

CAPITULO IV

DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE VIRTUAL LAB

4.1 Virtual Lab

En la actualidad, los mercados competitivos se caracterizan por la exigencia de máxima calidad, plazos de entrega inferiores, solicitudes individuales de productos, y todo ello, al menor precio posible. El usuario no es inmune a estas crecientes exigencias y a la presión de costes, ya sea en un escenario global de mercados internacionales o en un escenario de competitividad local. En la actualidad, la ingeniería es prácticamente la única disciplina capaz de ofrecer un ahorro potencial y, por tanto, una mejora de la competitividad.

La Ingeniería funcional trata de un enfoque de ingeniería completamente nuevo que permite una drástica reducción de costes, a la vez que mejora la calidad. LMS Virtual Lab consiste en un software de análisis, el cual cuenta con un ambiente integral enfocado para el desempeño de la mencionada ingeniería funcional; aplicada en el diseño de atributos críticos en productos; tales como la vibración, el ruido, la cinemática, la dinámica, la durabilidad, seguridad, entre otros. Dicha interfase permanece abierta a vínculos con archivos CAD, CAM y diversos análisis (CAE), lo cual permite la exportación e importación para efectuar manipulaciones y obtener los resultados que sean buscados.

Es así como Virtual Lab proporciona las facilidades necesarias a un equipo multidisciplinario de ingeniería, para obtener el diseño de nuevos y mejorados productos en un lapso mucho menor de tiempo que antes, lo que reduce considerablemente el tiempo del proceso total, y dobla el tiempo sobre el valor añadido.

La interfase de LMS Virtual Lab está basada en CAA V5 (Component Application Architecture), middleware abierto para PLM (Product Lifecycle Management) desarrollado por Dassault Systèmes.

4.1.1 Virtudes de Virtual Lab

Virtual Lab presenta virtudes o ventajas atendiendo a diversos aspectos tales como la integración para misiones de optimización en base a atributos específicos, la entrega de un valor agregado en términos ingenieriles y la aplicación de una ingeniería híbrida durante el diseño del producto.

Siendo capaz de explorar el panorama de diseño para un atributo en particular, se tienen de antemano ideas críticas acerca de la dinámica de un problema ingenieril. Con Virtual.Lab, se puede hacer aún más; por lo que se puede encontrar inteligentemente el punto óptimo en el espacio del diseño, y de esta forma, dar un paso adelante en lo que a productividad se refiere. Asimismo, mediante una

integración cercana de las aplicaciones de misiones de optimización, los ingenieros también podrán ser capaces de intercambiar múltiples atributos los cuales sean posiblemente conflictivos, con la finalidad de balancear el diseño total.

Atendiendo a la "simulación en ejecución híbrida", Virtual.Lab combina tanto disciplinas de las pruebas físicas como virtuales; lo que hace al ya mencionado proceso no solo más rápido, sino también más exacto y robusto, ya que validaciones de las pruebas son incluidas dentro del software.

En términos de la industria, el retorno de la inversión se puede, por lo tanto, medir no solamente en función del tiempo de introducción al mercado y al reducido costo de desarrollo; sino también en términos de la calidad del producto, la cual es optimizada desde su lanzamiento y de una reducción en el número de modificaciones en el producto, las cuales resultan muy costosas.

Finalmente, debido a que Virtual.Lab se liga automáticamente para manipular CAD, CAE y herramientas de pruebas, se eliminan las transferencias de archivos y las redundancias de datos innecesarias, y por ende se duplica el tiempo disponible para la ingeniería de valor añadido. Virtual.Lab captura y automatiza el flujo del proceso para proporcionar una capacidad paramétrica en cada análisis, lo que lo hace altamente eficiente. Es decir, cualquier cambio del diseño se puede acoplar con la secuencia del análisis en minutos. Tales progresos en cuanto a la velocidad del proceso de desarrollo del producto, permitirán a las compañías

ahorros de tiempo, reducción de incertidumbre y que se minimice la necesidad de realizar prototipos físicos.

4.1.2 Descripción de Virtual.Lab

Como pantalla de inicio, al ejecutar el software, se muestra la interfase de análisis, la cual consiste en la base del programa, para después acudir a análisis posteriores del modelo establecido en la misma. Dicha interfase cuenta con siete áreas principales, las cuales son el menú principal, árbol de especificaciones, display del modelo, el compass, barra de herramientas estándar, la barra de herramientas de navegación y la barra de herramientas característica del banco de trabajo en el que se esté trabajando. Dicha distribución se aprecia en la Figura 4.1.

