

*Universidad de Matanzas
sede "Camilo Cienfuegos"
Facultad de Ciencias Técnicas*



**APLICACIÓN DEL SISTEMA MULTICUERPO EN EL
ANÁLISIS CINEMÁTICO Y DINÁMICO DE UN MOTOR DE
COMBUSTIÓN INTERNA MONO CILINDRO.**

Trabajo de Diploma en Ingeniería Mecánica

Autor: Javier Antonio Sánchez Rodríguez

Tutor: Dr. C. Orestes Gonzáles Quintana. Profesor Titular.

Matanzas, 2021

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo, Javier Antonio Sánchez Rodríguez, por medio de la presente declaro que soy el único autor de este trabajo de diploma como parte de la culminación de mis estudios como Ingeniero Mecánico y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas «Camilo Cienfuegos» a darle el uso que estime más conveniente.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Miembros del Tribunal:

Presidente

Secretario

Vocal

RESUMEN

El trabajo está enfocado en el estudio de los indicadores cinemáticos y dinámicos de un *sistema multicuerpo* mediante la simulación de un *motor de combustión interna* monocilindro con el uso del *software* SolidWorks, que permite la detección de las zonas más afectadas por las tensiones y muestra las deformaciones que puede sufrir las piezas mediante el método de elementos finitos. En Working Model que es otro *software* que mediante el dibujo de un *mecanismo de biela manivela* en 2D y con figuras geométricas básicas brinda unos resultados precisos sobre parámetros como torque, velocidad, desplazamiento, etc. Se realiza un estudio previo sobre temas relacionados como tipos de motores de combustión interna, su funcionamiento con distintos combustibles y como hallar su cilindrada para poder determinar a cuantas revoluciones por minuto es capaz de girar. Se muestran algunos comandos que poseen los softwares y cuáles son sus usos y ventajas.

Palabras claves: *sistema multicuerpo; motor de combustión interna; software; mecanismo de biela manivela.*

ABSTRACT

The work is focused on the study of the kinematic and dynamic indicators of a multibody system by simulating a single-cylinder internal combustion engine with the use of SolidWorks, software that allows the detection of the areas most affected by stresses and shows the deformations. which can undergo parts by finite element method. In Working Model, which is another software that, by drawing a crank mechanism in 2D and with basic geometric figures, provides precise results on parameters such as torque, speed, displacement, etc. A preliminary study will be carried out on related topics such as types of internal combustion engines, their operation with different fuels and how to find their displacement in order to determine how many revolutions per minute it is capable of turning. It shows some commands that the software's have and what are their uses and advantages.

Keywords: *multibody system; Internal combustion engine; software; crank mechanism.*

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	8
Capítulo 1 Revisión Bibliográfica	11
1.1 Sistema Multicuerpo	11
1.2 Mecanismo de Movimiento	12
1.2.1 Mecanismos de Transformación de Movimiento.	12
1.2.2 Mecanismo biela-manivela.	13
1.3 Motor de Combustión Interna	13
1.3.1 Tipos principales.	14
1.3.2 Clasificación según el ciclo de los motores alternativos	14
1.4 Motor Monocilíndro.....	15
1.4.1 Ventajas y Desventajas	16
1.4.2 Aplicaciones.....	16
1.5 Método de Elementos Finitos	17
1.6 Software SolidWorks	17
1.7.1 Modelación.	18
1.7.2 Simulación.	18
Capítulo 2: Materiales y Métodos	20
2.1 Materiales.....	20
2.1.1 Pistón.....	20
2.1.2 Biela	25
2.1.3 Cigüeñal	27
2.2 Selección de la velocidad angular del motor	28
2.3 Análisis Cinemáticos mediante Wolking Model	29
2.4 Modelación y Ensamble de las Piezas en SolidWorks	32
2.5 Simulación del Motor en SolidWorks.....	35
Capítulo 3 Análisis de Resultados	37
3.1 Análisis del Cigüeñal mediante SolidWorks	37
3.1.1 Análisis de Tensiones en el Cigüeñal	37
3.1.2 Análisis de Deformaciones en el Cigüeñal	39
3.2 Análisis de la Biela Mediante SolidWorks	41
3.2.1 Análisis de Tensiones en la Biela	41
3.2.2 Análisis de Deformación en la Biela	43
3.3 Análisis del Pistón mediante SolidWorks.....	45
3.3.1 Análisis de Tensiones en el Pistón.....	45
3.3.2 Análisis de las Deformaciones en el Pistón	47
3.4 Análisis de los Datos en Wolking Model para 5200 rpm	49
3.4.1 Análisis de los Datos del Cigüeñal	49
3.4.2 Análisis de los Datos del Pistón.....	51
3.5 Análisis de los Datos en Wolking Model para 3000 rpm	53
3.5.1 Análisis de los Datos de la Manivela o Cigüeñal	53
3.5.2 Análisis de los Datos del Pistón.....	55
3.6 Análisis de los Datos en Working Model para 600 rpm.....	57

3.6.1 Análisis de los Datos en el Cigüeñal.....	57
3.6.2 Análisis de los Datos en el Pistón.....	59
Conclusiones.....	62
Recomendaciones.....	63
Bibliografía.....	64
Anexos.....	66

Introducción

El sistema Multicuerpo es el estudio del comportamiento dinámico de cuerpos rígidos o flexibles interconectados, cada uno de los cuales puede experimentar grandes desplazamientos de traslación y rotación.

El tratamiento sistemático del comportamiento dinámico de cuerpos interconectados ha conducido a un gran número de formalismos importantes (multicuerpo) en el campo de mecánica. Los elementos o cuerpos más simples de un sistema del multicuerpo fueron tratados por Newton (la partícula libre) y Euler (el cuerpo rígido). Euler introdujo la fuerza de reacción entre cuerpos. Más tarde, una serie de formalismos fueron derivados, basta mencionar los formalismos de Lagrange basado en coordenadas mínimas y una segunda formulación que introduce restricciones (Multibody System, 2021).

Básicamente, el movimiento de los cuerpos está descrito por su comportamiento cinemático. El comportamiento dinámico resulta del equilibrio de fuerzas aplicadas y la tasa de cambio del momento. Hoy día, el término sistema multicuerpo está relacionado con un gran número de campos de investigación de ingeniería, especialmente en la dinámica de la robótica y del vehículo. Como una característica importante, los formalismos del sistema del multicuerpo usualmente ofrecen una forma algorítmica, asistida por computadora para la modelación, análisis, simulación y optimización del movimiento arbitrario de posiblemente miles de cuerpos interconectados, evidenciándose, en la revisión bibliográfica realizada al respecto, una situación problemática que consiste en que mientras los cuerpos solos o las partes de un sistema mecánico son estudiados en detalle con métodos de elementos finitos, el comportamiento de todo el sistema del multicuerpo que es usualmente estudiado con métodos del sistema multicuerpo no se aborda en nuestra docencia de pregrado.

En los mecanismos, para que el movimiento pueda ser transmitido, los elementos deben estar unidos entre sí, donde el conjunto de superficies que establece el contacto entre las diversas barras de un mecanismo se designa par cinemático (Baranov, 1979) (Golubev, 1978) (Myszka, 2012) (Norton, 2020). En este trabajo el autor realiza el análisis cinemático y dinámico de un Motor de Combustión Interna (MCI), utilizando los *software Working Model 2D* (Myszka, 2012) y SolidWorks (SolidWorks Corporation, 2015), para la simulación del funcionamiento del mismo y obtener una serie de datos de gran importancia como son los

valores de la velocidad y aceleración lineal en los pares cinemáticos, así como, velocidad y aceleración angular de los elementos del mecanismo en diferentes posiciones. También se determinan la fuerza que se genera en los pares cinemáticos.

La técnica actual se caracteriza por la variedad de máquinas, aparatos y construcciones de acción mecánica, donde se incluyen los manipuladores robóticos, que comprenden enlaces casi rígidos, que están conectados por articulaciones que permiten el movimiento relativo de los enlaces vecinos (Davim, 2018). Un manipulador en serie es un conjunto de cuerpos conectados en una cadena por articulaciones, como ocurre en los mecanismos típicos. Es por ello que los ingenieros de las distintas especialidades mecánicas de construcción de tecnología y explotación deben conocer y saber trabajar con los fundamentos de los distintos métodos de análisis, de síntesis (proyección) de las máquinas y mecanismos, solucionando distintos tipos de tareas, analizando la significación, sentido y enlace funcional de todos los elementos de la máquina a proyectar, sistematizando y utilizando los conocimientos recibidos en su formación (Wickert & Lewis , 2015).

En la actualidad con el desarrollo de la computación es posible la obtención rápida de resultados con calidad, llevando al mínimo los trabajos de rutina del ingeniero, en este estudio usamos el *software Working Model* para la simulación 2D del funcionamiento del MCI, así como *Microsoft Excel*, donde se realiza el análisis de los resultados de la simulación. SolidWorks es usado para el análisis multicuerpo 3D del MCI.

El contexto antes descrito y que da origen a esta investigación, está fomentado por la existencia del siguiente problema científico: en las normas vigentes y en la literatura consultada no existe información disponible con una descripción de la aplicación del sistema multicuerpo en la docencia de pregrado en Cuba, que permitan explicar la vialidad del método en nuestra enseñanza y por consiguiente en nuestra industria.

Objeto y objetivo de la investigación.

El objeto de esta investigación es la aplicación del Sistema Multicuerpo en el análisis de cinemático y dinámico de mecanismos aplicable, entre otras, en las siguientes áreas (Multibody System, 2021):

- La ingeniería aeroespacial (helicóptero, trenes de aterrizaje, el comportamiento de máquinas bajo diferentes condiciones gravitacionales)
- Biomecánica

- Motor de combustión, engranajes y transmisiones, accionamiento por cadena, propulsión por correa
- Simulación Dinámica
- Aplicaciones militares
- Robótica

Sobre la base de lo anteriormente expuesto se plantea como Objetivo General: realizar el análisis de un MCI mono cilindro que permita su caracterización integral desde el punto de vista cinemático y dinámico, así como los siguientes Objetivos Específicos: determinar el grado de libertad del mecanismo y realizar una descripción del mismo, realizar el análisis cinemático y dinámico del mecanismo de palanca, reflejar mediante gráficas los parámetros desplazamiento, velocidad y aceleración calculadas, así como la gráfica del comportamiento de la fuerza en los pares cinemáticos y elementos. Potencia en el cigüeñal durante una revolución de la manivela.

Hipótesis

Si se realiza una acertada modelación del Sistema Multicuerpo proyectado, MCI mono cilindro, se podrán pronosticar los indicadores cinemáticos y dinámicos, de los cuales en gran medida dependen la resistencia y confiabilidad de los elementos estructurales que lo componen.

Capítulo 1 Revisión Bibliográfica

En este capítulo se recopila información necesaria para el análisis cinemático del sistema en cuestión. Se presenta información acerca de los diferentes análisis y su uso de los sistemas multicuerpo, su desarrollo en la actualidad y metodología a seguir para su correcto análisis.

1.1 Sistema Multicuerpo

De manera sencilla, se puede decir que un sistema multicuerpo general abarca dos características principales: 1- componentes mecánicos que describen grandes desplazamientos traslacionales y rotacionales y 2- articulaciones cinemáticas que imponen algunas restricciones o restricciones sobre el movimiento relativo de los cuerpos. En otras palabras, un Sistema multicuerpo abarca una colección de cuerpos rígidos y/o flexibles interconectados por articulaciones cinemáticas y posiblemente algunos elementos de fuerza. Los elementos impulsores y las trayectorias prescritas para puntos dados de los componentes del sistema también se pueden representar bajo este concepto general de sistema multicuerpo. Los cuerpos que pertenecen a un sistema multicuerpo pueden considerarse rígidos o flexibles. Se dice que un cuerpo es rígido cuando se supone que sus deformaciones son pequeñas, de modo que no afectan el movimiento global producido por el cuerpo. Un cuerpo así puede trasladarse y rotar, pero no puede cambiar su forma. En contraste con este concepto, un cuerpo flexible tiene una estructura elástica. En el espacio tridimensional, el movimiento de un cuerpo rígido libre se puede describir completamente usando seis coordenadas generalizadas asociadas con los seis grados de libertad. A su vez, cuando un cuerpo incluye cierta cantidad de flexibilidad, tiene seis grados rígidos de libertad más el número de coordenadas generalizadas necesarias para describir las deformaciones. Dentro del alcance del presente trabajo, solo se consideran los cuerpos rígidos. En general, las articulaciones cinemáticas que pueden existir en sistemas multicuerpo restringen el movimiento relativo entre los cuerpos conectados por ellos. Mientras que los elementos de fuerza representan las fuerzas internas que se producen en el sistema y están asociadas al movimiento relativo de los cuerpos. Dos de las articulaciones cinemáticas más típicas empleadas en sistemas multicuerpo son las articulaciones de revolución y de traslación. Las fuerzas aplicadas sobre los componentes del sistema multicuerpo pueden ser el resultado de resortes, amortiguadores,

actuadores o fuerzas externas. Las fuerzas aplicadas externas de diferente naturaleza y diferente nivel de complejidad pueden actuar sobre un sistema multicuerpo con el propósito de simular las interacciones entre los componentes del sistema y entre estos y el entorno circundante. Se puede utilizar un sistema multicuerpo para estudiar las características de movimiento cinemático y dinámico de una amplia variedad de sistemas en una gran cantidad de campos de aplicación de ingeniería. Los sistemas multicuerpo pueden variar desde muy simples hasta muy complejos. No hay duda de que los sistemas multicuerpo son omnipresentes en las actividades de ingeniería e investigación, como la robótica, los vehículos automotores, la biomecánica, los mecanismos, el ferrocarril. vehículos, solo por mencionar algunos (Flores, 2015).

1.2 Mecanismo de Movimiento

Las máquinas son dispositivos que se utilizan para realizar un trabajo determinado y un mecanismo es el corazón de una máquina. El mecanismo es la parte mecánica que tiene la función de transferir movimiento y fuerzas desde una fuente de energía a una salida. Puede considerarse partes rígidas que se disponen y conectan de manera que produzcan el movimiento deseado de la máquina. El análisis del mecanismo asegura que el dispositivo exhibirá un movimiento que logrará el propósito deseado de una máquina. (Myszka, 2012)

Para el estudio de un mecanismo hay que tener presente aspectos como centro de gravedad, velocidad angular y momento de inercia por solo mencionar algunos. Dependiendo de la complejidad del mecanismo se puede analizar como un sistema bidimensional aquellos que solo posean movimientos en dos ejes lo que permite en un plano; el análisis tridimensional es necesario en sistema que se desplacen o roten sobre tres ejes de coordenadas o necesiten un estudio mas específico.

1.2.1 Mecanismos de Transformación de Movimiento.

En estos mecanismos, el movimiento del elemento de entrada al mecanismo es distinto al que tenga el elemento de salida en pocas palabras el movimiento se transforma en otro diferente de ahí su nombre. Estos mecanismos se agrupan en dos grandes grupos:

- 1- Mecanismo de transformación circular en lineal: en este caso el elemento de entrada tiene movimiento circular mientras que el elemento de salida tiene movimiento lineal. Un ejemplo bastante común son los mecanismos de piñón-cremallera.
- 2- Mecanismo de transformación circular-alternativo (o viceversa): en este caso el elemento de entrada posee movimiento circular mientras que el elemento de salida tiene un movimiento alternativo. Un claro ejemplo de estos son los sistemas biela-manivela. (Aprendemos Tecnología, s.f.)

1.2.2 Mecanismo biela-manivela.

Es un mecanismo de transformación de movimiento el ejemplo más común de ver se encuentra en los motores de combustión interna en el cual el movimiento alternativo del pistón producido por la explosión del combustible se trasmite a la biela y se convierte en movimiento circular en el cigüeñal. Este mecanismo está conformado por dos elementos fundamentales:

Biela: es un elemento rígido y largo que permite la unión articulada entre la manivela y el embolo. Está formada por la cabeza, el cuerpo y el pie. La forma y la sección de la biela pueden ser muy variadas, pero debe poder resistir los esfuerzos de trabajo por eso es hecha de aceros especiales o aleaciones de aluminio.

Manivela: es una palanca con un punto al eje de rotación y la otra a la cabeza de la biela. Cuando la biela se mueve alternativamente se consigue hacer girar la manivela gracias al movimiento general de la biela. Y al revés, cuando gira la manivela, se consigue mover alternativamente la biela y el embolo. (Wikipedia, 2021)

1.3 Motor de Combustión Interna

Un motor de combustión interna o motor de explosión es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible que arde dentro de la cámara de combustión. El nombre se debe a que dicha combustión se produce dentro de la propia máquina, a diferencia de la máquina de vapor. (Singal, 2015)

1.3.1 Tipos principales.

Entre los motores de combustión interna mas frecuente se encuentran los siguientes:

- Motor de combustión interna alternativo
 - El motor de explosión ciclo Otto, cuyo nombre proviene del técnico alemán que lo desarrolló, Nikolaus August Otto, es el motor convencional de gasolina, aunque también se lo conoce como motor de ciclo Beau de Rochas debido al inventor francés que lo patentó en 1862.
 - El motor diésel, llamado así en honor del ingeniero alemán Rudolf Diesel, funciona con un principio diferente y suele consumir gasóleo.
- La turbina de gas, es una turbomáquina motora cuyo fluido de trabajo es un gas.
- El motor rotativo o motor Wankel, es un motor que en lugar de pistones utiliza rotores, fue patentado en 1929 por Félix Wankel. (ver Anexo 1)
- El ciclo Atkinson, motor inventado en 1882 por James Atkinson con el objetivo de ofrecer mayor eficiencia a expensas de la potencia. Se aplican en las aplicaciones híbridas actuales. (Wikipedia, 2021)

1.3.2 Clasificación según el ciclo de los motores alternativos

Existen los diésel y gasolina, tanto en 2T como en 4T.

- De dos tiempos, los de dos tiempos efectúan una carrera útil de trabajo en cada giro. (Ver Anexo 2)
- De cuatro tiempos, efectúan una carrera útil de trabajo cada dos giros. (Ver Anexo 3)

La invención se puede remontar a dos italianos: el padre Eugenio Barsanti, un sacerdote escolapio, y Felice Matteucci, ingeniero hidráulico y mecánico, que ya en 1853 detallaron documentos de operación, construcción y patentes pendientes en varios países europeos como Gran Bretaña, Francia, Italia y Alemania.

Los primeros prototipos carecían de la fase de compresión; es decir, la fase de succión terminaba prematuramente con el cierre de la válvula de admisión antes de que el pistón llegase a la mitad, lo que provocaba que la chispa que generaba la combustión que empuja la carrera del pistón fuese débil. Como consecuencia el funcionamiento de estos primeros motores era deficiente. Fue la fase de compresión la que dio una eficiencia significativa al motor de combustión interna, que lograría el reemplazo definitivo de los motores a vapor e impulsaría el desarrollo de los automóviles, ya que lograba desarrollar una potencia igual o mayor en dimensiones considerablemente mucho más reducidas. (Paz, 2006)

Las primeras aplicaciones de los motores de combustión interna fueron los motores fuera de borda. Esto fue debido a que el principal impedimento para su uso en vehículos terrestres era el hecho de que, a diferencia de la máquina de vapor, no podía comenzar desde cero o sea romper la inercia. Los motores marinos por otra parte no sufren este problema, ya que las hélices están libres de un momento de inercia significativo como es el arranque. Este problema fue solucionado más tarde por el embrague que permitió su funcionamiento sin necesidad de transmitir la fuerza.

El motor tal como lo conocemos hoy fue desarrollado por el alemán Nikolaus Otto, quien en 1886 patentó el diseño de un motor de combustión interna a cuatro tiempos, basado en los estudios del inventor francés Alphonse Beau de Rochas de 1862, que a su vez se basó en el modelo de combustión interna de Barsanti y Matteucci.

