



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA



**ESTABLECIMIENTO DE PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN ENTRE X-PLANE
Y MICROPROCESADORES EXTERNOS EN EL SIMULADOR DE VUELO DEL
LABORATORIO DE TÉCNICAS AEROESPACIALES**

POR

Germán Adolfo Quijada Arriagada

Profesor guía:

Bernardo Andrés Hernández Vicente

17 de mayo de 2023

Índice general

1. Definición del problema	3
1.1. Planteamiento del problema	3
1.1.1. Contexto y justificación	3
1.1.2. Software utilizado	4
1.1.3. Otras soluciones	5
1.2. Objetivos	5
1.2.1. Objetivo general	5
1.2.2. Objetivos específicos	5
1.3. Condiciones de diseño	6
1.3.1. Simulador	6
1.3.2. Protocolo de comunicación	6
1.3.3. Documentación	7
1.4. Metodología de trabajo	7
1.4.1. Simulador	7
1.4.2. Protocolo de comunicación	7
1.4.3. Documentación	8
2. Simulador	9
2.1. Configuración inicial	9
2.2. Alternativas de diseño	10
2.2.1. Dos computadores	10
2.2.2. Un computador	11
2.2.3. Múltiples pantallas	11
2.3. Configuración final	12
2.3.1. Hardware	12

2.3.2. Software	13
3. Protocolo de comunicación	14
3.1. Microprocesadores	15
3.1.1. Canales de comunicación	15
3.1.2. Lenguajes de programación	15
3.2. Interfaz a simulador	15
3.2.1. Flight Simulator Universal Inter-Process Communication	15
3.3. Establecimiento del protocolo	15
3.3.1. Alcance	15
3.3.2. Decisiones de diseño	15
3.3.3. Protocolo	15

Capítulo 1

Definición del problema

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Contexto y justificación

Los programas de ingeniería aeroespacial además de impartir conocimientos de las ciencias básicas, abren el camino a la especialización ingenieril en las áreas aeronáutica y espacial, siendo uno de los tantos temas abordados la introducción a los procedimientos para ejecutar un vuelo y los fenómenos físicos involucrados que lo hacen posible, lo que abre las puertas a posterior investigación relacionada donde contar con el equipo adecuado que permita realizar simulaciones de vuelo que sustenten estos estudios puede ser muy útil [1].

Las simulaciones permiten acceder o modificar arbitrariamente variables de la aeronave y el entorno, con la ayuda de interfaces que extraen de la simulación el estado de los sistemas involucrados y lo exportan a otros medios en los que sea más fácil hacer uso de los datos, ya sea para visualizarlos en tiempo real en un panel de instrumentos con indicadores, registrar información de la condición de la aeronave durante el vuelo para posterior evaluación de rendimiento, o la modificación directa de la simulación para estudiar condiciones específicas, entre otros. Todo sin dejar de lado el realismo y por lo tanto autenticidad que ofrece el software de simulación evitando lo costoso de realizar los mismos estudios en aeronaves de verdad.

Sin embargo, existen barreras tecnológicas que ralentizan el uso de un simulador de vuelo por lo compleja que puede ser su interfaz gráfica o lo exigentes que sean en términos del manejo de una aeronave, el usuario debe en primera instancia contar con el hardware adecuado

que pueda ejecutar el simulador y familiarizarse con el funcionamiento interno del software para lograr sus fines. El objetivo de este proyecto de ingeniería abarca principalmente el caso de lograr comunicar el estado de la simulación a un hardware externo y que este pueda enviar comandos en respuesta, estableciendo una interfaz dedicada para ello que sea versátil y fácil de empezar a utilizar, junto con las instrucciones pertinentes.