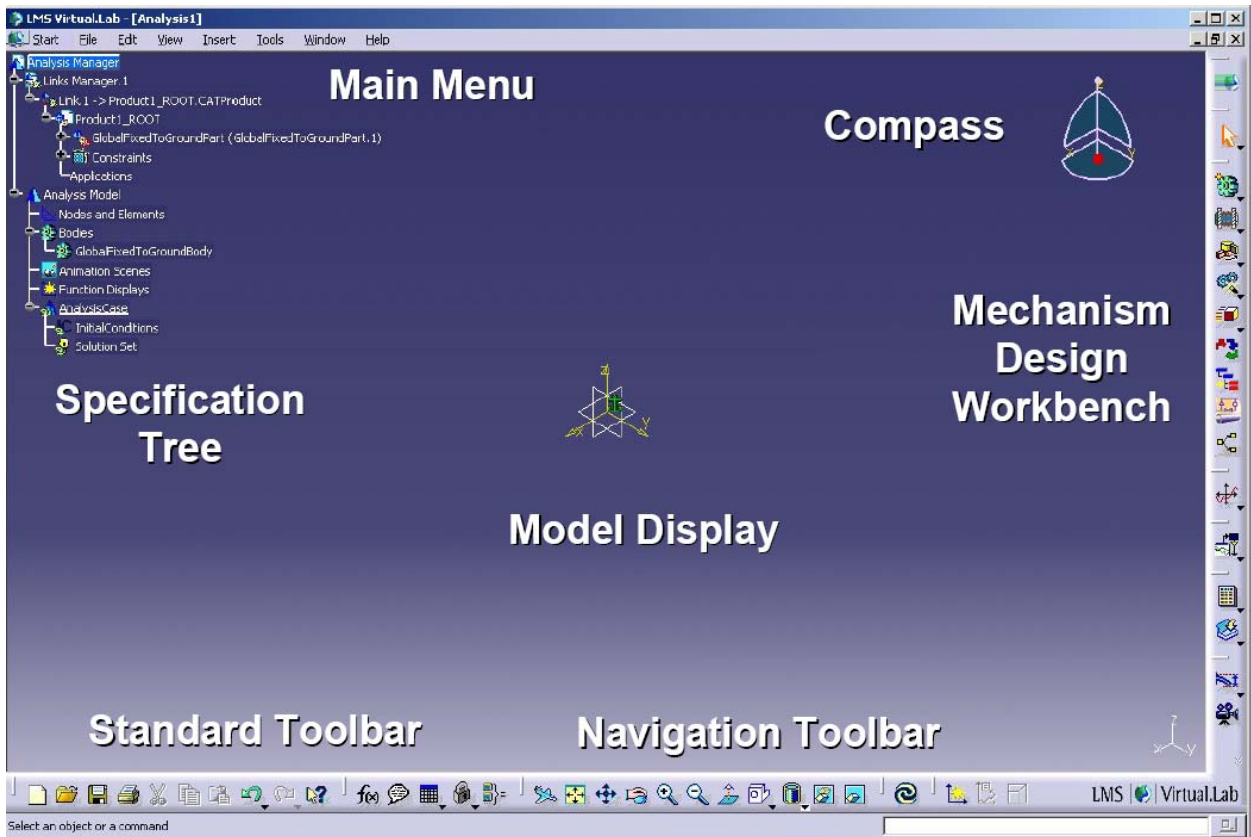


Figura 4.1 Interfase Virtual.Lab [LMS]

El menú principal muestra todas las barras de herramientas esenciales para la manipulación de un software, las cuales son View, Edit, Start, File ,etc. Corresponde a las operaciones indispensables para la operación del software como guardar y abrir archivos, importar y exportar, modificar características y opciones de vistas, acceso al menú de ayuda, etc.

En el display aparece el modelo a simular y puede ser manipulado por medio del compass tanto para ser cambiado de posición como para ser visto desde diferentes perspectivas.

La barra de herramientas estándar maneja diversas utilidades contenidas en la barra de File y Edit las cuales forman parte del menú principal; esto con el objeto de tener una vía de acceso directo con la finalidad de hacer más práctico su manejo. Igualmente en la barra de herramientas de navegación se encuentran accesos directos a utilidades, pero en este caso, son opciones de vista contenidas en el menú View del menú principal.

El árbol de especificaciones representa un historial de todas las operaciones realizadas en cada análisis, muestra el orden jerárquico de los modelos y operaciones efectuadas, así como sus dependencias. Esta herramienta es sumamente importante y útil; ya que por medio de éste se manipula el archivo en su totalidad, se realizan todas las nuevas operaciones y modificaciones, y debido a que se da la opción a tener un modelo parametrizado, hace que las correcciones futuras y modificaciones sean hechas de una forma sencilla y simplificada.

Los bancos de trabajo o WORKBENCHES son barras de herramientas características de un módulo específico contenido en Virtual.Lab. Cada workbench trabaja con diferentes utilidades necesarias para realizar un análisis específico, Virtual.Lab cuenta con diversos workbenches los cuales son: Infrastructure, Mechanical design, Desktop, Noise and Vibration, Motion, Durability, Acoustics, Optimization y Structures. Todos los bancos de trabajo interactúan entre sí y se permite el uso de uno a otro mediante el cambio automático entre ellos, durante el procesamiento de un mismo modelo y de esta forma se tiene un vínculo y una

secuencia de operaciones en el mismo, las cuales aparecen en el “specification tree”.

Se accesa a cada banco de trabajo mediante la barra de herramientas de Stara, la cual está contenida en el menú principal, tal y como se muestra en la figura 4.2, y sus conceptos serán detallados a continuación.

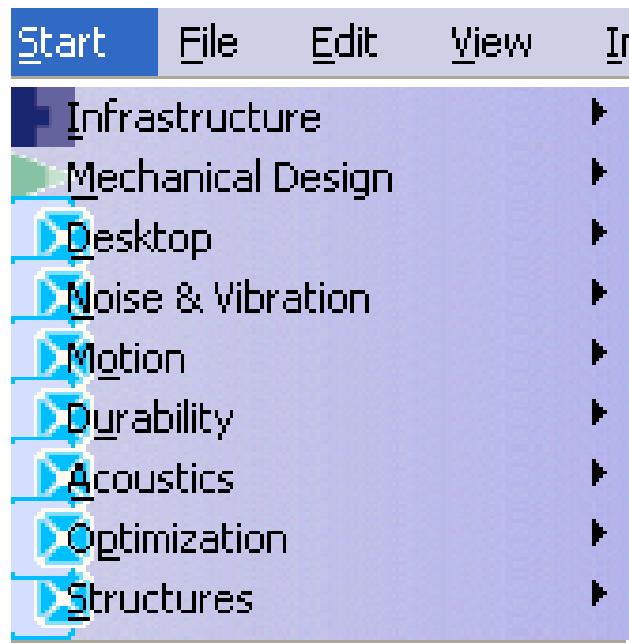


Figura 4.2 “Workbenches” contenidos en LMS Virtual.Lab [LMS]

Los **bancos de trabajo Infrastructure y Mechanical design** son exportados del software CATIA V5 y su función es el diseño y la generación de sólidos, superficies, planos y ensambles. Es decir, mediante estos bancos de trabajo se puede generar el producto con sus respectivas partes para después ser sometido a algún tipo de análisis desarrollado por Virtual.Lab y contenido en alguno de sus otros módulos. Virtual.Lab también da la opción de importar modelos creados

anteriormente mediante otros softwares CAD ya que es compatible con gran variedad de archivos.

Virtual.Lab **Desktop** proporciona un ambiente común para la implementación de una ingeniería funcional. Por medio del mismo, el usuario tiene el acceso sin restricciones a modelos y datos en códigos CAD y CAE, así como para los datos de pruebas virtuales. El Escritorio también ofrece un ambiente de visualización completo para los ensambles y las partes que lo comprenden, datos para el desempeño de una ingeniería funcional, funciones de tiempo y frecuencia, entre otros.

El Módulo **Noise & Vibration** combina tecnologías ya probadas con técnicas innovadoras para crear una solución para el modelado de ruidos y vibraciones en productos, así como su refinamiento en el nivel del sistema. Con este banco de trabajo, los modelos se pueden montar rápidamente, confiablemente, y en un tiempo benéfico para el curso del proceso de desarrollo.

Mediante **Acoustics**, es posible obtener el modulo acústico de un producto en funcionamiento en un lapso muy corto de tiempo, teniendo la capacidad de analizar sub-sistemas en el mismo producto final, realizando cambios en minutos debido a la capacidad de parametrización.

