

Capítulo 3 Simulación del vuelo

3.1 Herramientas de software empleadas

Para la simulación del vuelo se han empleado las siguientes herramientas de software:

3.1.1 FlightGear

Es un proyecto libre de simulación de vuelo. Está siendo desarrollado gracias a las contribuciones de código fuente y tiempo libre de programadores de todo el mundo.

La idea de FlightGear nació de la insatisfacción con los simuladores de vuelo comerciales actuales existentes para PC. Un gran problema con estos simuladores es el hecho de ser propietarios y su falta de extensibilidad. Mucha gente dedicada a la enseñanza y la investigación podrían usar un entorno de simulación de vuelo sobre el que construir sus propios proyectos; sin embargo, los simuladores comerciales no les permiten la modificación y mejora [14].

Hay una gran cantidad de gente interesada y participando en este proyecto. Es verdaderamente un esfuerzo global de contribuyentes de todos los continentes. Los intereses abarcan desde construir un simulador realista, la investigación universitaria y el uso instructivo, hasta simplemente una alternativa viable a los simuladores comerciales para PC.

Características:

Alto grado de Libertad

FlightGear es un proyecto de código abierto. Esto significa que mientras se cumplan los términos de la licencia GPL, se puede descargar y copiar FlightGear libremente. Hay acceso libre al último código fuente del desarrollo. Dado que es un proyecto de código abierto, los formatos de archivos son abiertos y fácilmente accesibles. Se utilizan formatos de modelado 3D estándar y gran parte de la configuración del simulador está controlada mediante ficheros ASCII basados en XML. Crear extensiones adicionales

para FlightGear (o directamente modificar el código fuente) es directo y requiere aplicar gran cantidad de ingeniería inversa. Esto hace a FlightGear una opción atractiva para su uso en proyectos privados, comerciales, de investigación o de hobby.

FlightGear funciona en plataformas Windows, Linux, Mac OS-X, FreeBSD, Solaris e IRIX, permitiendo al usuario utilizarlo en su plataforma preferida.

Modelos de Dinámica de Vuelo

Con FlightGear es posible elegir entre tres Modelos de Dinámica de Vuelo primarios. Es posible añadir nuevos modelos de dinámica o incluso conectar con modelos de dinámica de vuelo "propietarios" externos:

1. **JSBSim**: es un modelo de dinámicas de vuelo genérico y 6DoF para la simulación del movimiento de vehículos aéreos. Está escrito en C++. JSBSim se puede ejecutar en modo independiente para ejecuciones en batch, o puede hacer de controlador para un programa de simulación mayor que incluya subsistemas visuales (como FlightGear). En ambos casos, los aviones se modelan en un archivo de configuración XML, donde se definen las propiedades de masa, aerodinámica y control de vuelo.

2. **YASim**: Es parte integrante de FlightGear y usa una forma distinta a JSBSim simulando el efecto de la circulación del aire en distintas partes del avión. La ventaja de este modelo es que es posible realizar la simulación basada en la información de geometría y masa combinada con datos de funcionamiento disponibles más comunes para un avión. Esto permite construir rápidamente un avión con un comportamiento que coincida con los datos de funcionamiento publicados sin necesidad de realizar todo el test de datos tradicional.

3. **UIUC**: Este MDV está basado en LaRCsim escrito originalmente por la NASA. UIUC aumenta el código permitiendo archivos de configuración del avión en lugar de añadir código para la simulación del avión bajo condiciones de hielo.

Base de Datos del Escenario Mundial

- Alrededor de 20.000 aeropuertos reales incluidos en el set de escenario completo.
- Pistas, señalizaciones, emplazamientos y luces de aproximación correctas.

- Pistas de rodaje disponibles para muchos aeropuertos grandes (incluso se incluyen luces de la línea verde central cuando es necesario).
- Pistas inclinadas (las pistas cambian su inclinación tal y como ocurre en la vida real).
- Iluminación direccional de aeropuerto que cambian de intensidad según cambia la dirección de vista relativa.
- Terreno preciso de todo el mundo, basado en la publicación más reciente de los datos de terreno SRTM. 3 arco segundo de resolución (sobre 90m post espacio) para América del Norte y del Sur, Europa, Asia, África y Australia.
- El escenario incluye todos los lagos, ríos, carreteras, ferrocarriles, ciudades, pueblos, terrenos, etc.
- Buena iluminación del escenario nocturno con iluminación concentrada en la áreas urbanas (basado en mapas reales) y luces visibles en las principales autopistas. Esto permite vuelos nocturnos realistas con la posibilidad de reconocer pueblos y ciudades y seguir carreteras.
- Las porciones del escenario se paganan (cargan/descargan) en un hilo independiente para minimizar la tasa de fotogramas cuando se necesita cargar nuevas áreas.

