

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Metodología computacional para el análisis dinámico de sistemas mecánicos en 2D utilizando procesamiento de imágenes

Juan Diego Pérez Álvarez

Ingeniería mecatrónica

Jonathan Andrés Graciano Uribe

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

6/12/2021

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

Gracias a que hoy en día se ha avanzado sustancialmente en nuevas maneras de analizar nuestro entorno utilizando las técnicas de procesamiento de imágenes, estudiar un método para analizar el comportamiento dinámico de los mecanismos implementados en diversos sectores, como lo son el industrial, automovilístico, educativo, etc. Históricamente el método para analizar las magnitudes físicas que presentan los mecanismos previamente mencionados, se han centrado en el uso de componentes electrónicos comúnmente conocidos como sensores. Dicho método, aunque de gran utilidad y vigente en la industria, no es del todo óptimo, pues para analizar de una manera mucho más eficiente y eficaz los datos (información), debe valerse de un proceso que implica convertir la variable eléctrica en un sistema binario, generando así mayores costos, mayor inversión de tiempo y recursos. Por consiguiente, aplicar tecnologías nuevas como lo son el procesamiento de imágenes permitiría optimizar el tiempo invertido minimizando recursos.

En las áreas del conocimiento previamente mencionadas, los mecanismos son elementos fundamentales para el correcto funcionamiento de cada uno de estos sectores. Por tanto, conocer el comportamiento dinámico de cada uno de los mecanismos involucrados en estos sectores es una tarea esencial, considerando el hecho de que, si llegase a fallar alguno de estos dispositivos múltiples procesos se verían afectados. El presente trabajo propone el desarrollo de una metodología que permita analizar las variables dinámicas para diferentes tipos de mecanismos 2D, mediante el uso de técnicas de procesamiento de imágenes, específicamente técnicas de detección y seguimiento de objetos, aplicando diversos filtros para así poder mejorar el análisis de los objetos de estudio, filtros como la sustracción de fondo o el filtro Gaussiano. Los resultados obtenidos mediante la aplicación de la metodología propuesta fueron comparados con una simulación de un software CAD/CAM/CAE, para este caso el software implementado fue NX 12®, estos resultados resultaron satisfactorios bajo los criterios planteados en la sección de la metodología, gracias a esto es posible afirmar que la metodología propuesta es aceptable a la hora de conocer las variables dinámicas en mecanismos 2D.

Palabras clave: Dinámica, Mecanismo, Imagen, Seguimiento.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a las personas que con su apoyo y asesoría hicieron posible este trabajo, destacando principalmente a los docentes Diego Andrés Hincapié Zuluaga y Jonathan Andrés Graciano Uribe, que con su apoyo brindaron las herramientas necesarias para el desarrollo de este trabajo y que con su método de enseñanza me ha infundado con el tiempo, disciplina y responsabilidad. Al grupo de investigación de Materiales Avanzados y Energía (MATyER), en especial a la línea de Computación Avanzada y Diseño Digital (CADD), el cual me ayudo a entrar al mundo de la investigación y poder realizar este proyecto.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

CAD Diseño Asistido por Computadora

CAM Fabricación Asistida por Computadora

CAE Ingeniería Asistida por Computadora

MATyER Grupo de Investigación en Materiales Avanzados y Energía

CADD Computación Avanzada y Diseño Digital

VSP (velocimetría de Seguimiento de Partícula)

GPU (Unidad de Procesamiento Gráfico)

CPU (Unidad de Central de Procesamiento)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. MARCO TEÓRICO	7
3. METODOLOGÍA.....	9
3.1 Diagrama de bloques.....	9
3.2 Detección de objeto	10
3.3 Monitoreo y posición del objeto de estudio.....	12
3.4 Consideraciones para la simulación	13
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	19
REFERENCIAS	21
APÉNDICE	23

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

Históricamente el método para analizar las magnitudes físicas y químicas del entorno se ha centrado en el uso de componentes electrónicos, comúnmente conocidos como sensores. Estos dispositivos permiten detectar magnitudes convirtiéndolas en variables eléctricas. Los seres humanos han aprovechado las ventajas que le han otorgado estos mecanismos para tener control sobre aquello que les rodea. Dicho método, aunque de gran utilidad y vigente en la industria, no es del todo óptimo, pues para analizar de una manera mucho más eficiente y eficaz los datos (información), debe valerse de un proceso que implica convertir la variable eléctrica en un sistema binario, generando así mayores costos, mayor inversión de tiempo y recursos.

La metodología computacional para el análisis dinámico de sistemas mecánicos en 2D utilizando procesamiento de imágenes, permitiría optimizar el tiempo invertido y minimizar los recursos técnicos para la toma de datos de las magnitudes dinámicas. Para desarrollar el método propuesto se realizan tomas sucesivas de imágenes de cada mecanismo específico, lo que con asistencia de un entorno de desarrollo que incorpora herramientas de análisis de imágenes (para este caso la utilización de MATLAB) se optimiza el proceso de análisis de magnitudes, puesto que de esta manera al tomar imágenes continuas y enviarlas directamente al computador, se elimina el paso de convertir la variable eléctrica en un sistema binario, pues la imagen en si misma actúa como tal. Este proceso se ha desarrollado mediante una simulación de características dinámicas que emuló un mecanismo de transmisión de movimiento (SIEMENS NX 12), mediante la toma de una serie de fotogramas que fueron analizados mediante MATLAB, se aplicaron diversos filtros a cada fotograma, para dicho procedimiento se enfocó una zona específica del mecanismo, se descompuso cada fotograma en segmentos, se aplicaron cálculos que permitieran describir el cambio de posición de fotograma a fotograma del elemento seleccionado.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La simulación realizada permitió recrear el funcionamiento del mecanismo y describir las magnitudes dinámicas del mismo, de esta manera se comparó la información obtenida de la simulación del mecanismo, con la información arrojada por la metodología propuesta, los resultados obtenidos sugieren que el método implementado es viable para ser utilizado en el análisis de mecanismos e invita a continuar con la optimización del método planteado para disminuir la brecha entre el valor teórico y el implementado.

2. MARCO TEÓRICO

El tema principal encontrado en la literatura es el seguimiento de objetos por medio de imágenes digitales, cabe aclarar que según los artículos encontrados es posible categorizar las técnicas o métodos utilizados para el seguimiento de objetos, en base a la aplicación que se esté realizando, por ejemplo, en el campo de los fluidos al tener que analizar una gran cantidad de partículas la implementación del método VSP (velocimetría de seguimiento de partícula), es una de las opciones más viables, debido a que permite medir las velocidades y trayectorias de una serie de objetos en movimiento [1], [2]. Este proceso consiste en tomar una imagen a un grupo de partículas en movimiento, una vez tomada la imagen la metodología VSP permite determinar el campo de flujo mediante el seguimiento de trazadores individuales, encontrando las coordenadas de cada partícula en la imagen y de esta manera poder generar los vectores de velocidades con sus respectivas trayectorias [3]. Otra manera de obtener la trayectoria de una partícula es por medio de imágenes sucesivas, las cuales pueden conformar un video, donde cada imagen por separado es conocida como frame (fotograma) y al identificar las áreas particulares de interés es posible conocer la trayectoria de la misma [4]. En la literatura, un elemento fundamental a la hora de realizar técnicas de procesamiento de imágenes con el propósito de seguir la trayectoria de un objeto, son la implementación de las cámaras, estos dispositivos son la base para la

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

adquisición de la información (imágenes) [5], [6]. Dependiendo de la aplicación a realizar es propicio utilizar diferentes tipos de cámaras, por ejemplo, para aplicaciones de alta velocidad la herramienta más implementada son las cámaras de alta velocidad [7], estos dispositivos permiten obtener una gran cantidad de imágenes para un intervalo de tiempo considerablemente pequeño, al tener la capacidad de obtener información de manera detallada, es posible calcular de manera más precisa las trayectorias de los elementos de estudio [8]. Para mejorar la información adquirida (imágenes), usualmente se implementan una serie de filtros los cuales tienen como propósito utilizar funciones por medio de algoritmos, permitiendo alterar las imágenes con el fin eliminar el ruido (variación aleatoria de brillo o color en la imagen) [9]. Uno de los filtros más utilizados encontrados en la literatura para la solución de este problema, es el filtro Gaussiano que tiene como propósito promediar la información de la imagen, para así tener una nueva imagen con datos más homogéneos [10], [11]. Permitiendo así, que la información no esencial de la imagen (elementos como el fondo u objetos diferentes al objetivo a seguir), no interfieran con el análisis. En algunos casos promediar los valores de una imagen para centrarse en un objeto de estudio no es suficiente, esto debido a que pueden existir elementos de la imagen como objetos estáticos los cuales pueden alterar el proceso de seguimiento [12], por lo tanto, una práctica común en la literatura es el uso de técnicas de sustracción de fondo [13] para así obtener una trayectoria más precisa. El objetivo de este proyecto consiste en la detección, procesamiento y análisis de diversas variables dinámicas (posición, velocidad y aceleración lineal y angular) para diversos mecanismos en 2D, a partir de la implementación del procesamiento de imágenes, comparando la información obtenida mediante la metodología propuesta con los resultados proporcionados por la simulación de los diferentes objetos de estudio (mecanismos), en el software CAD/CAM/CAE siemens NX 12[®]. Utilizando un entorno de desarrollo el cual incorpora herramientas de análisis de imágenes (MATLAB[®]), se pretende aplicar la metodología propuesta con el fin de obtener resultados fiables que posteriormente serán comparados. Y de esta manera generar un análisis

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

alternativo basado en el uso de procesamiento de imágenes para la cuantificación de magnitudes dinámicas de diversos sistemas mecánicos.

