mantener constante la distancia entre el electrodo y la superficie exterior de la pieza.[5]

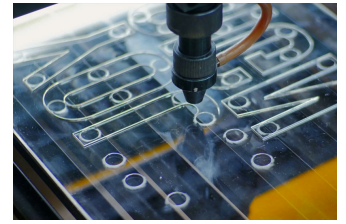


Figura 11: Corte laser

Debido a que es un método rápido, eficaz y con alta precisión nos ayuda a mejorar la calidad del mecanismo y a tener unos buenos acabados al finalizar el corte; además que el material escogido tiene dificultades a la hora de cortarse.

2.6.2. Impresión 3d

Es un grupo de tecnologías de fabricación por adición donde un objeto tridimensional es creado mediante la superposición de capas sucesivas de material.

Debido a algunas geometrías y especificaciones del diseño, se requiere del uso de esta tecnología para poder ajustar bien las barras entre ellas; además de ser muy versátil y dar soluciones rápidas a inconvenientes en el montaje.

3. Fase de diseño conceptual

3.1. Planteamiento del problema

Cotidianamente en las empresas nos encontramos con procesos de manufactura o producción en serie que requieren de actividades de empaquetamiento o inspección de calidad. El mecanismo que se propone en este documento, responde principalmente a dicha problemática, pues consiste en un sistema transportador de cajas intermitente, lo que significa que se ofrece un tiempo constante de espera para los objetos a transportar (controlado por las dimensiones del mecanismo o por las revoluciones por minuto del motor). El objetivo de este proyecto desarrollar un prototipo del mecanismo, con cálculos, dimensiones y simulaciones paramétricas, que nos permitan realizar una escala dependiendo de los objetos que se desean transportar, respondiendo así a las necesidades propias de cualquier empresa y permitiendo que este mecanismo sea adaptable a cualquier ambiente requerido.

3.2. Análisis Dimensional

Se realizó un análisis previo de las dimensiones del mecanismo que se va a desarrollar con el fin de poder utilizar los valores de radio de las barras y ángulos de rotación en el análisis cinemático. Además de esto se tuvo en cuenta las especificaciones de 80cm x 80cm, llegando a un diseño final de 30cm x 80cm, los cuales contemplan los movimientos rotatorios de las barras, conociendo sus elongaciones máximas y mínimas, con el fin de no tener problemas mecánicos al momento del ensamble. El mecanismo consta

de 6 barras que transmitirán el movimiento generado por 2 poleas, que a su vez son alimentadas por un motor. Las barras tienen como último objetivo el movimiento de una placa en la parte superior del mecanismo, la cuál inducirá un movimiento transversal en objetos que se encuentren en la parte superior. Las medidas de los componentes de las barras se presentan a continuación:

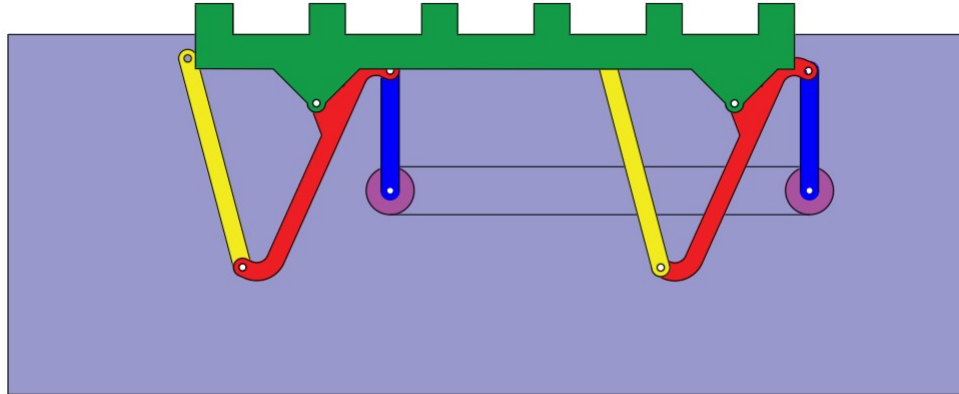


Figura 12: Diseño del mecanismo 2D

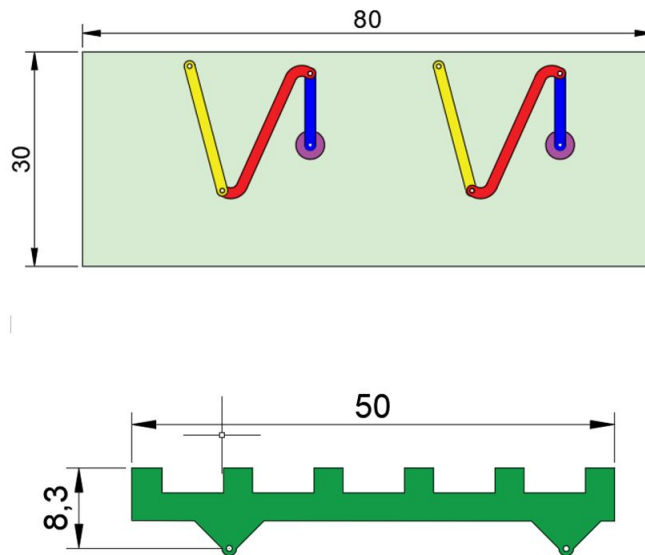


Figura 13: Partes y ensamblaje del mecanismo

3.3. Análisis Cinemático

El funcionamiento del mecanismo puede ser conocido mediante el análisis cinemático de un mecanismo de 4 barras como se ve en la figura formado por los puntos O, A, B y C. Los puntos O y C son fijos por lo que el vector no cambia su dirección por lo que su derivada es 0.

La suma vectorial de estas barras es una constante.

$$\vec{L}_A + \vec{L}_B + \vec{L}_C = cte \quad (1)$$

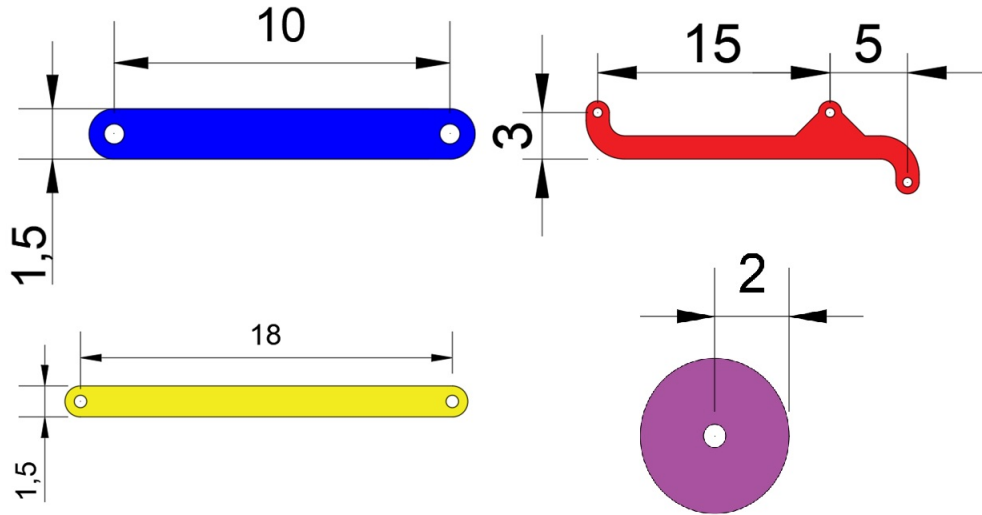


Figura 14: Dimensiones barras del mecanismo (cm)

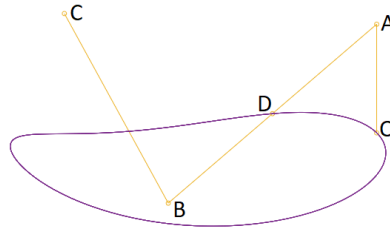


Figura 15: Diagrama de funcionamiento mecanismo 4 barras

Se deriva, llegando a un sistema de ecuaciones 2x2 cuyas incógnitas son las velocidades angulares de las Barras AB y BC.

$$\frac{d(\vec{L}_A)}{dt} + \frac{d(\vec{L}_B)}{dt} + \frac{d(\vec{L}_C)}{dt} = 0$$

$$\dot{\vec{L}}_A + \dot{\vec{L}}_B + \dot{\vec{L}}_C + 0 = 0$$

$$\dot{\vec{L}}_B + \dot{\vec{L}}_C = -\dot{\vec{L}}_A \quad (2)$$

$$[-y_B, x_B] * \omega_B + [-y_C, x_C] * \omega_C = [-y_A, x_A] * \omega_A$$

$$\begin{bmatrix} -y_B & -y_C \\ x_B & x_C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_B \\ \omega_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_A * \omega_A \\ -x_A * \omega_A \end{bmatrix}$$

Donde $x_A = LA * \cos(\theta_A)$ y $y_A = LA * \sin(\theta_A)$ y respectivamente para B y C.

