



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Chequeo operacional del sistema de protección contra hielo y lluvia, mediante el uso del manual de mantenimiento ATA 30, en el simulador de vuelo Boeing 737-500 perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE**

Enriquez Quiros, Cristopher William

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Tecnología en Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica

Monografía, previo a la obtención del título de Tecnólogo en Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica

Ing. Alpúsig Cuichán, Silvia Emperatriz

15 de septiembre de 2021

Latacunga



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA

### CERTIFICACIÓN

Certifico que la monografía “**Chequeo operacional del sistema de protección contra hielo y lluvia, mediante el uso del manual de mantenimiento del ATA 30, en el simulador de vuelo Boeing 737-500 perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE**” realizado por el señor **Enriquez Quiros, Cristopher William** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente

Latacunga, 15 de septiembre del 2021



Firmado electrónicamente por:  
SILVIA  
EMPERATRIZ  
ALPUSIG CUICHAN

---

Ing. Alpúsig Cuichán, Silvia Emperatriz

Directora de proyecto

C.C.: 050277969-7

## Análisis Urkund



### Document Information

---

<b>Analyzed document</b>	Monografia_Enriquez_Quiros_Cristopher.pdf (D112509445)
<b>Submitted</b>	9/13/2021 7:49:00 PM
<b>Submitted by</b>	Juan Carlos Altamirano
<b>Submitter email</b>	jc.altamiranoc@uta.edu.ec
<b>Similarity</b>	6%
<b>Analysis address</b>	jc.altamiranoc.uta@analysis.orkund.com

### Sources included in the report

---

<b>SA</b>	<b>RUIZ_CHAUCA_LESLY_AMANDA.pdf</b> Document RUIZ_CHAUCA_LESLY_AMANDA.pdf (D111264975)	 2
<b>SA</b>	<b>JARRIN CAMPOVERDE DANIEL FRANCISCO.pdf</b> Document JARRIN CAMPOVERDE DANIEL FRANCISCO.pdf (D111261141)	 9
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.hispaviacion.es/simulacion-de-vuelo-un-poco-de-historia/">https://www.hispaviacion.es/simulacion-de-vuelo-un-poco-de-historia/</a> Fetched: 9/13/2021 7:50:00 PM	 1



Firmado electrónicamente por:  
SILVIA  
EMPERATRIZ  
ALPUSIG CUICHAN

---

**Ing. Alpúsig Cuichán, Silvia Emperatriz**

**Directora de proyecto**

**C.C.: 050277969-7**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Enriquez Quiros, Christopher William**, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **Chequeo operacional del sistema de protección contra hielo y lluvia, mediante el uso del manual de mantenimiento ATA 30, en el simulador de vuelo Boeing 737-500 perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veras

**Latacunga, 15 de septiembre del 2021**

Una firma manuscrita en tinta azul que parece ser la del autor, Christopher William Enriquez Quiros.

---

**Enriquez Quiros, Christopher William**

**C.C.: 1719124446**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Yo, **Enriquez Quiros, Cristopher William**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **“Chequeo operacional del sistema de protección contra hielo y lluvia, mediante el uso del manual de mantenimiento ATA 30, en el simulador de vuelo Boeing 737-500 perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad

Latacunga, 15 de septiembre del 2021

Una firma manuscrita en tinta azul que parece ser la del autor, Enriquez Quiros, Cristopher William.