3. METODOLOGÍA

En esta sección se plasmarán todas las consideraciones necesarias para la solución del problema planteado, exponiendo de manera estructural los pasos a seguir de manera clara y concisa, resaltando los parámetros implementados para la simulación del software NX 12®.

Un video consiste en una serie secuencial de imágenes, donde cada imagen de dicha secuencia se conoce como fotograma, gracias al hecho de que una gran cantidad de estos fotogramas son mostrados en intervalos de tiempo muy pequeños, es posible producir una continuidad en el movimiento percibida por el ojo humano [14], [15]. Para la adquisición de esta información primeramente se simulará el movimiento de diversos mecanismos utilizando el software NX 12®, donde se seleccionará un punto en específico para hallar las variables dinámicas para esa sección, donde el procesamiento y análisis de la información(imágenes) se hará a través de MATLAB® [16].

3.1 Diagrama de bloques

La figura 1 representa el diagrama de bloques compuesto por cuatro secciones que representan la metodología de esta investigación. Como se ha mencionado anteriormente, la parte inicial del proceso a seguir para la detección y análisis de mecanismos es a través de la simulación de estos elementos mediante el uso del software NX 12®, una vez adquirida esta información, se implementa el algoritmo propuesto con el objetivo de rastrear el objeto a analizar, y del mismo modo, su comportamiento dinámico. Cabe aclarar que al momento de aplicar el algoritmo se implementarán una serie de filtros con el principal objetivo de reducir y eliminar el ruido de fondo de las imágenes (información no

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

esencial), para la metodología propuesta se utilizarán el filtro gaussiano y la sustracción de fondo serán implementado.

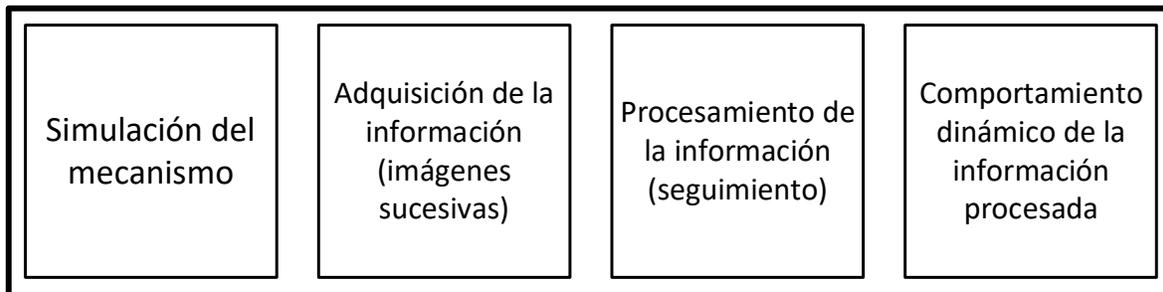


Figura 1. Diagrama de bloques para el desarrollo de la metodología a trabajar

3.2 Detección de objeto

La Fig. 2. describe la metodología propuesta en este estudio mediante un diagrama de flujo. Una vez obtenida la información (serie de imágenes secuenciales) se procede a mejorar la calidad de las imágenes, mediante el filtro gaussiano que juega un papel fundamental en la mejora de la calidad de la información a analizar [17] este filtro pretende resaltar los valores que representan el punto de estudio, para sintetizar la información no esencial de la imagen (elementos como el fondo u objetos distintos del objetivo a seguir), que no interfieren en el análisis. En algunos casos, promediar los valores de una imagen para centrarse en un objeto de estudio no es suficiente, ya que puede haber elementos de la imagen como como objetos estáticos que pueden alterar el proceso de seguimiento, por lo tanto, una práctica común en la literatura es el uso de técnicas de sustracción de fondo [18] para obtener una trayectoria más precisa.

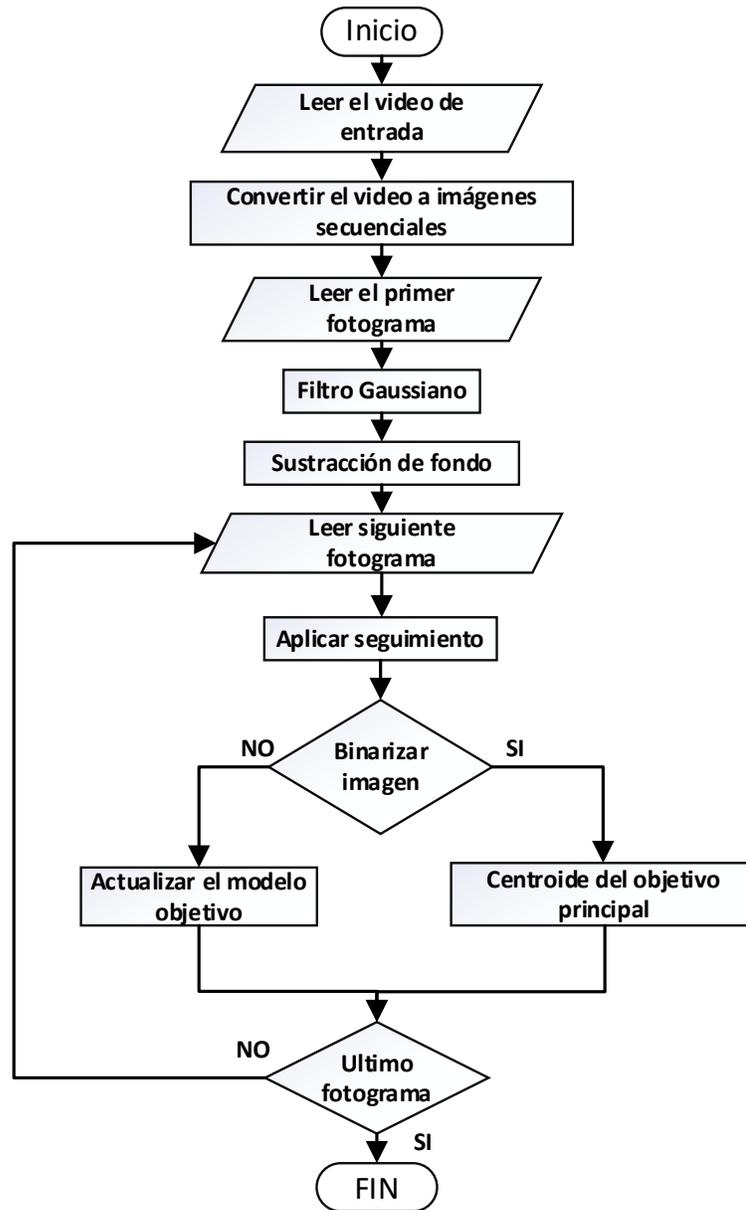


Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología propuesta.

Para la aplicación de la metodología mediante simulación en el software CAD/CAM/CAE, se ha optado por trabajar en un entorno controlado, eliminando así los elementos de fondo, dejando de esta manera el punto a ser analizado resaltado, sin embargo, al aplicar estas medidas, el ruido de fondo sigue estando presente en la información adquirida, por lo tanto, la necesidad de aplicar los filtros mencionados anteriormente se convierte en una

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

necesidad, de esta manera se puede asegurar que al analizar la información adquirida los resultados de la mismos puedan ser considerados como fiables, ver Fig.3.