En la simulación el uso de hardware externo que no sea la computadora principal es algo común por distintos motivos, como el querer emular la experiencia de un avión real lo que se traduce en la creación de controles e indicadores personalizados parecidos a los presentes en un panel de instrumentos, usualmente conectados a un microcontrolador que debe interactuar con el software por medio de alguna interfaz. Además, y sobre todo en un contexto de investigación donde se deban realizar múltiples pruebas iterativas, el que se trabaje con equipos externos evita que se utilicen recursos que pudiese requerir la simulación y de manera más importante también se evita el que se hagan modificaciones al software o hardware del equipo principal en la instalación de los programas para la investigación y luego en la desinstalación una vez los análisis concluyan, así el simulador se mantiene íntegro asegurando su disponibilidad para ser utilizado en un futuro con otro propósito.

1.1.2. Software utilizado

Algunas soluciones existentes para comunicar simuladores de vuelo con microprocesadores son SimVimX [15] y MobiFlight [10], estos programas están diseñados para entusiastas que construyen paneles de instrumentos personalizados conectados a microprocesadores como Arduino o a otros computadores, habilitan la integración de los paneles proporcionando manuales e interfaces gráficas que ayudan a programar todo.

Debido al enfoque que tienen SimVimX y MobiFlight, las funciones que puede cumplir el microcontrolador están limitadas a hacer de interfaz para paneles de instrumentos, y no permiten mayores prestaciones sin modificar su código para su uso en otros fines.

Flight Simulator Universal Inter-Process Communication [2] o FSUIPC es un software que accede a la memoria interna de un simulador como Microsoft Flight Simulator [8] o Prepar3D [4], que permite a otros programas leer y modificar variables internas de la aeronave o el entorno, muchos plug-ins existentes dependen de esta interfaz para funcionar como por ejemplo MobiFlight. Además, el protocolo que establece FSUIPC puede ser considerado como un estándar, ya que existe otro software que lo reimplementa como XPUIPC [16] o XConnect [18] que habilita a los programas diseñados para funcionar con FSUIPC a que también lo

hagan con X-Plane [13].

Programar software que aproveche FSUIPC otorga las ventajas de compatibilidad con cualquier simulador soportado por la librería o sus reimplementaciones como XPUIPC, y el poder concentrar el desarrollo del establecimiento del protocolo a la comunicación externa con microcontroladores, puesto que la manipulación interna de memoria para cada simulador ya esta cubierta.

1.1.3. Otras soluciones

X-Plane Connect [11] o XPC es otra interfaz diseñada por la NASA que cumple funciones similares a FSUIPC, pero específica para X-Plane sin posibilidad de adaptarla a otros simuladores. Lo interesante de esta alternativa es que incluye una librería para programar en MATLAB [5] y por consiguiente Simulink [6] lo que facilita el análisis de sistemas de control. SimConnect [9] desarrollado por Microsoft es una interfaz de bajo nivel como XPC o FSUIPC diseñada exclusivamente para Microsoft Flight Simulator 2020 también con características similares a las demás librerías.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Reconfigurar simulador de vuelo del laboratorio de técnicas aeroespaciales, luego establecer un protocolo de comunicación entre el software del simulador y hardware externo, finalmente documentar la utilización del protocolo de comunicación y del simulador.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Reconfigurar la disposición del hardware del simulador con el objetivo de facilitar su uso y agilizar en el futuro la instalación de nuevo software. Se registrará y comparará el hardware actual del simulador con el hardware nuevo disponible en el laboratorio.

2. Puesta en marcha del software de simulación. Instalación de sistema operativo Windows 10 actualizado y X-Plane, configurar el panel de instrumentos y controles.

3. Establecer protocolo de comunicación entre software del simulador y equipos externos, primero definiendo un protocolo de comunicación sobre IP y Serial diseñado para micropro-

cesadores que soporten estas funciones, luego preparar con librerías existentes la extracción y manipulación de variables internas del simulador para finalmente combinar el protocolo de comunicación y la implementación de la librería en un programa personalizado.

4. Documentar uso del simulador preparando manuales instructivos referentes a la configuración de hardware y software del simulador, y el trabajo con el protocolo de comunicación con dispositivos externos.

