CAPITULO 0:

INTRODUCCIÓN

0.1. Introducción y Objetivos del Proyecto:

La pasión por volar es posiblemente una de las más extendidas en nuestro planeta y desde la aparición de la informática no tardaron en ver la luz los primeros simuladores de vuelo para uso tanto industrial, como doméstico y lúdico.

A medida que avanzaba la técnica los simuladores se iban perfeccionando. Sin embargo simular la realidad de un modo exigente como requiere un simulador de vuelo es realmente complicado, y a pesar de que la evolución ha sido rápida, como todo lo concerniente a la tecnología informática, los simuladores más perfectos desarrollados para el ejercito y envueltos en alto secreto, tienen un coste altísimo.

Figura 1. F-22

En la industria aeroespacial es muy habitual disponer de simuladores de vuelo ya que estos permiten probar diferentes situaciones o configuraciones de una determinada aeronave sin los elevados costes inherentes y sin el riesgo que supondría realizarlas en un vuelo real de pruebas.

Así pues existen diferentes simuladores de vuelo, más o menos complejos o más o menos especializados en función de su aplicación. Por ejemplo se emplean simuladores de vuelo en aspectos tan distintos como la elección de nuevas interfaces entre piloto y avión, el ensayo de procedimientos anormales o de emergencia o la formación inicial de pilotos.

La motivación principal de este proyecto es el desarrollo de un simulador de vuelo de buena calidad y de propósito general, tanto académico como industrial y dado el elevado precio que normalmente envuelve a la formación de un piloto civil, incluyendo las numerosas horas que debe pasar en un simulador de vuelo, y mucho más elevado es el coste de formar a un piloto militar se pensó en este proyecto como una buena respuesta en cuanto a la relación calidad-precio para los Simuladores de Vuelo en el cuál se propone una herramienta de simulación basada en un potente software de cálculo: **Matlab 7.0** y software libre de simulación aérea: **FlightGear 9.8** .

El simulador de vuelo está pensado para que permita entrenar a pilotos, ensayar distintos modelos de aeronaves, probar sistemas de control de vuelo, y la respuesta tanto del avión como del piloto ante ellos, además permite comprobar la respuesta del avión y piloto ante distintas perturbaciones atmosféricas y situaciones críticas.

Además se presenta un estudio de las fuerzas presentes en los mandos de navegación, como producto de las solicitaciones aerodinámicas sobre las superficies de control, y la implementación de dichas fuerzas en el simulador mediante la realimentación (*forcefeedback*) en el *yoke* o mando del piloto. El estudio ha sido enfocado con la finalidad de obtener unos resultados cualitativos para la percepción de las fuerzas aerodinámicas sobre las superficies principales de la aeronave y pedales, lo que otorga una sensación de realismo que resulta imprescindible para un piloto. Así mismo puede usarse como herramienta de apoyo a los sistemas *Fly-by-wire* donde la transmisión de las órdenes del piloto al aparato mediante señales eléctricas ha llevado a la pérdida de sensibilidad por parte del piloto de ciertas maniobras que pueden conllevar y conllevan siniestros mortales. De ahí la utilidad de este sistema como un "*feel system*", empleado en las aeronaves de última generación.

El modelo para las fuerzas sobre el Stick de control presenta también una gran utilidad en cuanto al diseño de aviones. Es decir, usando el modelo del avión diseñado podemos comprobar que las fuerzas que deberá gobernar el piloto son adecuadas para cada tipo de maniobra, no sobrepasando los límites establecidos por la norma.

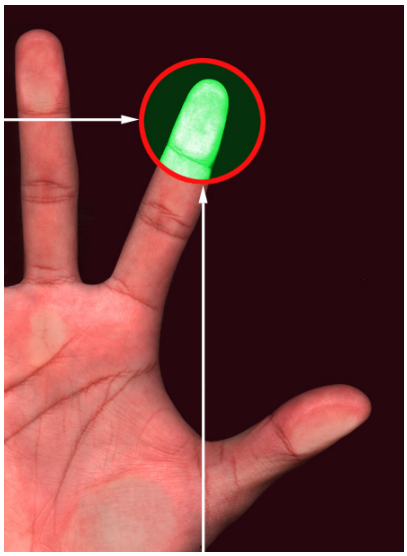
El uso de la herramienta Matlab-Simulink como motor de la simulación proporciona un abanico de posibilidades y un enorme potencial en cuanto a la simulación aeronáutica y aeroespacial. Para este proyecto se ha empleado una librería especial para simulación aeronáutica denominada *Aerosim*. Esta herramienta ha sido desarrollada por **Unmanned Dynamics,** empresa especializada en la simulación aérea y en vehículos no tripulados y a la cual corresponden los créditos del modelo de la aeronave.