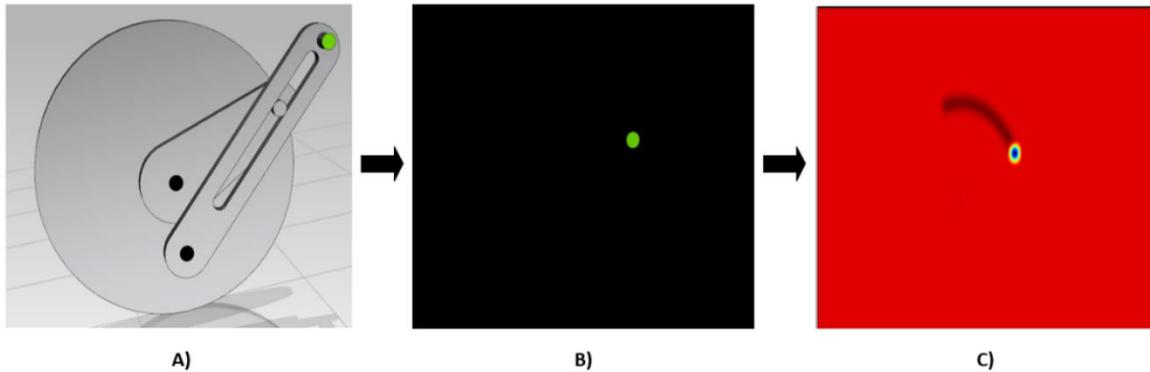


Figura 3. A) Diseño CAD del mecanismo a ser analizado; B) Eliminación de los elementos no deseados (punto a analizar); C) Aplicación del filtro Gaussiano.

3.3 Monitoreo y posición del objeto de estudio

Una vez eliminados los componentes que generan ruido en la serie de fotogramas, la imagen se binarizará para así encontrar el centroide (posición X e Y en el plano de coordenadas de la imagen de coordenadas de la imagen) para cada fotograma que compone la simulación [19], luego cada una de las variables dinámicas del sistema se calcula aplicando las expresiones:

$$x = x_i + v_i + \frac{1}{2}at^2 \quad (1)$$

$$v = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{\Delta t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{\Delta t}\right)^2} \quad (2)$$

$$a = \sqrt{\left(\frac{\Delta v_x}{\Delta t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta v_y}{\Delta t}\right)^2} \quad (3)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) \quad (4)$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (6)$$

Donde "x" es la posición del objeto, " x_i " la posición inicial, " v_i " la velocidad inicial, "v" es la magnitud de la velocidad lineal, "a" es la magnitud de la aceleración lineal, "θ" la posición angular del objeto de estudio, "ω" es la magnitud de la velocidad angular y "α" es la magnitud de la aceleración angular, considerando que los intervalos de tiempo para el desarrollo de la metodología propuesta estarán dados por la cantidad de 2π , programado en la simulación del software NX 12®.

Conociendo la posición del punto de estudio para cada fotograma y aplicando las ecuaciones anteriormente descritas, es posible conocer las magnitudes dinámicas experimentadas por el punto de interés para la simulación del mecanismo, cabe aclarar, que para obtener resultados óptimos es necesario conocer los intervalos de tiempo de la simulación del software CAD/CAM/CAE. Finalmente, se realiza una comparación mediante los gráficos que describen las variables dinámicas del punto de estudio, de esta manera los resultados obtenidos por la simulación en el software CAD/CAM/CAE con la metodología propuesta.

3.4 Consideraciones para la simulación

Se realizaron múltiples simulaciones para el mecanismo mostrado en la Figura 3-A), los parámetros de simulación como la velocidad angular y la aceleración angular fueron variados para la entrada del movimiento, así como el número de pasos en el software NX 12®, para posteriormente aplicar la metodología descrita en las secciones anteriores. Los parámetros que se mostrarán en este trabajo corresponden a tabla 1, concretamente la comparación entre el método propuesto y la simulación en el software NX 12®, los

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

parámetros seleccionados para esta simulación son una velocidad angular igual a 6.25 rad/s, una aceleración angular igual a 9 rad/s², y una cantidad de 1000 pasos que es equivalente a una cantidad de 1000 fotogramas, con estos parámetros seleccionados donde la velocidad equivalente es de aproximadamente 1769 RPM y considerando el hecho de que se implementaron variables como las aceleraciones (lineales y angulares), a medida que avanza la simulación se va reduciendo la cantidad de información adquirida por el método propuesto (fotogramas), por tanto, cuanto mayor sea el tiempo de simulación, se presentarán diferencias más notables entre el método propuesto y la simulación en el software CAD/CAM/CAE. Esta característica se presenta debido a un aumento en la velocidad (debido a la aceleración angular) del mecanismo propuesto, el problema radica en el hecho de que será más complicado adquirir la información (fotogramas), porque a medida que el tiempo de simulación avanza, la distancia del punto de estudio entre intervalos de tiempo diferentes crecerá, provocando así la pérdida de información antes mencionada.

Velocidad angular (<i>rad/s</i>)	2.5	2.5	6.25	15.625	39.0625
Aceleración angular (<i>rad/s²</i>)	0	3	9	27	81
Pasos (fotogramas)	500	750	1000	3500	39000

Tabla 1. Parámetros utilizados para la simulación del mecanismo NX 12[®].

Un factor apremiante a la hora de realizar este tipo de simulaciones es la GPU, este dispositivo permite atenuar la carga del procesador CPU, para este caso la simulación del mecanismo en el software NX 12[®] consume gran cantidad de recursos computacionales, a medida que aumentan los valores de las variables de velocidad y aceleración angular es necesario considerar una mayor cantidad de pasos (fotogramas), esto implica un mayor tiempo de simulación y por ende mayor carga computacional, por consiguiente, para realizar un análisis más preciso del objeto de estudio es necesario tener un equipo que cumpla de manera adecuada los requisitos del sistema para el software NX 12[®].

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para la reproducción de este estudio, es necesario conocer ciertos elementos del modelo CAD para así poder obtener los resultados proporcionados por la metodología planteada. Por tanto, se procederá a mostrar algunos de estos elementos a tener en consideración para la solución dinámica del presente trabajo (tabla 2). Para más información acerca de elementos a detalle del modelo ver apéndice E.

Número	Consideraciones del modelo/simulación para el análisis del punto de estudio	Valor (mm)
1	Distancia entre el punto de estudio y el eje principal del mecanismo	110
2	Distancia para desplazamiento del punto de estudio respecto al eslabón secundario	200

Tabla 2. Consideraciones del modelo para el análisis del punto de estudio.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La razón de elegir específicamente los parámetros descritos en la sección de consideraciones para la simulación se debe al número de 1000 pasos, debido a que al implementar la variable de la aceleración, el número de imágenes por segundo es insuficiente para describir con precisión las variables dinámicas que presenta el punto de estudio (para la metodología propuesta), por tanto, si se llegase a seleccionar un número menor de pasos para estos parámetros de simulación, la calidad de la información (gráficos del comportamiento dinámico que experimenta el mecanismo), tanto para la simulación del software NX 12®, como para el método propuesto. Para el caso contrario, si se aumentará el número de pasos para los parámetros de simulación seleccionados en la simulación del software CAD/CAM/CAE, las gráficas que describen las variables dinámicas del punto de estudio tienden a mejorar, pero al superar un umbral de más de 1200 pasos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

(con los parámetros de simulación definidos previamente), los resultados de la metodología propuesta se verán afectados debido a los pequeños intervalos de tiempo, generando en las gráficas datos superpuestos afectando así los resultados esperados, una forma de enfrentar este problema es implementar algoritmos de ajuste de curvas [20] mejorando sustancialmente la respuesta obtenida al implementar la metodología propuesta.

Como se puede observar en las Fig 4 y 5, el comportamiento de las gráficas de velocidad y aceleración lineal son similares, tanto para la gráfica de velocidad como para la de aceleración, a medida que pasa el tiempo de simulación se puede notar que se presentan picos entre la simulación en NX 12[®] y el método propuesto, como se mencionó anteriormente. Paramétricamente para las Fig 6 y 7, que representan la velocidad y aceleración angular respectivamente, existe un comportamiento similar entre la metodología y la simulación en el software CAD/CAM/CAE, considerando que a medida que avanza el tiempo las diferencias entre los resultados de la metodología propuesta van variando con respecto a la simulación del software. Cabe aclarar, que para todos los gráficos que representan las variables dinámicas descritas anteriormente, hay que considerar un factor de escala (factor de 1,29) [21], este ajuste debe de realizarse porque a la hora de aplicar el método propuesto, variables como las dimensiones del espacio o las características del mecanismo de la simulación en el software NX 12[®], no se no se tuvieron en consideración.