Durability permite la predicción de la vida a fatiga de un producto debido al desarrollo de ciclos de operación durante el tiempo, esto con la finalidad de afectar

positivamente el proceso del diseño. Predice el funcionamiento de la durabilidad de cuerpos flexibles que se encuentran unidos y soldados, conforme a centenares de cargas de todas las direcciones. Este banco de trabajo integra el elemento finito (FE) y la simulación mediante cuerpos múltiples (MBS) con predicciones numéricas de la vida a fatiga para proporcionar una solución más avanzada en términos de durabilidad.

El banco de trabajo **Motion** proporciona un análisis en diseños de mecanismos mecánicos. Lo anterior es logrado mediante la simulación, en tiempo y condiciones reales, del comportamiento del mecanismo diseñado. Por medio de sus herramientas es capaz de analizar y optimizar dicho comportamiento asegurando de esta forma que todos sus componentes interactúen entre sí, se muevan tal y como previsto; así como datos para la predicción de deformaciones de piezas y rupturas bajo cargas máximas.

4.1.3 Ejemplo Práctico usando Virtual.Lab

Para poder realizar por completo la simulación y análisis del modelo de un mecanismo (Mechanism Model) es necesaria la combinación de diversas barras de herramientas que son contenidas dentro de diferentes bancos de trabajo, las cuales son:

- Product -controla el ensamble y la jerarquía de los documentos “Part” o partes contenidas en el modelo final.
- Part Design – herramientas para definir y generar cada una de las partes.
- Mechanism Design – herramientas para el modelado del mecanismo, referente a uniones dinámicas o “Joints” y casos de análisis.
- Flexible Model – herramientas para definir como un cuerpo flexible a cualquier parte componente del mecanismo, la aplicación trabaja mediante el mallado de dicha parte por lo que es aplicada la tecnología de elementos finitos.

A continuación se presenta un ejemplo práctico de un análisis dinámico en un mecanismo realizado mediante Virtual.Lab.

El mecanismo a simular será un mecanismo de biela-manivela unido por un eje cigüeñal lo que constituye una simplificación del mecanismo a simular en esta tesis, ya que este a comparación con el modelo, solo cuenta con un elemento de cada parte..

El primer paso a realizar es el diseño o modelado de cada una de las partes componentes. En este caso todos los componentes del mecanismo en cuestión fueron modelados mediante Catia V5 y se especificó su material. A continuación se realizó el ensamble entre ellos, en el cual el pistón se posicionó en punto muerto superior, como se muestra en la figura 4.3.

Debido a que Virtual Lab trabaja con la interfase de CATIA V5, el ensamble anterior es completamente compatible y puede ser abierto para la preparación, corrida y posterior solución de su análisis dinámico.

Al ser abierto el archivo del ensamble el cual cuenta con la extensión “*.CATProduct”, éste ocupa la primera posición dentro del árbol de especificaciones de Virtual Lab el cual refiere a un o una serie de cuerpos, los cuales existen como modelos CAD en el archivo; pero necesitan ser definidos posteriormente para que formen parte del análisis dinámico, es decir, que constituyan el objeto o producto a ser simulado.

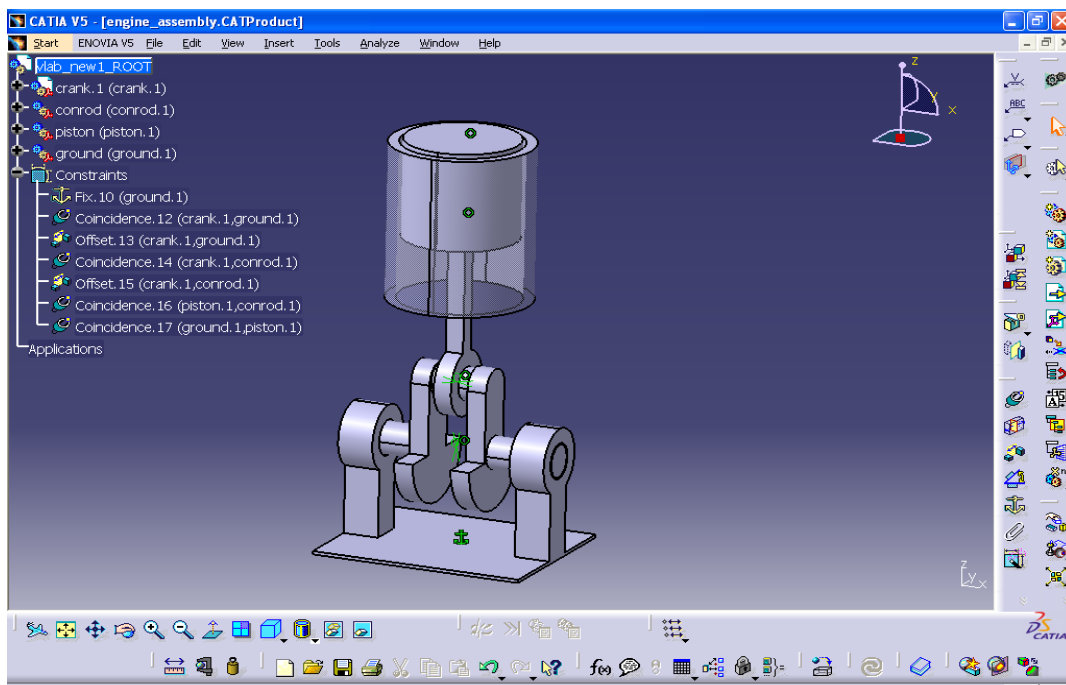


Figura 4.3 Ensamble de monocilindro [LMS]

En la figura 4.4 se muestra el árbol de especificaciones en Virtual Lab o “Análisis Manager” con el archivo del ensamble del mecanismo monocilindro ya abierto. Se puede observar la primera ramificación desglosada, llamada “Links Manager” la cual se conforma por los cuerpos de CAD ensamblados.

La siguiente ramificación del árbol es el análisis en si, llamado “Análisis Model” en el cual se establecen las condiciones que intervendrán durante el funcionamiento del mecanismo.