1.4 Motor Monocilíndro

El motor monocilíndrico o de un solo cilindro es una configuración básica del motor de combustión interna alternativo. Se ve a menudo en las motocicletas, motocarros, motonetas, go-karts, modelos controlados por radio, y tiene muchos usos en herramientas portátiles y maquinaria de jardín. Se produjeron algunos automóviles y tractores con motor de un solo cilindro (Ver Anexo 5), pero hoy son escasos debido a los desarrollos en la tecnología del motor.

Los motores monocilíndricos son sencillos y compactos, y a menudo ofrecen la máxima potencia posible dentro de una envoltura determinada. El enfriamiento es más sencillo que

con múltiples cilindros, ahorrando potencialmente más peso, especialmente si se puede usar refrigeración por aire.

Los motores monocilíndricos requieren más volante que los motores de varios cilindros, y la masa giratoria es relativamente grande, restringiendo la aceleración y cambios bruscos de velocidad. En la disposición básica son propensos a la vibración - aunque en algunos casos puede ser posible controlar esto con ejes de equilibrio.

Una variación conocida como motor de pistón doble, hace uso de dos pistones que comparten una sola cámara de combustión. (Ver Anexo 4)

1.4.1 Ventajas y Desventajas

Los motores monocilíndricos son sencillos y económicos en construcción. La vibración que generan es aceptable en muchas aplicaciones, mientras que es menos aceptable en otras. Pueden montarse ejes de contrapeso y contrapesos, pero tales complejidades tienden a contrarrestar las ventajas anteriormente enumeradas.

Los componentes tales como el cigüeñal de un motor monocilíndrico tienen que ser casi tan fuertes como los de un motor multicilíndrico de la misma capacidad por cilindro, lo que significa que algunas partes son efectivamente cuatro veces más pesadas de lo que necesitan para el desplazamiento total del motor. El motor monocilíndrico casi inevitablemente desarrollará una menor relación de potencia-peso que un motor de varios cilindros de tecnología similar. Esto puede ser una desventaja en las operaciones móviles, aunque es de poca importancia en otras y en la mayoría de las aplicaciones estacionarias.

1.4.2 Aplicaciones

Las primeras motocicletas, automóviles y otras aplicaciones, tales como motores marinos todos tendían a ser monocilíndricos. La configuración se mantiene en uso generalizado en motocarros, motonetas, ciclomotores, motos de cross, go-karts, modelos controlados por radio y se utiliza casi exclusivamente en herramientas portátiles, junto con maquinaria de jardín, como cortadoras de césped.

La motocicleta Honda Super Cup tiene un motor monocilíndrico de 499 cc y muy bajo consumo de combustible, además de ruedas de 17 pulgadas con cubos de gran diámetro. Hoy en día están disponibles algunas motocicletas con potentes motores monocilíndricos. Hay motos deportivas como la KTM 690 Duke R que tiene un motor monocilíndrico de 690 cc de 70 CV, motocicletas de doble propósito como la BMW G650GS, así como clásicos como la Royal Enfield 500 Bullet con motor monocilíndrico con pistón de recorrido largo.

1.5 Método de Elementos Finitos

El método de los elementos finitos (MEF) es un método numérico general para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy utilizado en diversos problemas de ingeniería y física.

El MEF está pensado para ser usado en computadoras y permite resolver ecuaciones diferenciales asociadas a un problema físico sobre geometrías complicadas. El MEF se usa en el diseño y mejora de productos y aplicaciones industriales, así como en la simulación de sistemas físicos y biológicos complejos. La variedad de problemas a los que puede aplicarse ha crecido enormemente, siendo el requisito básico que las ecuaciones constitutivas y ecuaciones de evolución temporal del problema a considerar sean conocidas de antemano.

1.6 Software SolidWorks

SolidWorks es un programa de diseño asistido por computadora para modelado mecánico desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp. Es un modelador de sólidos paramétrico. El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en trasvasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada.

La empresa SolidWorks Corp. fue fundada en 1993 por Jon Hirschtick con su sede en Concord, Massachusetts y lanzó su primer producto, SolidWorks 95, en 1995.

Certificaciones de SolidWorks:

La obtención de certificaciones de SolidWorks les da a los diseñadores (Ingenieros, Delineantes, ...) la posibilidad de competir y sobresalir en aspectos de diseño, análisis y gestión de datos. Además, les ofrece la oportunidad de ser reconocidos a nivel mundial.

1.7.1 Modelación.

El término Modelación se refiere a trabajos de arte gráfico que son creados con ayuda de computadoras y programas especiales. En general, puede referirse también al proceso de crear dichos gráficos, o el campo de estudio de técnicas y tecnología relacionadas con los gráficos tridimensionales (3D).

Un gráfico 3D difiere de uno bidimensional principalmente por la forma en que ha sido generado. Este tipo de gráficos se originan mediante un proceso de cálculos matemáticos sobre entidades geométricas tridimensionales producidas en un ordenador, y cuyo propósito es conseguir una proyección visual en dos dimensiones para ser mostrada en una pantalla o impresa en papel.

En general, el arte de los gráficos tridimensionales es similar a la escultura o la fotografía, mientras que el arte de los gráficos 2D es análogo a la pintura. En los programas de gráficos por computadora esta distinción es a veces difusa: algunas aplicaciones 2D utilizan técnicas 3D para alcanzar ciertos efectos como iluminación, mientras que algunas aplicaciones 3D primarias hacen uso de técnicas 2D.

1.7.2 Simulación.

La Simulación es la experimentación con un modelo de una hipótesis o un conjunto de hipótesis de trabajo.

Thomas T. Goldsmith Jr. y Estle Ray Mann la define así: "Simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos períodos".

Una definición más formal formulada por R.E. Shannon es: "La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias, dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos para el funcionamiento del sistema".

Definición de Simulación

Consiste en estudiar el contexto del problema, identificar los objetivos del proyecto, especificar los índices de medición de la efectividad del sistema, especificar los objetivos específicos del modelamiento y definir el sistema que se va a modelar.

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se expondrá los materiales utilizados en la simulación y el porqué de su elección. El procedimiento para la obtención de los resultados y los cálculos previos necesarios para llegar a ellos. Las medidas del motor monocilindro fueron extraídas de un video tutorial y modificadas a nuestro objetivo con el fin que la PC pudiera correr los softwares de forma correcta y eficiente.

2.1 Materiales

Las propiedades de un material, pueden cambiar significativamente con un tratamiento térmico, el tratamiento térmico que se le da a un material, depende del metal y de la función que este va a cumplir. Adicionalmente al tratamiento térmico, las propiedades de un material dependen de la forma en como el metal fue producido, este puede ser por medio de una fundición, la cual puede dejar mucha o poca porosidad en el metal, haciendo que este sea más frágil, pero si el metal es por medio de extrusión, el metal adquiere mucha más resistencia y casi sin o ninguna porosidad. Del mismo modo se pueden obtener barras o planchas de metal, las cuales han sido previamente forjadas, llegando a poseer más resistencia que las extruidas y en la mayoría de casos, los fabricantes venden el metal con un tratamiento térmico previo.

2.1.1 Pistón

La aleación que se utiliza comúnmente en la fabricación de pistones es la 4032, y su principal aleante en el silicio. Adicionalmente esta aleación posee en pocas cantidades otros metales como cobre, níquel, cromo, hierro, magnesio, zinc. Existen otras aleaciones que se utilizan también en pistones, las cuales se encuentran en las tablas 2.1.

Tabla 2.1 Aleación para pistones.

Aleación	Resistencia a la tracción (N/mm²)	Composición en %	Propiedades
AlSi 12 CuNi	200 - 370	12 Si; 1 Cu; 1 Ni; 1 Mg; resto Al	Para fundición en coquilla y pistones moldeados, dilatación térmica $\alpha=0,000021$ 1/K
AlSi 18 CuNi	180 - 300	18 Si; 1 Cu; 1 Ni; 1 Mg; resto Al	Aleación para pistones con dilatación térmica muy baja $\alpha=0,000019$ 1/K
AlSi 25 CuNi	140 - 200	25 Si; 1 Cu; 1 Ni; 1 Mg; resto Al	Dilatación térmica especialmente baja $\alpha=0,0000175$ 1/K

Características de las aleaciones de aluminio:

- Las más altas temperaturas de trabajo
- Extraordinaria resistencia a la corrosión
- Poco peso
- Muy buena resistencia y dureza
- Buena rigidez y relación resistencia – peso
- Excelentes propiedades de protección contra EMI
- Excelente conductividad térmica
- Alta conductividad eléctrica
- Buenas características de acabado
- Plena capacidad de reciclaje

Los materiales, de acuerdo a su tipo de aleación y a los metales que la componen, presentan distintas características de dureza, resistencia, elasticidad, dilatación, conductividad térmica, densidad, facilidad de mecanizado, etc. Las propiedades que posee una aleación dependen de sus componentes, así mismo como de su cantidad (%), en la Tabla 2.2 se encuentran los metales aleantes más comunes usados con el aluminio e indica la función que cumple cada compuesto dentro de la aleación.

El aumento en el porcentaje de silicio aleado con el aluminio aumenta su resistencia al desgaste y disminuye la dilatación térmica, pero empeora sus características de mecanizado, por lo que su fabricación es más costosa. Los pistones nuevos reciben un tratamiento superficial para mejorar sus características de deslizamiento, con la finalidad de acortar el rodaje o período de adaptación entre el pistón y el cilindro. Este tratamiento consiste en depositar sobre el aluminio una fina capa de estaño o plomo mediante el sistema de inmersión. También se emplea polvo de grafito que proporciona protección superficial y buenas cualidades deslizantes.

Tabla 2.2 Efectos de los metales en aleaciones.

Cobre	Mejora la resistencia y la dureza de las condiciones bruto de colada y tratamiento térmico. Aleaciones que contengan de 4 a 5.5% de Cu, responden con más dureza a los tratamientos térmicos y mejoran relativamente las propiedades de la colada de fundición. Reduce la resistencia a la rotura en caliente y aumenta el potencial de la contracción del material. El cobre generalmente reduce la resistencia a la corrosión en general y en composiciones especiales y condiciones materiales aumenta la susceptibilidad a la tensión por corrosión. Bajas concentraciones de cobre en aleaciones de aluminio zinc, inhibe la corrosión bajo tensión.
Cromo	Aleaciones que contengan hierro, manganeso y cromo, son a veces encontrados en composiciones de fundición a presión, pero rara vez en las aleaciones de fundición por gravedad. Mejora la resistencia a la corrosión.
Hierro	Mejora la resistencia a la rotura en caliente y disminuye la tendencia a la adherencia o soldadura del troquel a la fundición inyectada. El incremento del contenido de hierro está acompañado sustancialmente de la disminución de la ductilidad. El hierro reacciona al formar un número de fases intermetálicas, las más comunes son FeAl ₃ , FeMnAl ₆ y AlFeSi. Estas fases insolubles son responsables de la mejora en la

	fuerza, especialmente a elevada temperatura, pero también a la fragilización de la microestructura.
Magnesio	Usado básicamente para desarrollar resistencia y dureza en aleaciones de aluminio-silicio térmicamente tratadas y es comúnmente usado en aleaciones más complejas de aluminiosilicio que contengan cobre, níquel y otros elementos para el mismo propósito. La fase de endurecimiento Mg_2Si muestra un límite de solubilidad útil de 0,70% de Mg.
Manganeso	Normalmente considerado una impureza en las composiciones de fundición, el manganeso es controlado en bajos niveles en la mayoría de composiciones para fundiciones por gravedad. Es un elemento importante en el trabajo de endurecimiento de aleaciones forjadas a través del cual secundarias composiciones de fundición pueden contener altos niveles de manganeso. En ausencia del trabajo de forja, el manganeso no ofrece beneficios significativos en aleaciones de aluminio fundido. Alguna evidencia existe, sin embargo, una fracción de alto volumen de $MnAl_6$ en aleaciones que contienen más del 0,5% de Mn puede influir beneficiosamente solidez interna.
Níquel	Comúnmente usado con cobre para mejorar las propiedades a temperaturas elevadas. Reduce el coeficiente de dilatación térmica.
Silicio	El excepcional efecto del silicio en aleaciones de aluminio es en el mejoramiento de las características de fundición. La adición de silicio mejora dramáticamente la fluidez, resistencia a la rotura y características de alimentación del molde. Aleaciones comerciales abarcan los rangos hipo eutécticos e hipereutécticos de hasta aproximadamente 30% de Si. El incremento de Si mejora la fluidez para llenar paredes finas y para reproducir diseños y detalles más intrincados.

	<p>Aleaciones de aluminio-silicio, son típicamente más resistentes al agrietamiento de solidificación y muestra excelentes características de fundición y alimentación del molde.</p> <p>El contenido más deseable de silicio en aleaciones de aluminio-silicio, corresponde a las características del proceso de solidificación. Para un proceso con un ritmo de enfriamiento lento como el yeso y arena, el rango preferido es de 5 a 7%, para moldes permanentes de 7 a 9%, y para fundición de 8 a 12%. Las bases de estas recomendaciones es la relación entre el ritmo de enfriamiento y la fluidez, además del efecto del porcentaje eutéctico en el proceso de solidificación en la alimentación del molde. Silicio combinado con magnesio para formar Mg_2Si en aleaciones tratables térmicamente. Se combina con hierro y otros elementos para formar fases insolubles complejas. El silicio reduce la gravedad específica y el coeficiente de expansión térmica.</p>
Titanio	<p>Usado extensivamente para refinar la estructura granular de las aleaciones de fundición de aluminio, a menudo en combinación de pequeñas cantidades de boro.</p> <p>El titanio a menudo se emplea a concentraciones mayores que las requeridas para el refinamiento del grano para reducir las tendencias de agrietamiento en composiciones calientes.</p>
Zinc	<p>El zinc no ofrece un beneficio significativo en fundiciones de aluminio. Acompañado de la adición de cobre y/o magnesio, el zinc resulta sin embargo atractivo para un tratamiento térmico o para composiciones de envejecimiento natural. Es usualmente usado en composiciones de fundiciones secundarias y en fundiciones a presión. En estas aleaciones, la tolerancia de más de 3% de zinc, permite el menor grado de uso de chatarra de forja.</p>

2.1.2 Biela

Un material del cual se fabrica la biela es de acero al carbono aleado con níquel y cromo; según el sistema de designación AISI se usan cuatro dígitos para aceros al carbón y aceros aleados, los dos primeros dígitos señalan el grupo específico de aleaciones que identifica a los principales elementos aleantes aparte del carbono en el acero y los últimos dos dígitos indican la cantidad de carbono en el acero. Para aceros aleados con níquel, cromo y molibdeno se usa la designación 43xx que tiene como composición química 1.8% de níquel, 0.4-0.9% de cromo, 0.25% de molibdeno y 0.40% de carbón (ver Tabla 2.3); los aceros al medio carbón contienen de 30 a 50 puntos de carbono y presentan una resistencia de moderada a alta, una ductilidad buena y una dureza moderada, por esta razón el acero AISI 4340 corresponde al material de la biela en estudio ya que este tipo de acero se aplica en piezas que requieren buen endurecimiento interior como la biela y otras como cigüeñales, flechas de transmisión, pernos y tuercas, engranes, engranes de transmisión, ejes de leva y porta moldes.

Tabla 2.3 Composición química del acero AISI 4340 - % Promedio:

C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni
0.40	0.70	0.30	0.90	0.25	1.80

Tratamientos térmicos que se le aplica al acero 4340:

- Forja: 1150° - 1250°, enfriar en el horno o en cenizas.
- Recocido: 780° - 840°C, enfriar en horno.
- Normalizado: 870° - 925°C, enfriar en aire.
- Templado: 800° - 855°C, enfriar en aceite.
- Revenido: 200° - 650°C, enfriar en aire.

La forja se realiza martilleando una preforma metálica. Se aplica súbitamente una fuerza a dos semimatrices en cuyo interior está alojada la preforma, de modo que se deforma ocupando la cavidad que dejan las matrices. Las piezas forjadas tienen una extraordinaria microestructura y la mejor combinación de propiedades mecánicas.

Un proceso de recocido es un tratamiento térmico utilizado para eliminar los efectos del trabajo en frío, esto es, para ablandar y ductilizar un metal agrio. Generalmente se aplica durante los procedimientos de hechurado que necesitan gran deformación plástica, para permitir una posterior deformación sin rotura o excesivo consumo de energía. Durante su aplicación tienen lugar fenómenos de recuperación y de recristalización. Generalmente se prefiere una microestructura de grano fino; por tanto, el tratamiento térmico suele terminar antes de que ocurra un crecimiento de grano apreciable.

Los aceros que se han deformado plásticamente, constan de granos de perlita. Estos granos son relativamente grandes y de forma irregular, pero de tamaño muy variable; por ello, se les aplica un tratamiento térmico denominado normalizado para afinarlos y producir una distribución de tamaños más uniforme. Después del tiempo suficiente para conseguir la completa transformación a austenita (procedimiento denominado austenización) el tratamiento termina enfriando al aire.

Durante el tratamiento térmico del temple es posible enfriar una muestra a velocidad uniforme, aunque la superficie siempre se enfría más deprisa que el interior. Por lo tanto, la austenita se transforma en un tramo de temperaturas, obteniendo una posible variación de microestructuras y propiedades, según la posición dentro de la muestra. El tratamiento térmico adecuado del acero para producir una microestructura martensítica a lo largo y ancho de la sección de una muestra depende fundamentalmente de tres factores: (1) composición de la aleación, (2) tipo y carácter del medio de temple y (3) tamaño y forma de la muestra.

La martensita resultante del temple es muy dura y muy frágil y, por lo tanto, inservible para la mayoría de las aplicaciones; además, las tensiones internas introducidas durante el temple ejercen un efecto fragilizante. La ductilidad y la tenacidad de la austenita se incrementa y las tensiones internas se reducen mediante el tratamiento térmico conocido como revenido. El revenido se lleva a cabo calentando el acero martensítico durante un período de tiempo específico. Normalmente el revenido se realiza calentando entre los 250 y 650°C; sin embargo, las tensiones internas se pueden eliminar a temperaturas de unos 200°C.

2.1.3 Cigüeñal

Los cigüeñales se fabrican de acero, forjados o estampados, y así como de fundiciones de alta resistencia e inoculadas, las cuales se distinguen por su suficiente resistencia mecánica y pequeña sensibilidad a la acción de los concentradores constructivos y tecnológicos de tensiones, además amortiguan mejor la vibración de los aceros.

Las estructuras coladas permiten obtener, de modo simplísimo, formas más perfectas de los elementos de cigüeñales.

El acero AISI/SAE 1045 es el que se emplea con más frecuencia por disponer de mayor maquinabilidad. A base de un debido tratamiento térmico se le puede dar altas propiedades mecánicas. La dureza elevada local indispensable para aumentar la resistencia al desgaste de los muñones, se consigue sometiendo este acero a un tratamiento de temple y de revenido hasta HRC 40-50.

Tabla 2.4 Composición química (% en peso).

C	Si	Mn	P	S
0.43	0.15	0.60	-	-
0.50	0.35	0.90	0.040	0.50

Tabla 2.5 Propiedades mecánicas.

Tipo de proceso y acabado	Resistencia a la tracción		Límite de fluencia		Alarga/en 2 ^m (%)	Reducción de área (%)	Dureza (HB)
	MPa	PSI	MPa	PSI			
Caliente y maquinado	570	82700	310	45000	16	40	163
Estirado en frío	630	91400	530	76900	12	35	179

Tabla 2.6 Tratamientos térmicos recomendados.