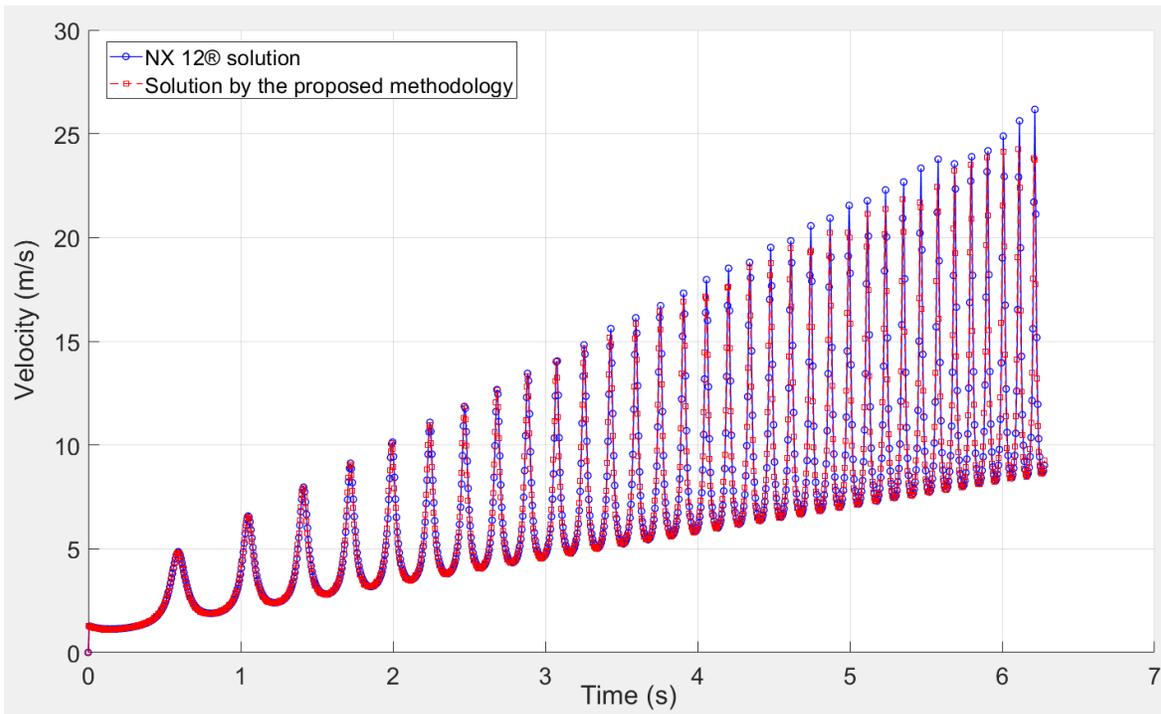


Figura 4. Velocidad lineal absoluta experimentada por el objeto de estudio mediante NX 12® y la metodología propuesta.

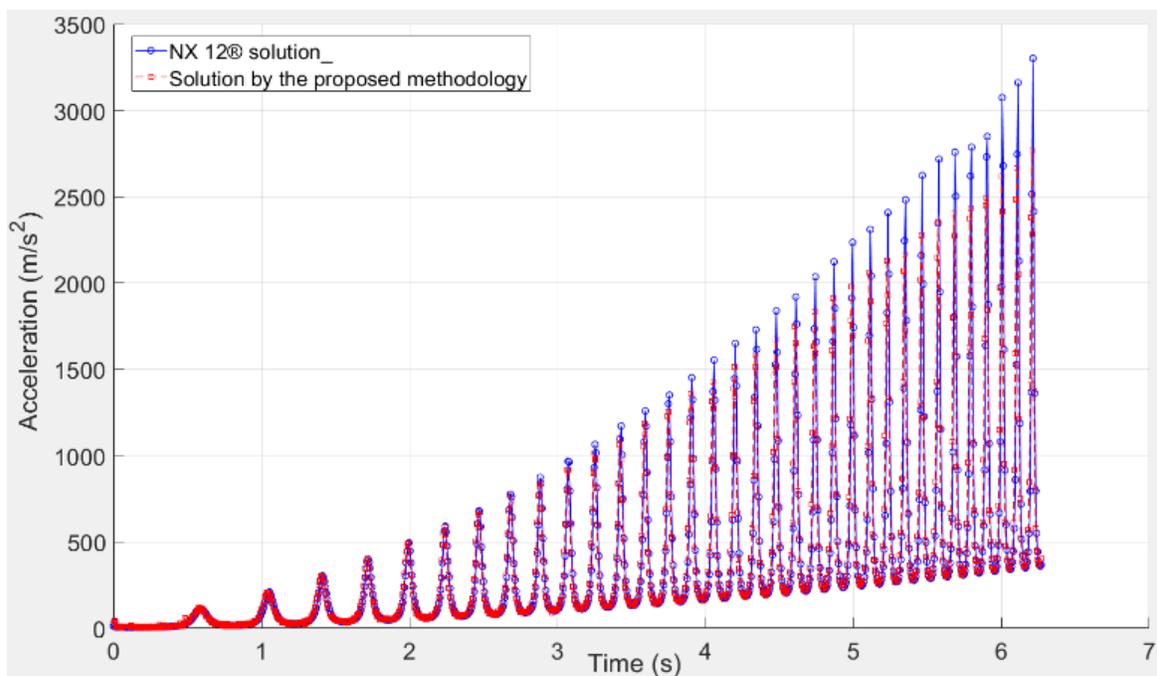


Figura 5. Aceleración lineal absoluta experimentada por el objeto de estudio mediante NX 12® y la metodología propuesta.

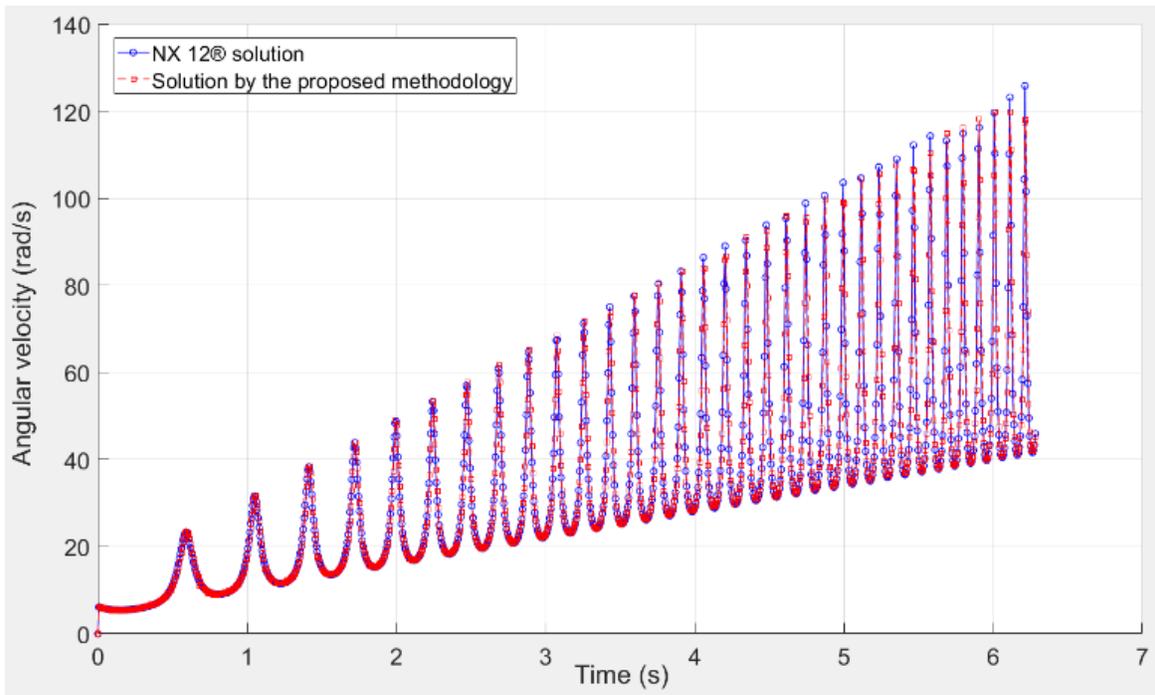


Figura 6. Velocidad angular experimentalada por el objeto de estudio mediante NX 12® y la metodología propuesta.