Modelo del Cielo

FlightGear implementa un modelado horario extremadamente preciso con localizaciones correctas del sol, la luna, las estrellas y los planetas para la fecha y hora especificadas. FlightGear puede leer la hora actual del reloj de sistema para colocar correctamente el sol, la luna, las estrellas, etc. en su lugar actual correcto relativo a la tierra. El sol, la luna, las estrellas y los planetas siguen sus órbitas correctas en el cielo. Este modelado también tiene en cuenta los efectos estacionales, como días de 24 horas al norte del Círculo Polar ártico en verano, etc. Destaca también la correcta posición de la luna junto con la correcta posición del sol para conseguir la fase lunar correcta para la fecha/hora actual, como en la vida real.

Sistema de Modelado de Aviones

FlightGear brinda la posibilidad de modelar una amplia variedad de aviones. Actualmente se puede volar con el 1903 Wright Flyer, extraños "ornitópteros" aleteantes, un Boeing 747 y un Airbus A320, distintos jets militares y varios ligeros. FlightGear permite modelar esos aviones y casi cualquier cosa intermedia.

FlightGear posee una infraestructura que permite a los diseñadores de aviones construir cabinas totalmente animadas, totalmente operativas y totalmente interactivas (que se refrescan y muestran correctamente respecto a las vistas externas del avión). Modela de una forma realista el comportamiento de los instrumentos del mundo real. Los instrumentos que tiene demora en la vida real, también se demoran correctamente en FlightGear, el movimiento del giroscopio está implementado correctamente, la brújula está sujeta a las fuerzas del cuerpo del avión.

FlightGear reproduce de forma precisa los fallos de muchos sistemas e instrumentos. Si el sistema de presión falla, los giroscopios HSI giran hacia abajo lentamente con la correspondiente pérdida de respuesta.

Requerimientos de Hardware

El resultado es un simulador con un requerimiento de hardware moderado para funcionar con una tasa de fotogramas suave. Puede funcionar razonablemente bien en un computador de entre 500 y 1000 dólares, mientras se tengan buenos recursos para gráficos y RAM.

Propiedades Internas expuestas

FlightGear permite a los usuarios y diseñadores de aviones acceder a un gran número de variables de estado internas a través de numerosos mecanismos de acceso tanto internos como externos. Estas variables de estado están organizadas en un árbol de propiedades jerárquico.

Utilizando el árbol de propiedades es posible inspeccionar cualquier variable de estado interna de FlightGear. Es posible controlar de forma remota a FlightGear desde un

script externo. Se pueden crear animaciones de modelo, efectos sonoros, animaciones de instrumentos y protocolos de red para cualquier situación imaginable con tan sólo editar un pequeño número de ficheros de configuración. Este sistema tan potente hace que FlightGear sea inmensamente flexible, configurable y adaptable.

Opciones de Red

Varias opciones de red permiten a FlightGear comunicarse con otros programas FlightGear, con receptores GPS, con módulos externos de dinámicas de vuelo, pilotos automáticos externos o módulos de control externo, así como otro software como el proyecto Open Glass Cockpit y la utilidad de mapas Atlas.

Una opción de entrada/salida genérica permite un protocolo definido por el usuario para un fichero, puerto serie o cliente de red. FlightGear dispone de un protocolo multiusuario para red local en un entorno multiavión, por ejemplo para practicar vuelos en formación o para simulaciones de torre.

Las potentes opciones de red hacen posible sincronizar varias instancias de FlightGear permitiendo presentaciones multipantalla, si todas las instancias se están ejecutando con la misma tasa de fotogramas, es posible conseguir sincronizaciones realmente buenas entre las pantallas.

3.1.2 Simulink Aerospace Toolbox

Extiende el ambiente de desarrollo de Matlab proporcionando estándares de referencia, modelos de ambiente e importación de coeficientes aerodinámicos para realizar análisis aeroespaciales avanzados y evaluación de diseños [15]. Entre sus principales ventajas se encuentran:

- Proporciona modelos ambientales basados en estándares para atmósfera, gravedad y campos magnéticos.
- Convierte unidades y transforma sistemas de coordenadas y representación espacial.
- Implementa utilidades predefinidas para cálculo de parámetros aeroespaciales.

- A través de la interfase de FlightGear se permite visualizar la dinámica del vehículo en ambiente tridimensional.

3.1.3 Simulink Aerosim Toolbox

Proporciona un completo set de herramientas para el desarrollo rápido de modelos dinámicos de aeronaves en seis grados de libertad. Adicionalmente a los bloques básicos de dinámica de aeronaves, también están incluidos modelos completos que pueden ser adecuados al requerimiento del usuario de acuerdo a archivos de configuración [16].