---

**Enriquez Quiros, Cristopher William**

**C.C.: 1719124446**

**Dedicatoria**

El siguiente proyecto está dedicado a Dios por permitirme llegar a esta etapa tan importante de mi vida profesional, al ser mi guía y fortaleza en momentos de dificultad

A mi madre que fue un pilar muy importante en la toma de decisiones durante mi tiempo en la universidad, fue la que siempre me brindó su apoyo de amiga y madre

A mi padre por ser quien durante todo el periodo de llevar a cabo mi proyecto de titulación me apoyo con sus palabras de motivación y de no rendirme

No puedo dejar pasar la dedicación de mi proyecto a mi enamorada Jacqueline por los ánimos que me genera de superación y ganas de llegar muy lejos en el ámbito profesional

A mis profesores y compañeros de aula que compartimos experiencias que siempre quedaran marcadas en el corazón

## **Agradecimiento**

El siguiente proyecto me gustaría agradecer a Dios por llenarme de bendiciones para alcanzar mi objetivo de titulación

A mi madre, por el gran amor que siempre me ha demostrado y fortaleza en el momento de superar los obstáculos que se presentan en el ámbito académico

Agradezco a mis profesores por su esfuerzo y dedicación en el momento de impartir sus conocimientos para mi formación académica

A mi abuelo por ser la persona que me ayudo a forjar mi integridad como persona y me enseñó todos los valores para ser un hombre útil para la sociedad

Quiero agradecer a mi enamorada por la paciencia que me ha mostrado y por ser una mujer que me ayuda a definir mi futuro

## Tabla de contenidos

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Análisis Urkund.....	3
Autoría de Responsabilidad .....	4
Autoría de Publicación .....	5
Dedicatoria .....	6
Agradecimiento .....	7
Tabla de contenidos.....	8
Índice de figuras .....	11
Resumen.....	14
Abstract .....	15
Generalidades.....	16
Tema.....	16
Antecedentes.....	16
Planteamiento del problema.....	17
Justificación .....	17
Objetivos .....	18
<i>Objetivo general</i> .....	18
<i>Objetivos específicos</i> .....	18
Alcance .....	18
Fundamentación teórica .....	19
Historia y evolución del simulador de vuelo .....	19
Investigación del proyecto .....	21
Situación actual del simulador de vuelo .....	22
Componentes del simulador .....	22
<i>Interruptores</i> .....	22
<i>Indicadores LED</i> .....	23
<i>Selector multiposición</i> .....	23
<i>Multiplexor 74HC4067 para las entradas</i> .....	24
<i>Arduino</i> .....	25
<i>Arduino Mega 2560</i> .....	25
<i>Max 7219 para las salidas</i> .....	26
<i>Paneles del sistema contra hielo y lluvia</i> .....	27



Software .....	28
<i>Plugin Home Cockpit SimControl Interface Software</i> .....	28
<i>Flujo de datos Plugin</i> .....	29
<i>Software de X-Plane</i> .....	31
Protocolo de comunicación .....	32
Hardware Home Cockpit SimControl Interface .....	32
Funcionamiento Home Cockpit SimControl Interface (HCSCI) para configuración .....	33
Simulación del panel Home Cockpit SimControl Interface .....	34
Programa del panel Home Cockpit SimControl Interface .....	35
Simulador de vuelo .....	36
Clasificación, propósito y características mínimas de los simuladores de vuelo .....	37
<i>Nivel A</i> .....	37
<i>Nivel B</i> .....	37
<i>Nivel C</i> .....	38
<i>Nivel D</i> .....	38
Organización de un simulador de vuelo.....	39
Sistema visual del simulador de vuelo .....	40
Mandos de control .....	41
Sistema de protección contra hielo y lluvia .....	41
Sistemas térmicos antihielo (TAI) .....	42
<i>Sistema de distribución de aire de purga del motor</i> .....	43
Sistemas eléctricos antihielo .....	43
Sistema de eliminación de lluvia .....	44
Hidrofóbico .....	44
Ventana combinada y módulo de calor pitot (panel 5- panel 9).....	45
Sistema térmico antihielo del ala .....	45
<i>Conductos antihielo del ala</i> .....	46
<i>Componentes de control antihielo del ala</i> .....	48
<i>Componentes de indicación antihielo del ala</i> .....	49
Sistema anticongelante del capó de entrada .....	50
<i>Válvula térmica antihielo (TAI)</i> .....	51
<i>Interruptor de presión térmico</i> .....	52
<i>Interruptor térmico antihielo (TAI) de sobrecalentamiento</i> .....	53