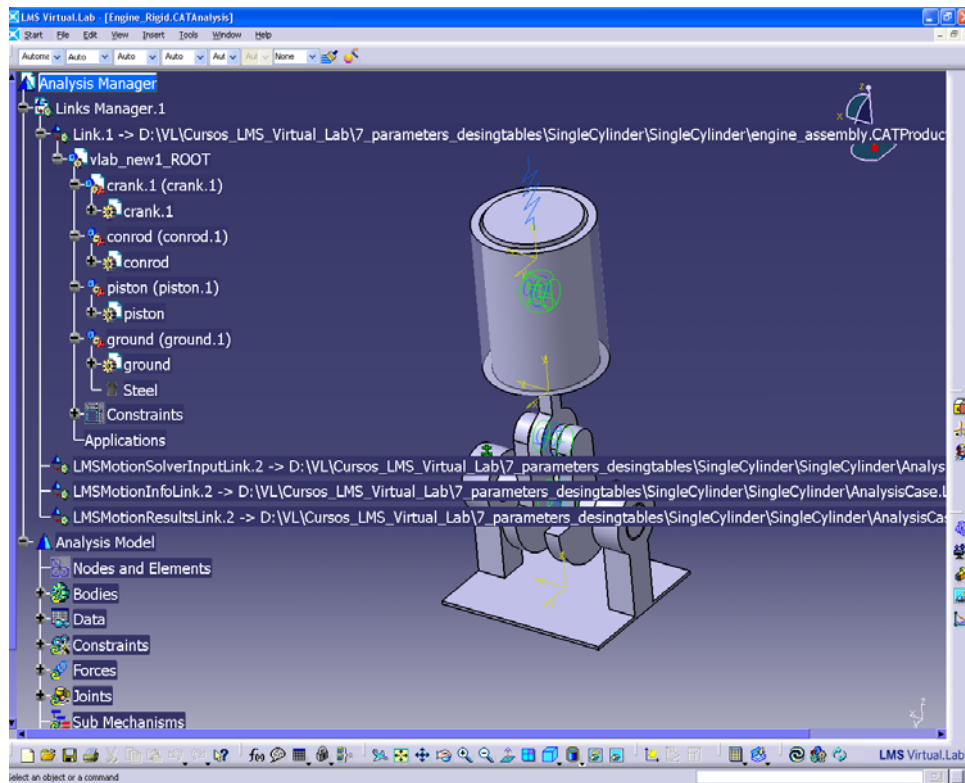


Figura 4.4 Modelo CAD en Virtual.Lab [LMS]

El primer paso para la configuración del análisis es definir los cuerpos CAD como “Bodies”, es decir, establecer los cuerpos del ensamble CAD que intervendrán en la dinámica del mecanismo, migrándolos con todas sus características, como en el

material definido previamente en CATIA cuando se efectuó el diseño. Así mismo, se establecen otras características de los cuerpos tales como la distancia que estos presentan referenciados a un eje coordenado preestablecido por el software; otro punto es darle al cuerpo la opción de tener una masa despreciable, así como la más importante que consiste en establecer si éstos son fijos o móviles, en su defecto. Estas características se aprecian en la ventana de la figura 4.5 cuando se da “doble click” sobre el cuerpo que nos interesa.

En este modelo, se utilizaron las características establecidas en CAD en cuanto a material y masa; así mismo, todas las partes fueron definidas móviles a excepción del cilindro y la base que sostiene al pequeño eje cigüeñal, denominados como “ground” en el modelo.

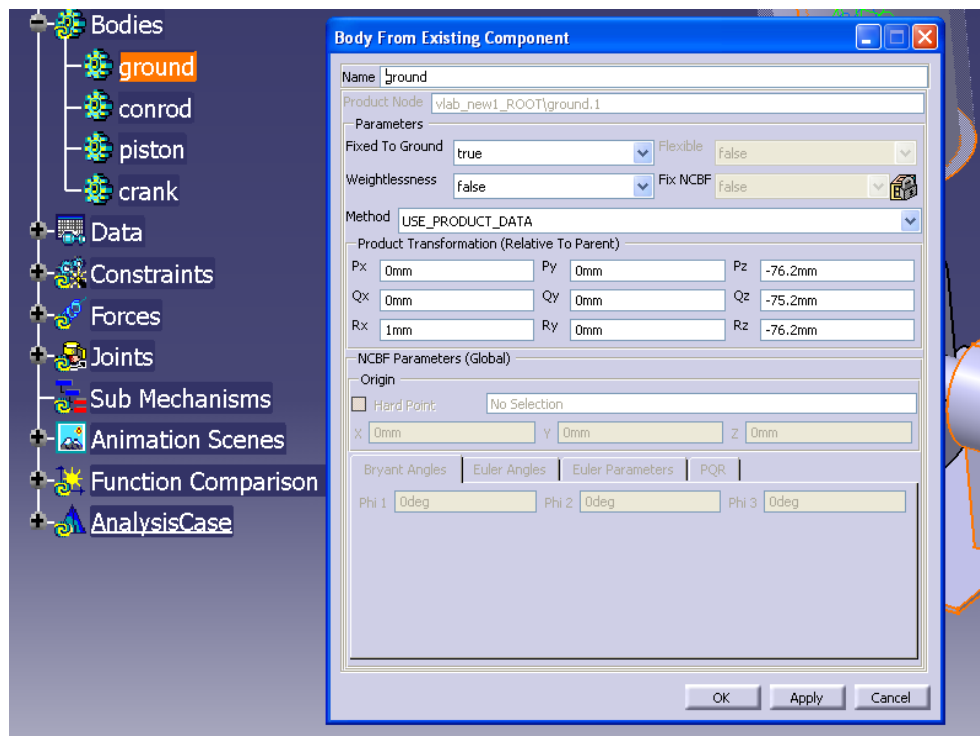


Figura 4.5 Características del cuerpo “ground” [LMS]

Teniendo los cuerpos para simular con sus respectivas particularidades referentes a su movilidad, se prosigue a definir los grados de libertad del movimiento.

Para poder definir los grados de libertad mediante “Joints” siempre es necesario tener dos referencias ya sean planos, ejes coordenados o bien dos cuerpos. En este caso se utilizaron los cuerpos para definir las relaciones de movimiento, siempre haciendo relaciones entre dos cuerpos.