3.2 Diagrama de Bloques en Simulink para la simulación del vuelo

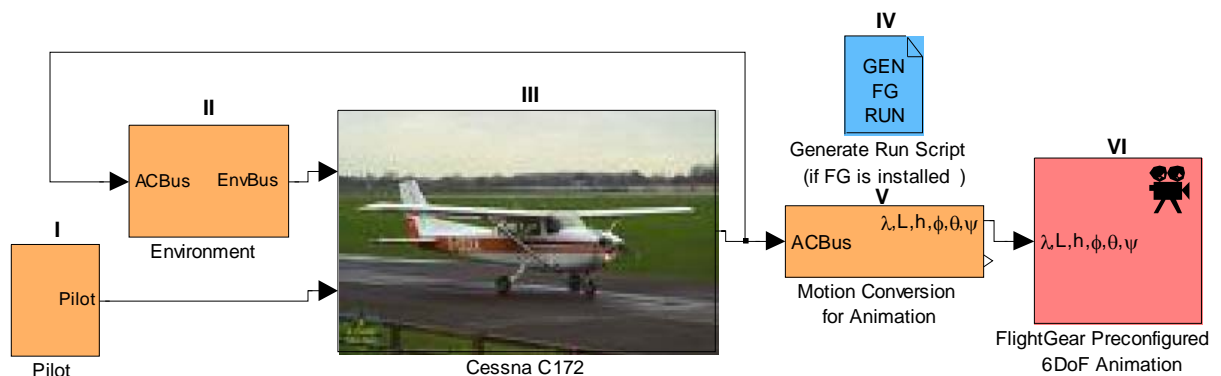


Figura 27. Esquema de simulación del vuelo con Simulink

Descripción de los bloques

3.2.1 Pilot

Interfase entre el operador y el software, a través de un joystick el usuario envía señales de comando a la aeronave.

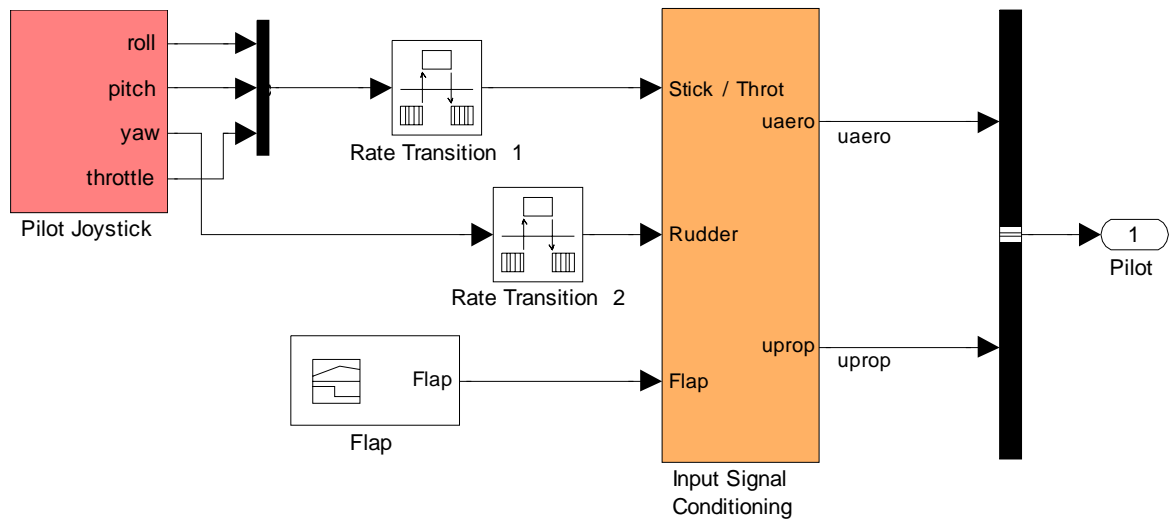


Figura 28. Detalle interno del bloque pilot

En la figura 29 se puede apreciar el contenido del bloque “*Input Signal Conditioning*”, que, como su nombre indica, se encarga de realizar el acondicionamiento de las señales de entrada recibidas del joystick a través de uno de los puertos USB. Para las señales de comando de movimiento del avión se consideran entradas analógicas en stick y throttle, mientras que el movimiento de rudders y flap debe ser generado por el usuario mediante teclado, ya que el sistema de mandos no los contempla.