Forjado	Normalizado	Recocido		Templado	Revenido	°T Crítica aproximada	
		Ablanda	Regeneración			Ac1	Ac3
1050-1200	870-890	650-700 Enfriar al aire	800-850 Enfriar en horno	820-850 Agua 830-860 Aceite	300-670	730	785

2.2 Selección de la velocidad angular del motor

Para conocer a que velocidad es capaz de girar el cigüeñal primero debemos conocer cuál es la cilindrada del motor la cual es la suma del volumen útil en cada cilindro y su valor se da mayormente en centímetros cúbicos (cm³ o cc) o litros (L).

$$cilindrada\ total = \left(\frac{\pi * d^2}{4}\right) * (L * \#c)$$

Donde:

d² = es el diámetro exterior del pistón o interior del cilindro en centímetros

L = es la carrera del pistón en centímetros (la cual es la distancia del punto muerto superior al punto muerto inferior o sea dos veces la distancia del centro de giro del cigüeñal al centro de giro de la biela en el cigüeñal)

#c = es el número de cilindros del motor

Por tanto:

$$cilindrada\ unitaria = \frac{\pi * d^2}{4} * L$$

$$cilindrada\ unitaria = \frac{\pi * 8,5^2}{4} * 8,8$$

$$\text{cilindrada unitaria} = 499 \text{ cm}^3 \approx 0.5 \text{ L}$$

Teniendo el resultado de la cilindrada buscamos motores monocilindro con este valor y podemos encontrar que llegan a alcanzar los 5200 rpm, en promedio la velocidad de trabajo es de 3000 rpm y en baja los valores oscilan los 600 rpm.

2.3 Análisis Cinemáticos mediante Working Model

En mecanismo mostrado en la figura 1, se determinarán los grados de libertad y se realizará una descripción del mismo, se calcularán las velocidades y aceleraciones lineales de los puntos indicados, así como las velocidades y aceleraciones angulares del motor monocilindro para, al menos 26 posiciones del mecanismo (360° de giro del cigüeñal) (Baranov, 1979).

El elemento motor tiene tres velocidades angulares constantes, de 600, 3000, 5200 rpm, en el sentido horario.

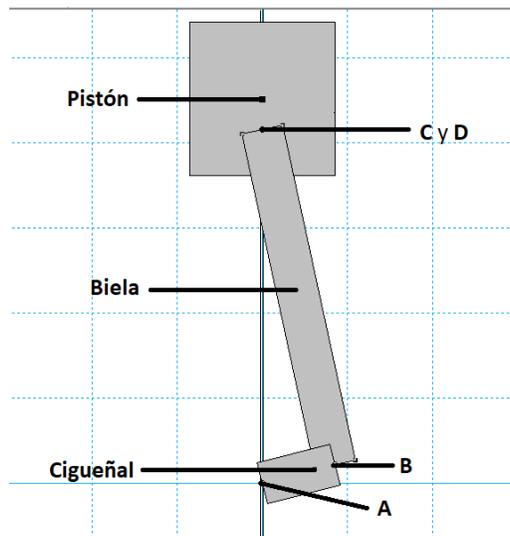


Figura 2.1 Esquema cinemático y modelo de Working Model (Elaboración Propia)

En los mecanismos planos, los eslabones tienen los nombres siguientes (Baranov, 1979) (Golubev, 1978) (Myszka, 2012):

Manivela. Es un eslabón del mecanismo que forma con la base el par cinemático de rotación y tiene el movimiento giratorio completo igual a 2π , o sea, el cigüeñal.

Biela. Es un eslabón que forma pares cinemáticos giratorios con eslabones móviles;

Corredera. Es un eslabón mecánico que forma el par cinemático de traslación con el otro eslabón móvil o fijo, o sea, el pistón.

Se pasa a elaborar una modelación en Working Model para lograr la solución, para ello es preciso introducir la masa en las propiedades de cada uno de los elementos que componen el mecanismo, tabla 1. En el análisis cinemático, la masa y la forma de los eslabones carece de importancia (no se consideran las fuerzas), por lo que se representan esquemáticamente como simples líneas que unen los puntos de enlace, siendo, sin embargo, imprescindible su uso en el análisis dinámico (Oberg, 2016) (Norton, 2020).

Tabla 2.7 Masa de los elementos que componen el mecanismo. (Elaboración propia)

Elemento	Denominación	Masa
1	Manivela o Cigüeñal	7.14 kg
2	Biela	1.67 kg
3	Corredera o Pistón	0.36 kg

Se está en presencia entonces, de un mecanismo de biela manivela formado por tres elementos móviles manivela o cigüeñal (1), biela (2) y una corredera o pistón (3), unidos entre sí (y al bastidor) por si cuatro pares cinemáticos inferiores de rotación y traslación en una dirección: A (rotación) entre la manivela y el bastidor, B (rotación) entre la manivela y la biela, C (rotación) entre el biela y la corredera, D (traslación) entre la corredera y la guía que no es más que las paredes de la camisa del motor.

Teniendo en cuenta lo anterior, la movilidad del mecanismo, se calcula de la forma:

$$W = 3n - 2P_5$$

$$W = 3(3) - 2(4) = 9 - 8 =$$

$$W = 1$$

Donde:

W , movilidad o grado de libertad del mecanismo

n , es el número de elementos móviles y

P_5 , es el número de pares de la quinta clase, es decir, con un grado de libertad.

El mecanismo tiene un grado de libertad, lo cual concuerda con el hecho de que precisa de un solo elemento motor.

En general el sólido rígido en el plano tiene tres grados de libertad. Los pares cinemáticos son restricciones en los sólidos rígidos que reducen los grados de libertad del mecanismo. Si creamos pares inferiores, son reducidos dos grados de libertad. Similarmente si creamos pares superiores, es reducido un grado de libertad (Golubev, 1978) (Baranov, 1979) (Norton, 2020).

Para llevar el mecanismo a la posición deseada, en este caso 360° , se convierten los grados en radianes y se calcula el tiempo que demora el mecanismo en alcanzar esta posición según (Oberg, 2016):

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 5200 \text{ rev/min}}{30} = 544.54 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$t = \frac{\theta}{\omega} = \frac{6,28 \text{ rad}}{544.54 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 0,011 \text{ s} \approx 0.1 \text{ s}$$

El mismo procedimiento se utiliza para las velocidades restantes y se obtienen los siguientes datos:

$$\omega = 3000 \text{ rpm} \Rightarrow \omega = 314.16 \text{ rad/s} \Rightarrow t = 0.019 \text{ s} \approx 0.02 \text{ s}$$

$$\omega = 600 \text{ rpm} \Rightarrow \omega = 62.83 \text{ rad/s} \Rightarrow t = 0.099 \text{ s} \approx 0.1 \text{ s}$$

Con los datos calculados se pasa a realizar la simulación para una vuelta de la manivela (360°) con las distintas velocidades para poder hacer una comparación.

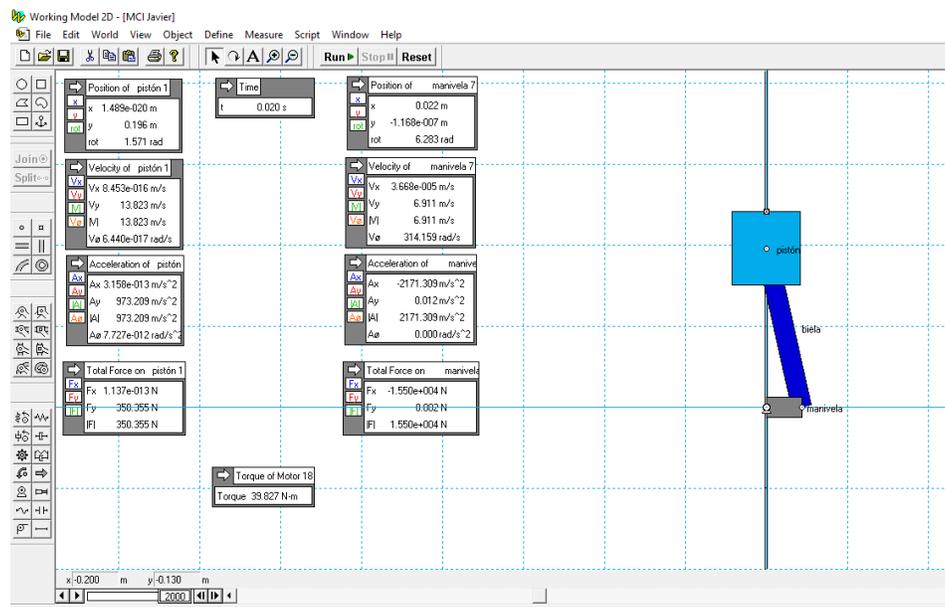


Figura 2.2 Parámetros a calcular en Working Model

2.4 Modelación y Ensamble de las Piezas en SolidWorks

Para la modelación de cada pieza se utilizó el software SolidWorks, el cual trabaja con una interfaz interactiva (figura 2.3) en donde solo hay que introducir los valores de las dimensiones. A partir de un croquis y posteriormente las operaciones de 3D extrusión, revolución, corte-vaciado, entre otras se obtiene la geometría de la pieza.

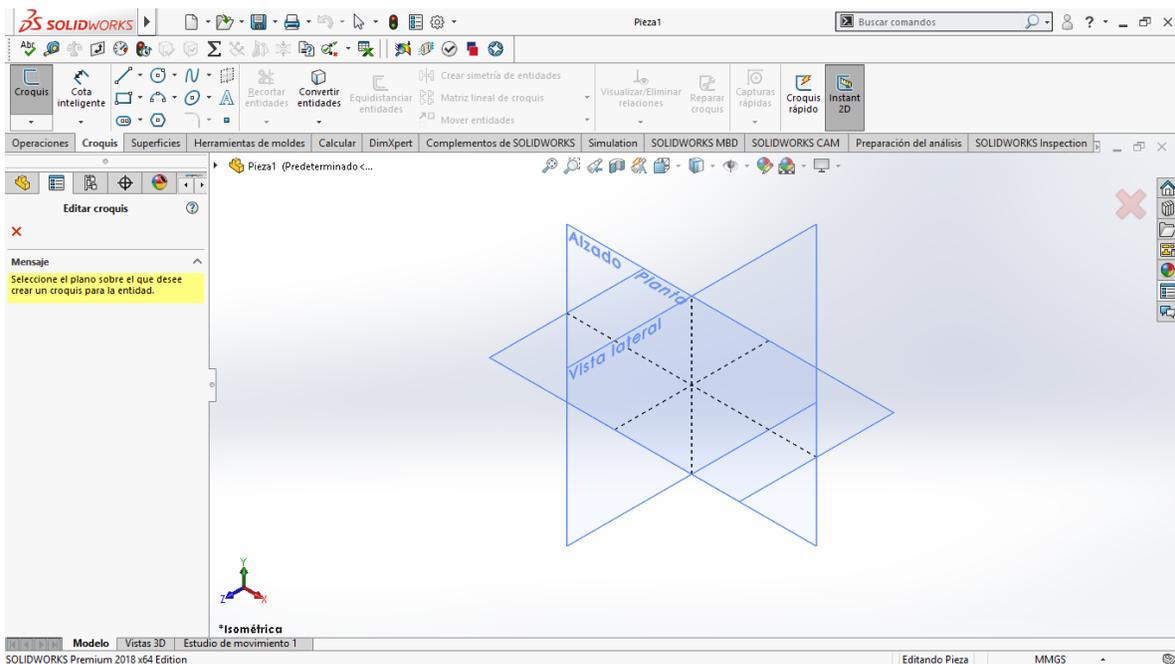


Figura 2.3 Espacio de Trabajo de SolidWorks

En la barra de Croquis se encuentra los comandos necesarios para poder realizar el croquis como son las líneas, círculos, arcos, etc; que son la base para la construcción de la pieza.

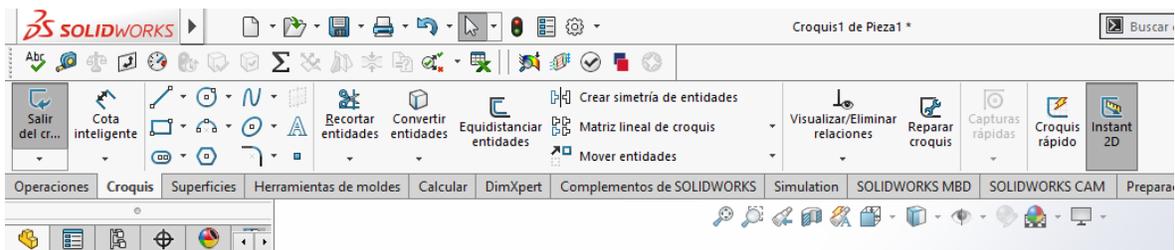


Figura 2.4 Pestaña de Croquis

En la barra de Operaciones encontramos los comandos que nos permiten convertir el croquis de 2D a 3D. Los comandos mas usados son el extruir saliente, extruir corte y revolucion desde la base.

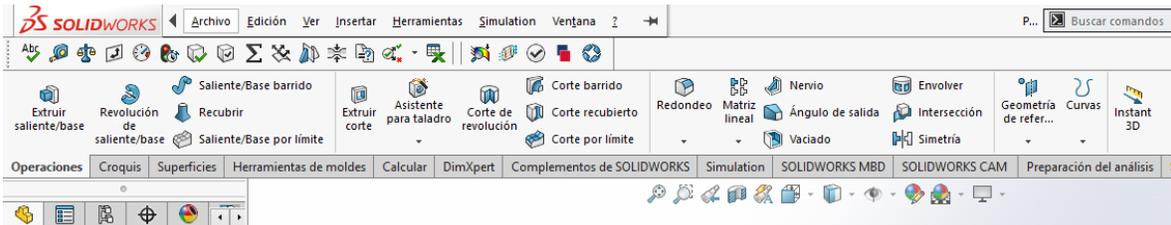


Figura 2.5 Pestaña de Operaciones

En la barra de Superficie encontramos lo necesario para la constrccion de superficies a partir de laminas muy util a la hora de dibujar superficies curvas.

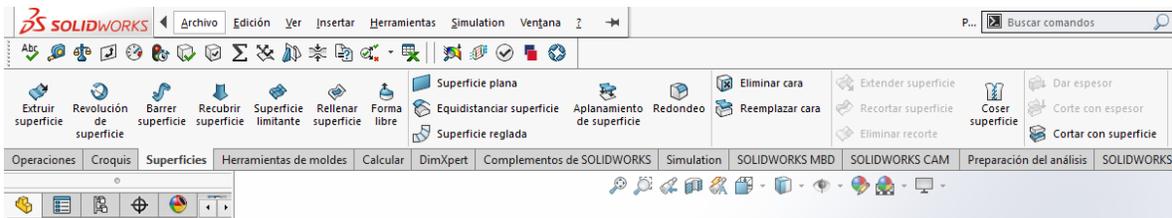


Figura 2.6 Pestaña de Superficies

En la barra de Calcular podemos determinar distintas propiedades de la pieza en construcción como son la masa y las medidas sin la necesidad de acotar.

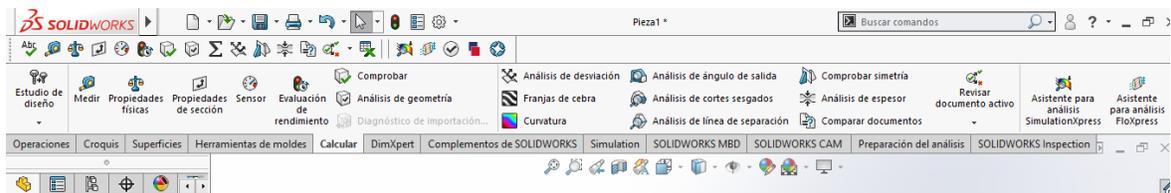


Figura 2.7 Pestaña de Calcular

En la barra de Complementos de SolidWorks encontramos las distintas opciones de análisis ya sea estático o dinámico de la pieza dependiendo de su estructura y forma. Posee una caja de accesorios como rodamientos, tornillos ruedas dentadas entre otras cosas. También permite simular fluidos a través de conductos.

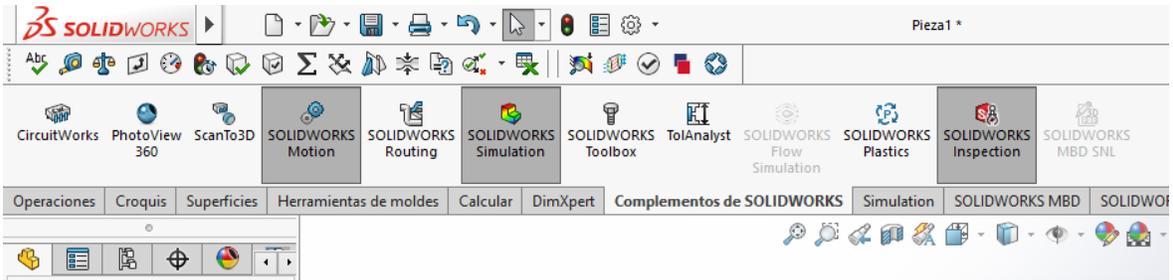


Figura 2.8 Pestaña de Complementos de SolidWorks

Para dar por terminada la modelación se le agrega el material del cual va a ser la pieza el cual se puede seleccionar un amplio banco de materiales que posee el software de los cuales te muestra sus propiedades. En el caso del material deseado no aparezca podemos editarlo conociendo sus propiedades y los porcentajes de cada uno que lo compone en el caso de las aleaciones.

Material

Propiedades Tablas y curvas Apariencia Rayado Personalizado Datos de apli

Propiedades de material
No se pueden editar los materiales en la biblioteca predeterminada. Para editar un material, cópielo primero a una biblioteca personalizada.

Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal

Unidades: SI - N/mm² (MPa)

Categoría: Acero

Nombre: AISI 1045 Acero estirado en frío

Criterio de fallos predeterminado: Tensión de von Mises máx.

Descripción:

Origen:

Sostenibilidad: Definido

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	205000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.29	N/D
Módulo cortante	80000	N/mm ²
Densidad de masa	7850	kg/m ³
Límite de tracción	625	N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	530	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica	1.15e-05	/K
Conductividad térmica	49.8	W/(m·K)

Haga clic [aquí](#) para acceder a más materiales

Figura 2.9 Materiales de SolidWorks

Este software brinda la posibilidad de ensamblar las piezas que ya fueron modeladas, lo que es de gran ayuda para el diseño porque se puede tener una noción de como seria en la realidad, lo que se quiere hacer. A partir de ciertas relaciones de posición entre las piezas se obtiene el ensamble, en él se pueden definir movimientos relativos de las piezas, distancias de una a otras, relaciones de paralelismo, perpendicularidad entre otras. El ensamble es importante porque en él es donde se realizarán las distintas simulaciones del motor.

2.5 Simulación del Motor en SolidWorks

SolidWorks permite realizar diferentes análisis como estáticos lineal y no lineal, dinámicos lineal y no lineal, de pandeo, entre otros. En este caso utilizara análisis dinámico.

SolidWorks Simulation utiliza métodos de análisis por elementos finitos para calcular los desplazamientos y las tensiones de su producto debido a cargas operativas como las siguientes:

- Fuerzas
- Presiones
- Aceleraciones
- Temperaturas
- Contacto entre componentes

En cuanto al mallado brinda la posibilidad de mallar la geometría de CAD en elementos tetraédricos (de primer y segundo orden), triangulares (de primer y segundo orden), de viga o de armadura. La malla puede constar de un tipo de elemento o de varios, en el caso de las mallas mixtas. Como cabe esperar, los elementos sólidos son adecuados para modelos voluminosos, así como los elementos de vaciado son adecuados para el modelado de piezas finas (como chapas de metal), y las vigas y las armaduras son adecuadas para el modelado de miembros estructurales.

De acuerdo a este análisis es aconsejable realizar una simulación teniendo en cuenta las siguientes piezas:

- Pistón

- Biela
- Cigüeñal

Para la simulación debemos tener los distintos componentes de la pieza ensamblada por completo y con su material atribuido. Es necesario conocer a que velocidad gira el cigüeñal en este caso serán tres 5200 rpm, 3000 rpm y 600 rpm y en qué posición exactamente se desean determinar las tensiones y deformaciones para hacer una comparación entre ellas.

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se realiza un análisis y comparación de los resultados obtenidos en las simulaciones hechas en Working Model y SolidWorks con respecto a sus distintas velocidades.

3.1 Análisis del Cigüeñal mediante SolidWorks

Se podrá observar cómo varían o no las tensiones y deformaciones por la superficie de la pieza dependiendo a la velocidad con que esta gire.