El simulador de vuelo "Matlab-FlightGear" ha sido diseñado y configurado para un avión ligero, en concreto el modelo Cessna172p, pero la facilidad con la que se puede modificar dicho simulador permite *que* los pilotos puedan practicar en aviones de mayor tamaño tipo Boeing, o incluso en aviones de combate.

0.2. Simuladores de Vuelo y Háptica.

La tecnología háptica se refiere al conjunto de interfaces tecnológicos que interaccionan con el ser humano mediante el sentido del tacto. Se trata de una tecnología emergente desde los años 90, que está evolucionando prometedoramente en algunos campos de aplicación. Así estos interfaces tecnológicos tratan de combinar el sentido humano con un mundo generado por computadora.

Un problema con los sistemas actuales de realidad virtual es la falta de estímulos para el sentido del tacto. Por ejemplo, si un usuario trata de tomar una copa virtual no hay una manera no visual para informarle al usuario que la copa está en contacto con la mano virtual del usuario. También, no hay un mecanismo para no permitir a la mano virtual traspasar la copa. La investigación Háptica intenta resolver estos problemas y puede ser subdividida dentro de dos campos, retroalimentación de fuerza (kinestética) y retroalimentación táctil.



El área que ocupa este proyecto se encarga de la kinestética en aviones, es decir la realimentación de esfuerzos en los mandos de una aeronave mediante dispositivos que interactúan con músculos y tendones, y dan al humano una sensación de que se aplica una fuerza. Estos dispositivos tradicionalmente se han implementado en robots manipuladores que proporcionan una reacción de fuerza al usuario con fuerzas correspondientes al ambiente virtual en el que está el órgano terminal.

Ivan Sutherland, uno de los padres fundadores de la realidad virtual, sugirió que el "sentido humano kinestético es como otro canal independiente al cerebro, un canal cuya información es asimilada de una manera bastante subconsciente". Esta y otras afirmaciones condujeron a los investigadores a desarrollar interfaces hápticas. Añadiendo un canal de entrada independiente, la cantidad de información que es procesada por el cerebro es aumentada. El aumento en la información reduce el error y el tiempo tomado para completar una tarea. También reduce el consumo de energía y la magnitud de las fuerzas de contacto usadas en una situación de teleoperación.

Así en poco tiempo esta ciencia pasó de la robótica al campo aeronáutico, siendo una de las formas más tempranas de uso en dispositivos para sistemas servo de los grandes aviones con la intención de operarlos remotamente. Estos sistemas *primitivos* actuaban en una única vía de tal forma que la fuerza aplicada a un mando se multiplicaba hacia las superficies de control del avión (alerones, etc.), pero el piloto no obtenía como respuesta un factor de la fuerza resistente.

Como sabemos, en los comienzos de la ingeniería aeronáutica los pilotos de los pequeños aviones sin servo tenían todas las sensaciones acerca de la resistencia sobre las actuaciones sobre una palanca y esto suponía una seguridad en ciertas situaciones de peligro. Lo cierto es que con los servos iniciales que fueron implementados el piloto no obtenía esta sensación. Para resolver este problema se instaló un sistema de control que proporcionaba una resistencia a la palanca del piloto proporcional al ángulo de ataque, este es un ejemplo de interfaz háptico.

En la actualidad existen diversidad de dispositivos hápticos que se comercializan pero en la mayoría de los casos son de un alto costo y no se cuenta con la información acerca de su arquitectura interna, es por esto, que se presentan como cajas negras, complicando la adaptación a los sistemas con los cuales se que quiere que interactúe. En la figura 2 se muestran dos de estos dispositivos.

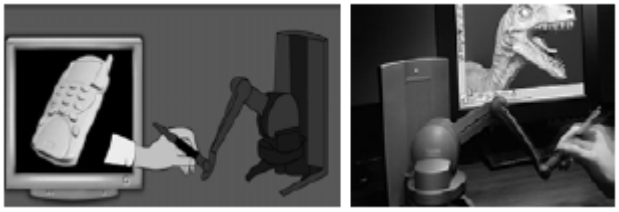


Figura 2. Sistemas hápticos

0.3. Estado del Arte.

- *Breve repaso histórico*

Debido a que evidentemente los vuelos reales son peligrosos para pilotos sin un entrenamiento previo, desde los primeros días de la aviación, diversos esquemas fueron usados para que los pilotos pudieran sentir la sensación de volar sin ser realmente aerotransportados. Por ejemplo el "*Sander Teacher*" fue un aeroplano completo montado en una articulación universal que era orientado hacia el viento con capacidad de girar y de inclinarse libremente. Otro simulador de vuelo de los primeros días fue desarrollado en 1910 a partir de un barril montado en un marco.