<b>Tubos Pitot-estáticos, sonda de temperatura y sistema antihielo de paletas anticongelantes alfa</b> .....	<b>54</b>
<b>Sistema anticongelante de la ventana de la cabina de control</b> .....	<b>56</b>
<b>Sistema limpiaparabrisas</b> .....	<b>59</b>
<b>Desarrollo del tema</b> .....	<b>61</b>
<b>Dimensionamiento de las protecciones eléctricas</b> .....	<b>64</b>
<i>Sistema de iluminación</i> .....	<b>65</b>
<b>Estructura del simulador</b> .....	<b>66</b>
<b>Software</b> .....	<b>66</b>
<i>Protocolo de comunicación</i> .....	<b>66</b>
<i>Plugin Home Cockpit SimControl Interface</i> .....	<b>67</b>
<i>Firmware para la placa arduino</i> .....	<b>67</b>
<i>Programa del panel HCSCI</i> .....	<b>68</b>
<b>Hardware</b> .....	<b>69</b>
<b>Configuración de Home Cockpit SimControl Interface</b> .....	<b>70</b>
<b>Entradas digitales</b> .....	<b>71</b>
<b>Entradas analógicas</b> .....	<b>74</b>
<b>Componentes indicadores o salidas del sistema</b> .....	<b>75</b>
<i>Modulo MAX 7219</i> .....	<b>75</b>
<b>Colocación de paneles pertenecientes al simulador</b> .....	<b>78</b>
<b>Configuración de tamaño y centrado de instrumentos en los monitores</b> .....	<b>78</b>
<b>Procedimiento para prueba del sistema antihielo térmico del ala</b> .....	<b>80</b>
<b>Procedimiento para prueba del sistema antihielo del motor</b> .....	<b>84</b>
<b>Procedimiento del sistema antihielo de los Tubos Pitot, sonda de temperatura y paletas alfa</b> .....	<b>89</b>
<b>Procedimiento del sistema de calefacción de las ventanas</b> .....	<b>97</b>
<b>Ajuste y prueba del sistema de calefacción de las ventas</b> .....	<b>98</b>
<b>Procedimiento del sistema de limpiaparabrisas</b> .....	<b>102</b>
<i>Ajuste y prueba del sistema de limpiaparabrisas</i> .....	<b>103</b>
<b>Conclusiones y recomendaciones</b> .....	<b>105</b>
<b>Conclusiones</b> .....	<b>105</b>
<b>Recomendaciones</b> .....	<b>106</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>107</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>109</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b>	<i>Primer simulador de vuelo</i> .....	19
<b>Figura 2.</b>	<i>Simulador de vuelo Celestial Navigation Trainer</i> .....	20
<b>Figura 3.</b>	<i>Línea de tiempo del simulador de vuelo</i> .....	21
<b>Figura 4.</b>	<i>Interruptores de dos y tres posiciones en la aeronave</i> .....	23
<b>Figura 5.</b>	<i>Indicadores led</i> .....	23
<b>Figura 6.</b>	<i>Interruptores giratorios multiposición</i> .....	24
<b>Figura 7.</b>	<i>Diagrama de conexión de las entradas multiplexeadas</i> .....	24
<b>Figura 8.</b>	<i>Características del Arduino mega</i> .....	26
<b>Figura 9.</b>	<i>Conexión del Max 7219</i> .....	27
<b>Figura 10.</b>	<i>Panel del sistema contra hielo</i> .....	28
<b>Figura 11.</b>	<i>Secuencia de inicio del flujo de datos</i> .....	29
<b>Figura 12.</b>	<i>Logo de X Plane Flight Simulator</i> .....	31
<b>Figura 13.</b>	<i>Hardware de entradas y salidas a los paneles</i> .....	33
<b>Figura 14.</b>	<i>Configuración de pines en Home Cockpit SimControl Interface</i> .....	34
<b>Figura 15.</b>	<i>Paneles de instrumentos conectados a través de HCSCI al computador</i> .....	35
<b>Figura 16.</b>	<i>Panel de instrumentos</i> .....	36
<b>Figura 17.</b>	<i>Entorno de un simulador de vuelo</i> .....	36
<b>Figura 18.</b>	<i>Organización de un simulador de vuelo</i> .....	40
<b>Figura 19.</b>	<i>Sistema visual de un simulador</i> .....	40
<b>Figura 20.</b>	<i>Superficies de control</i> .....	41
<b>Figura 21.</b>	<i>Sistemas de protección contra hielo y lluvia</i> .....	42
<b>Figura 22.</b>	<i>Esquema del sistema antihielo del motor</i> .....	43
<b>Figura 23.</b>	<i>Revestimiento hidrofóbico en aeronave</i> .....	45
<b>Figura 24.</b>	<i>Sistema térmico antihielo del ala</i> .....	46
<b>Figura 25.</b>	<i>Conductos antihielo del ala</i> .....	47
<b>Figura 26.</b>	<i>Conexión de la válvula TAI</i> .....	48
<b>Figura 27.</b>	<i>Componente de indicación antihielo del ala</i> .....	50
<b>Figura 28.</b>	<i>Válvula del Capó de entrada</i> .....	50
<b>Figura 29.</b>	<i>Válvula térmica antihielo (TAI)</i> .....	52
<b>Figura 30.</b>	<i>Válvula de cierre y válvula reguladora de presión</i> .....	53
<b>Figura 31.</b>	<i>Tubos Pitot-estáticos, sonda de temperatura y sistema antihielo de paletas alfa</i> ....	55