1.3. Condiciones de diseño

1.3.1. Simulador

Actualmente el simulador en el laboratorio de técnicas aeroespaciales está limitado a X-Plane 9 debido a su disposición de 3 computadores de bajas prestaciones corriendo en paralelo, y cualquier mejora que se quiera hacer sobre el sistema debe cumplir con las condiciones que esa configuración implica, por esto se busca un diseño nuevo que permita más fácilmente trabajar en el simulador.

La nueva disposición de hardware consistirá en reducir la cantidad de computadores a solo uno, esto corta significativamente el tiempo que toma cualquier proceso que tuviese que realizarse en los tres computadores, elimina la necesidad de un router y cables que los conecten, y reduce la latencia entre las imágenes que muestran distintos monitores entre otras cosas.

Respecto al software, se va a realizar una instalación de Windows 10 compatible con gran parte si no todos los simuladores de vuelo en el mercado. Se instalarán X-Plane 9 y 10 disponibles por la universidad los cuales deberán configurarse de modo que trabajen con los múltiples monitores.

1.3.2. Protocolo de comunicación

El nuevo código que se vaya a escribir para el protocolo de comunicación utilizara estándares ya establecidos en simuladores, y la implementación en el lado del hardware externo será en un lenguaje que compartan los microprocesadores o microcontroladores como Arduino y Raspberry con mínima modificación.

Reducir la complejidad del protocolo de comunicación es clave, pues se está buscando que esta interfaz pueda ser utilizada por más personas que no necesariamente estén familiarizadas

con la programación puedan cumplir sus objetivos, los cuales van más allá que solo crear paneles de instrumentos, como por ejemplo control y pruebas automatizadas.

1.3.3. Documentación

Respecto a la documentación esta será en formato tipo manual, abarcará la nueva configuración del simulador y el trabajo con el protocolo de comunicación, desde el encendido de los equipos hasta el uso del protocolo con ejemplos para comenzar. Incluirá la solución a problemas comunes que se vayan notando los que no necesariamente deban ser técnicos.

1.4. Metodología de trabajo

1.4.1. Simulador

Para reconfigurar el simulador de acuerdo con las necesidades y las condiciones de diseño establecidas en primera instancia se realiza un levantamiento de antecedentes “en terreno” de la configuración actual a una profundidad suficiente para volver a implementarla en caso de que se quiera volver ella. El nuevo hardware disponible en el laboratorio también se analizará con su documentación para comparar sus capacidades con el hardware actual.

Hecho esto, se investigarán las alternativas y posibilidades de habilitar la máxima cantidad de monitores por computador considerando el hardware disponible. Finalmente se ejecutará el nuevo diseño del simulador y se instalara y configurara el software.

1.4.2. Protocolo de comunicación

El comienzo del desarrollo del protocolo de comunicación consistirá en establecer el canal sistema operativo - microprocesador y la librería para trabajar con el simulador.

1. Seleccionar canal de comunicación entre el sistema operativo y hardware externo

Para lograr un enlace entre un microprocesador y el software de simulación primero es necesario establecer comunicación entre el microprocesador y el sistema operativo, esto requiere caracterizar los canales disponibles en el hardware externo que se vaya a utilizar, los microcontroladores por lo general cuentan con una interfaz serial e inalámbrica por Bluetooth o wifi, también habrá que averiguar los lenguajes en los que programarlos comparando sus características de acuerdo a los objetivos.

2. Seleccionar software que permita la extracción y manipulación de variables del simulador

Primero se deben comparar las librerías que permiten trabajar sobre las variables del simulador según su lenguaje de programación, software de simulación que soportan y si sigue siendo activamente desarrollada.

Una vez tomadas las decisiones se procede a escribir el programa que se ejecutara en el sistema operativo, que actúe de interfaz entre el software de simulador y el microcontrolador, comunicados por medio de un protocolo personalizado que trabaje por sobre el de la librería y transmitido por el canal seleccionado.

1.4.3. Documentación

Con el simulador reconfigurado, se invitará a miembros de la carrera interesados a probar y trabajar con el equipo para obtener realimentación sobre su uso y verificar el cumplimiento de los objetivos que se buscaban, con posibilidad de realizar modificaciones menores en respuesta a lo que se vaya reportando, además de registrar problemas comunes que deban ser mencionados en la documentación del uso del simulador.