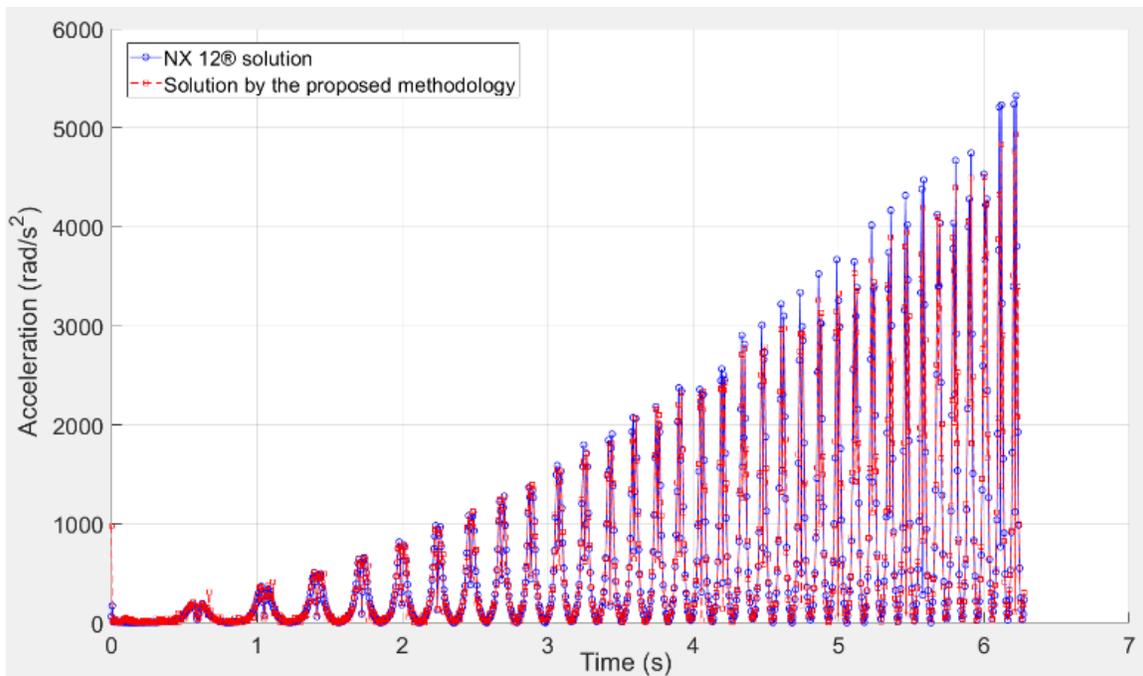


Figura 7. Aceleración angular experimentalada por el objeto de estudio mediante NX 12® y la metodología propuesta.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Para este trabajo se presentó una propuesta de un algoritmo para la detección y análisis de las variables dinámicas que presenta un mecanismo, seleccionando un punto de estudio que, para el análisis realizado, el punto seleccionado tiene la característica principal de realizar un movimiento complejo. Se realizaron múltiples simulaciones con diferentes parámetros para el mecanismo, variando principalmente las variables de velocidad y aceleración angular, por consiguiente, el número de pasos el cual depende del valor de las variables previamente mencionadas debe de ser incrementado, a mayor velocidad y aceleración angular es necesario incrementar exponencialmente el número de fotogramas para poder así obtener una respuesta más adecuada (tabla 1). Los resultados obtenidos mediante la metodología propuesta fueron satisfactorios a pesar de tener ciertas limitaciones al momento de seleccionar el número de pasos en el software NX 12®.

Dado que el desarrollo de la metodología propuesta se basa en una simulación dinámica utilizando NX 12®, sus resultados se verán afectados si los parámetros de simulación definidos no son los adecuados, por lo que la selección idónea del número de pasos que debe tener la simulación es un elemento clave para obtener resultados fiables mediante el software CAD/CAM/CAE y la metodología propuesta. Para la aceleración lineal y angular se puede observar en el comportamiento de las figuras (5,7), la diferencia que existe entre la simulación realizada mediante el software NX 12® y la metodología propuesta, esta diferencia se hace mucho más notoria a medida que pasa el tiempo, en comparación con las figuras (4,6), esta característica se debe a los parámetros seleccionados para la simulación (número de pasos), por tanto, al no utilizar un mayor número de pasos para el desarrollo de la simulación del software CAD/CAM/CAE, la cantidad de información (fotogramas) obtenida por la metodología propuesta es insuficiente para realizar un análisis

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

preciso del el comportamiento de las variables dinámicas (principalmente las aceleraciones).

Al aumentar el número de pasos de la simulación, los gráficos que describen las variables dinámicas se verán afectados debido a lo mencionado en la sección de análisis, al tener un delta de tiempo mínimo para el método propuesto genera información superpuesta en los gráficos, afectando el análisis propuesto por la metodología. Para solucionar este tipo de limitaciones se deben implementar técnicas de ajuste de curvas.

Gracias a los óptimos resultados obtenidos para este trabajo, además de la creación de nuevas tecnologías enfocadas en la industria 4.0, un enfoque pertinente para el desarrollo de nuevos estudios sería la implementación de algoritmos como redes neuronales, algoritmos que permitirían solventar los diversos problemas presentados en este trabajo, permitiendo comparar patrones de entrada (para el caso de este trabajo variables dinámicas obtenidas mediante la metodología propuesta) con la información entregada por el software NX 12®.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

R.F.L Cerqueira, Paladino E.E, Ynumaru B.K & Maliska C.R. (2018). Image processing techniques for the measurement of two-phase bubbly pipe flows using particle image and tracking velocimetry (PIV/PTV).

H. Salinas Tapia, J.A. García Aragón, D. Moreno Hernández & B. Barrientos García. (2006). Particle Tracking Velocimetry (PTV) Algorithm for Non-uniform and Nonspherical Particles.

Markus Raffel, Christian E. Willert, Steve T. Wereley and Jürgen Kompenhans. (2007). Particle Image Velocimetry.

Vladimir Tadic, Istvan Kecskes, Ákos Odry & Ervin Burkus. (2019). Application of Intel RealSense Cameras for Depth Image Generation in Robotics.

A. Dawoud, M. S. Alam, A. Bal & C. Loo. (2006). Target tracking in infrared imagery using weighted composite reference function-based decision fusion, 404-410.

Xusha, Dengjiahao, Duanzuodong & Fanqiang,. (2018). Tracking and Locating Moving Targets Based on Kinect. Journal of Physics: Conference Series.

M. Shibata, H. Eto & M. Ito. (2011). Visual tracking control for stereo vision robot with high gain controller and high speed cameras.

Fan, S., Wang, R & Wu, Z. (2021). High-speed tracking based on multi-CF filters and attention mechanism.

M. H. Ishak, N. N. Sofia Mohd Marzuki, M. F. Abdullah, Z. H. Che Soh, I. S. Isa & S. N. (2019). Sulaiman. Image Quality Assessment for Image Filtering Algorithm: Qualitative and Quantitative Analyses.

E. Gedraite & M. Hadad (2011). Investigation on the Effect of a Gaussian Blur in Image Filtering and Segmentation.

Zheng-Jian Ding, Yang Zhang, A-Qing Yang & Dai-Li (2020). Image matching of Gaussian blurred image based on SIFT algorithm.

N. S. Sakpal & M. Sabnis. (2018). Adaptive Background Subtraction in Images gy (ICACCT), 2018.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

R. del-Blanco Carlos, Jaureguizar Fernando, Salgado Luis & García Narciso. (2007). Target detection using robust motion segmentation and tracking restrictions in FLIR imaging areas

Jorge Niño-Castañeda, Andrés Frías-Velázquez, Nyan Bo Bo, Maarten Slembrouck, Junzhi Guan, Glen Debar, Bart Vanrumste, Tinne Tuytelaars & Wilfried Philips. (2016). Scalable Semi-Automatic Annotation for Multi-Camera Person Tracking.

Jierui Zha, Pierre Decazes, Jérôme Lapuyade, Abderrahim Elmoataz & Su Ruan. (2019). 3D lymphoma detection in PET-CT images with supervoxel and CRFs.

Samuel Rosario-Torres & Miguel Velez-Reyes. (2009). Speeding up the MATLAB™ Hyperspectral Image Analysis Toolbox using GPUs and the Jacket Toolbox.

Emir Turajlic. (2018). Adaptive SVD Domain-Based White Gaussian Noise Level Estimation in Images.

H. Chinthaka N. Premachandra, Tomohiro Yendo, Mehrdad Panahpour Tehrani, Takaya Yamazato, Hiraku Okada, Toshiaki Fujii, & Masayuki Tanimoto. (2010). High-speed-camera Image Processing Based LED Traffic Light Detection for Road-to-vehicle Visible Light Communication.

Zhenguo Wang, Linna Ni Shaohua Wang, Lei Ji, Tiebing Lu & Yongtao Jin. (2018). One Method to Fit Biexponential Curve by Using Fourier Transform.