3.1.1 Análisis de Tensiones en el Cigüeñal

Las concentraciones de tensiones en el cigüeñal cuando este gira a 5200 rpm alcanzan un máximo aproximado 66 Mpa

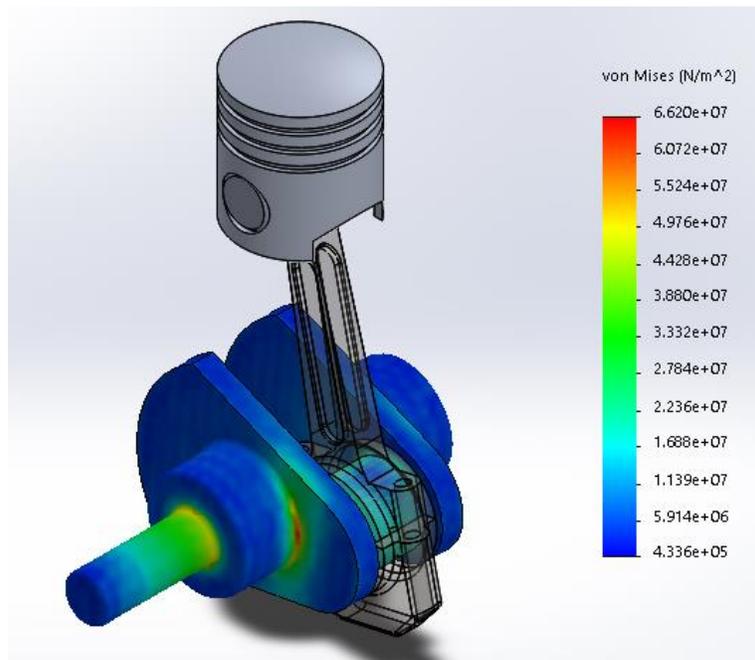


Figura 3.1 Tensiones en el Cigüeñal a 5200 rpm

Las tensiones en el cigüeñal cuando este gira a 3000 rpm llegan a los 36 MPa

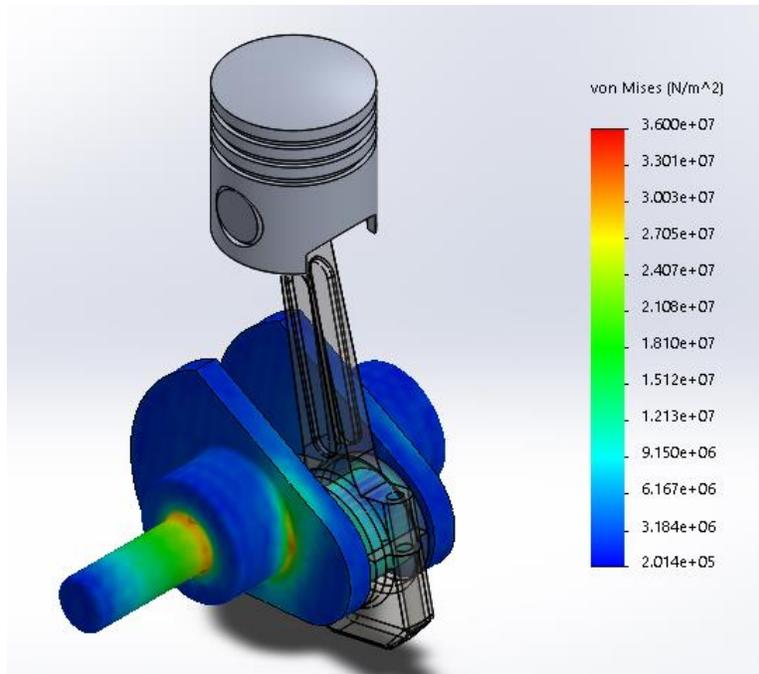


Figura 3.2 Tensiones en el Cigüeñal a 3000 rpm

Tensiones en el cigüeñal cuando este gira a 600 rpm logran llegar a los 9 MPa en los puntos mas vulnerables.

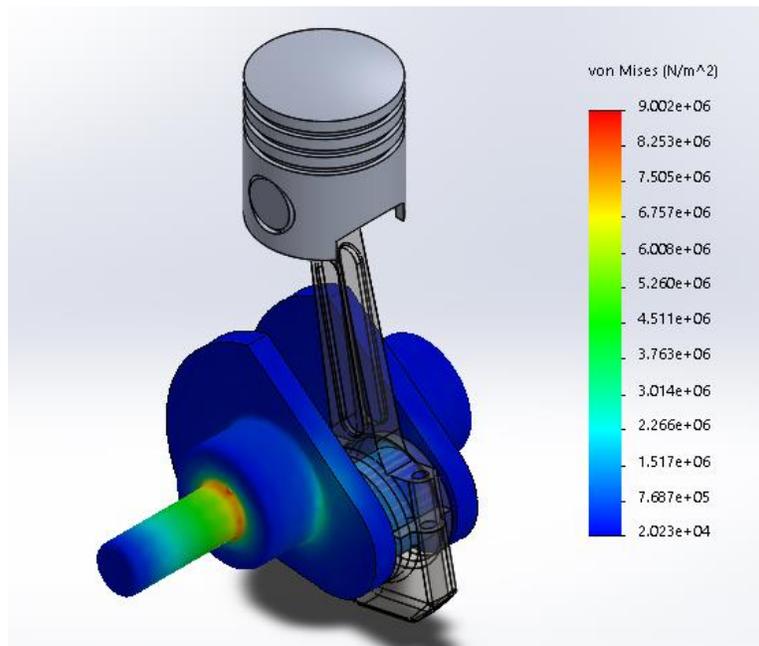


Figura 3.3 Tensiones del Cigüeñal a 600 rpm

Se puede observar como la variación de las tensiones van disminuyendo a la par de la velocidad. A medida que disminuye la velocidad se van disipando de los apoyos del cigüeñal en el block y se incrementan en el escalón saliente como es lógico, pero aun así van disminuyendo.

3.1.2 Análisis de Deformaciones en el Cigüeñal

Las deformaciones en el cigüeñal cuando gira a 5200 rpm alcanzan un máximo de 0.49 mm.

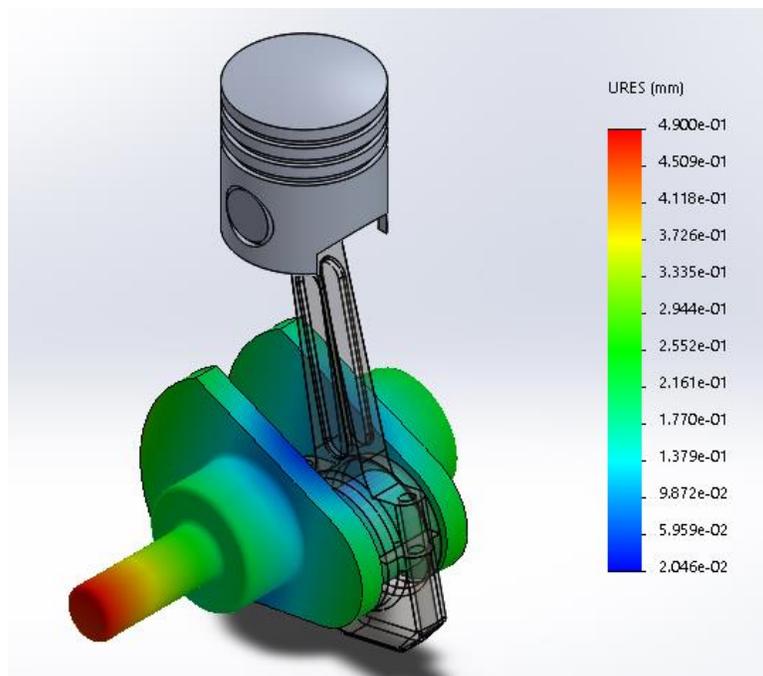


Figura 3.4 Deformaciones en el Cigüeñal a 5200 rpm

Las deformaciones en el cigüeñal cuando gira a 3000 rpm en su punto más alto es de 0.45 mm.

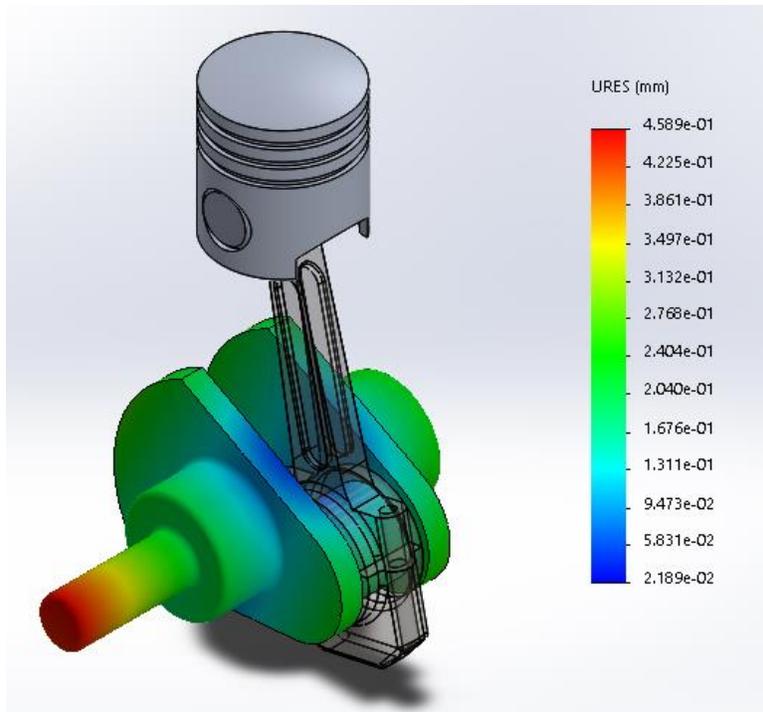


Figura 3.5 Deformaciones en el Cigüeñal a 3000 rpm

Las deformaciones en el cigüeñal cuando gira a 600 rpm su máximo valor es de 0.42 mm

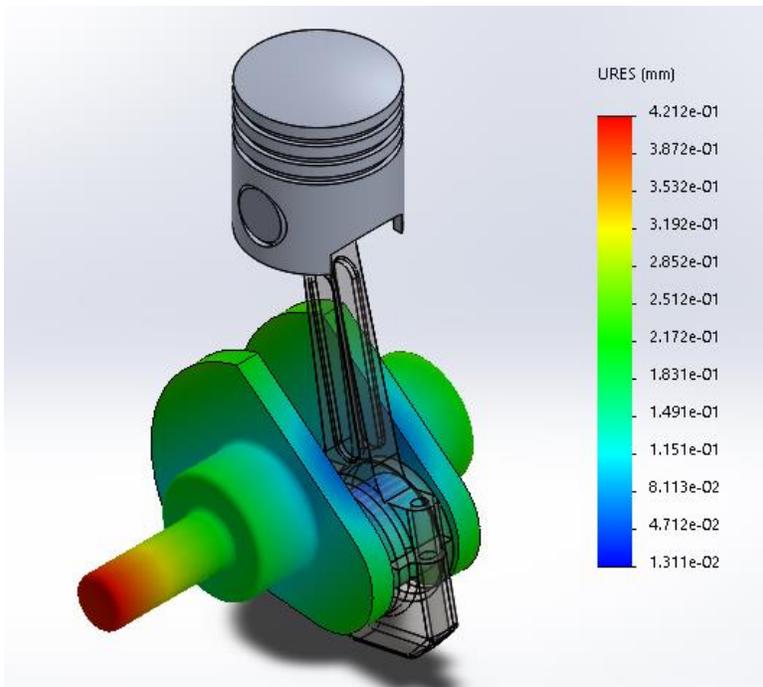


Figura 3.6 Deformaciones en el Cigüeñal a 600 rpm

Como es de esperar se puede ver que las deformaciones prácticamente no varían sin importar la velocidad con la que gira.

3.2 Análisis de la Biela Mediante SolidWorks

Se podrá observar cómo varían o no las tensiones y deformaciones por la superficie de la biela dependiendo a la velocidad con que esta gire el cigüeñal.

3.2.1 Análisis de Tensiones en la Biela

Las máximas tensión que actúan en la biela cuando el cigüeñal gira a 5200 rpm son de 218,4 MPa

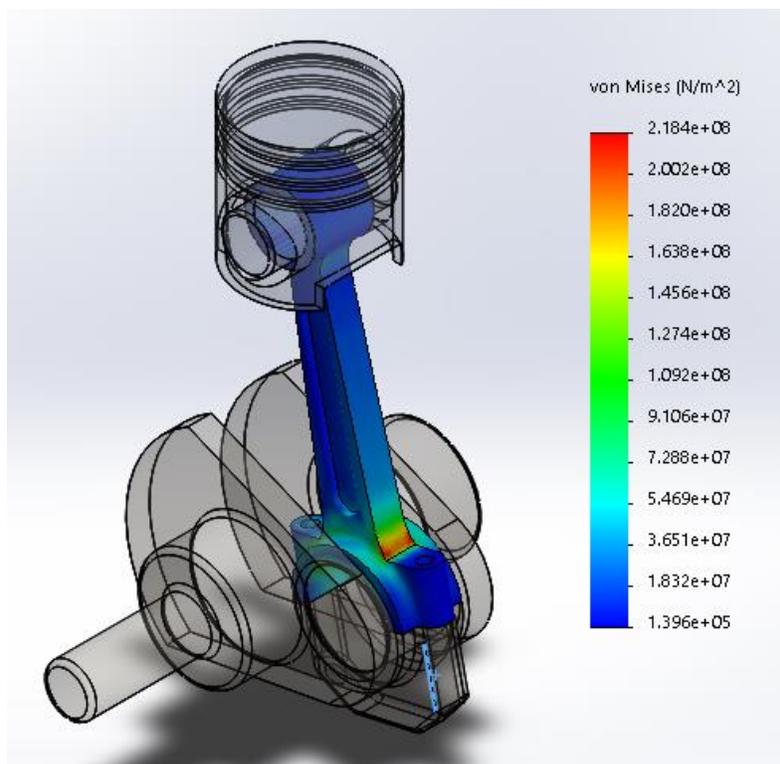


Figura 3.7 Tensiones en la Biela a 5200 rpm

La tensión en la biela cuando el cigüeñal gira a 3000 rpm en su máximo punto es de 218.1 MPa.

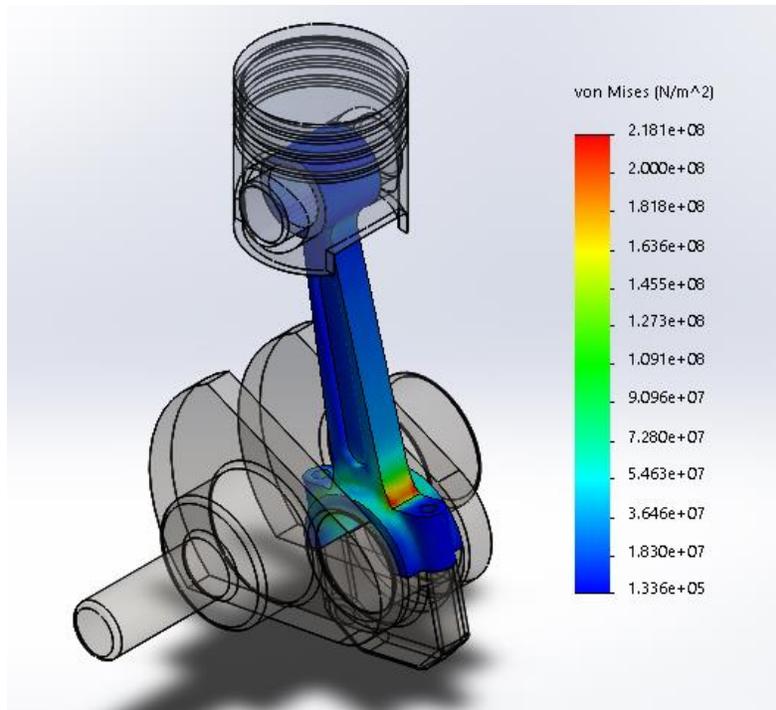


Figura 3.8 Tensiones en la Biela 3000 rpm

La tensión máxima que sufre la biela cuando el cigüeñal gira a 600 rpm es de 4 MPa

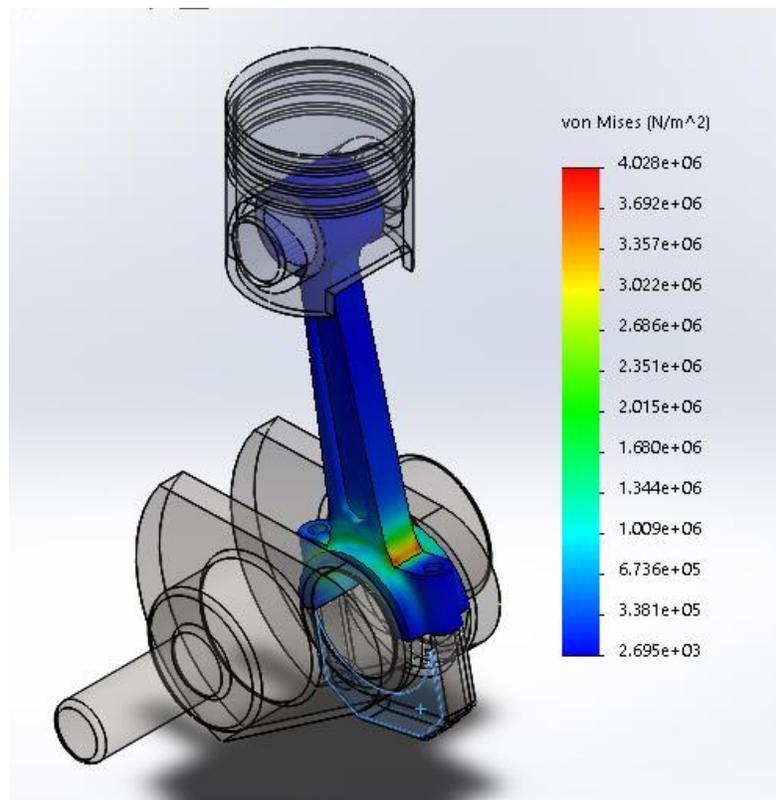


Figura 3.9 Tensiones en la Biela s 600 rpm

La mayor concentración de tensiones está en la base de la biela, su variación es casi inapreciables a altas revoluciones, aunque van disminuyendo con la disminución de la velocidad.

3.2.2 Análisis de Deformación en la Biela

La deformación máxima en la biela cuando el cigüeñal gira a 5200 rpm es de 0.43 mm.