<b>Figura 32.</b>	<i>Panel de control de los tubos Pitot y paletas alfa del sistema antihielo</i> .....	56
<b>Figura 33.</b>	<i>Ventanas de la cabina de control</i> .....	57
<b>Figura 34.</b>	<i>Panel del sistema anticongelante de las ventana de la cabina de control</i> .....	59
<b>Figura 35.</b>	<i>Limpia parabrisas e interruptor de control</i> .....	60
<b>Figura 36.</b>	<i>Diagrama de bloques del Sistema contra hielo y lluvia</i> .....	61
<b>Figura 37.</b>	<i>Diagrama de flujo del sistema de protección contra hielo y lluvia en el simulador de vuelo</i> .....	63
<b>Figura 38.</b>	<i>Instalación eléctrica</i> .....	65
<b>Figura 39.</b>	<i>Iluminación de la cabina</i> .....	65
<b>Figura 40.</b>	<i>Parte estructural de la cabina del simulador terminada</i> .....	66
<b>Figura 41.</b>	<i>Descarga de plugins en X-Plane 11</i> .....	67
<b>Figura 42.</b>	<i>Versión de descarga de los plugin para HCSCI</i> .....	67
<b>Figura 43.</b>	<i>Cargar los plugin en X-Plane</i> .....	68
<b>Figura 44.</b>	<i>Instrumentos del simulador</i> .....	69
<b>Figura 45.</b>	<i>Hardware del simulador</i> .....	70
<b>Figura 46.</b>	<i>Configuración Home Cockpit SimControl Interface</i> .....	71
<b>Figura 47.</b>	<i>Soldadura de interruptores del sistema contra hielo y lluvia</i> .....	72
<b>Figura 48.</b>	<i>Multiplexor con entradas digitales del sistema contra hielo y lluvia</i> .....	72
<b>Figura 49.</b>	<i>Cableado del Arduino Mega</i> .....	73
<b>Figura 50.</b>	<i>Panel de instrumentos del sistema contra hielo y lluvia</i> .....	73
<b>Figura 51.</b>	<i>Conexión de las entradas analógicas</i> .....	74
<b>Figura 52.</b>	<i>Configurador de los indicadores del en HCSCI</i> .....	75
<b>Figura 53.</b>	<i>Indicador led Máster Caution</i> .....	76
<b>Figura 54.</b>	<i>Diagrama de conexionado del sistema anti hielo y lluvia en el simulador</i> .....	77
<b>Figura 55.</b>	<i>Colocación de los paneles</i> .....	78
<b>Figura 56.</b>	<i>Configuración y centrado de los instrumentos</i> .....	79
<b>Figura 57.</b>	<i>Diagrama de bloques durante la simulación</i> .....	79
<b>Figura 58.</b>	<i>Luces indicadoras del sistema antihielo del ala</i> .....	82
<b>Figura 59.</b>	<i>Palanca de empuje de motor 1</i> .....	82
<b>Figura 60.</b>	<i>Luz de indicación de ajuste y prueba del sistema antihielo del ala izquierda</i> .....	83
<b>Figura 61.</b>	<i>Palanca de empuje de motor n2</i> .....	83
<b>Figura 62.</b>	<i>Luz de indicación de ajuste y prueba del sistema antihielo del ala derecha</i> .....	84
<b>Figura 63.</b>	<i>Luz de indicación del sistema antihielo del capo de motor</i> .....	85
<b>Figura 64.</b>	<i>Indicación de válvula solenoide cerrada</i> .....	85