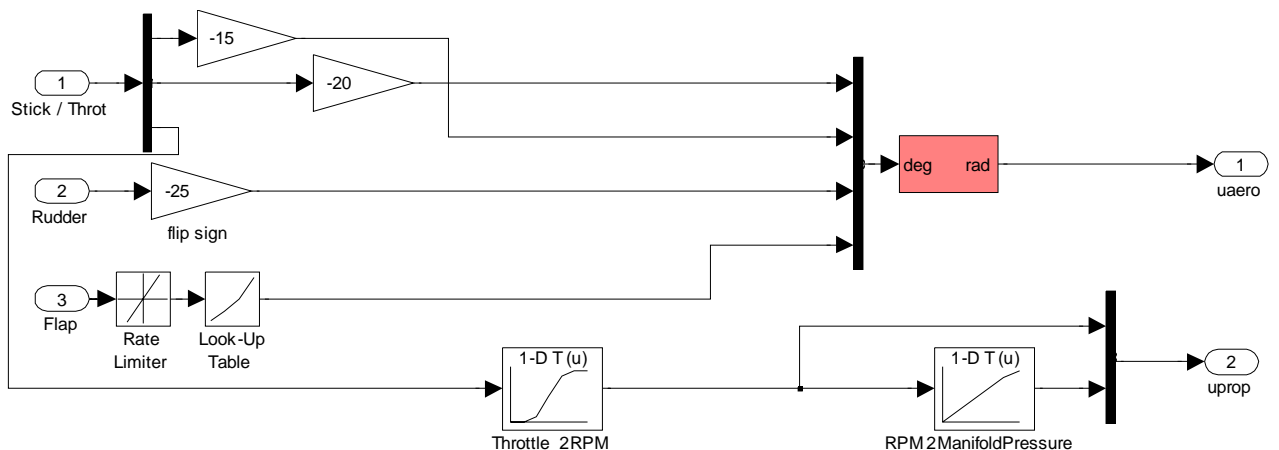


Figura 29. Detalle interno del bloque input signal conditioning

3.2.2 Environment

Se encarga de generar las condiciones climáticas en el entorno simulado, para lo cual considera la gravedad terrestre en el punto, el modelo de atmósfera correspondiente a la altitud del vuelo y los modelos de viento, todo esto propios del escenario seleccionado por el usuario y la configuración de fecha y hora cargadas al inicio de la simulación.

En la figura 30 se puede apreciar la composición interna del bloque, mientras que a continuación se hace una breve descripción de sus principales componentes

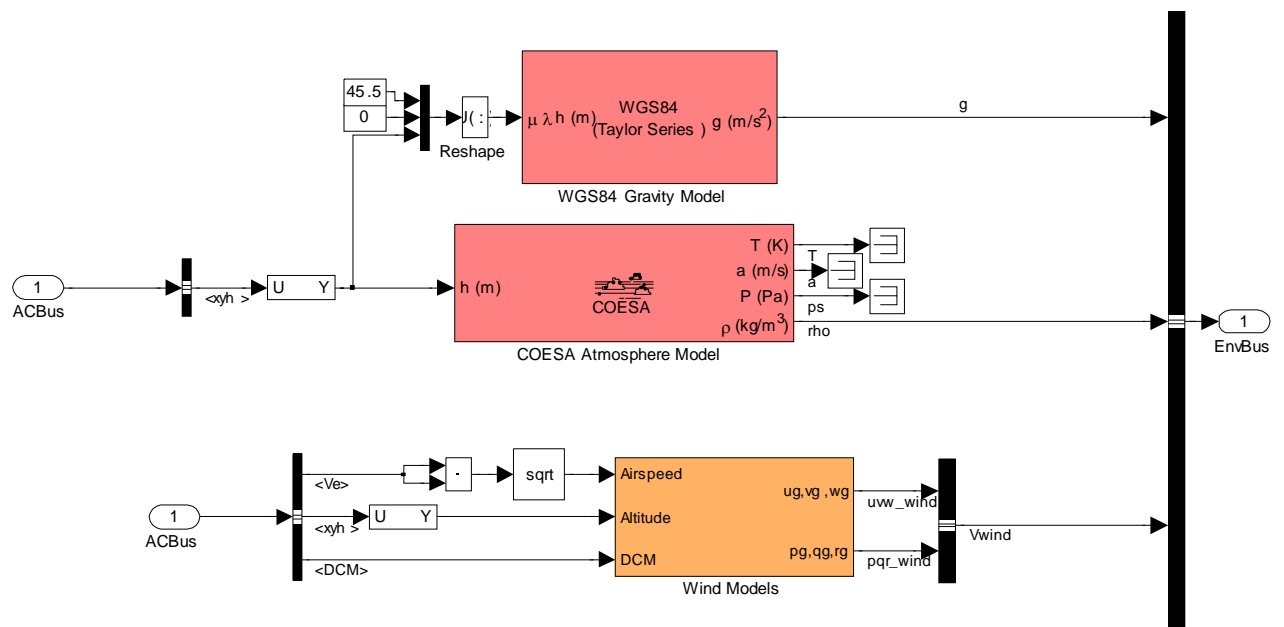


Figura 30. Detalle interno del bloque Environment WGS84 Gravity Model

La función de este bloque es calcular el valor de la gravedad terrestre en una ubicación específica empleando el modelo de referencia World Geodetic System (WGS84). Este modelo considera a la tierra como un elipsoide, requiere como dato de entrada la ubicación en latitud, longitud y altitud.

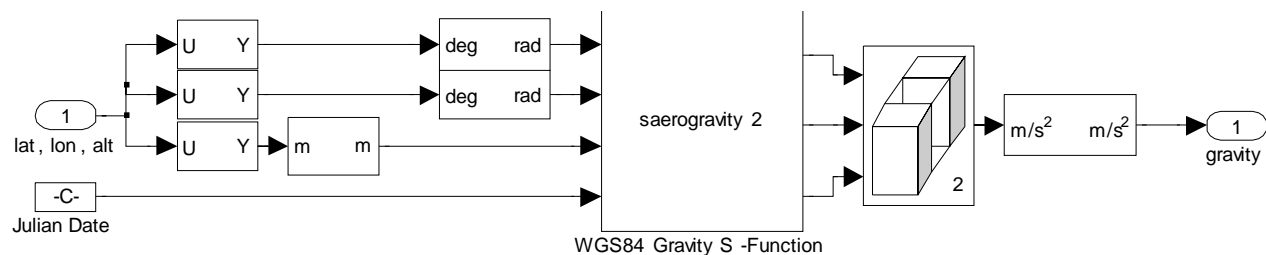


Figura 31. Detalle interno del bloque WGS84 Gravity Model

COESA Atmosphere Model

Es la implementación matemática de la atmósfera estándar con menores valores para temperatura, presión, densidad y velocidad de sonido absolutos de acuerdo a un valor de entrada de altitud. Fue establecida por el Comité de Extensión de la Atmósfera Estándar (COESA) de los Estados Unidos en el año 1976. Bajo los 32,000 metros la atmósfera COESA es idéntica a la atmósfera estándar empleada por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

En el caso de la simulación empleada, el único valor que se toma en cuenta de las salidas es el correspondiente a densidad del aire, mientras que los restantes, si bien son generados, no son considerados en los cálculos posteriores.