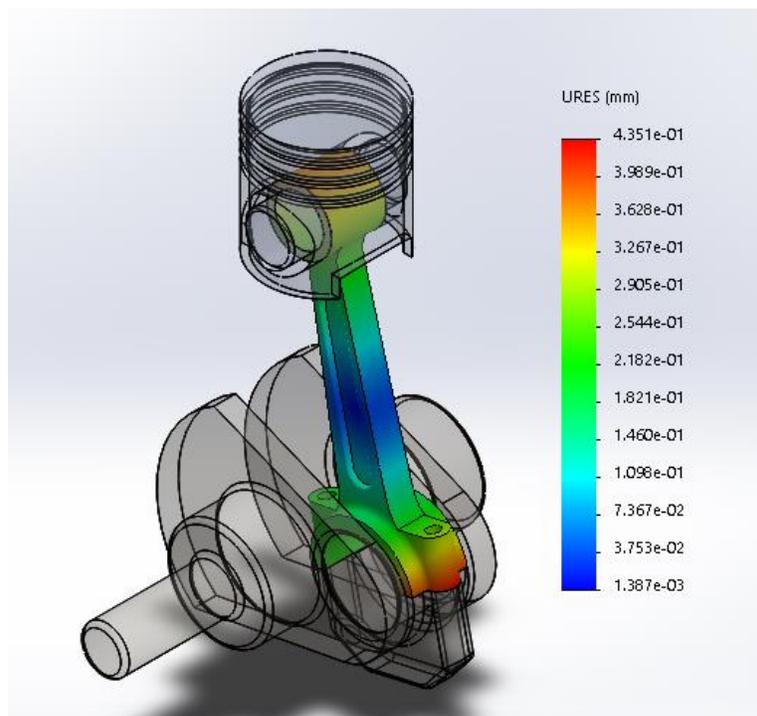


Figura 3.10 Deformaciones en la Biela a 5200 rpm

La deformación en la biela cuando el cigüeñal gira a 3000 rpm es en su pico más alto de 0.43 MPa

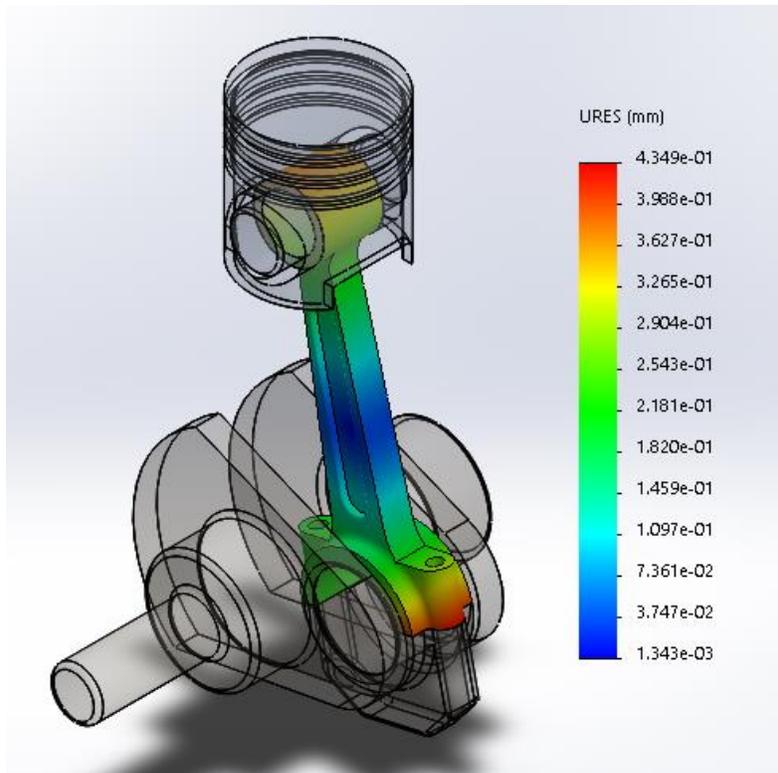


Figura 3.11 Deformaciones en la Biela 3000 rpm

La deformación en la biela cuando el cigüeñal gira a 600 rpm es de 0.39 mm.

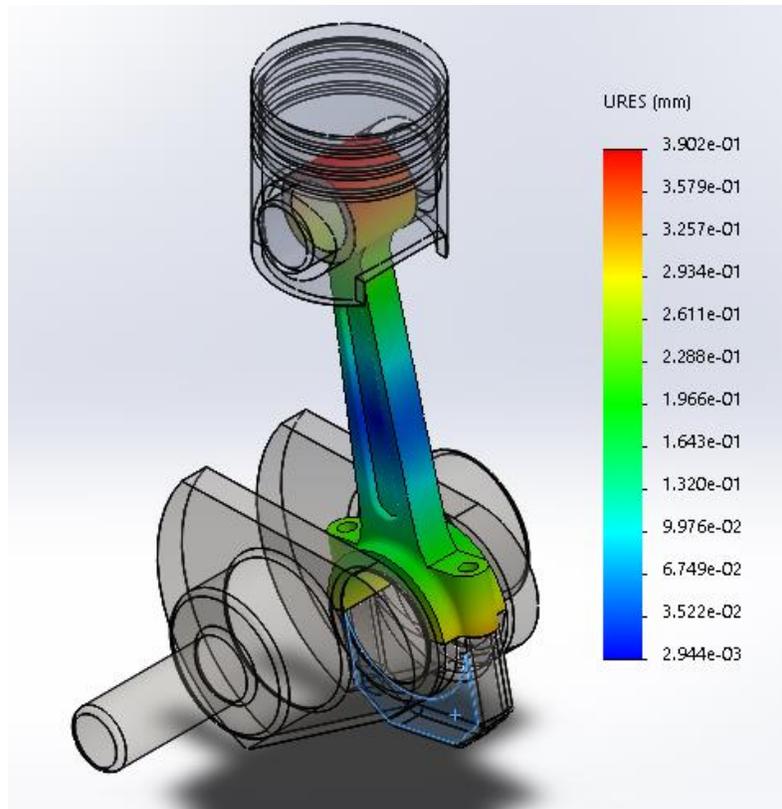


Figura 3.12 Deformaciones en la Biela a 600 rpm

Las deformaciones en la biela se mantienen casi constante, aunque las zonas de mayor impacto varían del pie hacia la cabeza conforme disminuye la velocidad.

3.3 Análisis del Pistón mediante SolidWorks

Se podrá observar cómo varían o no las tensiones y deformaciones por la superficie del pistón dependiendo a la velocidad con que gire el cigüeñal.

3.3.1 Análisis de Tensiones en el Pistón

Las zonas más afectadas por las tensiones en el pistón cuando el cigüeñal gira a 5200 rpm llegan a los 95 MPa.

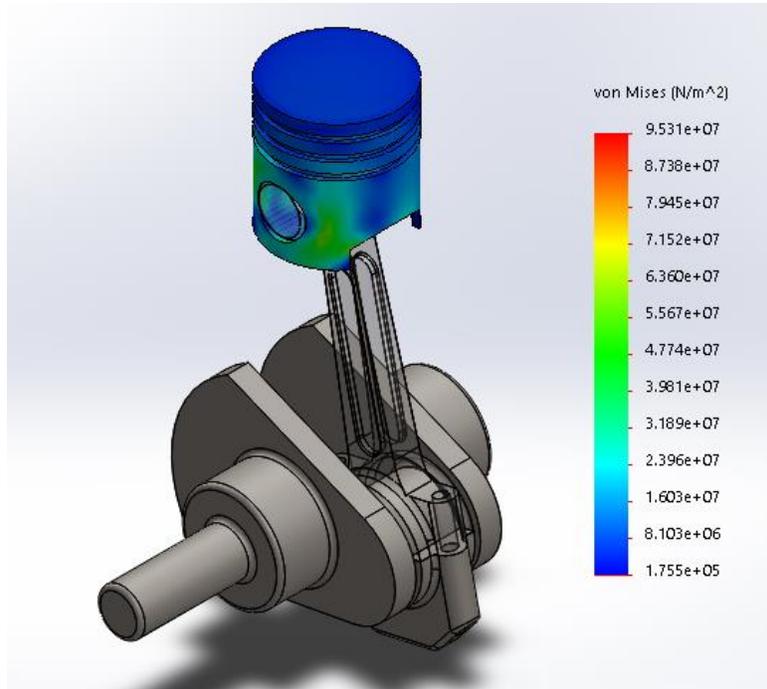


Figura 3.13 Tensiones en el Pistón a 5200 rpm

Las tensiones en el pistón cuando el cigüeñal gira a 3000 rpm son de en su punto más alto de 2.5 MPa

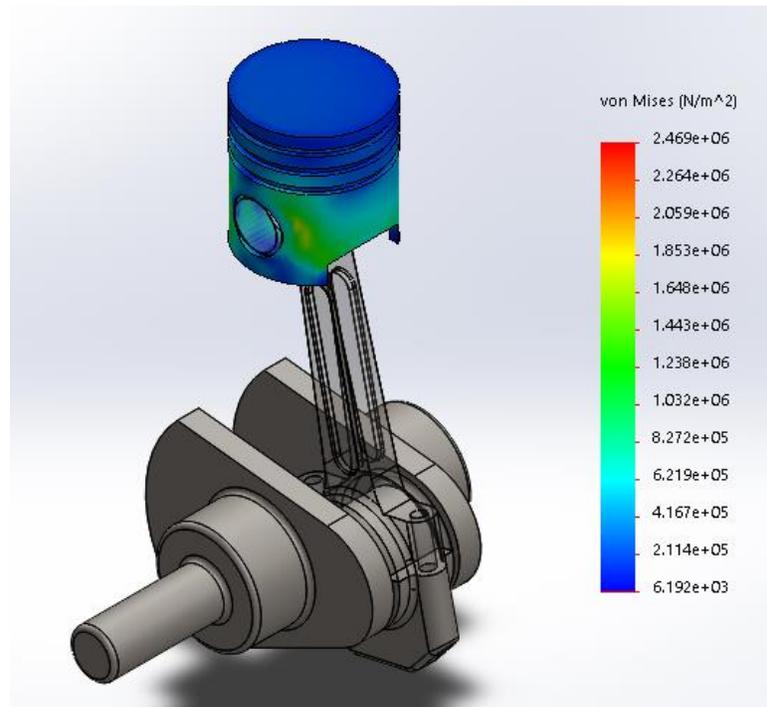


Figura 3.14 Tensiones en el Pistón a 3000 rpm

Las tensiones máximas en el pistón cuando el cigüeñal gira a 600 rpm son de 0.23 MPa

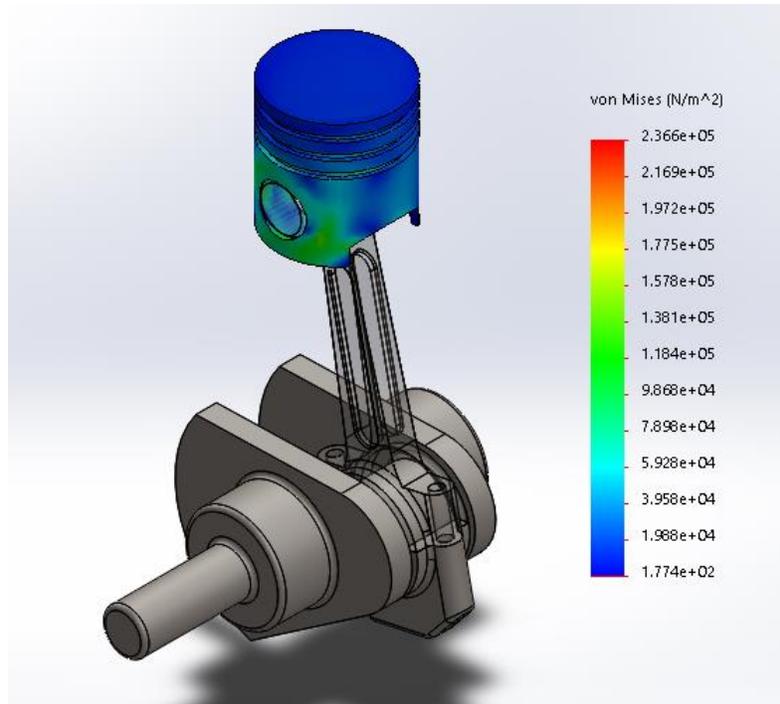


Figura 3.15 Tensiones en el Pistón a 600 rpm

Como se puede observar aquí las tensiones se concentran en la zona alrededor de dónde va el pasador y son mayores a mayor velocidad.

3.3.2 Análisis de las Deformaciones en el Pistón

La deformación que sufre el pistón cuando el cigüeñal gira a 5200 rpm alcanzan un máximo de 0.29 mm

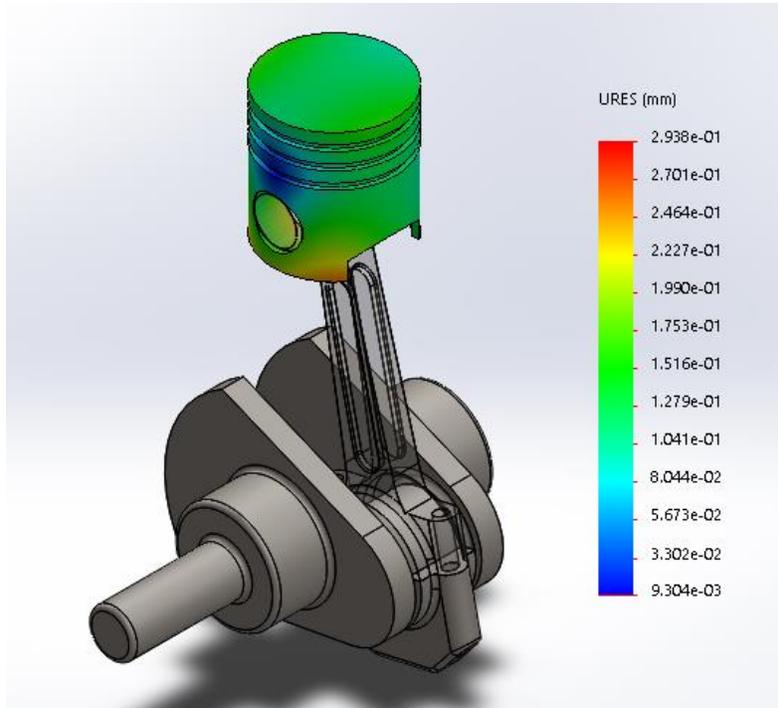


Figura 3.16 Deformaciones en el Pistón a 5200 rpm

La deformación en el pistón cuando el cigüeñal gira a 3000 rpm son en máximo 0.19 mm

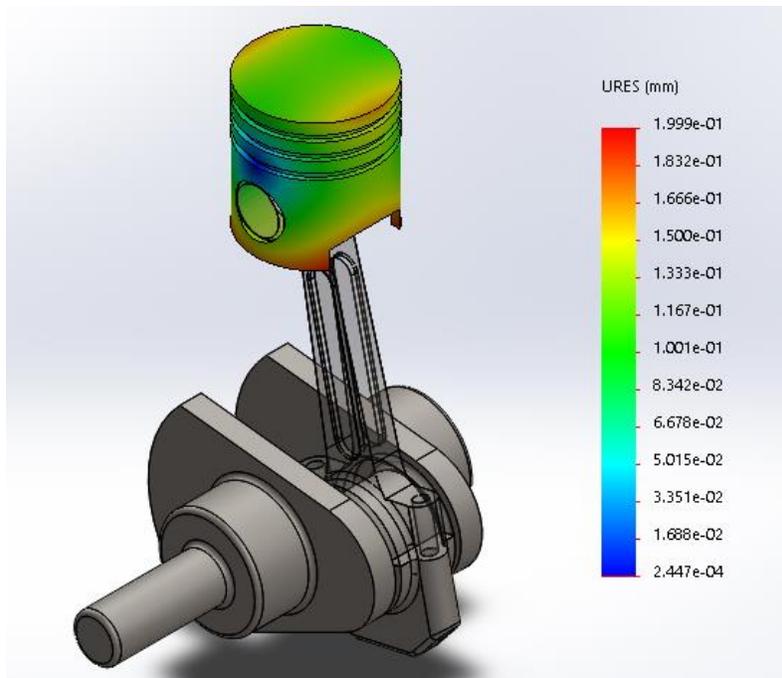


Figura 3.17 Deformaciones en el Pistón a 3000 rpm

La deformación en el pistón cuando el cigüeñal gira a 600 rpm alcanza un máximo de 0.19 mm.

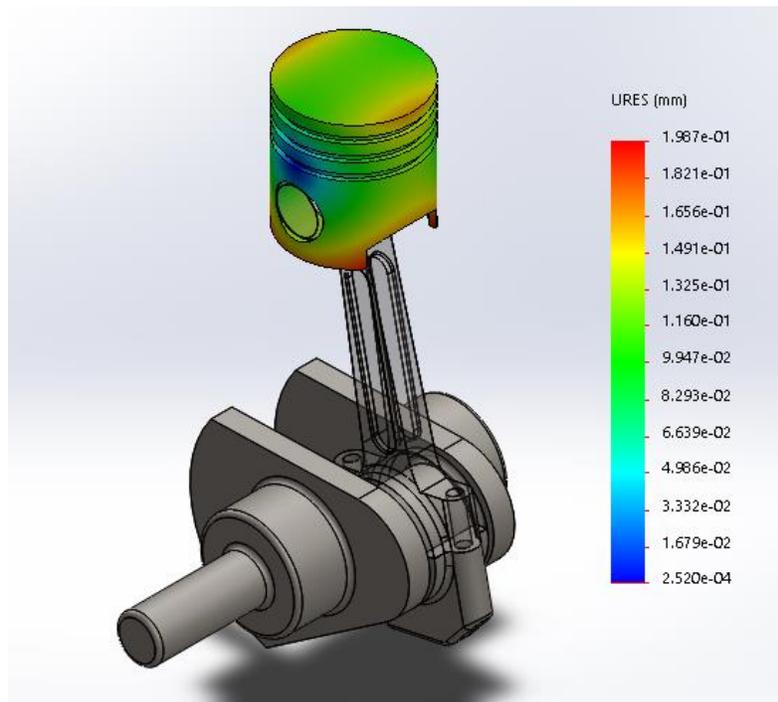


Figura 3.18 Deformaciones en el Pistón a 600 rpm

Las deformaciones en el pistón se mantienen casi imperceptible, aunque disminuyen con el descenso de la velocidad.

3.4 Análisis de los Datos en Working Model para 5200 rpm

Con los cálculos realizados en el capítulo anterior se pasa a hacer el análisis cinemático en Working Model para una velocidad angular de 5200 rpm o lo que es igual 544.54 rad/s en un tiempo de 0.011 segundos que es lo que tarda la manivela en dar una vuelta completa (360°).

3.4.1 Análisis de los Datos del Cigüeñal

En la tabla 3.1 se muestra los resultados para el cigüeñal obtenidos en Working Model y luego exportados a un Excel entre tanto número solo se nota la variación o no de los distintos parámetros. En las figuras 3.19 y 3.20 se ve como la fuerza tiene un aumento inicial brusco y luego continua con un comportamiento sinusoidal alcanzando en su pico máximo un valor

de 48.3 kN. El torque posee un comportamiento parecido, aunque siempre se mantiene en aumento alcanzando un valor máximo en una vuelta de 500 Nm.