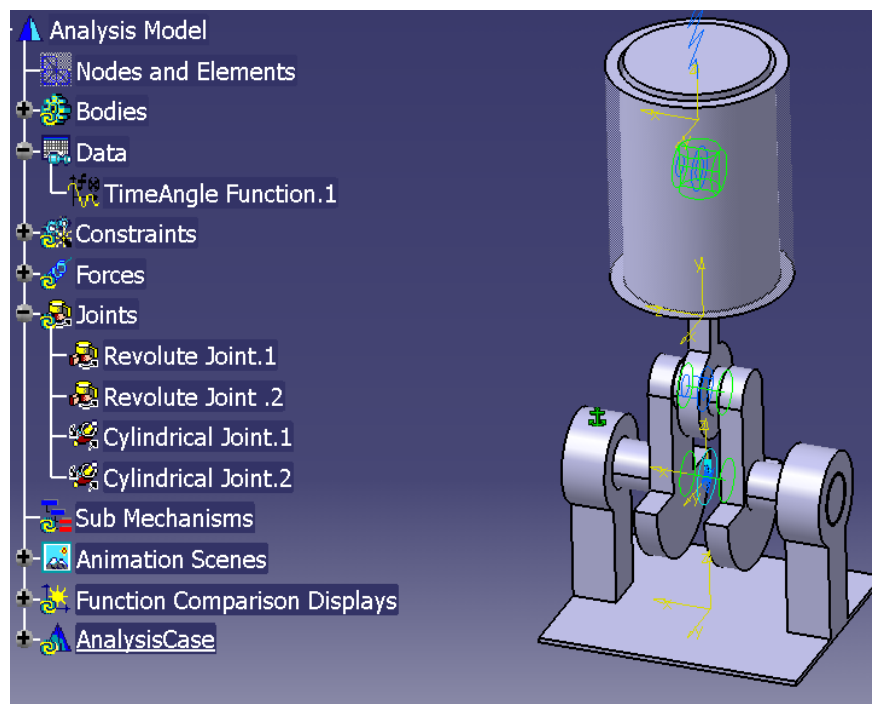


Figura 4.6 Tipos de “Joints” [LMS]

Los elementos “Joints” (elementos verdes de la imagen anterior) utilizados en este análisis y que se pueden observar en la figura 4.6 fueron:

- “Cylindrical”, este tipo de unión dinámico o “Joint”; por definición, requiere la selección de dos ejes; los cuales serán coincidentes y consistirán el eje de

rotación entre los dos cuerpos existentes. Los dos cuerpos conectados pueden solamente rotar sobre tal eje y trasladarse relativamente uno de otro a lo largo del eje especificado anteriormente. En el mecanismo, este tipo de Joints fue implementado en el cilindro con el pistón y en la conexión de biela con el pistón.

- “Revolute”, éste por definición requiere la existencia de dos ejes y dos planos; los cuales serán perpendiculares a los ejes seleccionados y trabajará mejor si estos planos son coincidentes a los ejes, los cuales formarán el eje de rotación y permanecerán coincidentes (sus dos planos). Los dos cuerpos seleccionados pueden solo rotar alrededor de los ejes especificados. Este tipo de Joint fue implementado entre el pequeño eje cigüeñal con la base y en el muñón del cigüeñal con la biela.

De esta forma, se restringieron los grados de libertad de movimiento por parejas de cuerpos en el mecanismo, lo que formó el correcto funcionamiento del mecanismo si éste es puesto en funcionamiento, concepto que corresponde a otro parámetro a definir en Virtual Lab.

“Joint Driver” es un elemento que pone en funcionamiento o da una alimentación de movimiento de magnitud y forma definida por una función, y es aplicado directamente a un Joint respetando sus propiedades. Por lo tanto, para la elaboración de un Joint Driver, es necesaria la existencia de una función y de un Joint.

Referente a la función, ésta es mostrada mediante la ramificación del árbol “Data”, que es donde el software sitúa todos los datos externos y funciones utilizadas por los diversos elementos del análisis.

Dentro del cuadro de diálogo del Joint Driver que se aprecia en la figura 4.8 es posible la creación de nuevas funciones, las cuales son ligadas automáticamente dentro de la ramificación Data de la figura 4.7.

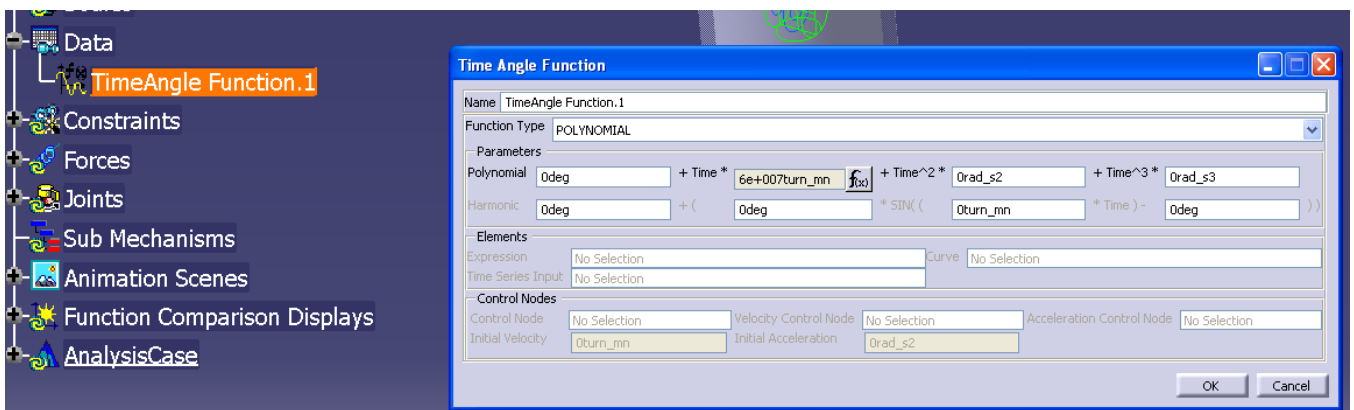


Figura 4.7 Elementos que conforman la pestaña “Data” [LMS]

En este caso, la función definida fue llamada TimeAngle Function.1 ya que será una variación angular en el tiempo. Fue establecida como una función polinomial con una alimentación de 6000 rpm comenzando sin desfase de ángulo, o en el ángulo 0; en este caso la función no varía con el tiempo, es decir se mantiene constante.

El Joint Driver fue aplicado al Revolute Joint.1 el cual es formado entre el cuerpo ground y el eje del mecanismo. Se estableció su tipo de variación angular, con las características de la función antes descrita.

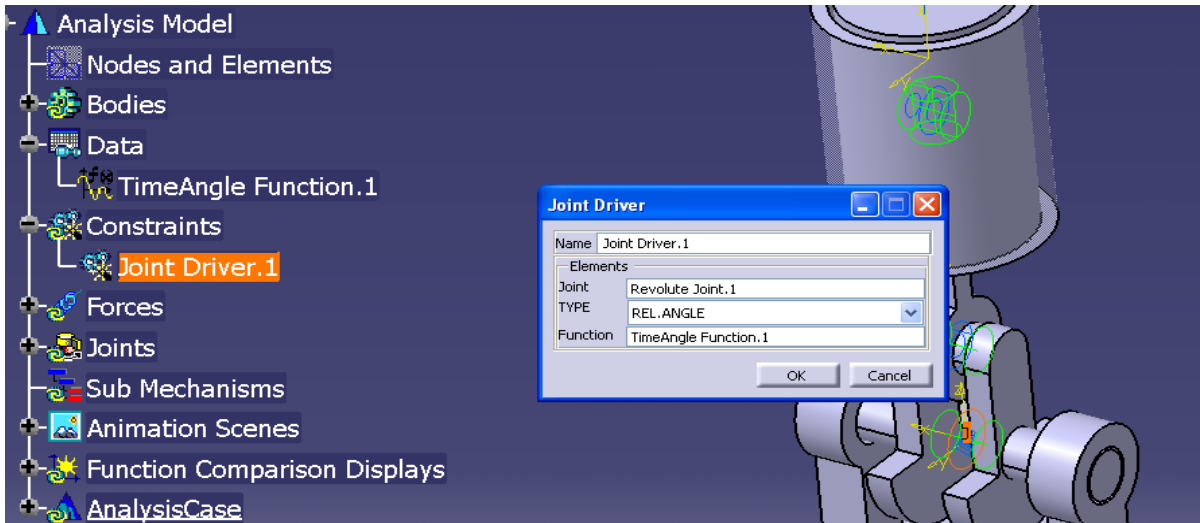


Figura 4.8 Elementos que conforman a un "Joint Driver" [LMS]