Un buen número de dispositivos electromecánicos fueron probados durante la Primera Guerra Mundial y posteriormente. El más conocido es el "*Link Trainer*", el que en 1930 sólo simulaba movimientos mecánicos, aunque posteriormente se le incluyeron Instrumentos de control de aviación y fue utilizado por algunos países durante la Segunda Guerra Mundial e incluso después.

El "*Celestial Navigation Trainer*" de 1941 fue una enorme estructura de 13,7 metros capaz de acomodar en su interior una tripulación entera de un bombardero para aprender como volar en misiones nocturnas y ya en 1940 las computadoras analógicas fueron usadas para resolver las ecuaciones de vuelo, dando lugar a los primeros simuladores electrónicos.

En 1948, Curtiss-Wright desarrolló un simulador para el Stratocruiser de Pan American, el primer simulador de vuelo completo utilizado por una aerolínea. Aunque no se había simulado movimiento ni vistas exteriores, la cabina entera y sus instrumentos funcionaban de una forma que la tripulación lo encontró muy efectivo. A partir de ese momento los sistemas de movimiento llegaron y se instalaron a finales de los años 50.

Los primeros sistemas "full motion" solían simular el terreno usando un modelo de terreno y haciendo elevar una cámara sobre él con la misma posición en la cual se supone que debía estar la aeronave. El resultado eran imágenes proyectadas en un televisor. Naturalmente el área simulada era muy pequeña y habitualmente se limitaba a los alrededores del aeropuerto. Un sistema similar al que utilizaron los militares para simular bombardeos. El uso de computadoras digitales para la simulación de vuelo empezó en los años 60.

En 1954 General Precision Inc., posteriormente parte de Singer Corporation, desarrolló un simulador con movimiento el cual contenía una cabina dentro de un marco metálico. Este simulador proporcionaba 3 grados de cabeceo, balanceo y alabeo, pero en 1964 mejoró y aparecieron versiones más compactas que incrementaban a 10 grados. En 1969 fueron desarrollados simuladores de aerolínea con actuadores hidráulicos controlando cada eje de movimiento. Los simuladores empezaron a ser construidos con seis ejes de movimiento (cabeceo, balanceo y alabeo para los movimientos angulares y movimientos horizontales, verticales y laterales). A partir de 1977, los simuladores de aerolínea empezaron a adoptar las nuevas cabinas en donde los computadores estaban instalados en el interior de éstas.

A partir de este momento los mayores avances se realizaron en tecnologías de visualización. En 1972 Singer desarrolló una lente policromada utilizando un espejo esférico que proyectaba las vistas del exterior de la cabina. Esto mejoró sustancialmente la sensación de vuelo. Sin embargo solamente ofrecía un campo de visión de 28 grados. En 1976 se introdujeron las imágenes enfocadas. Hacia los 80 las imágenes proyectadas de alta definición se convirtieron en el estándar de los simuladores de aerolínea.

-Simuladores Modernos

Hoy en día hay varias categorías de simuladores de vuelo utilizados para el entrenamiento de pilotos. Estas categorías van desde simples sistemas de entrenamiento hasta simuladores de vuelo con todos los movimientos posibles. Hay también variaciones menores entre estas categorías pero proveen las mismas capacitaciones esenciales.

Contrariamente a la creencia popular, hoy en día los simuladores modernos no son tan utilizados para el entrenamiento de vuelo de pilotos, sino para enseñar al piloto procedimientos anormales y de emergencia en pleno vuelo. Utilizando los simuladores, los pilotos pueden practicar situaciones que no pueden ser practicadas de forma segura en una aeronave real. Estas situaciones incluyen desprendimientos de superficies de vuelo y pérdidas completas de potencia. Hoy en día las aeronaves están basadas en

sistemas complejos de computadoras y para poderla operar de forma eficiente los pilotos deben poseer un buen nivel técnico así como habilidades de pilotaje.

La mayoría de las instituciones gubernamentales tales como la Administración Federal de Aviación estadounidense (**FAA**) clasifican cada categoría de simulador. Estas instituciones reguladoras son necesarias para certificar las características de los dispositivos. Los pilotos comerciales estadounidenses pueden anotarse las horas de vuelo requeridas únicamente en simuladores certificados por la FAA. Para que un simulador sea certificado debe demostrar que sus características de vuelo coinciden con las del avión que está siendo simulado. Los requerimientos a testear están detallados en las guías denominadas Guías de Test de Aprobación (**ATG**) o Guías de Test de Calificación (**QTG**).