Finalmente, con base en la experiencia y los registros tomados durante el desarrollo se crearán manuales que describan el uso y procedimientos para realizar trabajos de interés con el protocolo de comunicación, que estarán disponibles de manera física y online en un repositorio dedicado al simulador.

Capítulo 2

Simulador

El simulador de vuelo del laboratorio de técnicas aeroespaciales es una herramienta muy útil para los alumnos de la universidad, otorgando una primera aproximación a los procedimientos necesarios para ejecutar un vuelo, y permite familiarizarse con los conceptos teóricos que se ven en clases de una manera práctica.

Durante los años varios alumnos han trabajado con el equipo haciendo mejoras o investigación y es la forma en la que se ha mantenido el simulador operativo hasta hoy. Al estar relacionado el principal objetivo de este proyecto de ingeniería con el simulador, se hace notar la oportunidad de trabajar sobre el simulador en sí y llevar a cabo el proceso de su actualización con mejores componentes que están disponibles en el laboratorio, pero que aún no están instalados.

En este capítulo se describe el proceso de actualización del equipo del simulador en hardware y software como está descrito en la metodología, los problemas que surgieron y el diseño final, comenzando por la caracterización del simulador en su condición inicial.

2.1. Configuración inicial

El equipo consiste en 3 computadores conectados a 7 pantallas con una disposición de 5 pantallas abarcando el campo de visión horizontal y 2 pantallas auxiliares para mostrar instrumentos del panel, periféricos de control similares a los encontrados a una avioneta Cessna 172 [20], sistema de sonido y red local con router. El computador principal cuenta con Windows 10, procesador Intel i7 de tercera generación y tarjeta gráfica NVIDIA GTX 1060, los

dos computadores secundarios tienen Windows 7 y prestaciones mucho más bajas, pero suficientes para ejecutar X-Plane 9.

Cada computador corre una instancia de X-Plane 9, el principal dirige la simulación, recibe la entrada de los controles y envía el estado de la simulación a los computadores secundarios por medio de la red local, los que replican el estado y actúan como extensión del campo de visión y despliegue del panel de instrumentos, todo configurado de acuerdo a las instrucciones del manual de usuario de X-Plane 9 [14].

2.2. Alternativas de diseño

Se solicita instalar dos componentes nuevos con el objetivo de ejecutar X-Plane 10 y posiblemente simuladores más recientes en el futuro, los cuales son una tarjeta gráfica NVIDIA GTX 1080 y una fuente de poder de 700 W. Considerando la configuración inicial del simulador y los objetivos, la instalación de los nuevos componentes no es un tema de solo reemplazar los antiguos, ya que los computadores secundarios seguirán obsoletos y limitados a X-Plane 9.

2.2.1. Dos computadores

Una solución plausible es actualizar y reemplazar los componentes en el computador principal, el mejor de los secundarios actualizarlo con los componentes sobrantes (GTX 1060 y fuente) y descartar el tercer computador. Es inmediatamente la solución con menos complicaciones y (sin mencionar algunos detalles) compatible con la configuración de X-Plane ya implementada y descrita en los manuales, sin embargo tiene muchos problemas que surgirán a futuro.

En rendimiento la GTX 1080 y 1060 soportan con creces X-Plane 10 (que no es mucho más exigente que X-Plane 9 gráficamente), pero el procesador de todos los computadores del simulador también requiere actualización, la tercera generación de Intel salió en 2012 y con nuevo software como X-Plane 12 esta empieza a mostrar sus limitaciones, el tener 2 computadores implica que en futuras actualizaciones se deban comprar el doble de componentes, los que probablemente solo cumplan con los requisitos mínimos de los simuladores nuevos, en vez de actualizar solo un computador con todo el presupuesto y asegurarse que podrá ejecutar el software de sobra.