Para este paso, una solución puede ya ser calculada lo que daría resultado un análisis cinemático debido a que no existe ninguna aplicación de fuerzas, o bien aquellas que se opongan al movimiento del mecanismo. Por ende, el siguiente paso fue el establecimiento de las fuerzas que deben vencerse para que exista el movimiento.

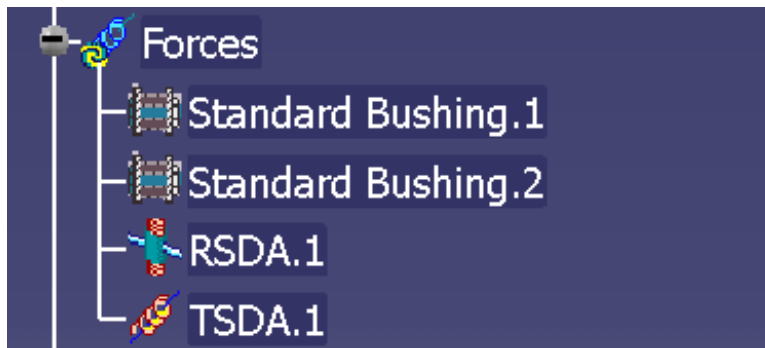


Figura 4.9 Fuerzas en el mecanismo [LMS]

Las fuerzas que intervienen durante el funcionamiento de este mecanismo son las reacciones producidas por el movimiento rotatorio del eje con la base, tal y como sucede en las flechas y rodamientos; la resistencia que impone el cilindro para el movimiento del pistón a lo largo del mismo, así como el momento que se produce al rotar un cuerpo con relación a otro, tal es el caso de la conexión de biela con cigüeñal y biela con pistón.

Para los elementos de fuerza de conexiones de la biela, ya sea con pistón y con el muñón del cigüeñal, se establecieron los llamados "Standard Bushing", los cuales simulan el contacto y movimiento en todas las direcciones entre los dos materiales de los cuerpos. Un Bushing Force Element es un elemento de fuerza de seis grados de libertad y está basado en tres tipos de rigidez y tres tipos de amortiguamiento en los seis grados de libertad. Éste requiere un sistema coordinado en cada cuerpo constituyente de la conexión.

En la parte del pistón se aplicó un elemento llamado "TSDA" o bien "Translational Spring Damper Actuator" el cual opera como una especie de amortiguador lineal en el sistema. Sirve para disminuir vibraciones no deseadas ocasionadas por la transformación del movimiento rotatorio en rotatorio mediante la biela.

Para su definición es necesario especificar dos puntos existentes en cada uno de los cuerpos, los cuales consistirán en el punto de aplicación y ahí se dará la aplicación de una fuerza actuante sobre los dos cuerpos en cuestión. Sus características se pueden definir por: rigidez lineal o no lineal, amortiguación lineal

o no lineal, una fuerza constante o bien cambiante con el tiempo. De la misma forma pueden hacerse combinaciones de las características anteriores.

También es posible analizar los elementos TSDA como cuerpos en compresión o en tensión. Durante la generación de los elementos TSDA se debe tomar en cuenta que la distancia entre los cuerpos ya está dada previamente.

En este análisis, la fuerza creada actuará a lo largo del cilindro. Entre el cilindro y el pistón, se pretendió simular la existencia de un resorte entre el pistón y el cilindro donde se generaría una fuerza. Por esta razón, se estableció una constante K con el valor de 35025Nm , así mismo, se escogió un punto central en el pistón y el cilindro para la aplicación de la misma. A continuación se muestra su cuadro de diálogo.

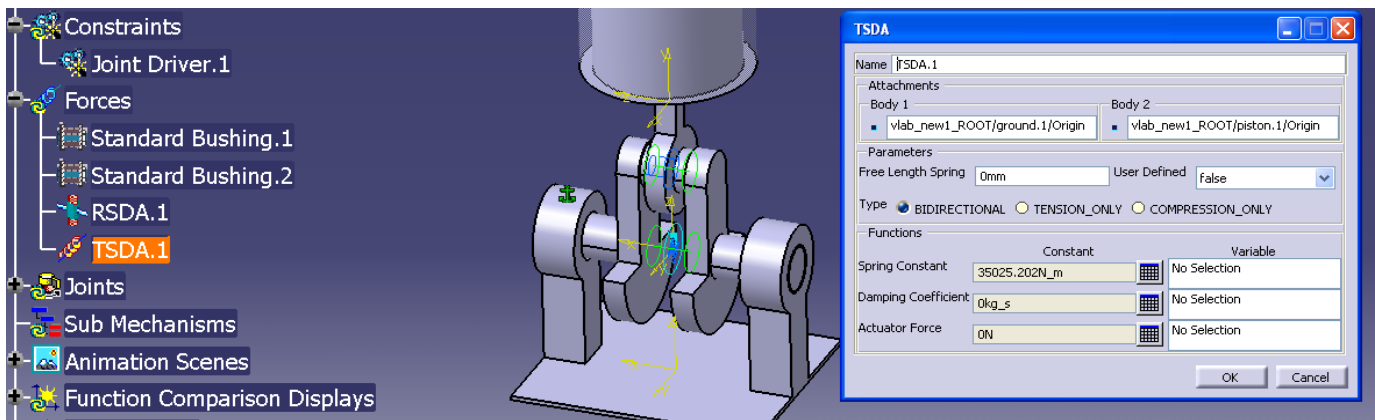


Figura 4.10 Configuración de TSDA [LMS]

Por último en lo concerniente a la definición de fuerzas, en la unión del muñón del cigüeñal se estableció una fuerza del tipo “RSDA”, o bien, “Rotational Spring

Damper Actuator” la cual opera como una especie de amortiguador torsional en el sistema. La ventana TSDA se aprecia en le figura 4.10.