Time		Position of manivela		Velocity of manivela			Acceleration of manivela					Total Force on manivela			Torque of Cigu
t	x	y	Vx	Vy	V	Vθ	Ax	Ay	A	Aθ	Fx	Fy	F	Torque	
0.000	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0,00	0,00	0.000	0,00	0,00	0,00	
0,00	0.021	-0.006	-3144,00	-11788,00	12200,00	-554540,00	-6536835,00	1743376,00	6765321,00	0,00	-46670000,00	12450000,00	48300000,00	337181,00	
0,00	0.019	-0.011	-6075,00	-10580,00	12200,00	-554540,00	-5866810,00	3368993,00	6765321,00	0,00	-41890000,00	24050000,00	48300000,00	408398,00	
0.001	0.016	-0.016	-8596,00	-8657,00	12200,00	-554540,00	-4800503,00	4767048,00	6765321,00	0,00	-34280000,00	34040000,00	48300000,00	383578,00	
0.002	0.011	-0.019	-10537,00	-6149,00	12200,00	-554540,00	-3409940,00	5843105,00	6765321,00	0,00	-24350000,00	41720000,00	48300000,00	289842,00	
0.002	0.006	-0.021	-11766,00	-3226,00	12200,00	-554540,00	-1789048,00	6524483,00	6765321,00	0,00	-12770000,00	46580000,00	48300000,00	155855,00	
0.003	0,15	-0.022	-12200,00	-0.085	12200,00	-554540,00	-47313,00	6765156,00	6765321,00	0,00	-337815,00	48300000,00	48300000,00	4148,00	
0.003	-0.006	-0.021	-11810,00	3061,00	12200,00	-554540,00	1697618,00	6548868,00	6765321,00	0,00	12120000,00	46760000,00	48300000,00	-147993,00	
0.004	-0.011	-0.019	-10622,00	6001,00	12200,00	-554540,00	3327882,00	5890227,00	6765321,00	0,00	23760000,00	42060000,00	48300000,00	-283441,00	
0.004	-0.015	-0.016	-8717,00	8536,00	12200,00	-554540,00	4733359,00	4833724,00	6765321,00	0,00	33800000,00	34510000,00	48300000,00	-380026,00	
0.005	-0.019	-0.011	-6223,00	10494,00	12200,00	-554540,00	5819115,00	3450720,00	6765321,00	0,00	41550000,00	24640000,00	48300000,00	-409307,00	
0.005	-0.021	-0.006	-3308,00	11743,00	12200,00	-554540,00	6511812,00	1834634,00	6765321,00	0,00	46490000,00	13100000,00	48300000,00	-343713,00	
0.006	-0.022	-0.31	12199,00	12199,00	12200,00	-554540,00	6764660,00	94624,00	6765321,00	0,00	48300000,00	675614,00	48300000,00	-173611,00	
0.006	-0.021	0.005	2979,00	11831,00	12200,00	-554540,00	6560580,00	-1651777,00	6765321,00	0,00	46840000,00	-11790000,00	48300000,00	72966,00	
0.007	-0.019	0.011	5927,00	10664,00	12200,00	-554540,00	5913357,00	-3286607,00	6765321,00	0,00	42220000,00	-23470000,00	48300000,00	324556,00	
0.007	-0.016	0.015	8474,00	8776,00	12200,00	-554540,00	4866708,00	-4699439,00	6765321,00	0,00	34750000,00	-33550000,00	48300000,00	487677,00	
0.008	-0.011	0.019	10450,00	6296,00	12200,00	-554540,00	3491332,00	-5794840,00	6765321,00	0,00	24930000,00	-41380000,00	48300000,00	489268,00	
0.008	-0.006	0.021	11719,00	3390,00	12200,00	-554540,00	1880129,00	-6498822,00	6765321,00	0,00	13420000,00	-46400000,00	48300000,00	315818,00	
0.008	-0.46	0.022	12197,00	0.256	12200,00	-554540,00	141930,00	-6763833,00	6765321,00	0,00	1013380,00	-48290000,00	48300000,00	25390,00	
0.009	0.005	0.021	11851,00	-2896,00	12200,00	-554540,00	-1605856,00	-6571971,00	6765321,00	0,00	-11470000,00	-46920000,00	48300000,00	-274546,00	
0.009	0.011	0.019	10705,00	-5852,00	12200,00	-554540,00	-3245172,00	-5936197,00	6765321,00	0,00	-23170000,00	-42380000,00	48300000,00	-472473,00	
0.010	0.015	0.016	8835,00	-8413,00	12200,00	-554540,00	-4665289,00	-4899455,00	6765321,00	0,00	-33310000,00	-34980000,00	48300000,00	-500059,00	
0.010	0.019	0.011	6369,00	-10406,00	12200,00	-554540,00	-5770282,00	-3531773,00	6765321,00	0,00	-41200000,00	-25220000,00	48300000,00	-359191,00	
0.011	0.021	0.006	3472,00	-11695,00	12200,00	-554540,00	-6485515,00	-1925532,00	6765321,00	0,00	-46310000,00	-13750000,00	48300000,00	-115501,00	
0.011	0.022	0,62	0.341	-12195,00	12200,00	-554540,00	-6762675,00	-189229,00	6765321,00	0,00	-48290000,00	-1351096,00	48300000,00	137694,00	

Tabla 3.1 Datos del Cigüeñal a 5200 rpm

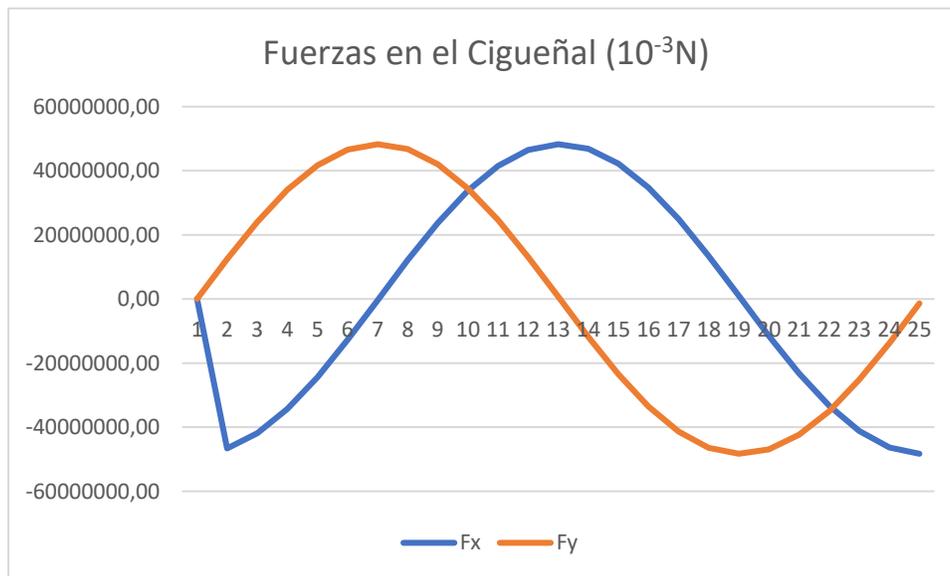


Figura 3.19 Grafico de Fuerzas en el Cigüeñal a 5200 rpm

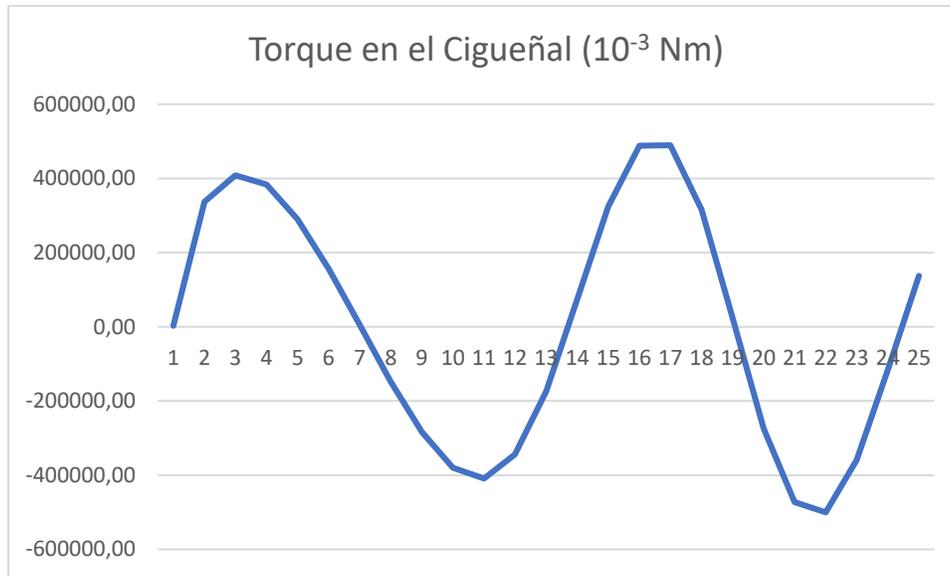


Figura 3.20 Grafico de Torque en el Cigüeñal a 5200 rpm

3.4.2 Análisis de los Datos del Pistón

En la tabla 3.2 se encuentran los resultados del pistón y en las figuras 3.21, 3.22, 3.23 y 3.24 son las gráficas obtenidas con estos datos se muestran los datos del desplazamiento del pistón de 0.88 m, alcanza una velocidad máxima de 24.9 m/s también se ve el comportamiento y el valor de la aceleración y la fuerza que actúan sobre el pistón.

Time	Position of pistón		Velocity of pistón				Acceleration of pistón				Total Force on pistón			Position c x	
	t	x	y	Vx	Vy	[V]	Vø	Ax	Ay	[A]	Aø	Fx	Fy		[F]
0.000	0,00	0,212	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,022
0,00	0,00	0,201	0,00	-22216,00	22216,00	0,00	0,000	0,000	6102632,00	6102632,00	0,00	0,000	2196947,00	2196947,00	0,021
0,00	0,00	0,191	0,00	-18812,00	18812,00	0,00	0,00	0,00	8229095,00	8229095,00	0,00	0,00	2962474,00	2962474,00	0,019
0.001	0,00	0,183	0,00	-14613,00	14613,00	0,00	0,00	0,00	9518348,00	9518348,00	0,00	0,00	3426605,00	3426605,00	0,016
0.002	0,00	0,177	0,00	-9961,00	9961,00	0,00	0,00	0,00	10190000,00	10190000,00	0,000	0,00	3669998,00	3669998,00	0,011
0.002	0,00	0,174	0,00	-5089,00	5089,00	0,00	0,00	0,00	10490000,00	10490000,00	0,00	0,00	3776512,00	3776512,00	0,006
0.003	0,00	0,173	0,00	-0,133	0,133	0,00	0,00	0,00	10570000,00	10570000,00	0,000	0,00	3805778,00	3805778,00	0,15
0.003	0,00	0,174	0,00	4825,00	4825,00	0,00	0,00	0,00	10500000,00	10500000,00	0,000	0,00	3779671,00	3779671,00	-0,006
0.004	0,00	0,177	0,00	9704,00	9704,00	0,00	0,00	0,00	10220000,00	10220000,00	0,000	0,00	3678518,00	3678518,00	-0,011
0.004	0,00	0,183	0,00	14372,00	14372,00	0,00	0,00	0,00	9567991,00	9567991,00	0,00	0,00	3444477,00	3444477,00	-0,015
0.005	0,00	0,191	0,00	18604,00	18604,00	0,00	0,00	0,00	8317847,00	8317847,00	0,000	0,00	2994425,00	2994425,00	-0,019
0.005	0,00	0,200	0,00	22061,00	22061,00	0,00	0,000	0,000	6240569,00	6240569,00	0,000	0,000	2246605,00	2246605,00	-0,021
0.006	0,00	0,211	0,00	24321,00	24321,00	0,00	0,000	0,000	3220403,00	3220403,00	0,000	0,000	1159345,00	1159345,00	-0,022
0.006	0,00	0,223	0,00	24954,00	24954,00	0,00	0,000	0,000	-645184,00	645184,00	0,00	0,000	-232266,00	232266,00	-0,021
0.007	0,00	0,234	0,00	23635,00	23635,00	0,00	0,000	0,000	-5008522,00	5008522,00	0,000	0,000	-1803068,00	1803068,00	-0,019
0.007	0,00	0,245	0,00	20252,00	20252,00	0,00	0,000	0,000	-9330813,00	9330813,00	0,000	0,000	-3359093,00	3359093,00	-0,016
0.008	0,00	0,253	0,00	14966,00	14966,00	0,00	0,00	0,00	-13010000,00	13010000,00	0,00	0,00	-4683480,00	4683480,00	-0,011
0.008	0,00	0,259	0,00	8208,00	8208,00	0,00	0,00	0,00	-15510000,00	15510000,00	0,00	0,00	-5585165,00	5585165,00	-0,006
0.008	0,00	0,261	0,00	0,624	0,624	0,00	0,00	0,00	-16480000,00	16480000,00	0,000	0,00	-5934290,00	5934290,00	-0,46
0.009	0,00	0,259	0,00	-7024,00	7024,00	0,00	0,00	0,00	-15780000,00	15780000,00	0,000	0,00	-5681014,00	5681014,00	0,005
0.009	0,00	0,254	0,00	-13962,00	13962,00	0,00	0,00	0,00	-13500000,00	13500000,00	0,00	0,00	-4861462,00	4861462,00	0,011
0.010	0,00	0,246	0,00	-19521,00	19521,00	0,00	0,000	0,000	-9981916,00	9981916,00	0,00	0,000	-3593490,00	3593490,00	0,015
0.010	0,00	0,236	0,00	-23229,00	23229,00	0,00	0,000	0,000	-5722903,00	5722903,00	0,00	0,000	-2060245,00	2060245,00	0,019
0.011	0,00	0,225	0,00	-24880,00	24880,00	0,00	0,000	0,000	-1326394,00	1326394,00	0,00	0,000	-477502,00	477502,00	0,021
0.011	0,00	0,213	0,00	-24543,00	24543,00	0,00	0,000	0,000	2649003,00	2649003,00	0,000	0,000	953641,00	953641,00	0,022

Tabla 3.2 Datos del Pistón a 5200 rpm

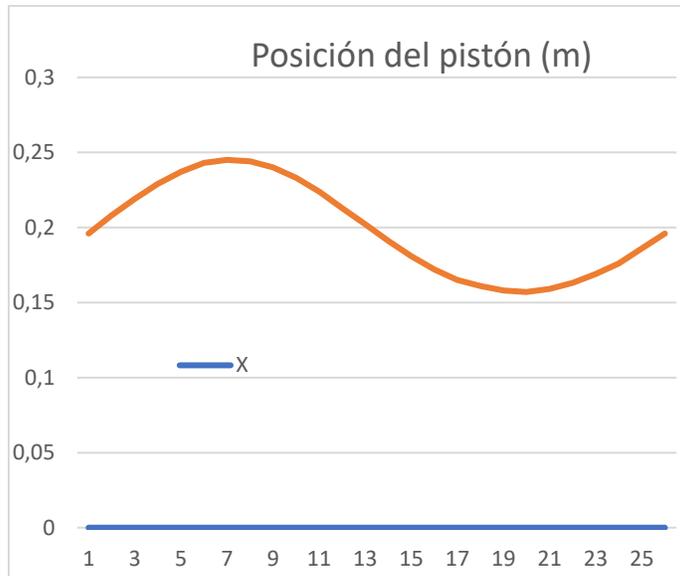


Figura 3.21 Grafica de Desplazamiento del Pistón a 5200 rpm

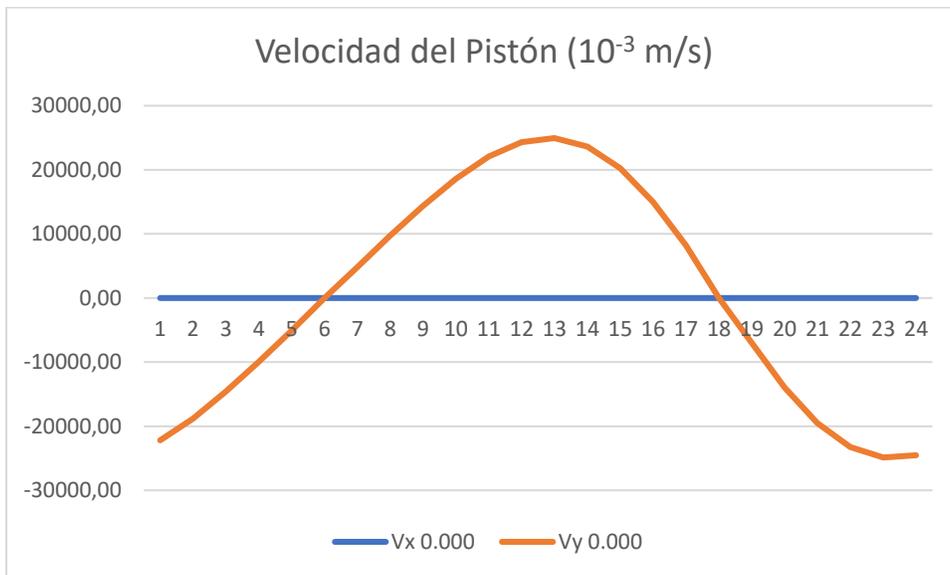


Figura 3.22 Grafica de Velocidad del Pistón a 5200 rpm



Figura 3.23 Grafica de Aceleración del Pistón a 5200 rpm

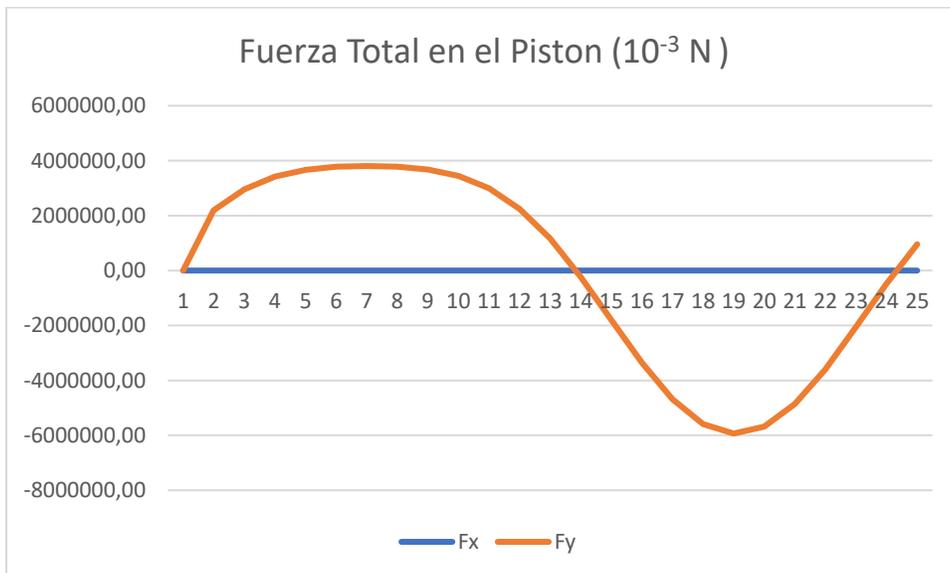


Figura 3.24 Grafica de Fuerza Total en el Pisto a 5200 rpm

3.5 Análisis de los Datos en Wolking Model para 3000 rpm

3.5.1 Análisis de los Datos de la Manivela o Cigüeñal

La tabla 3.3 muestra los resultados del cigüeñal para 3000 rpm (314.16 rad/s) en un tiempo de 0.02 segundos que es el tiempo que demora dar un giro de 360°. En las gráficas se ve

como la fuerza total que actual sobre el alcanza un valor máximo de 15.5 kN y el torque llega hasta 158 Nm

Time t	Position of manivela		Velocity of manivela		V	V θ	Acceleration of manivela			A θ	Total Force on manivela			Torque of Cig	
	x	y	Vx	Vy			Ax	Ay	A		Fx	Fy	F		
0.000	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2416,00
0.80	0.021	-0.005	-1719,00	-6694,00	6912,00	-314160,00	-2103107,00	539987,00	2171323,00	0,00	-15020000,00	3855510,00	15500000,00	108339,00	
0.002	0.019	-0.011	-3330,00	-6057,00	6912,00	-314160,00	-1902744,00	1046045,00	2171323,00	0,00	-13590000,00	7468762,00	15500000,00	131951,00	
0.002	0.016	-0.015	-4731,00	-5038,00	6912,00	-314160,00	-1582824,00	1486376,00	2171323,00	0,00	-11300000,00	10610000,00	15500000,00	126350,00	
0.003	0.012	-0.019	-5836,00	-3703,00	6912,00	-314160,00	-1163449,00	1833311,00	2171323,00	0,00	-8307024,00	13090000,00	15500000,00	99153,00	
0.004	0.007	-0.021	-6573,00	-2136,00	6912,00	-314160,00	-670970,00	2065053,00	2171323,00	0,00	-4790723,00	14740000,00	15500000,00	58779,00	
0.005	0.001	-0.022	-6898,00	-0.434	6912,00	-314160,00	-136331,00	2167039,00	2171323,00	0,00	-973402,00	15470000,00	15500000,00	12047,00	
0.006	-0.004	-0.022	-6789,00	1295,00	6912,00	-314160,00	406874,00	2132861,00	2171323,00	0,00	2905081,00	15230000,00	15500000,00	-35858,00	
0.006	-0.009	-0.020	-6254,00	2943,00	6912,00	-314160,00	924514,00	1964668,00	2171323,00	0,00	6601028,00	14030000,00	15500000,00	-80141,00	
0.007	-0.014	-0.017	-5325,00	4406,00	6912,00	-314160,00	1384062,00	1673026,00	2171323,00	0,00	9882205,00	11950000,00	15500000,00	-114903,00	
0.008	-0.018	-0.013	-4062,00	5592,00	6912,00	-314160,00	1756645,00	1276261,00	2171323,00	0,00	12540000,00	9112506,00	15500000,00	-132393,00	
0.009	-0.020	-0.008	-2544,00	6426,00	6912,00	-314160,00	2018850,00	799304,00	2171323,00	0,00	14410000,00	5707033,00	15500000,00	-124118,00	
0.010	-0.022	-0.003	-0.866	6857,00	6912,00	-314160,00	2154204,00	272124,00	2171323,00	0,00	15380000,00	1942964,00	15500000,00	-84594,00	
0.010	-0.022	0.003	0.866	6857,00	6912,00	-314160,00	2154204,00	-272155,00	2171323,00	0,00	15380000,00	-1943190,00	15500000,00	-16834,00	
0.011	-0.020	0.008	2544,00	6426,00	6912,00	-314160,00	2018839,00	-799334,00	2171323,00	0,00	14410000,00	-5707245,00	15500000,00	63901,00	
0.012	-0.018	0.013	4063,00	5592,00	6912,00	-314160,00	1756626,00	-1276287,00	2171323,00	0,00	12540000,00	-9112691,00	15500000,00	132395,00	
0.013	-0.014	0.017	5325,00	4406,00	6912,00	-314160,00	1384038,00	-1673046,00	2171323,00	0,00	9882029,00	-11950000,00	15500000,00	162791,00	
0.014	-0.009	0.020	6254,00	2943,00	6912,00	-314160,00	924485,00	-1964681,00	2171323,00	0,00	6600821,00	-14030000,00	15500000,00	140575,00	
0.014	-0.004	0.022	6789,00	1295,00	6912,00	-314160,00	406843,00	-2132867,00	2171323,00	0,00	2904858,00	-15230000,00	15500000,00	70464,00	
0.015	0.001	0.022	6898,00	-0.434	6912,00	-314160,00	-136363,00	-2167037,00	2171323,00	0,00	-973630,00	-15470000,00	15500000,00	-24219,00	
0.016	0.007	0.021	6573,00	-2136,00	6912,00	-314160,00	-671000,00	-2065043,00	2171323,00	0,00	-4790940,00	-14740000,00	15500000,00	-110420,00	
0.017	0.012	0.019	5836,00	-3703,00	6912,00	-314160,00	-1163476,00	-1833294,00	2171323,00	0,00	-8307217,00	-13090000,00	15500000,00	-158456,00	
0.018	0.016	0.015	4731,00	-5038,00	6912,00	-314160,00	-1582846,00	-1486352,00	2171323,00	0,00	-11300000,00	-10610000,00	15500000,00	-153653,00	
0.018	0.019	0.011	3330,00	-6057,00	6912,00	-314160,00	-1902759,00	-1046017,00	2171323,00	0,00	-13590000,00	-7468563,00	15500000,00	-101418,00	
0.019	0.021	0.005	1719,00	-6694,00	6912,00	-314160,00	-2103115,00	-539956,00	2171323,00	0,00	-15020000,00	-3855289,00	15500000,00	-23328,00	
0.020	0.022	0,00	-0.10	-6912,00	6912,00	-314160,00	-2171323,00	0.032	2171323,00	0,00	-15500000,00	0.228	15500000,00	53593,00	