<b>Figura 65.</b>	<i>Válvulas en tránsito del sistema antihielo del motor</i> .....	86
<b>Figura 66.</b>	<i>Indicación por presión excesiva</i> .....	86
<b>Figura 67.</b>	<i>Luz de presión excesiva</i> .....	87
<b>Figura 68.</b>	<i>Indicación por sobre temperatura</i> .....	87
<b>Figura 69.</b>	<i>Palancas de empuje en el chequeo antihielo de motor</i> .....	88
<b>Figura 70.</b>	<i>Atenuación de la luz de válvula abierta del sistema contra hielo del motor</i> .....	88
<b>Figura 71.</b>	<i>Luz indicadora de TEMP PROBE</i> .....	89
<b>Figura 72.</b>	<i>Luces del Pitot estático, la sonda de temperatura, el calentador de la paleta alfa</i> ..	90
<b>Figura 73.</b>	<i>Interruptores de las ventanas y tubos pitot en OFF</i> .....	91
<b>Figura 74.</b>	<i>Interruptores A y B en posición OFF y luces indicadoras</i> .....	91
<b>Figura 75.</b>	<i>Luz de precaución maestra encendida</i> .....	92
<b>Figura 76.</b>	<i>Luces indicadoras "Pitot Static" con interruptor A en ON</i> .....	92
<b>Figura 77.</b>	<i>Indicador Aux Static</i> .....	93
<b>Figura 78.</b>	<i>Luces indicadoras "Pitot Static" con interruptor B en ON</i> .....	93
<b>Figura 79.</b>	<i>Interruptor "Pitot Stati" c apagado</i> .....	94
<b>Figura 80.</b>	<i>Indicador Aux Pitot</i> .....	94
<b>Figura 81.</b>	<i>Indicadores de los calentadores de los Tubo Pitot B</i> .....	95
<b>Figura 82.</b>	<i>Indicador del tubo Pitot del elevador izquierdo</i> .....	96
<b>Figura 83.</b>	<i>Indicadores de los calentadores de los Tubo Pitot B</i> .....	96
<b>Figura 84.</b>	<i>Indicador de Sonda de Temperatura</i> .....	97
<b>Figura 85.</b>	<i>Indicador de las ventanas 3 y 4 del lado izquierdo</i> .....	98
<b>Figura 86.</b>	<i>Indicador de las ventanas 1 y 2 del lado izquierdo</i> .....	98
<b>Figura 87.</b>	<i>Indicador de las ventanas 1 y 2 del lado derecho</i> .....	99
<b>Figura 88.</b>	<i>Indicador de las ventanas 3 y 4 del lado derecho</i> .....	99
<b>Figura 89.</b>	<i>Indicador de la luz de precaución maestra</i> .....	99
<b>Figura 90.</b>	<i>Indicadores OVHT de las ventanas</i> .....	100
<b>Figura 91.</b>	<i>Indicador de "master warming"</i> .....	100
<b>Figura 92.</b>	<i>Indicadores ON del sistema de calefacción de las ventanas apagadas</i> .....	101
<b>Figura 93.</b>	<i>Indicador de "master warming" apagada</i> .....	101
<b>Figura 94.</b>	<i>Indicadores de calefacción de las ventanas en ON</i> .....	102
<b>Figura 95.</b>	<i>Selector del sistema contra lluvia en posición baja</i> .....	103
<b>Figura 96.</b>	<i>Selector del sistema contra lluvia en posición baja</i> .....	104