Chenhcai Leng, Wei Xu, Weidong Yan, Xiangzeng Liu & Yuesong Wei. (2010). Multi-scale Image Registration Based on Strenght Correspondence Weighted Graph.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

APÉNDICE

Apéndice A (Código de conversión de video a imágenes sucesivas)

```
Image=VideoReader('movie.avi');
for img = 1:Image.NumberOfFrames;
    filename=strcat('frame',num2str(img),'.png');
    b = read(Image, img);
    imwrite(b,filename);
end
```

Apéndice B (Función para organizar las imágenes sucesivas)

```
assert(iscell(X),'First input <X> must be a cell array.')
tmp = cellfun('isclass',X,'char') & cellfun('size',X,1)<2 &
cellfun('ndims',X)<3;
assert(all(tmp(:)),'First input <X> must be a cell array of char row
vectors (1xN char).')
%
if nargin<2 || isnumeric(rgx)&&isempty(rgx)
    rgx = '\d+';
else
    assert(ischar(rgx)&&ndims(rgx)<3&&size(rgx,1)==1,...
        'Second input <rgx> must be a regular expression (char row
vector).') %#ok<ISMAT>
end
%
% Optional arguments:
tmp = cellfun('isclass',varargin,'char') & cellfun('size',varargin,1)<2 &
cellfun('ndims',varargin)<3;
assert(all(tmp(:)),'All optional arguments must be char row vectors (1xN
char).')
% Character case:
ccm = strcmpi(varargin,'matchcase');
ccx = strcmpi(varargin,'ignorecase')|ccm;
% Sort direction:
sdd = strcmpi(varargin,'descend');
sdx = strcmpi(varargin,'ascend')|sdd;
% Char/num order:
chb = strcmpi(varargin,'char<num');
chx = strcmpi(varargin,'num<char')|chb;
% NaN/num order:
nab = strcmpi(varargin,'NaN<num');
nax = strcmpi(varargin,'num<NaN')|nab;
% SSCANF format:
sfx = ~cellfun('isempty',regexp(varargin,'^%([bdiouxfeg]|l[dioux])$'));
%
```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

nsAssert(1,varargin,sdx,'Sort direction')
nsAssert(1,varargin,chx,'Char<->num')
nsAssert(1,varargin,nax,'NaN<->num')
nsAssert(1,varargin,sfx,'SSCANF format')
nsAssert(0,varargin,~(ccx|sdx|chx|nax|sfx))

if nnz(sfx)
    fmt = varargin{sfx};
    if strcmpi(fmt,'%b')
        cls = 'double';
    else
        cls = class(sscanf('0',fmt));
    end
else
    fmt = '%f';
    cls = 'double';
end

[mat,spl] = regexpi(X(:),rgx,'match','split',varargin{ccx});

nmx = numel(X);
nmn = cellfun('length',mat);
nms = cellfun('length',spl);
mxs = max(nms);

bon = bsxfun(@le,1:mxs,nmn).';
bos = bsxfun(@le,1:mxs,nms).';
arn = zeros(mxs,nmx,cls);
ars = cell(mxs,nmx);
ars(:) = {'';
ars(bos) = [spl{:}];

if nmx
    tmp = [mat{:}];
    if strcmp(fmt,'%b')
        tmp = regexprep(tmp,'^[Bb]','');
        vec = cellfun(@(s)sum(pow2(s-'0',numel(s)-1:-1:0)),tmp);
    else
        vec = sscanf(sprintf(' %s',tmp{:}),fmt);
    end
    assert(numel(vec)==numel(tmp),'The %s format must return one value
for each input number.',fmt)
else
    vec = [];
end

if nmx && nargout>2
    dbg = cell(mxs,nmx);
    dbg(:) = {'';
    dbg(bon) = num2cell(vec);
    dbg = reshape(permute(cat(3,ars,dbg),[3,1,2]),[],nmx).';
    idf = [find(~all(cellfun('isempty',dbg),1),1,'last'),1];
    dbg = dbg(:,1:idf(1));
else
    dbg = {};

```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

end

if ~any(ccm) % ignorecase
    ars = lower(ars);
end
%
if nmx && any(chb) % char<num
    boe = ~cellfun('isempty',ars(bon));
    for k = reshape(find(bon),1,[])
        ars{k}(end+1) = char(65535);
    end
    [idr,idx] = find(bon);
    idn = sub2ind(size(bon),boe(:)+idr(:),idx(:));
    bon(:) = false;
    bon(idn) = true;
    arn(idn) = vec;
    bon(isnan(arn)) = ~any(nab);
    ndx = 1:nmx;
    if any(sdd) % descending
        for k = mxs:-1:1
            [~,idx] = sort(nsGroup(ars(k,ndx),'descend'));
            ndx = ndx(idx);
            [~,idx] = sort(arn(k,ndx),'descend');
            ndx = ndx(idx);
            [~,idx] = sort(bon(k,ndx),'descend');
            ndx = ndx(idx);
        end
    else % ascending
        for k = mxs:-1:1
            [~,idx] = sort(ars(k,ndx));
            ndx = ndx(idx);
            [~,idx] = sort(arn(k,ndx),'ascend');
            ndx = ndx(idx);
            [~,idx] = sort(bon(k,ndx),'ascend');
            ndx = ndx(idx);
        end
    end
else % num<char
    arn(bon) = vec;
    bon(isnan(arn)) = ~any(nab);
    if any(sdd) % descending
        [~,ndx] = sort(nsGroup(ars(mxs,:),'descend'));
        for k = mxs-1:-1:1
            [~,idx] = sort(arn(k,ndx),'descend');
            ndx = ndx(idx);
            [~,idx] = sort(bon(k,ndx),'descend');
            ndx = ndx(idx);
            [~,idx] = sort(nsGroup(ars(k,ndx),'descend'));
            ndx = ndx(idx);
        end
    else % ascending
        [~,ndx] = sort(ars(mxs,:));
        for k = mxs-1:-1:1
            [~,idx] = sort(arn(k,ndx),'ascend');
            ndx = ndx(idx);
        end
    end
end

```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

[~,idx] = sort(bon(k,ndx), 'ascend');
ndx = ndx(idx);
[~,idx] = sort(ars(k,ndx));
ndx = ndx(idx);
    end
end
end
%
ndx = reshape(ndx,size(X));
X = X(ndx);
%
end
%%natsort
function nsAssert(val,inp,idx,varargin)
% Throw an error if an option is overspecified.
if nnz(idx)>val
    tmp = {'Unknown input arguments',' option may only be specified once.
Provided inputs'};
    error('%s:%s',[varargin{:},tmp{1+val}],sprintf('\n''%s''',inp{idx}))
end
end
%%nsAssert
function grp = nsGroup(vec)
% Groups of a cell array of strings, equivalent to [~,~,grp]=unique(vec);
[vec,idx] = sort(vec);
grp = cumsum([true,~strcmp(vec(1:end-1),vec(2:end))]);
grp(idx) = grp;
end

```

Apéndice C (Código para obtener la variable dinámica de la velocidad lineal y angular)

```

clear all
close all
clc

Lista = dir('*png');

Find_idx = zeros(length(Lista),2);

Find_idx_centx = zeros(length(Lista),1);
Find_idx_centy = zeros(length(Lista),1);

for i = 1:numel(Lista)

    filename = Lista(i).name;
    rgbImg = imread(filename);
    RGB_TO_GS = rgb2gray(rgbImg);
    Binarizar = imbinarize(RGB_TO_GS);
    Binarizar(1:95, 1150:1400, :) = 0;
    Filt_1 = bwareaopen(Binarizar,500);

    for p = 1 : size(Binarizar, 8)

```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

        [rows, columns] = find(Binarizar(:, :, p));
        xCentroids(p) = mean(columns);
        yCentroids(p) = mean(rows);
    end
    meanXCentroid = mean(xCentroids);
    meanYCentroid = mean(yCentroids);

    Find_idx_centx(i)=meanXCentroid;
    Find_idx_centy(i)=meanYCentroid;
end

save('Find_idx_centx_no.mat', 'Find_idx_centx')

save('Find_idx_centy_no.mat', 'Find_idx_centy')

time = linspace(0,pi,length(Lista));
t = time(:);

X_Row = Find_idx_centx;
Y_Row = Find_idx_centy;
Deltax = zeros(length(t)-1,1) ;
Deltay = zeros(length(t)-1,1) ;
Mag_V = zeros(length(t)-1,1) ;

for i = 1:length(t)-1
    Deltax(i) = (X_Row(i+1)-X_Row(i))/(t(i+1)-t(i)) ;
    Deltay(i) = (Y_Row(i+1)-Y_Row(i))/(t(i+1)-t(i)) ;
end

for i = 1:length(t)-1
    Mag_V(i) = ((Deltax(i)).^2+(Deltay(i)).^2).^(1/2);
end

Min_X = min(X_Row );
Max_X = max(X_Row );

Min_Y = min(Y_Row );
Max_Y = max(Y_Row );
Centroide_X = (Min_X + (Max_X - Min_X )/2);
Centroide_Y = (Min_Y + (Max_Y - Min_Y )/2);

R = zeros(length(t),1) ;
for i= 1:length(t)
    R(i) =((X_Row(i)-Centroide_X)^2+(Y_Row (i)-Centroide_Y)^2)^(1/2);
end

X_abs = zeros(length(t),1) ;
Y_abs = zeros(length(t),1) ;

for i= 1:length(t)