Dos o más computadores requieren múltiples instalaciones del software de simulación

(que para el caso de X-Plane implica comprar más licencias [17]), configuración para la ejecución automática del software en cada computador si no se quiere tener que usar múltiples periféricos, o implementar soluciones para conectar periféricos a múltiples computadores, configurar una red local que asigne una IP estática distinta a cada computador para la posterior sincronización del software de simulación, si es que estos la soportan como X-Plane. Estos detalles y otros no mencionados significan mayor complejidad para trabajar en el simulador o poner en marcha nuevo software en el futuro.

2.2.2. Un computador

En vista de los problemas recién mencionados, se evalúa la opción de usar solo un computador asignándole los mejores componentes disponibles, lo que elimina gran parte de las complicaciones de tener dos o más, pero que aún cumpla con los objetivos inmediatos. Implementar la configuración existente del simulador es fácil, por ejemplo si antes se tenían 3 instancias de X-Plane en computadores distintos ahora se pueden tener abiertas 3 instancias, pero en solo un computador con múltiples pantallas, claro que hacer eso es posible una vez puesto el hardware en marcha donde debido a las circunstancias surgen complicaciones.

2.2.3. Múltiples pantallas

No se pueden conectar 7 pantallas a una sola tarjeta de video, la GTX 1080 y GTX 1060 cada una permite hasta 4 monitores, el procesador Intel permite hasta 3 salidas de video con sus gráficos integrados [3], pero la placa madre tiene solo dos salidas, una digital y una análoga. Existen adaptadores USB a HDMI que habilitan más salidas de video, pero la información que existe de ellos es muy variada, hay reportes de que estos adaptadores pueden reducir el rendimiento además de que cuestan dinero y no se puede asegurar que vayan a ser compatibles.

Usando solo el material disponible en el laboratorio se decide por conectar ambas tarjetas de video simultáneamente al computador habilitando hasta 10 salidas, 8 desde las GPU y 2 de los gráficos integrados del procesador. Esto puede suponer un riesgo de recalentamiento, pero se esperará a ver con el tiempo si esto resulta en un problema a largo plazo, en caso de altas temperaturas se confía en que las unidades de procesamiento incluyen sensores que apagan el sistema antes de cualquier situación peligrosa para evitar daños.

Ambas tarjetas de video además de la interfaz PCI con la placa madre requieren ser conectadas directamente a la fuente de poder con cables de 6 y 8 pines dedicados para funcionar.

La nueva fuente de poder no cuenta con los suficientes cables para ambas GPU, se podría comprar o fabricar un cable splitter para lograr conectar todo, pero supone mucho riesgo de recalentamiento por la calidad del splitter y la cantidad de energía que va a transmitir, la nueva fuente no está diseñada para eso.

Usar dos fuentes de poder asegura que se cuenta con suficiente energía para alimentar ambas tarjetas de video sin riesgo a recalentamiento de cables, no se necesitan modificar internamente los componentes, puesto que aun en esta configuración están trabajando dentro de los parámetros establecidos por los fabricantes.

2.3. Configuración final

La nueva configuración consiste en reducir la cantidad de computadores de tres a solo uno, el cual en el futuro pueda ser actualizado con un buen procesador para ejecutar simuladores modernos como Flight Simulator 2020 o X-Plane 12. Además reduciendo la complejidad de tener que preparar múltiples computadores a solo tener que configurar en uno el software, donde en los casos que no exista soporte oficial para tantas pantallas (como en X-Plane 9 y 10) se pueden preparar scripts que abran múltiples instancias del simulador que repliquen la antigua configuración.

2.3.1. Hardware

Se instalan los nuevos componentes al computador principal y se prueba que funcionen correctamente, las unidades de procesamiento del equipo en este punto son su procesador Intel i7-3770k y una tarjeta gráfica NVIDIA GTX 1080. Con esta configuración se ve limitada la cantidad de salidas de video disponibles como fue descrito previamente, por lo que se procede a realizar pruebas del funcionamiento del equipo al agregarse la tarjeta GTX 1060 y una segunda fuente.