## Resumen

El siguiente proyecto describe la implementación por medio de un software Home Cockpit SimControl Interface el chequeo operacional del sistema de protección contra hielo y lluvia usando el manual de mantenimiento ATA 30, en el simulador de vuelo Boeing 737-500 perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. El sistema se usa para proteger el avión y ayuda a los pilotos cuando operan en condiciones de hielo y lluvia. Para el protocolo de comunicación entre los controles de entrada y salida con X-Plane 11 se realizó una interfaz de control, la parte principal de la interfaz es el plugin Home Cockpit SimControl Interface que proporciona una data que se almacenara en Arduino Mega, este envía datos de control y activa o llama a varias funciones de X PLANE que se encarga de procesar los datos del simulador y envía los resultados a los dispositivos de salida para los cuales fueron usados 5 monitores conectados en red e indicadores led de los sistemas del simulador de vuelo. Como programa principal para efectuar el control del simulador se utilizó X PLANE que posee un intercambio de datos y el cual fue instalado en un CPU con un sistema operativo Windows. Se determinó cada interruptor involucrado en el sistema para su activación en los procedimientos adecuados del sistema, sea en tierra o en aire para evitar accidentes aéreos por congelación o formación de hielo en los perfiles aerodinámicos. Mediante el manual de mantenimiento aeronáutico se estableció los respectivos chequeos para realizar el caza fallos de sistemas térmicos anti hielo (TAI), sistemas eléctricos anti hielo y sistemas anticongelantes para los desagües de los baños. Finalmente se establece la localización de los controles de vuelo referentes al tema del proyecto de titulación, así como también las conclusiones y recomendaciones que se obtienen mientras se llevó a cabo el proyecto de grado.

Palabras clave:

- **SISTEMAS ANTICONGELANTES**
- **INTERFAZ DE CONFIGURACIÓN Y CONTROL DE CABINA**
- **SOFTWARE X-PLANE**

**Abstract**

The following project describes the implementation by means of a Home Cockpit SimControl Interface software the operational check of the ice and rain protection system, using ATA 30 maintenance manual, in the Boeing 737-500 flight simulator belonging to the Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. The system is used to protect the aircraft and assist pilots when operating in icy and rainy conditions. For the communication protocol between the input and output controls with X-Plane 11 a control interface was made, the main part of the interface is the Home Cockpit SimControl Interface plugin that provides data to be stored in Arduino Mega, it sends control data and activates or calls several functions of X PLANE that is responsible for processing the simulator data and sends the results to the output devices for which 5 networked monitors and LED indicators of the flight simulator systems were used. The main program used to control the simulator was X PLANE, which has a data exchange and was installed on a CPU with a Linux operating system. Each switch involved in the system was determined for its activation in the appropriate procedures of the system, either on the ground or in the air to avoid air accidents due to freezing or icing of the airfoils. By means of the aeronautical maintenance manual, the respective checks were established to perform the trouble shooting of thermal anti-icing (TAI) systems, electrical anti-icing systems and anti-icing systems for the bathroom drains. Finally, the location of the flight controls referring to the subject of the degree project is established, as well as the conclusions and recommendations obtained while the degree project was carried out.