```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

X_abs(i) =(Centroide_X-X_Row(i));
Y_abs(i) =(Y_Row (i) - Centroide_Y);
end

ATAN2 = (atan2(X_abs,Y_abs)*(180/pi));
ATAN2_OP2 = (atan2(Y_abs,X_abs)*(180/pi));

Delta_ATAN2 = zeros(length(t)-1,1) ;
Delta_ATAN2_OP2 = zeros(length(t)-1,1) ;
for i = 1:length(t)-1
    Delta_ATAN2(i) = (ATAN2(i+1)-ATAN2(i))/(t(i+1)-t(i)) ;
    Delta_ATAN2_OP2(i) = (ATAN2_OP2(i+1)-ATAN2_OP2(i))/(t(i+1)-t(i)) ;
end

Matrix = {X_Row Y_Row t Deltax Deltay Mag_V Delta_ATAN2_OP2};

```

Apéndice D (Código para obtener la variable dinámica de la aceleración lineal y angular)

```

clear all
close all
clc

S = dir('*png');
[~,ndx] = natsortfiles({S.name});
S = S(ndx);
for k = 1:numel(S)
    fprintf('%-13s%s\n',S(k).name,S(k).date);
end

Find_idx = zeros(length(S),2);

Find_idx_centx = zeros(length(S),1);
Find_idx_centy = zeros(length(S),1);

for i = 1:numel(S)

    filename = S(i).name;
    rgbImg = imread(filename);
    RGB_TO_GS = rgb2gray(rgbImg);
    Binarizar = imbinarize(RGB_TO_GS);
    Binarizar(1:75, 1200:1350, :) = 0;
    Filt_1 = bwareaopen(Binarizar,5000);

    for p = 1 : size(Binarizar, 8)

        [rows, columns] = find(Binarizar(:, :, p));
        xCentroids(p) = mean(columns);
        yCentroids(p) = mean(rows);
    end
    meanXCentroid = mean(xCentroids);

```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

meanYCentroid = mean(yCentroids);

Find_idx_centx(i)=meanXCentroid;
Find_idx_centy(i)=meanYCentroid;
end

save('Find_idx_centx_no.mat', 'Find_idx_centx')

save('Find_idx_centy_no.mat', 'Find_idx_centy')

time = linspace(0,2*pi,length(S));
t = time(:);

X_Row = Find_idx_centx;
Y_Row = Find_idx_centy;
Deltax = zeros(length(t)-1,1);
Deltay = zeros(length(t)-1,1);
Mag_V = zeros(length(t)-1,1);
Acex = zeros(length(t)-2,1);
Acey = zeros(length(t)-2,1);
Mag_Ace = zeros(length(t)-2,1);
for i = 1:length(t)-1
    Deltax(i) = (X_Row(i+1)-X_Row(i))/(t(i+1)-t(i));
    Deltay(i) = (Y_Row(i+1)-Y_Row(i))/(t(i+1)-t(i));
end

for i = 1:length(t)-1
    Mag_V(i) = ((Deltax(i)).^2+(Deltay(i)).^2).^(1/2);
end

for i = 1:length(t)-2
    Acex(i) = (Deltax(i+1)-Deltax(i))/(t(i+1)-t(i));
    Acey(i) = (Deltay(i+1)-Deltay(i))/(t(i+1)-t(i));
end

for i = 1:length(t)-2
    Mag_Ace(i) = ((Acex(i)).^2+(Acey(i)).^2).^(1/2);
end

Min_X = min(X_Row );
Max_X = max(X_Row );

Min_Y = min(Y_Row );
Max_Y = max(Y_Row );

Centroide_X = (Min_X + (Max_X - Min_X )/2);
Centroide_Y = (Min_Y + (Max_Y - Min_Y )/2);

R = zeros(length(t),1);
for i= 1:length(t)
    R(i) =((X_Row(i)-Centroide_X)^2+(Y_Row (i)-Centroide_Y)^2)^(1/2);
end

```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

X_abs = zeros(length(t),1);
Y_abs = zeros(length(t),1);

for i= 1:length(t)
    X_abs(i) =(Centroide_X-X_Row(i));
    Y_abs(i) =(Y_Row (i) - Centroide_Y);
end

ATAN2 = (atan2(X_abs,Y_abs)*(180/pi));
ATAN2_OP2 = (atan2(Y_abs,X_abs)*(180/pi));

Delta_ATAN2 = zeros(length(t)-1,1) ;
Delta_ATAN2_OP2 = zeros(length(t)-1,1);

for i = 1:length(t)-1
    Delta_ATAN2(i) = (ATAN2(i+1)-ATAN2(i))/(t(i+1)-t(i));
    Delta_ATAN2_OP2(i) = (ATAN2_OP2(i+1)-ATAN2_OP2(i))/(t(i+1)-t(i));
end

Delta2_ATAN2 = zeros(length(t)-2,1) ;
Delta2_ATAN2_OP2 = zeros(length(t)-2,1);

for i = 1:length(t)-2
    Delta2_ATAN2(i) = (Delta_ATAN2(i+1)-Delta_ATAN2(i))/(t(i+1)-t(i)) ;
    Delta2_ATAN2_OP2(i) = (Delta_ATAN2_OP2(i+1)-
Delta_ATAN2_OP2(i))/(t(i+1)-t(i)) ;
end