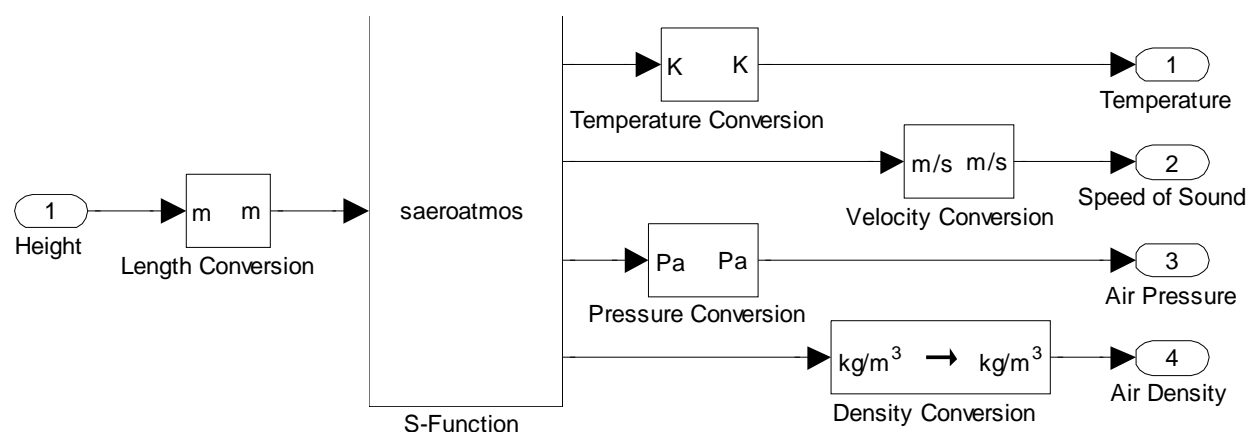


Figura 32. Detalle interno del bloque COESA Atmosphere Model

Wind Models

Se encarga de generar las corrientes de viento correspondientes a las condiciones de vuelo a las que se ha configurado la simulación, las cuales a su vez obedecen a modelos matemáticos. En este bloque se consideran:

- Modelos de viento wind shear (o viento cruzado), corresponde a un tipo de corriente de alta velocidad que se presenta a bajas alturas, y que representa una de las permanentes amenazas para el vuelo sobre todo al momento del aterrizaje. Tiene como entrada la altitud y la matriz de transformación para ejes centrados en el cuerpo respecto a ejes centrados en la tierra; y como salida la velocidad del viento wind shear.
- Modelo de turbulencia de viento de Dryden, que se encarga de generar turbulencias atmosféricas basado en el empleo de ruido blanco como generador de señales aleatorias. Tiene como entradas la altitud y velocidad del avión, y la matriz de transformación para ejes centrados en el cuerpo respecto a ejes centrados en la tierra. Tiene como salida la velocidad en m/s de la turbulencia y las velocidades angulares en rad/s.
- Modelo de generación de ráfagas de viento discretas, que se encarga de generar estos fenómenos teniendo como entrada la velocidad de la aeronave y como salida la velocidad de la ráfaga.