Los entrenadores del sistema son usados para enseñar a los pilotos como operar apropiadamente varios sistemas de la aeronave. Habitualmente no son usados para enseñar a volar ni para entrenamiento de procedimientos de emergencia. Una vez los pilotos se familiarizan con los sistemas operacionales se realiza la transición a los entrenadores de procedimientos de cabina o CPT. Estos sistemas fijos son copias exactas de una aeronave y son usadas para entrenar a las tripulaciones de vuelo en procedimientos normales y de emergencia. Estos reproducen el entorno atmosférico en el que la aeronave volará, simulando vientos, temperaturas y turbulencias. CPTs simulan también la variedad de sonidos provocados por la aeronave como por ejemplo los motores, trenes de aterrizaje y otros sonidos. Algunos son equipados con sistemas visuales. A pesar de todo estos no son equipados con sistemas que simulen los movimientos de la aeronave.

- Simulador de movimientos completo

Un ***full motion Simulator*** (***simulador de movimiento completo***) o ***full-flight Simulator***, reproduce todos los aspectos de una aeronave y su entorno, incluyendo los movimientos básicos de la aeronave. Este tipo de simuladores pueden generar sacudidas momentáneas de forma que sus ocupantes en el simulador deban abrocharse los cinturones de los asientos tal y como harían en una aeronave real. Dado que el movimiento de cualquier simulador es mucho más restrictivo que los movimientos de una aeronave real, el sistema de movimientos no calca los movimientos y actitud del avión. En lugar de ello realiza las llamadas señales de movimiento, las cuales engañan las sensaciones del piloto y le hacen creer que está volando. Para poder hacer esto apropiadamente, el conocimiento de los órganos de los sentidos del ser humano, particularmente del sistema vestibular, es empleado extensivamente. Esto convierte a la simulación de vuelo en un área de conocimientos intensivos.

Los simuladores de vuelo son extensamente utilizados en investigación en diversas áreas aeroespaciales, particularmente en la dinámica de vuelo y en la interacción hombre-máquina. Tanto simuladores estándar como los específicamente construidos para investigación se utilizan para este propósito. El rango va desde la gama más simple, parecida a los videojuegos, hasta los diseños específicos y extremadamente caros como LAMARS, instalados en la base Wright-Patterson Air Force, Ohio, el cual

permite 5 ángulos de movimiento y un sistema visual con más de 180 grados de campo de visión en todas direcciones.

Figura 3. Simulador LAMARS

Muchos simuladores son equipados también con funcionalidades que son utilizadas por los instructores. Estas son conocidas como Instructor Operador Stations (**IOS**). En el IOS, un instructor puede rápidamente crear cualquier situación normal o anormal en la aeronave simulada o en su entorno exterior simulado. Esto puede ir desde fuego en los motores, averías en el tren de aterrizaje, fallos eléctricos, tormentas, rayos, riesgos de colisiones con otros aviones, pistas de aterrizaje resbaladizas, fallos en los sistemas de navegación hasta otros incontables problemas con los que la tripulación debe familiarizarse para saber como actuar.

Muchos simuladores recientes permiten al instructor controlar el sistema desde la cabina o desde una consola al lado del asiento del copiloto o simplemente ajustar ciertos instrumentos, de forma particular (por ejemplo introduciendo un código de transpondedor específico) permitiéndoles programar ciertos escenarios usando el interfaz de la cabina. Esto permite el entrenamiento de un solo piloto en una aeronave que requiere una tripulación de dos personas, permitiendo al instructor actuar como segundo.

En el pasado los full motion flight simulators eran unidades con movimientos hidráulicos que costaban varios millones de dólares usadas en grandes centros de entrenamiento como el FlightSafety Internacional. Actualmente los avances en movimientos usando dispositivos eléctricos han permitido que los movimientos simulados sean utilizados de forma económica en simuladores de pequeñas aeronaves, incluyendo aeronaves monomotor de pistón en centros de entrenamiento como el Flight Level Aviation.

Los simuladores de vuelo han constituido un elemento esencial para el entrenamiento individual de cada piloto y el de la tripulación de vuelo. Ahorran tiempo, dinero y salvan vidas.

- Simuladores para PC.

Hay varios simuladores para ordenador personal en el mercado, en función del tipo de avión que simulan (típicamente se simulan aviones de combate) y de su grado de

complejidad. Como simuladores de aviones civiles podríamos destacar el *Microsoft flight Simulator*, que probablemente es el más popular a nivel mundial y que ofrece un realismo más que aceptable, pero existen también otros simuladores como *X-Plane* , que se caracteriza por su alta calidad en el modelo físico de las aeronaves o el mismo *FlightGear*, que si tal vez de momento su calidad gráfica es inferior comparada con los otros dos, se trata de un proyecto de código libre que mejora día a día por la aportación de cientos de profesionales procedentes del entorno aeronáutico e industrial.

Cabe destacar que estos programas proporcionan una calidad de simulación extraordinaria si se tiene en cuenta que el coste de los primeros mencionados es el de cualquier juego de ordenador y en el caso del último, es gratuito.

De hecho son ya numerosas empresas del sector aeroespacial que utilizan este tipo de simuladores para algunos de sus propósitos.