Key words:

- **ANTI-ICE SYSTEMS**
- **CONFIGURATION INTERFACE AND CABIN CONTROL**
- **X-PLANE SOFTWARE**

## Capítulo I

### 1. Generalidades

#### 1.1. Tema

Implementación del sistema de protección contra hielo y lluvia, mediante el uso del manual de mantenimiento ATA 30, en el simulador de vuelo Boeing 737-500 perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

#### 1.2. Antecedentes

En la actualidad un simulador de vuelo puede representar el interior de una cabina de avión y este puede adoptar ciertas funciones que se encuentran en el mismo. Los avances que se han realizado en los sistemas de protección contra hielo y lluvia son muy significativos, los cuales han evitado que se produzcan accidentes aéreos por condiciones meteorológicas que provocan la formación de hielo en los perfiles aerodinámicos de una aeronave. En consecuencia, la formación de hielo en aeronaves degrada el rendimiento y capacidad de control y aumenta significativamente la carga de trabajo del piloto y el consumo de combustible del avión.

En la Universidad San Buenaventura de Bogotá Colombia en el año 2010, Daniel Arturo Malagón Enemocon, Jhonatan Guillermo Aguirre Victoria y Juan Carlos Benavides Zapata en su proyecto de grado titulado “Diseño y construcción de un banco de simulación para el sistema anti ice del borde de ataque de la aeronave Airbus 320” determino que se busca analizar el proceso de calentamiento durante las etapas de vuelo en las que se presentan bajas temperaturas y humedad visible durante el desarrollo del vuelo, para evitar la formación de hielo en los perfiles aerodinámicos de la aeronave. (Daniel Malagon, 2010)

Un estudio de la NTSB (National Transportation Safety Board) sobre accidentes de aeronaves entre 1994 y 2003 ha demostrado que aproximadamente el 21% están relacionados con el tiempo adverso y el 7% están relacionados con el congelamiento.



En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE se dispone con el simulador de vuelo del Boeing 737-500 en el cual se pretende comprobar el funcionamiento del sistema antihielo y lluvia, como se realiza el chequeo operacional de cada equipo que lo componen, sus luces de advertencia en condiciones de climas extremos o en el momento de existir presencia de hielo en algún sistema y su respectivo caza fallas basándose en el manual de mantenimiento aeronáutico de Boeing

### **1.3. Planteamiento del problema**

La Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, cuenta con un simulador de vuelo, pero este no posee las adaptaciones y equipos adecuados para proveer un aprendizaje consistente, de alta calidad y que permita eliminar divergencias durante el entrenamiento de los estudiantes en la toma de decisiones al presentarse un desperfecto o fallo en el sistema de protección contra hielo y lluvia. Por lo que la falta de operación de este sistema puede desencadenar en accidentes aéreos sino se brinda una correcta instrucción a los estudiantes.

La formación de hielo sobre la superficie de las aeronaves recibe el nombre de congelamiento y es la principal causa de siniestralidad aérea en el mundo. Los fenómenos climatológicos pueden representar graves problemas sobre una superficie aerodinámica en el momento de que exista formación de hielo ya que cambia sus propiedades, reduciendo la sustentación y aumentando la resistencia para un ángulo de ataque determinado lo que puede ocasionar que el avión entre en pérdida

La presencia de hielo en el área de la cola puede ser causa de pérdida de control del movimiento de cabeceo cuando se usan los flaps. Se debe también considerar que si el sistema de protección contra hielo falla se puede presentar errores en los sistemas de lectura de información en vuelo, como lo es el tubo Pitot, y que genera de igual manera un alto riesgo para la seguridad de la aeronave por lo que el sistema debe estar siempre operativo en vuelo

### **1.4. Justificación**

El simulador tiene una gran importancia ya que posee un software y hardware que ofrece a los estudiantes la oportunidad de ver físicamente los diversos componentes y funciones del sistema para comprender el modo de operación ante una posible falla o el correcto procedimiento que se debe llevar a cabo al realizar un ajuste o prueba.