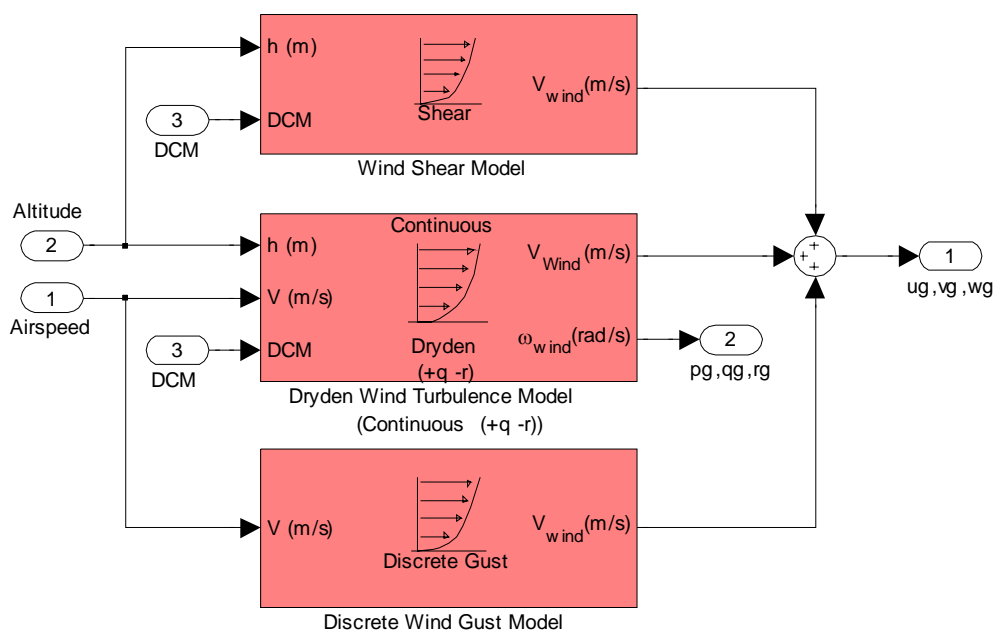


Figura 33. Detalle interno del bloque Wind Models

3.2.3 Cessna 172

Este bloque representa la dinámica de la aeronave, que está influenciada por su diseño estructural, tamaño, material de construcción, peso, características del motor, etc. Recibe como entradas las señales de comando que han sido acondicionadas desde su ingreso por el usuario a través del joystick, y las características del ambiente.

Sus componentes principales son: el bloque de cálculo de parámetros y el bloque de dinámica de la aeronave propiamente dicho.

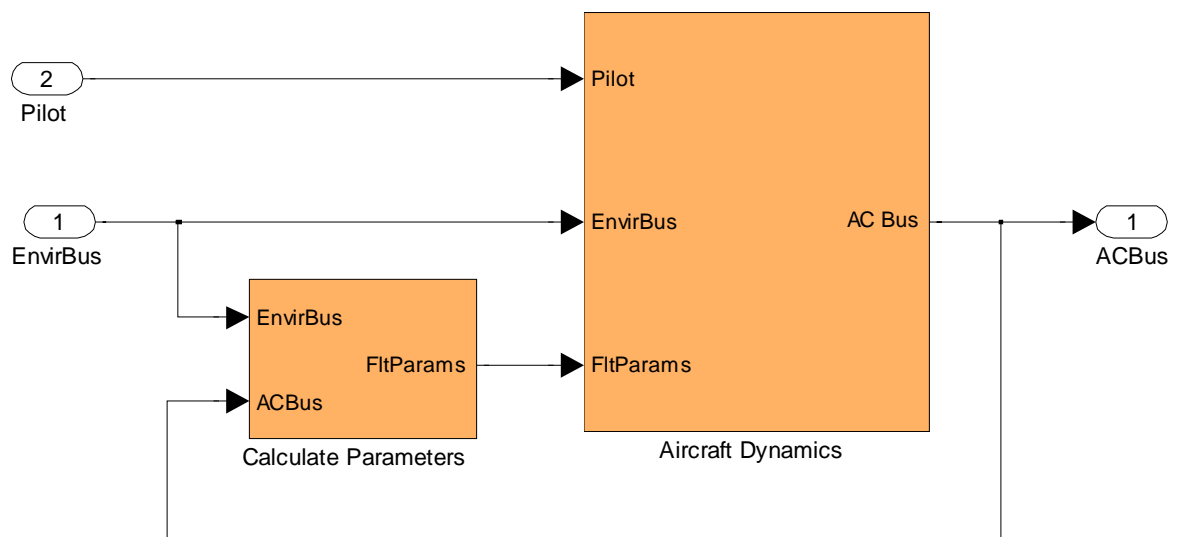


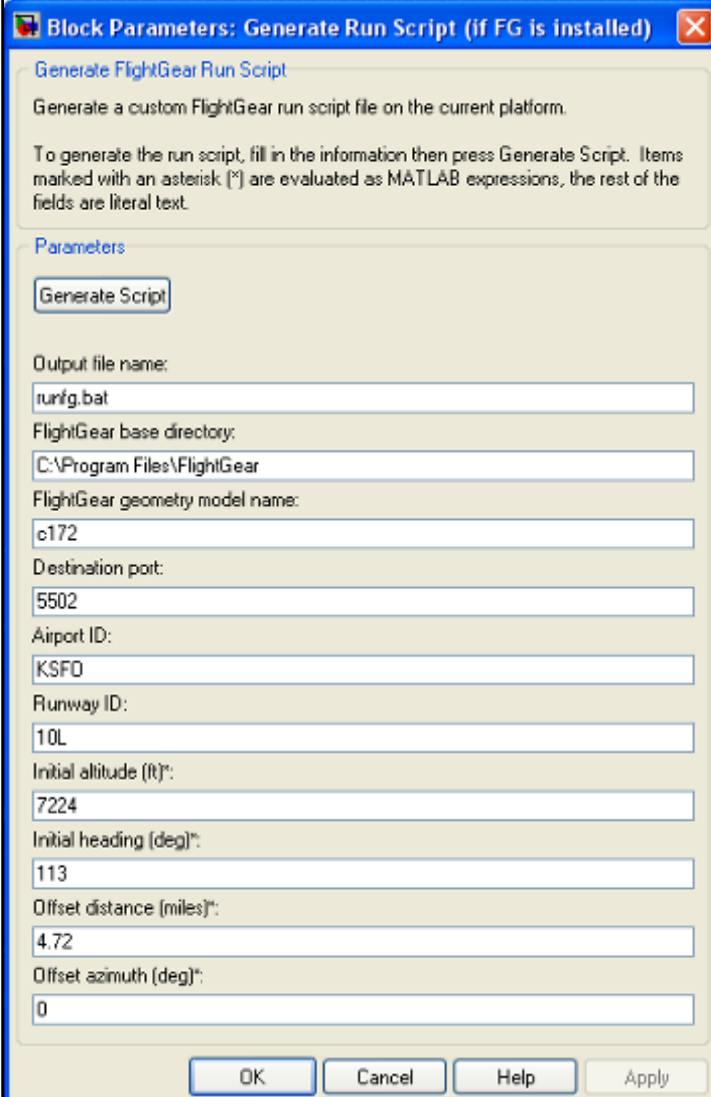
Figura 34. Detalle interno del bloque Cessna C172