Utilizando matriz inversa se resuelve el sistema de ecuaciones para hallar las velocidades angulares

de cada barra.

$$M * x = b \tag{3}$$

$$x = M^{-1} * b$$

Se vuelve a derivar, llegando a un sistema de ecuaciones 2x2 cuyas incógnitas son las aceleraciones angulares de las Barras AB y BC.

$$\frac{d(\dot{\mathcal{L}}_B)}{dt} + \frac{d(\dot{\mathcal{L}}_C)}{dt} = -\frac{d(\dot{\mathcal{L}}_A)}{dt}$$

$$\ddot{\mathcal{L}}_B + \ddot{\mathcal{L}}_C = -\ddot{\mathcal{L}}_A$$

$$\dot{\mathcal{L}}_B + \dot{\mathcal{L}}_C = -\dot{\mathcal{L}}_A$$

$$-[x_B, y_B] * \omega_B^2 + [-y_B, x_B] * \alpha_B + -[x_C, y_C] * \omega_C^2 + [-y_C, x_C] * \alpha_C = -(-[x_A, y_A] * \omega_A^2 + [-y_A, x_A] * \alpha_A)$$

$$[-y_B, x_B] * \alpha_B + [-y_C, x_C] * \alpha_C = [x_A, y_A] * \omega_A^2 + [y_A, -x_A] * \alpha_A + [x_B, y_B] * \omega_B^2 + [x_C, y_C] * \omega_C^2$$

$$\begin{bmatrix} -y_B & -y_C \\ x_B & x_C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_B \\ \alpha_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_A * \omega_A^2 + y_B * \omega_B^2 + y_C * \omega_C^2 + y_A * \alpha \\ x_A * \omega_A^2 + x_B * \omega_B^2 + x_C * \omega_C^2 - x_A * \alpha \end{bmatrix} \tag{4}$$

se resuelve este segundo sistema de manera idéntica al anterior utilizando matriz inversa. y con los resultados obtenidos se tienen los parámetros que caracterizan el comportamiento dinámico del sistema en un punto inicial. Para conocer como se comporta el sistema en los distintos puntos por los que pasa a partir de estas condiciones iniciales de posición velocidad y aceleración se calcula una posición futura con un Δ de tiempo pequeño a este punto se le calcula las velocidades y aceleraciones que lo caracterizan y se itera para lograr conocer el comportamiento del sistema durante toda su trayectoria. para lograr dicho objetivo se realizo un programa (ver anexo) el cual calcula las velocidades y aceleraciones angulares, a partir de las cuales calcula una nueva posición e itera hasta completar el circuito de movimiento.

4. Anexo

4.1. Código

El siguiente código tiene como función calcular las velocidades angulares y aceleraciones angulares de cada barra con el fin de caracterizar el sistema y el tipo de trayectoria que tomara cada uno de sus elementos a través del tiempo.

```
%—— SIMULACION MECANISMO 4 BARRAS ——

%—— ENTRADAS ——

wA=1          * pi/180;          % velocidad angular
alphaA=0      * pi/180;        % aceleracion angular

% longitudes
LA=10;
LB=20;
LC=18.34;
LD=10;

%angulos iniciales

thetaA=90     * pi/180;
thetaB=235.413 * pi/180;
thetaC=107.964 * pi/180;
resolucion=1;

%—— ITERACION ——
t= 360*resolucion
for i=1:t

    xA(i)=LA*cos(thetaA);
    yA(i)=LA*sin(thetaA);

    xB(i)=LB*cos(thetaB);
    yB(i)=LB*sin(thetaB);

    xC(i)=LC*cos(thetaC);
    yC(i)=LC*sin(thetaC);

    %—— CALCULO DE VELOCIDADES ——
    M=[-yB(i), -yC(i) ; xB(i), xC(i)];

    b=wA * [yA(i); -xA(i)];

    vel_angulares=M^-1*b;

    %velocidades angulares
    wB=vel_angulares(1);
    wC=vel_angulares(2);

    %—— CALCULO DE ACELERACIONES ANGULARES
```

```

b2= [-xA(i), xB(i), xC(i); -yA(i), yB(i), yC(i)]*[wA^2; wB^2; wC^2] +
alphaA*[yA(i); -xA(i)];

aceleraciones=M^-1*b2;

alphaB=aceleraciones(1);
alphaC= aceleraciones(2);

% debbing
angulos(i,:)=[thetaA, thetaB, thetaC]*180/pi;
variablesangulares(i,:)=[wB, wC, alphaB, alphaC]*180/pi;

% se define un nuevo angulo
paso=1/resolucion;
thetaA= thetaA + paso*wA + paso^2*alphaA/2;
thetaB= thetaB +paso*wB + paso^2*alphaB/2 ;
thetaC= thetaC +paso*wC + paso^2*alphaC/2;

endfor

```

5. Referencias

Referencias

- [1] Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston y Phillip J. Cornwell (2010). Mecánica vectorial para ingenieros: Dinámica, 9na Ed., Mc Graw-Hill.
- [2] Bandas y rodillos Disponible en: <http://www.eymproductostecnicos.com/Clasificacion-de-las-bandas-transportadoras>.
- [3] Masisa, MDF (Características) Disponible en: <https://neufert-cdn.archdaily.net/uploads/product-file/file/2624/FICHA-MDF.PDF>
- [4] Ficha técnica Acrílico, idePlas Disponible en: <http://www.ideplas.com/lamina-pmma.pdf>
- [5] Corte Laser Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Corte-con-LC3A1ser>