Para su definición es necesario especificar un Revolute Joint existente entre dos cuerpos, al cual consistirá el punto de aplicación y ahí se dará la aplicación de un momento actuante sobre los dos cuerpos en cuestión. Sus características se pueden definir por: Rigidez lineal o no lineal, amortiguación lineal o no lineal, una fuerza constante o bien cambiante con el tiempo.

También es posible analizar los elementos RSDA como cuerpos a compresión o tensión.

En este caso, el elemento RSDA simula un amortiguador rotacional en la unión del eje cigüeñal con la base, al que se le dio el valor de coeficiente de amortiguamiento, simulando algún fluido lubricante, con valor de $0.065 \text{ (kg}\cdot\text{m}^2/\text{seg})/\text{rad}$; así mismo, se aplicó directamente al Revolute Joint ahí existente.

En la figura 4.11 vemos la configuración y localización de un elemento RSDA.

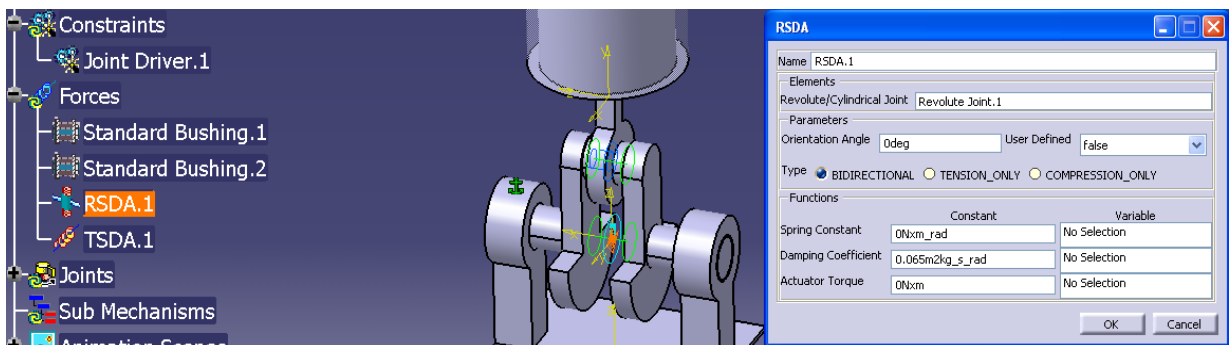


Figura 4.11 Elementos que compone la característica “RSDA” [LMS]

Para este momento, puede correrse un análisis dinámico del mecanismo; solo debe establecerse el tiempo de simulación y las condiciones iniciales. Esto se configura en la ramificación de “Analysis Case” en donde pueden correrse varios tipos de soluciones diversas sobre el mismo mecanismo. Finalmente la parte de preparación del modelo para su análisis se ha completado y es necesario correr una solución.

Una vez que el software cumple todo el proceso de corrida de la simulación, los resultados pueden ser analizados. Existe la opción de ver una simulación gráfica del funcionamiento del mecanismo en general mediante “Animation Scenes”, o bien pueden obtenerse variables en específico para ser representadas por medio de gráficos.

Los análisis de variables pueden hacerse en cualquier elemento del análisis ya sean Joints, Joint drivers o los mismos cuerpos.

A continuación puede apreciarse en la gráfica 4.12 el movimiento del pistón de acuerdo a la función de inicio de 6000 rpm constante.

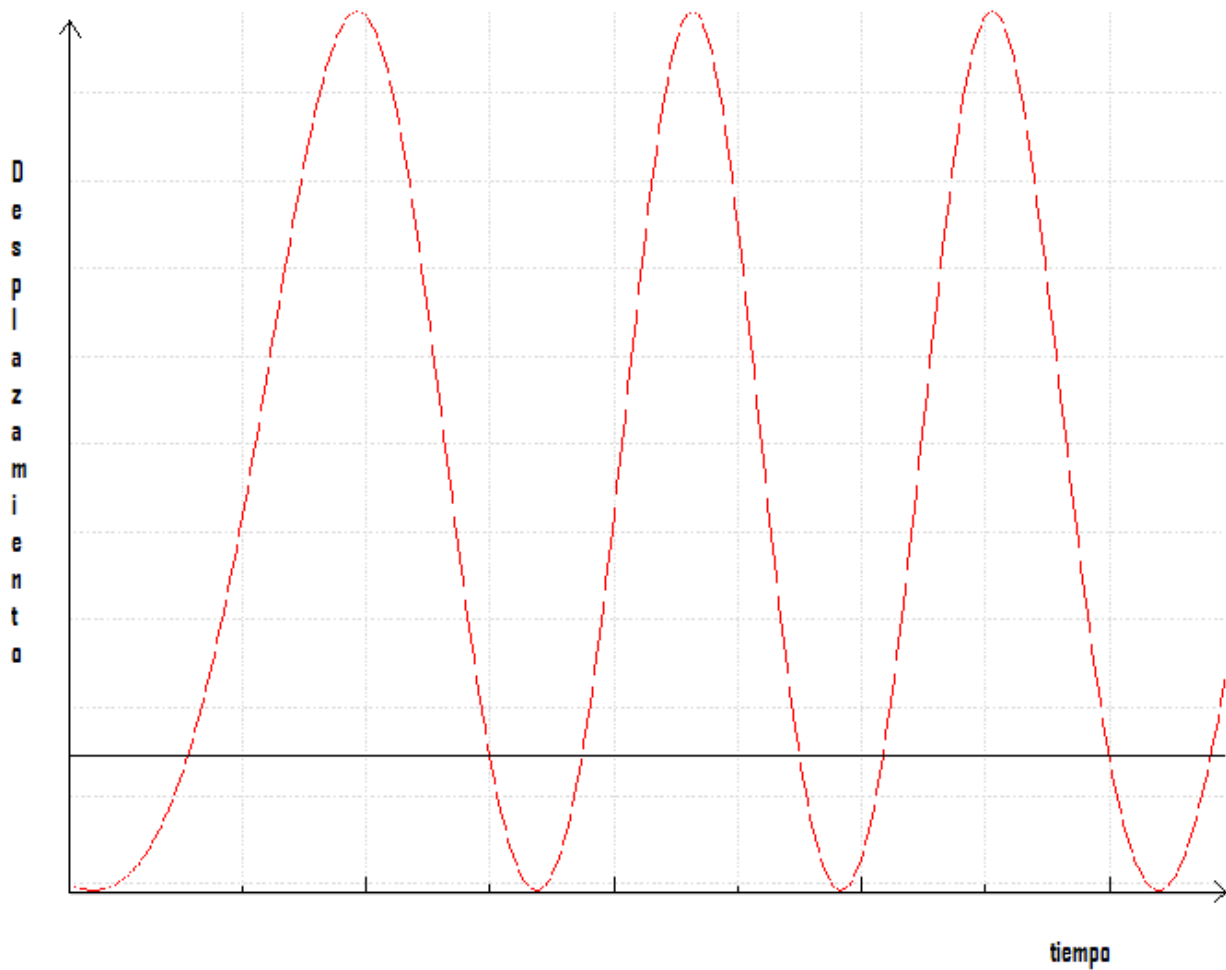


Figura 4.12 Análisis del desplazamiento del pistón [LMS]

4.2 PowerTrain Dynamic Simulator

El PowerTrain Dynamic Simulator o bien llamado por sus siglas PDS, consiste en un software que funge como módulo específico de Virtual.Lab para la creación de modelos de motores a combustión interna.