Calculate parameters

Calcula los ángulos entre el cuerpo y el vector velocidad (ángulo de incidencia y de derrape lateral), así como la presión dinámica sobre el avión. Se refiere básicamente a las características del aire como fluido rodeando a la aeronave y actuando sobre ella.

3.2.4 Generate run script

Este bloque configura la simulación que se va a lanzar visualmente en el FlightGear desde Simulink. Genera un archivo de tipo script en el que se incluye la ubicación del directorio base de FlightGear, el modelo geométrico de la aeronave a simular, puerto de comunicaciones a emplear, aeródromo de partida, pista de despegue, altitud, orientación geográfica, etc.



Block Parameters: Generate Run Script (if FG is installed)

Generate FlightGear Run Script

Generate a custom FlightGear run script file on the current platform.

To generate the run script, fill in the information then press Generate Script. Items marked with an asterisk (*) are evaluated as MATLAB expressions, the rest of the fields are literal text.

Parameters

Output file name:
runfg.bat

FlightGear base directory:
C:\Program Files\FlightGear

FlightGear geometry model name:
c172

Destination port:
5502

Airport ID:
KSFO

Runway ID:
10L

Initial altitude (ft)*:
7224

Initial heading (deg)*:
113

Offset distance (miles)*:
4.72

Offset azimuth (deg)*:
0

Figura 37. Ventana de configuración del bloque configurate run script

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe · runfguncomputer

C:\Documents and Settings\GUILLERMO\My Documents\MATLAB>C:
C:\Documents and Settings\GUILLERMO\My Documents\MATLAB>cd C:\Program Files\FlightGear
C:\Program Files\FlightGear>SET FG_ROOT=C:\Program Files\FlightGear\data
C:\Program Files\FlightGear>.\bin\win32\fgfs --aircraft=c172 --fdm=network,localhost,5501,5502,5503 --fog-fastest --disable-clouds --start-date-lat-2004:06:01:09:00:00 --disable-sound --in-air --enable-freeze --airport-id=KSFO --runway=10L --altitude=7224 --heading=113 --offset-distance=4.72 --offset-azimuth=0