Tabla 3.3 Datos del Cigüeñal a 3000 rpm

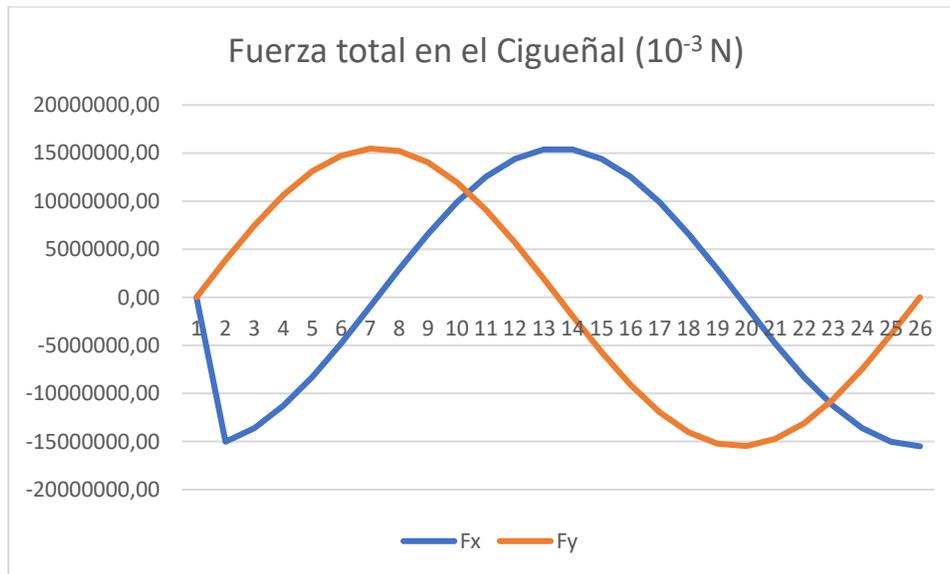


Figura 3.25 Grafica de Fuerza Total en el Cigüeñal a 3000 rpm

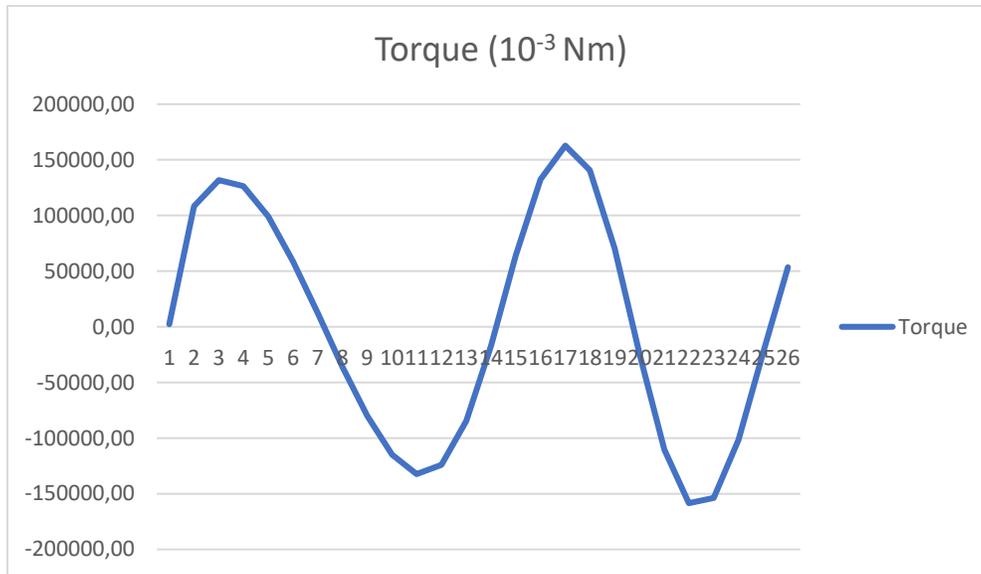


Figura 3.26 Grafica de Torque del Cigüeñal a 3000 rpm

3.5.2 Análisis de los Datos del Pistón

El pistón a 3000 rpm alcanza un valor de velocidad a 14 m/s lo cual es lógico con respecto a la velocidad que alcanza a 5200 rpm que es casi 25 m/s. también disminuye la aceleración y la fuerza que actúa sobre él.

Time	Position of pistón		Velocity of pistón				Acceleration of pistón				Total Force on pistón		
t	x	y	Vx	Vy	V	Vø	Ax	Ay	A	Aø	Fx	Fy	F
0.000	0,00	0.212	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00
0,80	0,00	0.201	0,00	-12644,00	12644,00	0,00	0,000	1928687,00	1928687,00	0,000	0,000	694327,00	694327,00
0.002	0,00	0.192	0,00	-10813,00	10813,00	0,00	0,00	2602002,00	2602002,00	0,000	0,00	936721,00	936721,00
0.002	0,00	0.184	0,00	-8549,00	8549,00	0,00	0,00	3021397,00	3021397,00	0,000	0,00	1087703,00	1087703,00
0.003	0,00	0.178	0,00	-6030,00	6030,00	0,00	0,00	3249967,00	3249967,00	0,000	0,00	1169988,00	1169988,00
0.004	0,00	0.174	0,00	-3381,00	3381,00	0,00	0,00	3356082,00	3356082,00	0,00	0,00	1208190,00	1208190,00
0.005	0,00	0.173	0,00	-0.678	0.678	0,00	0,00	3391615,00	3391615,00	0,000	0,00	1220981,00	1220981,00
0.006	0,00	0.173	0,00	2033,00	2033,00	0,00	0,00	3380447,00	3380447,00	0,000	0,00	1216961,00	1216961,00
0.006	0,00	0.176	0,00	4716,00	4716,00	0,00	0,00	3314520,00	3314520,00	0,000	0,00	1193227,00	1193227,00
0.007	0,00	0.181	0,00	7312,00	7312,00	0,00	0,00	3155071,00	3155071,00	0,00	0,00	1135826,00	1135826,00
0.008	0,00	0.188	0,00	9723,00	9723,00	0,00	0,00	2839934,00	2839934,00	0,000	0,00	1022376,00	1022376,00
0.009	0,00	0.196	0,00	11796,00	11796,00	0,00	0,000	2300009,00	2300009,00	0,00	0,000	828003,00	828003,00
0.010	0,00	0.206	0,00	13329,00	13329,00	0,00	0,000	1485790,00	1485790,00	0,000	0,000	534884,00	534884,00
0.010	0,00	0.217	0,00	14099,00	14099,00	0,00	0,000	397224,00	397224,00	0,000	0,000	143001,00	143001,00
0.011	0,00	0.229	0,00	13909,00	13909,00	0,00	0,000	-897287,00	897287,00	0,000	0,000	-323023,00	323023,00
0.012	0,00	0.239	0,00	12644,00	12644,00	0,00	0,000	-2265190,00	2265190,00	0,000	0,000	-815469,00	815469,00
0.013	0,00	0.249	0,00	10310,00	10310,00	0,00	0,000	-3537100,00	3537100,00	0,00	0,000	-1273356,00	1273356,00
0.014	0,00	0.256	0,00	7055,00	7055,00	0,00	0,00	-4544199,00	4544199,00	0,000	0,00	-1635912,00	1635912,00
0.014	0,00	0.260	0,00	3147,00	3147,00	0,00	0,00	-5151020,00	5151020,00	0,00	0,00	-1854367,00	1854367,00
0.015	0,00	0.261	0,00	-1058,00	1058,00	0,00	0,00	-5276534,00	5276534,00	0,000	0,00	-1899552,00	1899552,00
0.016	0,00	0.258	0,00	-5162,00	5162,00	0,00	0,00	-4904094,00	4904094,00	0,000	0,00	-1765474,00	1765474,00
0.017	0,00	0.252	0,00	-8784,00	8784,00	0,00	0,000	-4083219,00	4083219,00	0,00	0,000	-1469959,00	1469959,00
0.018	0,00	0.244	0,00	-11605,00	11605,00	0,00	0,000	-2924032,00	2924032,00	0,00	0,000	-1052651,00	1052651,00
0.018	0,00	0.234	0,00	-13414,00	13414,00	0,00	0,000	-1582098,00	1582098,00	0,000	0,000	-569555,00	569555,00
0.019	0,00	0.223	0,00	-14134,00	14134,00	0,00	0,000	-231186,00	231186,00	0,00	0,000	-83227,00	83227,00
0.020	0,00	0.212	0,00	-13823,00	13823,00	0,00	0,000	973305,00	973305,00	0,00	0,000	350390,00	350390,00

Tabla 3.4 Datos del Pistón a 3000 rpm

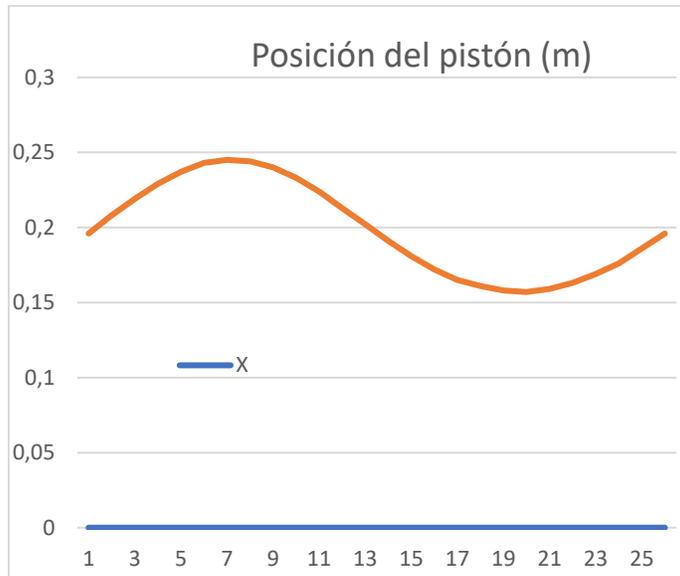


Figura 3.27 Grafica de Desplazamiento del Pistón a 3000 rpm

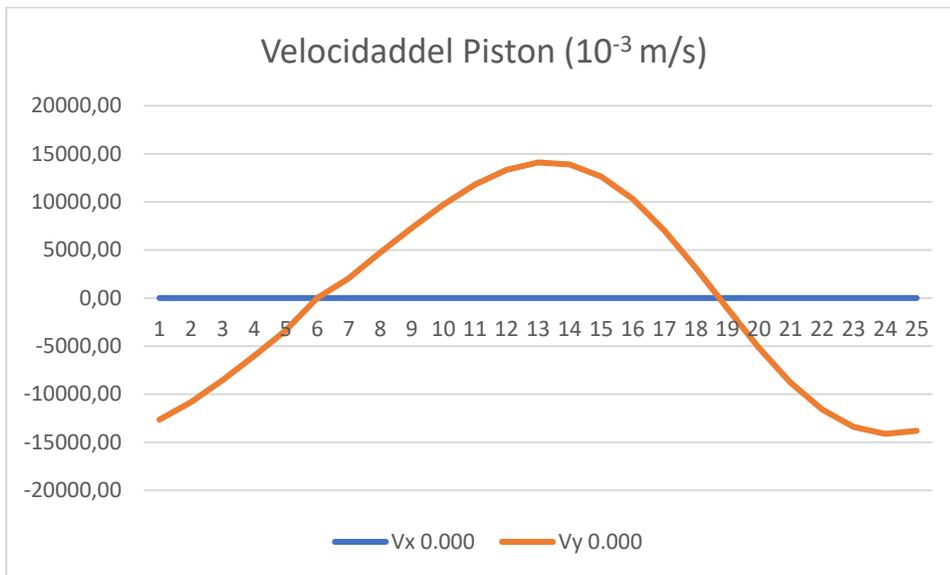


Figura 3.28 Grafica de Velocidad del Pistón a 3000 rpm



Figura 3.29 Grafica de Aceleración del Pistón a 3000 rpm

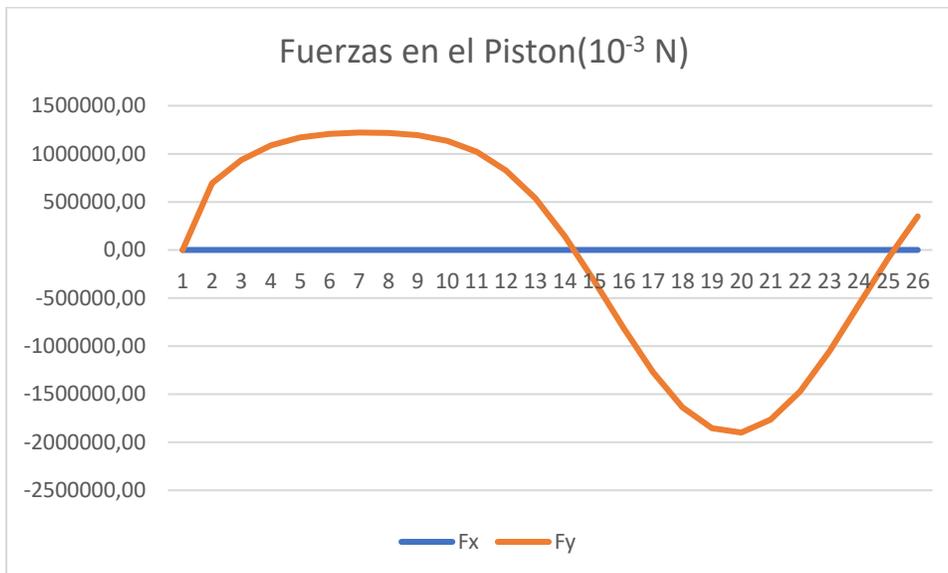


Figura 3.30 Grafica de la Fuerza Total en el Pistón a 3000 rpm

3.6 Análisis de los Datos en Working Model para 600 rpm

3.6.1 Análisis de los Datos en el Cigüeñal

Los datos obtenidos se muestran en la tabla 3.5. La fuerza total al disminuir la velocidad decendio hasta los 620 N y el torque a 7 Nm se puede observar en las figuras 3.31 y 3.32

Time	Position of manivela			Velocity of manivela			Acceleration of manivela				Total Force on manivela			Torque of Cigüeña	
	t	x	y	Vx	Vy	V	V ϕ	Ax	Ay	A	A ϕ	Fx	Fy		F
0.000	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0,00	0,00	0,00	0.000	0,00	0,00	2416,00
0.004	0.021	-0.005	-0.344	-1339,00	1382,00	-62830,00	-84119,00	21597,00	86847,00	0,00	0,00	-600610,00	154206,00	620090,00	6553,00
0.008	0.019	-0.011	-0.666	-1211,00	1382,00	-62830,00	-76106,00	41838,00	86847,00	0,00	0,00	-543394,00	298723,00	620090,00	7264,00
0.012	0.016	-0.015	-0.946	-1008,00	1382,00	-62830,00	-63310,00	59450,00	86847,00	0,00	0,00	-452036,00	424471,00	620090,00	6690,00
0.016	0.012	-0.019	-1167,00	-0.741	1382,00	-62830,00	-46537,00	73326,00	86847,00	0,00	0,00	-332277,00	523550,00	620090,00	5160,00
0.020	0.007	-0.021	-1315,00	-0.427	1382,00	-62830,00	-26840,00	82596,00	86847,00	0,00	0,00	-191640,00	589734,00	620090,00	3036,00
0.024	0.001	-0.022	-1380,00	-0.087	1382,00	-62830,00	-5457,00	86676,00	86847,00	0,00	0,00	-38963,00	618865,00	620090,00	0.621
0.028	-0.004	-0.022	-1358,00	0.259	1382,00	-62830,00	16269,00	85310,00	86847,00	0,00	0,00	116162,00	609113,00	620090,00	-1848,00
0.032	-0.009	-0.020	-1251,00	0.588	1382,00	-62830,00	36973,00	78584,00	86847,00	0,00	0,00	263988,00	561090,00	620090,00	-4151,00
0.036	-0.014	-0.017	-1065,00	0.881	1382,00	-62830,00	55354,00	66921,00	86847,00	0,00	0,00	395229,00	477814,00	620090,00	-6020,00
0.040	-0.018	-0.013	-813	1118,00	1382,00	-62830,00	70257,00	51053,00	86847,00	0,00	0,00	501637,00	364517,00	620090,00	-7120,00
0.044	-0.020	-0.008	-509	1285,00	1382,00	-62830,00	80746,00	31977,00	86847,00	0,00	0,00	576527,00	228318,00	620090,00	-7084,00
0.048	-0.022	-0.003	-0.173	1371,00	1382,00	-62830,00	86162,00	10893,00	86847,00	0,00	0,00	615194,00	77773,00	620090,00	-5672,00
0.052	-0.022	0.003	0.173	1371,00	1382,00	-62830,00	86164,00	-10877,00	86847,00	0,00	0,00	615208,00	-77659,00	620090,00	-2990,00
0.056	-0.020	0.008	0.509	1285,00	1382,00	-62830,00	80752,00	-31962,00	86847,00	0,00	0,00	576569,00	-228211,00	620090,00	0.360
0.060	-0.018	0.013	0.812	1118,00	1382,00	-62830,00	70267,00	-51040,00	86847,00	0,00	0,00	501704,00	-364424,00	620090,00	3365,00
0.064	-0.014	0.017	1065,00	0.881	1382,00	-62830,00	55367,00	-66911,00	86847,00	0,00	0,00	395317,00	-477741,00	620090,00	4979,00
0.068	-0.009	0.020	1251,00	0.589	1382,00	-62830,00	36988,00	-78577,00	86847,00	0,00	0,00	264092,00	-561041,00	620090,00	4594,00
0.072	-0.004	0.022	1358,00	0.259	1382,00	-62830,00	16285,00	-85307,00	86847,00	0,00	0,00	116275,00	-609091,00	620090,00	2365,00
0.076	0.001	0.022	1380,00	-0.087	1382,00	-62830,00	5441,00	-86677,00	86847,00	0,00	0,00	-38849,00	-618872,00	620090,00	-0.814
0.080	0.007	0.021	1315,00	-0.427	1382,00	-62830,00	-26825,00	-82601,00	86847,00	0,00	0,00	-191531,00	-589769,00	620090,00	-3666,00
0.084	0.012	0.019	1167,00	-0.740	1382,00	-62830,00	-46524,00	-73335,00	86847,00	0,00	0,00	-332180,00	-523611,00	620090,00	-5045,00
0.088	0.016	0.015	0.946	-1007,00	1382,00	-62830,00	-63299,00	-59461,00	86847,00	0,00	0,00	-451957,00	-424555,00	620090,00	-4401,00
0.092	0.019	0.011	0.666	-1211,00	1382,00	-62830,00	-76098,00	-41852,00	86847,00	0,00	0,00	-543338,00	-298823,00	620090,00	-1979,00
0.096	0.021	0.005	0.344	-1339,00	1382,00	-62830,00	-84115,00	-21613,00	86847,00	0,00	0,00	-600582,00	-154317,00	620090,00	1338,00
0.100	0.022	0,00	0,26	-1382,00	1382,00	-62830,00	-86847,00	-0.016	86847,00	0,00	0,00	-620090,00	-0.115	620090,00	4461,00