Matrix = {X_Row Y_Row t Deltax Deltay Mag_V Acex Acey Mag_Ace
Delta_ATAN2_OP2 Delta2_ATAN2_OP2};

```

Apéndice E (Imágenes de los planos del modelo implementado para el desarrollo del estudio)

Número	Nombre	Cantidad
1	Soporte para ejes	1
2	Eje eslabón secundario	1
3	Eje eslabón principal	1
4	Eslabón secundario	1
5	Eslabón principal	1

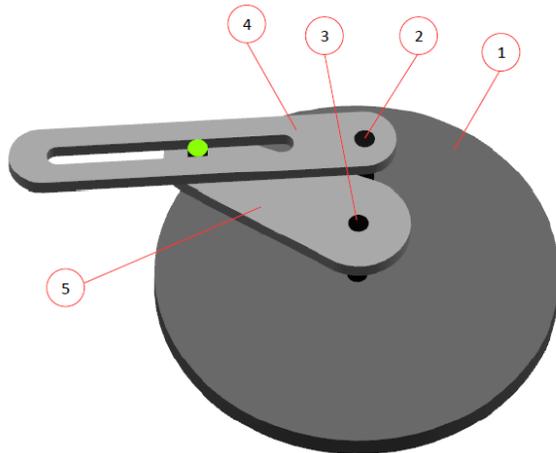


Figura 8. Descripción de las piezas del modelo CAD del mecanismo implementado en el desarrollo del estudio.

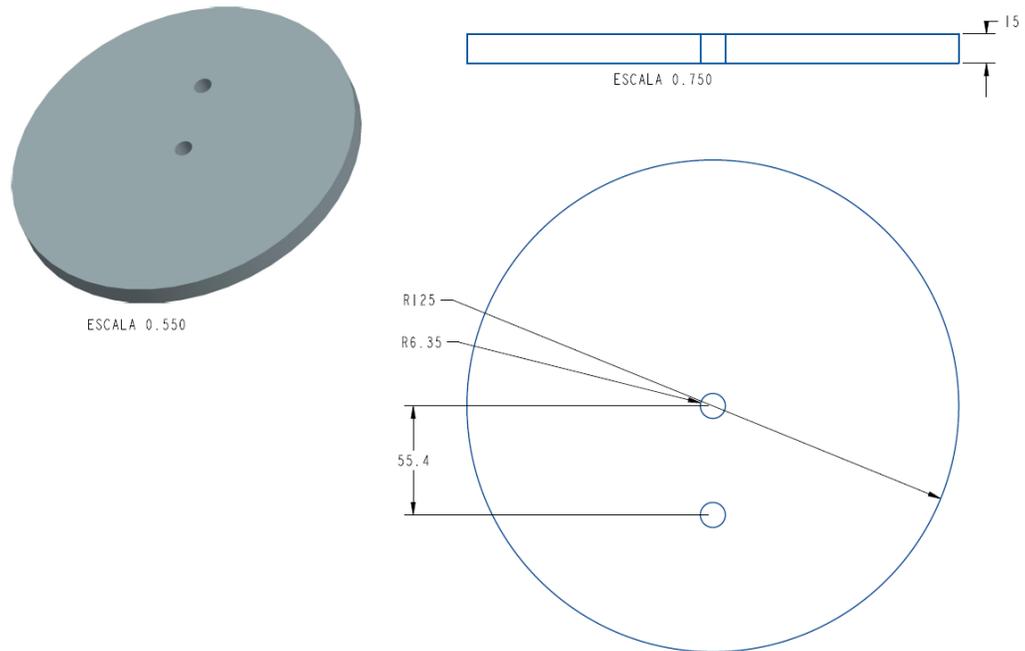


Figura 9. Modelo CAD del soporte para ejes del mecanismo implementado.

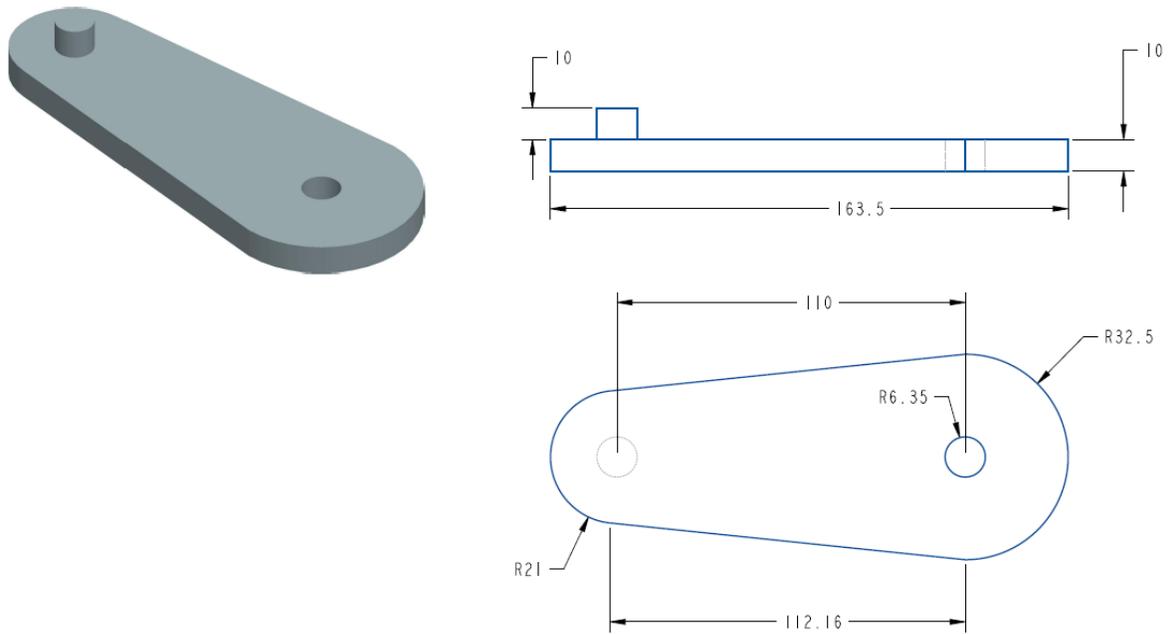


Figura 9. Modelo CAD del eslabón principal del mecanismo implementado.

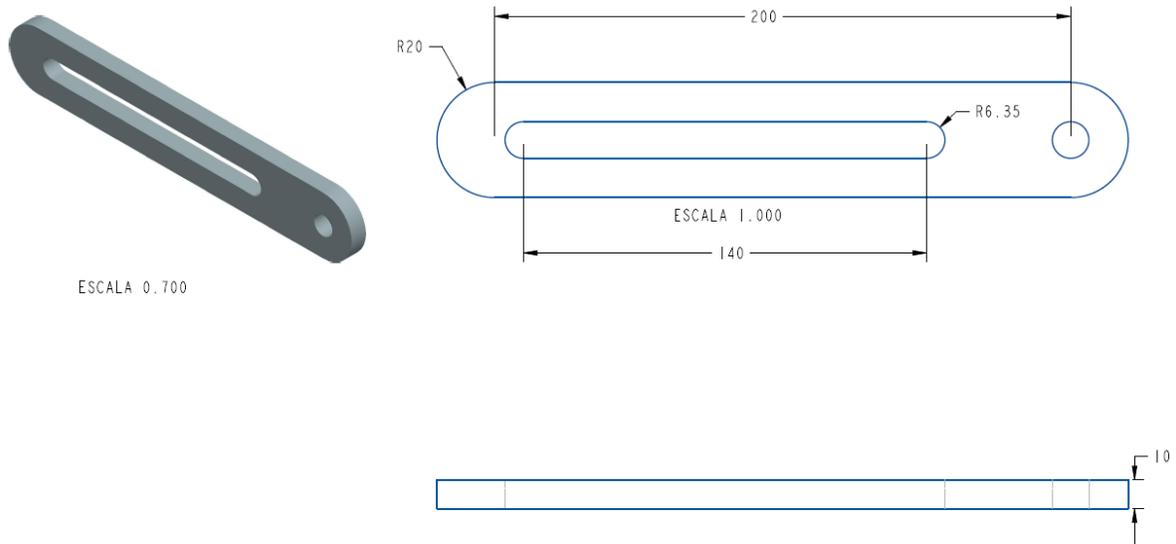


Figura 10. Modelo CAD del eslabón secundario del mecanismo implementado.

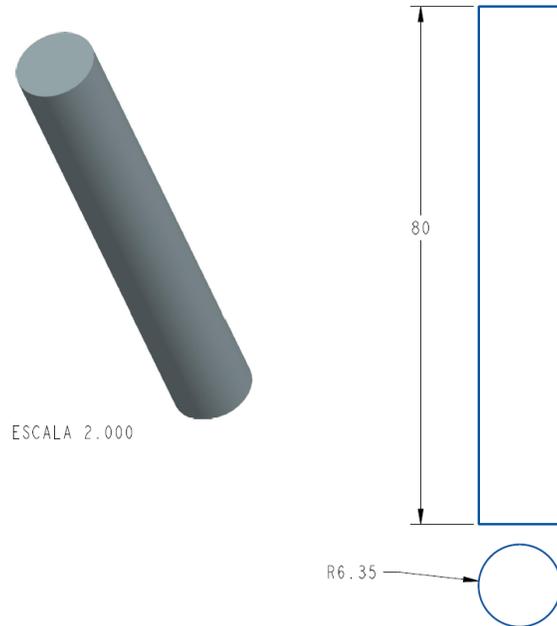


Figura 10. Modelo CAD del eje eslabón secundario del mecanismo implementado.

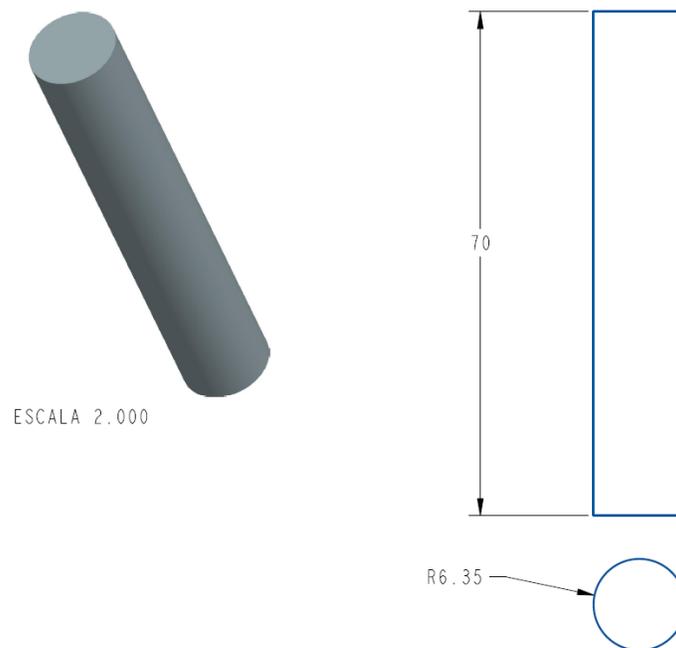


Figura 11. Modelo CAD del eje eslabón secundario del mecanismo implementado.

FIRMA ESTUDIANTES JUAN DIEGO GENTÁ ÁLVAREZ

FIRMA ASESOR Jonathan Chacón

FECHA ENTREGA: 6/12/2021

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO_____ ACEPTADO CON MODIFICACIONES_____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____