```

Figura 38. Script generado para la ejecución de FlightGear

3.2.5 Motion conversion for animation

Se encarga de hacer la transformación de la información calculada para la aeronave a simular de manera que pueda ser visualizada de acuerdo a los parámetros de realidad virtual de FlightGear. Recibe información sobre la aeronave y realiza la conversión de un sistema considerando la tierra plana a un sistema de latitud, longitud y altitud, así como los ángulos de orientación en el espacio, enviando toda esta información a la interfase específica.

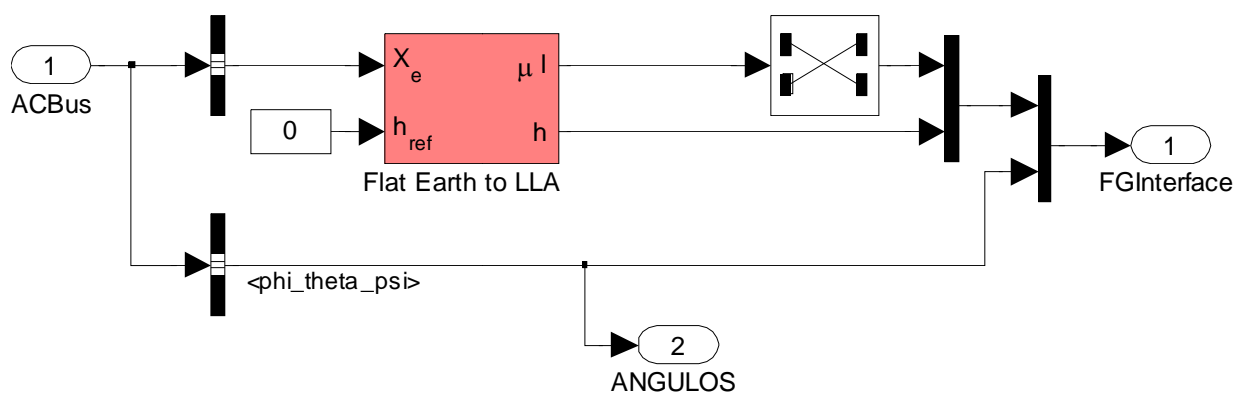


Figura 39. Detalle interno del bloque motion conversion for animation

Flat Earth to LLA

Realiza la conversión de las coordenadas correspondientes al modelo plano de la tierra al formato de latitud, longitud y altitud considerando el efecto de la curvatura del planeta.

Como entradas emplea las siguientes:

- X_e , vector conteniendo la posición en el marco del modelo plano
- ground height, valor de altitud de referencia

Como salidas se obtienen:

- μl , vector conteniendo la latitud y longitud en grados
- h , valor escalar de la altitud sobre el nivel de referencia

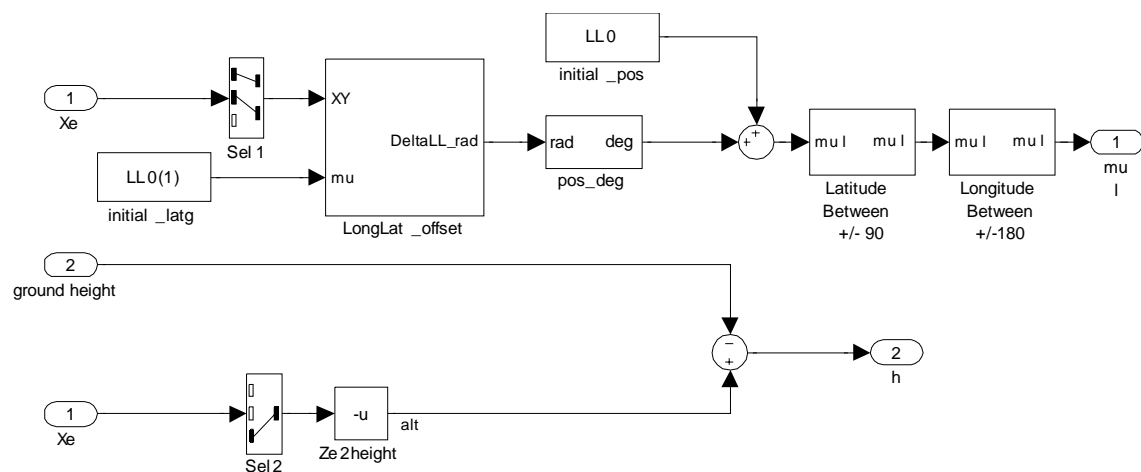


Figura 40. Detalle interno del bloque flat earth to lla

3.2.6 FlightGear preconfigured 6DoF Animation

Conecta el modelo al software a través de las características previamente establecidas. Permite llevar valores de posición y actitud de la aeronave a través de un flujo de valores numéricos de latitud, longitud, elevación, alabeo, cabeceo y guiñada. El bloque enmascara los componentes necesarios para la transmisión de datos a otro computador o

su ejecución en el mismo, estableciendo las tasas de refresco de datos para una presentación visual coherente.

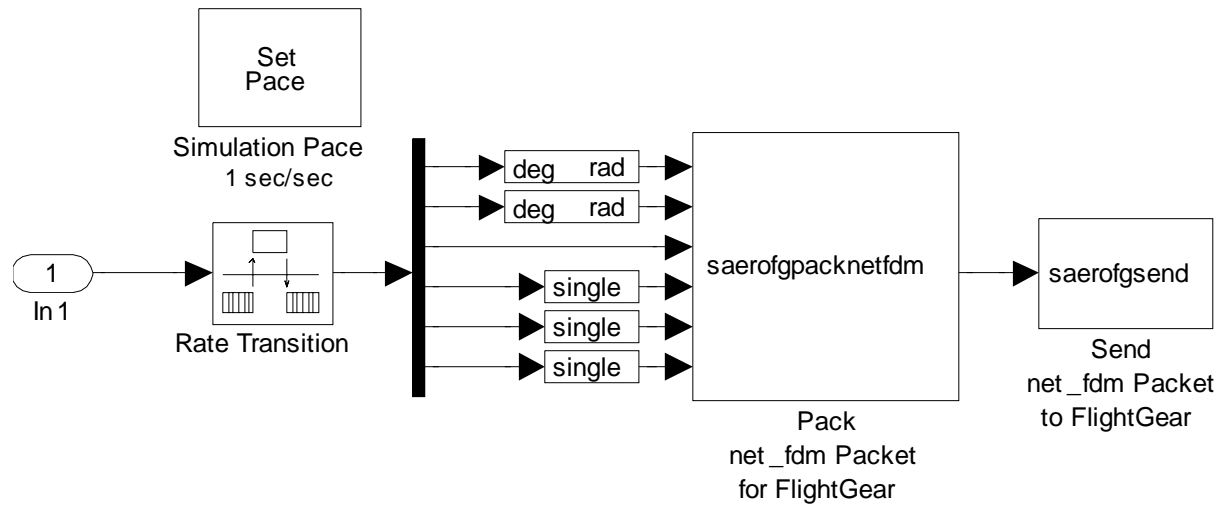


Figura 41. Detalle interno del bloque FlightGear preconfigured 6 DoF animation