Con la segunda tarjeta gráfica conectada al puerto PCI disponible, se prepara la antigua fuente de poder para un encendido manual [12] y se conecta para alimentar la GTX 1060, por HDMI se conecta una quinta pantalla al equipo el cual se enciende para comprobar su funcionamiento. Las pruebas son un éxito y se decide por instalar la segunda fuente dentro del gabinete.

Al no estar conectada directamente a la placa madre, la segunda fuente de poder necesita ser encendida y apagada manualmente al mismo tiempo que el computador, para resolver este

problema se compra un dispositivo que sincroniza el encendido de la fuente auxiliar por medio de un relé.

Finalmente se conectan todas las pantallas al equipo, terminando el proceso de actualización y dando paso a comenzar la configuración del software de simulación. Los componentes principales del computador por el momento son el procesador Intel i7-3370k, dos tarjetas gráficas NVIDIA GTX 1080 y NVIDIA GTX 1060, y se espera que se introduzca en el futuro un mejor procesador que permita ejecutar software de simulación actual como Microsoft Flight Simulator 2020 y X-Plane 12.

2.3.2. Software

Preparar el software abarca desde formatear el dispositivo de almacenamiento hasta configurar los programas, de tal manera que desde el encendido del equipo se pueda rápidamente empezar una simulación y volar.

Desde los servidores de Microsoft se obtiene la imagen de disco más reciente de Windows 10 [7], se graba en un disco duro externo USB y se instala formateando el almacenamiento. Windows se encarga de descargar automáticamente todos los drivers necesarios, incluso el de los periféricos de control.

Posterior a la instalación, completada la información que se solicite y actualizado el equipo, se ordenan las pantallas en el panel de control de NVIDIA de manera que las 5 pantallas superiores formen una imagen continua y las 2 pantallas auxiliares se desplazan a la parte inferior, con la herramienta de administración de discos de Windows se divide la partición principal creando una nueva partición de 300 GB, con el propósito de almacenar los archivos de instalación del software como respaldo, como por ejemplo las imágenes de disco de X-Plane 9 y 10.

La universidad dispone de copias de X-Plane 9 y X-Plane 10, los archivos de X-Plane 9 se descargan desde una carpeta compartida en OneDrive proporcionada, estos archivos vienen en formato de imágenes de disco MDF y se instala el software WinCDEmu [19] para poder cargarlos uno a uno. De X-Plane 10 se cuenta con los discos físicos, el computador principal no tiene un lector de DVD por lo que temporalmente se conecta uno de los equipos secundarios que si tiene lector y se crean imágenes de disco con el programa ImgBurn [1], que luego se copian al principal para completar la instalación de la misma forma que como con X-Plane 9.

[Scripts para ordenar las instancias de X-Plane aún en desarrollo]

Capítulo 3

Protocolo de comunicación

El protocolo de comunicación consiste en una selección de mensajes estructurados, diseñados para realizar ciertas acciones sobre una simulación de vuelo, mensajes que son enviados desde un equipo externo como un microcontrolador u otro computador convencional, a otro equipo que esté ejecutando software de simulación.

Este protocolo ofrece la capacidad de trabajar de manera programática con las variables que gobiernan una simulación, por ejemplo puede hacer todo lo que ya incluye X-Plane en su interfaz de usuario como guardar datos a un Excel o cargar un estado específico, pero además permite acceder a variables internas de la simulación y modificarlas arbitrariamente en tiempo real.

Ejemplos de uso pueden ser ejecutar acciones sencillas como automatizar una misión, o analizar como afectan diversas condiciones externas como el clima o comandos del piloto a una maniobra de manera iterativa, reiniciando repetidamente el estado de la aeronave a uno inicial pero alterando ciertas variables. Más interesante es la nueva habilidad de poder responder en tiempo real al estado de la simulación, que permite desarrollar sistemas de control desde simples PID en Python o C hasta complejos modelos en Simulink.