Su esencia es el apoyo en la creación de un modelo virtual de los mecanismos complejos que conforman un motor de combustión interna por lo que PDS ofrece plantillas que ayudan al usuario a la rápida creación detallada de modelos del ensamble entero de un tren de poder; o bien, sub-ensambles de mecanismos en específico; tales como el tren de válvulas, el tren de bielas, el mecanismo de cadenas de tiempos, el sistema de engranaje y sistemas de bandas. Estos mecanismos pueden ser estudiados por separado y posteriormente ser juntados para un análisis de la máquina en general.

La forma de modelado en PDS se da a partir de datos del mecanismo existente; los cuales exigen mediciones e investigaciones. Su interfase se aprecia en la figura 4.13 y la forma de trabajar es llenando una serie de parámetros organizados por diferentes conceptos y en diferentes pestañas dentro de la interfase gráfica del mismo; en donde tienen que ser introducidos datos, por lo general numéricos, en cada campo del parámetro cuestionado para que posteriormente éste realice una plantilla de programación exportable para Virtual Lab, en el cual se importa el modelo que contiene todos los atributos introducidos por el usuario, por ende, los datos del motor a simular. Cabe señalar que los modelos exportados en el software Virtual.Lab son totalmente parametrizados.

De esta manera se combinan dos poderosas herramientas para la creación de un modelo virtual.

Como estudio de esta tesis, se utilizará el PDS para la creación del modelo virtual exclusivamente del tren de bielas del motor R5 a 125kW. Además se utilizará PDS para la generación del modelo virtual del tren de bielas para posteriormente ser analizado con Virtual.Lab, cuyo Solver maneja un gran rango de aplicaciones referentes a análisis de tren de bielas, tales como interacciones del cigüeñal con el monobloque del motor, cargas de cojinetes, vibraciones del cigüeñal y esfuerzos dinámicos.

El modelo del tren de bielas exportado por PDS presenta elementos tales como cojinetes hidrodinámicos, elementos que simulan fuerzas aplicadas sobre la cabeza de los pistones producidas por la presión de los gases y la combustión, fuerzas de cojinetes, controles integrados de velocidad de la máquina capaces de simular velocidades constantes y cambios bruscos; igualmente soporta la introducción de cuerpos flexibles los que interactúan en el análisis y, de esa forma, se logra el cálculo de los esfuerzos en las zonas en donde existan con mayor magnitud. Así mismo, mediante el uso combinado de estas herramientas, se pueden conocer las cargas internas actuantes en los cuerpos componentes del mecanismo del tren de bielas, las que son absolutamente necesarias para determinar la vida de fatiga, vibraciones y hasta la acústica del sistema. Se hará énfasis en observar los resultados referentes a las vibraciones torsionales del eje cigüeñal arrojados por Virtual. Lab para ser correlacionados con pruebas físicas realizadas al mismo, pero físicamente en un laboratorio de estudio de vibraciones utilizando equipo especializado.

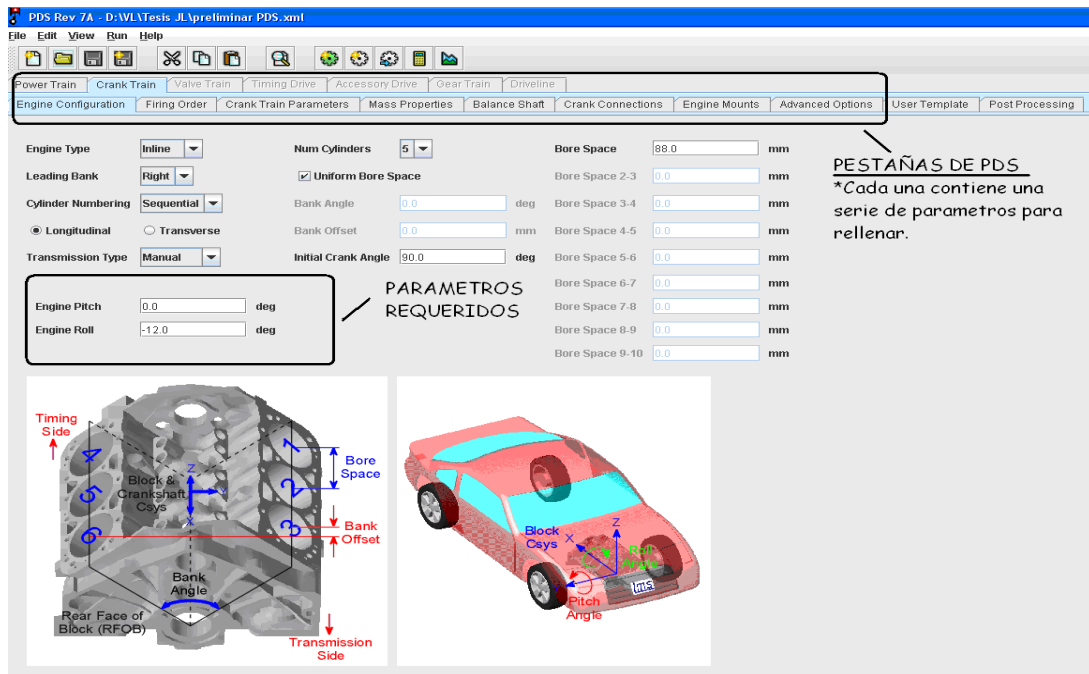


Figura 4.13 Interfase gráfica de PDS

Como se puede observar en la figura 4.13, la interfase gráfica de PDS es muy sencilla y muestra imágenes y diagramas, para ayudar a la comprensión de los parámetros requeridos, pueden destacarse las pestañas y los campos a ser rellenados en la imagen.

En el capítulo 5 se tratarán cada una de las pestañas y la forma en que todos los parámetros necesarios fueron obtenidos.