Tabla 3.5 Datos del Cigüeñal a 600 rpm

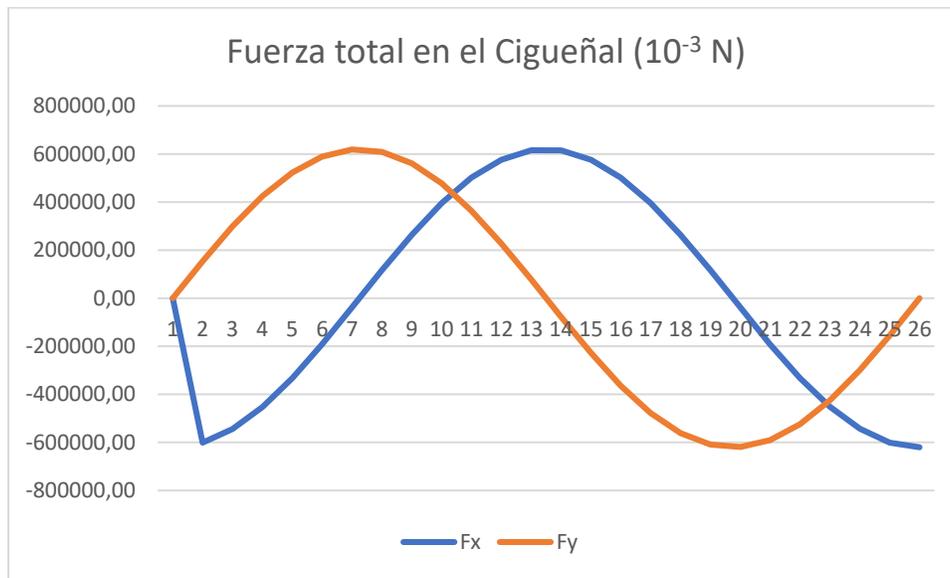


Figura 3.31 Grafica de Fuerza Total en el Cigüeñal a 600 rpm

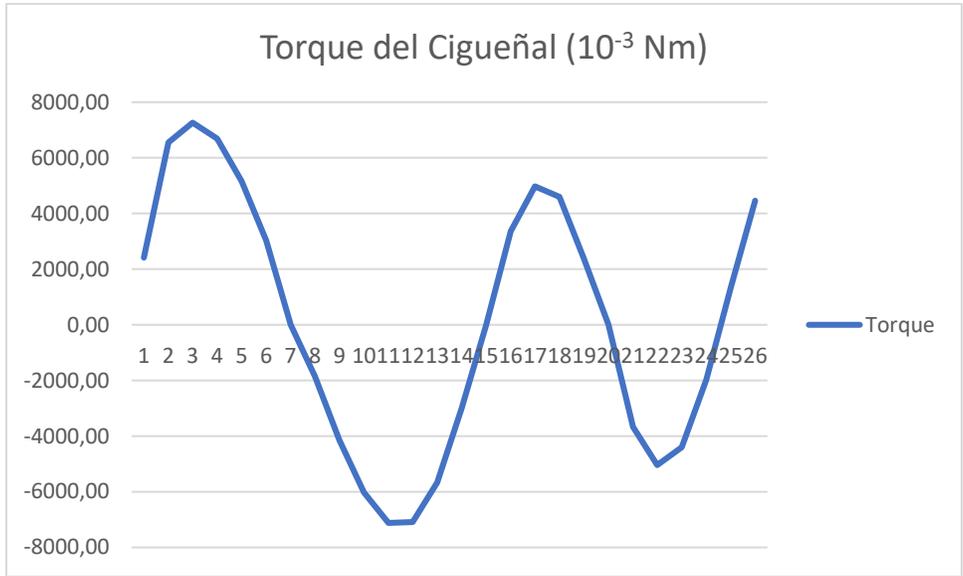


Figura 3.32 Grafica del Torque del Cigüeñal a 600 rpm

3.6.2 Análisis de los Datos en el Pistón

La velocidad siguió en descenso y se puede ver mas claramente los puntos muertos, inferior y superior en el recorrido del pistón (figura3.34).

Time	Position of pistón		Velocity of pistón				Acceleration of pistón				Total Force on pistón		
	x	y	Vx	Vy	V	Vø	Ax	Ay	A	Aø	Fx	Fy	F
0.000	0,00	0,212	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00
0.004	0,00	0,201	0,00	-2529,00	2529,00	0,00	0,000	77142,00	77142,00	0,00	0,000	27771,00	27771,00
0.008	0,00	0,192	0,00	-2163,00	2163,00	0,00	0,00	104072,00	104072,00	0,000	0,00	37466,00	37466,00
0.012	0,00	0,184	0,00	-1710,00	1710,00	0,00	0,00	120847,00	120847,00	0,000	0,00	43505,00	43505,00
0.016	0,00	0,178	0,00	-1206,00	1206,00	0,00	0,00	129990,00	129990,00	0,000	0,00	46796,00	46796,00
0.020	0,00	0,174	0,00	-0,676	0,676	0,00	0,00	134234,00	134234,00	0,000	0,00	48324,00	48324,00
0.024	0,00	0,173	0,00	-0,136	0,136	0,00	0,00	135656,00	135656,00	0,000	0,00	48836,00	48836,00
0.028	0,00	0,173	0,00	0,407	0,407	0,00	0,00	135210,00	135210,00	0,000	0,00	48675,00	48675,00
0.032	0,00	0,176	0,00	0,943	0,943	0,00	0,00	132573,00	132573,00	0,00	0,00	47726,00	47726,00
0.036	0,00	0,181	0,00	1462,00	1462,00	0,00	0,00	126197,00	126197,00	0,000	0,00	45431,00	45431,00
0.040	0,00	0,188	0,00	1944,00	1944,00	0,00	0,00	113595,00	113595,00	0,00	0,00	40894,00	40894,00
0.044	0,00	0,196	0,00	2359,00	2359,00	0,00	0,00	92004,00	92004,00	0,00	0,00	33121,00	33121,00
0.048	0,00	0,206	0,00	2666,00	2666,00	0,00	0,000	59442,00	59442,00	0,00	0,000	21399,00	21399,00
0.052	0,00	0,217	0,00	2820,00	2820,00	0,00	0,000	15908,00	15908,00	0,000	0,000	5727,00	5727,00
0.056	0,00	0,229	0,00	2782,00	2782,00	0,00	0,000	-35865,00	35865,00	0,00	0,000	-12911,00	12911,00
0.060	0,00	0,239	0,00	2529,00	2529,00	0,00	0,000	-90576,00	90576,00	0,000	0,000	-32607,00	32607,00
0.064	0,00	0,249	0,00	2062,00	2062,00	0,00	0,000	-141451,00	141451,00	0,00	0,000	-50922,00	50922,00
0.068	0,00	0,256	0,00	1411,00	1411,00	0,00	0,00	-181739,00	181739,00	0,000	0,00	-65426,00	65426,00
0.072	0,00	0,260	0,00	0,630	0,630	0,00	0,00	-206019,00	206019,00	0,000	0,00	-74167,00	74167,00
0.076	0,00	0,261	0,00	-0,211	0,211	0,00	0,00	-211051,00	211051,00	0,00	0,00	-75978,00	75978,00
0.080	0,00	0,258	0,00	-1032,00	1032,00	0,00	0,00	-196167,00	196167,00	0,000	0,00	-70620,00	70620,00
0.084	0,00	0,252	0,00	-1756,00	1756,00	0,00	0,00	-163345,00	163345,00	0,000	0,00	-58804,00	58804,00
0.088	0,00	0,244	0,00	-2321,00	2321,00	0,00	0,000	-116990,00	116990,00	0,00	0,000	-42116,00	42116,00
0.092	0,00	0,234	0,00	-2682,00	2682,00	0,00	0,000	-63320,00	63320,00	0,000	0,000	-22795,00	22795,00
0.096	0,00	0,223	0,00	-2827,00	2827,00	0,00	0,000	-9287,00	9287,00	0,000	0,000	-3343,00	3343,00
0.100	0,00	0,212	0,00	-2765,00	2765,00	0,00	0,000	38895,00	38895,00	0,000	0,000	14002,00	14002,00

Tabla 3.6 Datos del Pistón a 600 rpm

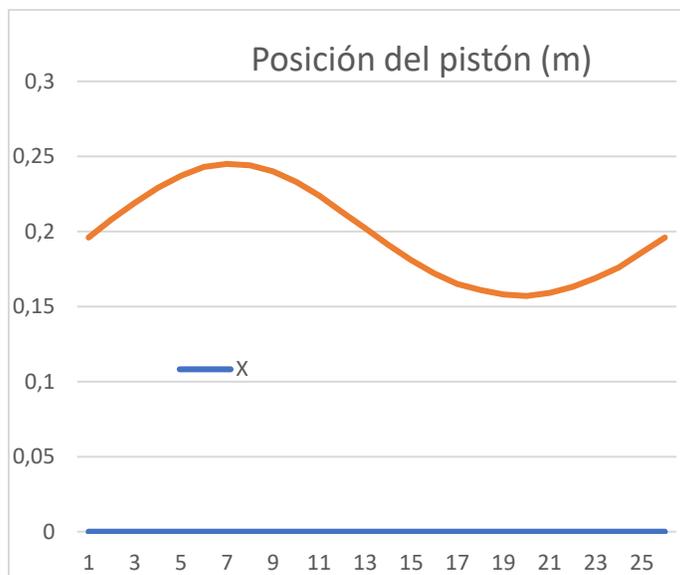


Figura 3.33 Grafica de Desplazamiento del Pistón a 600 rpm

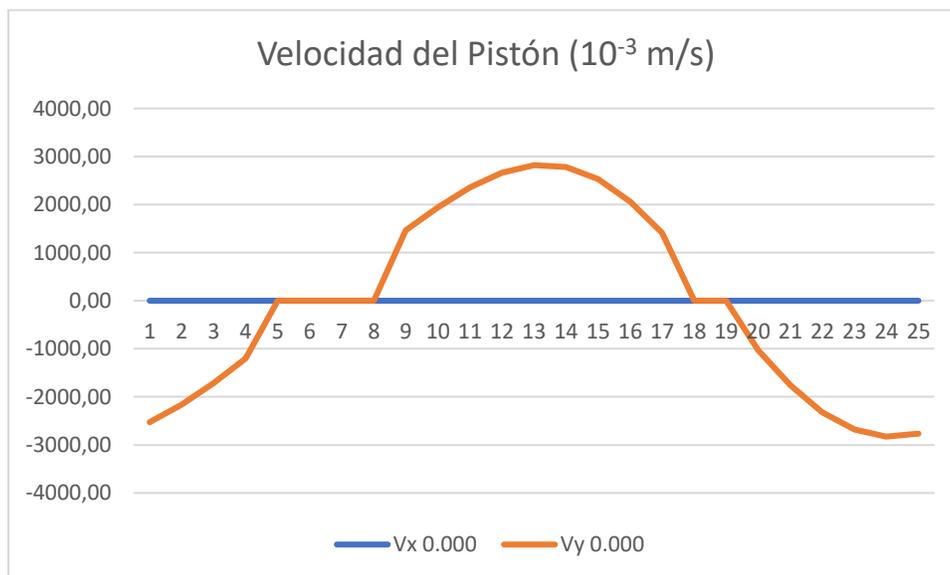


Figura 3.34 Grafica de Velocidad del Pistón a 600 rpm



Figura 3.35 Grafica de Aceleración del Pistón a 600 rpm



Figura 3.36 Grafica de Fuerza Total en el Pistón a 600 rpm

CONCLUSIONES

1. Se realizó una acertada modelación del MCI monocilindro obteniendo indicadores que se deseaban conocer.
2. La cilindrada del motor es 500 cc con desplazamiento máximo de 88 mm.
3. Las tensiones de Von Mises máxima que sufre el cigüeñal es de 66 MPa y la deformación o desplazamiento máximo es de 0.49 mm, esto sucede a 5200 rpm, velocidad máxima del estudio.
4. Las tensiones de Von Mises máxima que sufre la biela son de 218.4 MPa en la zona de la base y la deformación o desplazamiento máximo es de 0.43 mm, esto sucede a 5200 rpm.
5. Las tensiones de Von Mises máxima que sufre el pistón son en el área cercana al pasador y el valor es de 95 MPa; la deformación o desplazamiento máximo es de 0.29 mm, esto sucede a 5200 rpm.
6. La fuerza total máxima que afecta el cigüeñal es de 48.3 kN, el torque máximo es de 500 Nm, esto sucede a 5200 rpm.
7. La velocidad máxima con la que se desplaza el pistón es de 24.9 m/s y la fuerza máxima que actúa sobre él es de 5.9 kN, ocurre a 5200 rpm.
8. Mientras mayor sea la velocidad de rotación de motor mayores son las tensiones, deformaciones, aceleraciones y fuerza que actúan sobre cada elemento que lo compone.

RECOMENDACIONES

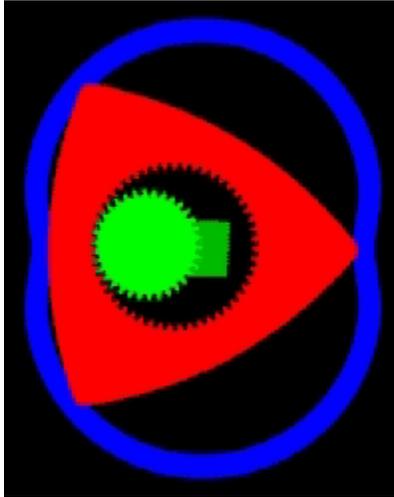
1. Se recomienda como base para la realización de estudios futuros relacionados con este motor.
2. Realizar un estudio termo estructural del pistón.
3. Hallar las componentes de las distintas tenciones que actúan sobre él.

BIBLIOGRAFÍA

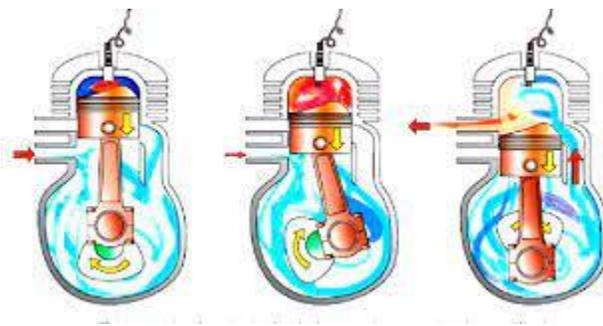
- Aprendemos Tecnologia*. (s.f.). Obtenido de [https://https://wp.me/Pdhp2-4D](https://wp.me/Pdhp2-4D)
- Baranov, G. (1979). *Curso de la Teoría de Mecanismos y Máquinas*. Moscú: Editorial MIR.
- Cabrera, D. E. (2005). *Produccion mas limpia en el proceso de obtencion deAcido Sulfurico*. Universidad de Girona.
- Davim, J. P. (Ed.). (2018). *Introduction to Mechanical Engineering*. Cham, Switzerland, Switzerland: Springer.
- Deveaux, W. C. (2001). *Elements of Experimental Desing*.
- Flores, P. (2015). *Comcepts and Formulations for Spatial Multibody Dynamics*. Springer International Publishing.
- Golubev, Y. (1978). *Teoría de máquinas y mecanismos*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación. .
- Montgomery, D. C. (2001). *Desing and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons.
- Multibody System*. (20 de september de 2021). Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de wikipedia: https://en.m.wikipedia.org/wiki/Main_Page
- Myszka, D. H. (2012). *Máquinas y Mecanismos* (Cuarta edición ed.). México, DF: Pearson Educación.
- Norton, R. L. (2020). *Design of Machinery: an introduction to the synthesis and analysis of mechanisms and machines* (Sixth edition ed.). New York, NY: Sixth edition.
- Oberg, E. F. (2016). *Machinery's Handbook* (30th ed.). (C. J. McCauley, Ed.) Connecticut: Industrial Press.
- Paulo Flores. (Marzo de 2015). *Google Academico*. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/282183759>
- Paz, M. A. (2006). *Manual de Automoviles*. Madrid, España: CIE, Dossat.
- Sampieri, C. R., & Collado, D. C. (1997). *Metodologia de la Investigacion*. McGraw-Hill Interamericana de Mexico.
- Singal, R. K. (2015). *Internal Combustion Engines*. S.K. Kataria & Sons.
- SolidWorks Corporation, D. S. (2015). *Introducción a SolidWorks*. Waltham, Massachusetts.
- Wickert , J., & Lewis , K. (2015). *An Introduction to Mechanical Engineering* (Fourth Edition ed.). Boston: Cengage Learning.
- Wikipedia*. (30 de noviembre de 2021). Obtenido de Motores de Combustion Interna: https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_combusti%C3%B3n_interna

Wikipedia. (4 de Agosto de 2021). Obtenido de Mecanismo Biela-Manivela:
<https://es.wikipedia.org/wiki/Biela-manivela>

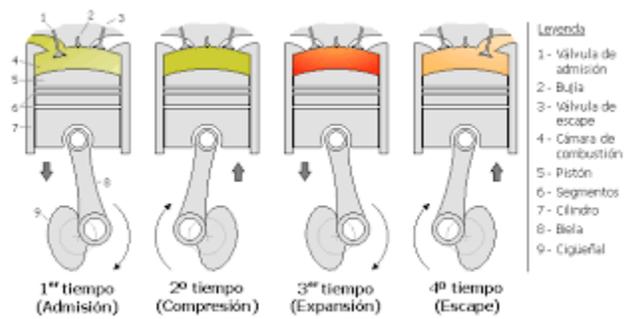
ANEXOS



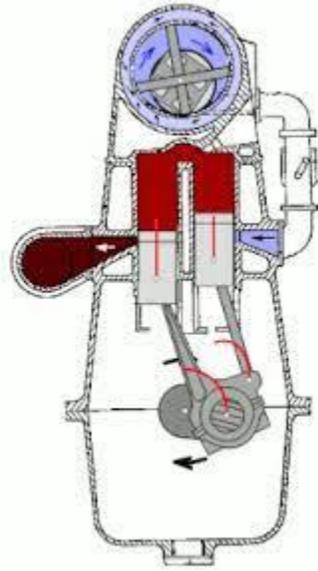
Anexo 1 Motor Wankel



Anexo 2 Ciclos de un motor de 2 tiempos



Anexo 3 Ciclos de un motor de 4 tiempos



Anexo 4 Motor monocilindro de pitón doble



Anexo 5 Tractor monocilindro



Anexo Moto Norton Manx M30, monocilíndrico que ganó el Mundial de 500cc