En el contexto del laboratorio de técnicas aeroespaciales, el diseño del protocolo de comunicación busca alcanzar un balance entre versatilidad y facilidad de uso, que permitirá a estudiantes interesados aplicar sus conocimientos de Python y poder manipular la simulación mediante código comprensible, pero que también sirva de herramienta potente para la investigación y no sea un factor limitante debido a que no posea cierta funcionalidad que se requiera.

3.1. Microprocesadores

3.1.1. Canales de comunicación

3.1.2. Lenguajes de programación

3.2. Interfaz a simulador

3.2.1. Flight Simulator Universal Inter-Process Communication

3.3. Establecimiento del protocolo

3.3.1. Alcance

3.3.2. Decisiones de diseño

Servidor

Cliente

3.3.3. Protocolo

Bibliografía

- [1] Digital Digest. *ImgBurn*. URL: <https://www.imgburn.com/> (visitado 17-05-2023).
- [2] Peter Dowson y John Dowson. *Flight Simulator Universal Inter-Process Communication (FSUIPC)*. URL: <http://www.fsuipc.com/> (visitado 15-05-2023).
- [3] Intel. *Especificaciones Intel Core i7-3770K*. URL: <https://ark.intel.com/content/www/es/es/ark/products/65523/intel-core-i73770k-processor-8m-cache-up-to-3-90-ghz.html> (visitado 16-05-2023).
- [4] Lockheed Martin. *Prepar3D*. URL: <https://www.prepar3d.com/> (visitado 15-05-2023).
- [5] MathWorks. *MATLAB*. URL: <https://mathworks.com/> (visitado 15-05-2023).
- [6] MathWorks. *Simulink*. URL: <https://mathworks.com/products/simulink.html> (visitado 15-05-2023).
- [7] Microsoft. *Descarga Windows 10*. URL: <https://www.microsoft.com/es-mx/software-download/windows10> (visitado 17-05-2023).
- [8] Microsoft. *Microsoft Flight Simulator*. URL: <https://www.flightsimulator.com/> (visitado 15-05-2023).
- [9] Microsoft. *SimConnect*. URL: https://docs.flightsimulator.com/html/Programming_Tools/SimConnect/SimConnect_SDK.htm (visitado 15-05-2023).
- [10] *MobiFlight*. URL: <https://www.mobiflight.com/> (visitado 15-05-2023).
- [11] NASA. *X-Plane Connect*. URL: <https://github.com/nasa/XPlaneConnect> (visitado 15-05-2023).
- [12] Overclockers Club. *How To Turn On An ATX Power Supply Without A Motherboard*. URL: https://www.overclockersclub.com/guides/atx_psu_startup/ (visitado 17-05-2023).
- [13] Laminar Research. *X-Plane*. URL: <https://www.x-plane.com/> (visitado 15-05-2023).
- [14] Laminar Research. *X-Plane Operation Manual*. Ver. 9.61. URL: https://www.x-plane.com/files/manuals/X-Plane_Desktop_manual.pdf (visitado 16-05-2023).
- [15] Roman Sychev. *SimVimX*. URL: <https://simvim.com/> (visitado 15-05-2023).

- [16] Torsten Spiering. *X-Plane Universal Inter-Process Communication (XPUIPC)*. URL: <https://www.schiratti.com/xpuipc.html> (visitado 15-05-2023).
- [17] X-Plane Support. *Do I need to purchase another copy of X-Plane 11 for WED?* URL: <https://questions.x-plane.com/10417/do-i-need-to-purchase-another-copy-of-x-plane-11-for-wed> (visitado 16-05-2023).
- [18] Mat Sutcliffe. *XConnect*. URL: <https://xplaneconnect.sourceforge.net/> (visitado 15-05-2023).
- [19] Sysprogs. *WinCDEmu*. URL: <https://wincdemu.sysprogs.org/> (visitado 17-05-2023).
- [20] FlightGear Wiki. *Hardware Review: Saitek Pro Flight Cessna controls*. URL: https://wiki.flightgear.org/Hardware_Review:_Saitek_Pro_Flight_Cessna_controls (visitado 16-05-2023).