Con el simulador de vuelo Boeing 737-500 se busca imitar una situación en la que un perfil aerodinámico presente hielo, permitirá a los estudiantes conocer los mensajes de alerta e indicaciones visuales que se activan como alerta, así se puede garantizar que los conocimientos adquiridos en clase se puedan plasmar de una manera más real para ayudar a la formación de los estudiantes

## **1.5. Objetivos**

### ***1.5.1. Objetivo general***

- Implementar el sistema de protección contra hielo y lluvia, mediante el uso del manual de mantenimiento ATA 30, en el simulador de vuelo Boeing 737-500 perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE para verificar su funcionamiento y el procedimiento a seguir ante un alerta o fallo.

### ***1.5.2. Objetivos específicos***

- Identificar las partes estructurales que conforma el sistema de protección contra hielo y lluvia
- Implementar el sistema de protección contra hielo y lluvia que permita tener un adecuado funcionamiento en el simulador.
- Realizar un chequeo operacional del sistema de protección contra hielo y lluvia

## **1.6. Alcance**

El simulador de vuelo Boeing 737-500 permitirá dar una mejor imagen a las carreras relacionadas con aviación, ayudará a que los conocimientos teóricos se los pueda aplicar de una manera práctica para que todos los estudiantes se encuentren preparados para el momento de realizar una labor de mantenimiento

El proyecto cuando se encuentre terminado simulará el funcionamiento del sistema de protección contra hielo y lluvia presente en las aeronaves, formará parte del desarrollo cognitivo de los estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”. Permitirá que cada estudiante tenga una idea más clara de cómo se realizan los chequeos operacionales que se encuentran dados por los fabricantes

## Capítulo II

### 2. Fundamentación teórica

#### 2.1. Historia y evolución del simulador de vuelo

En 1909 fue inventado el “entrenador de vuelo”, para poder entrenarse adecuadamente en el vuelo del “Antoinette”. El dominio de los controles de vuelo comprendía la instrucción básica de este simulador. Este entrenador de vuelo se compone de un barril partido por la mitad, como asiento del piloto y las ruedas descritas anteriormente. Otro miembro de la tripulación ayuda al piloto con los movimientos solicitados por el piloto, utilizando largas varas de madera unidas al barril. Este entrenador fue denominado “Entrenador barril Antoinette”. En la galería del Airbus Training Centre en Toulouse, Francia se puede observar este simulador (Guerra, 2012)

#### Figura 1.

*Primer simulador de vuelo*



*Nota.* La imagen muestra el primer simulador de vuelo denominado “Entrenador barril Antoinette”. Tomado de (Guerra, 2012)

Uno de los primeros simuladores fue el "Sander Teacher", el cual podía inclinarse y girar libremente, debido a que estaba montado en una articulación universal. Entre 1914 y 1930, se diseñaron y probaron diversos dispositivos electromecánicos durante la Primera Guerra Mundial, uno de ellos fue el "Link Trainer" que simulaba el movimiento mecánico, y posteriormente se introdujeron los instrumentos de control. (Gallo, 2017)

Desde el comienzo de la Segunda Guerra Mundial, la industria de la aviación ha experimentado cambios tremendos y el mundo de la simulación aérea también se ha desarrollado rápidamente. Simuladores como el " Celestial Navigation Trainer " se desarrollaron en 1941, en el que la tripulación de un bombardero se entrenaba para misiones nocturnas (Gallo, 2017)

**Figura 2.**

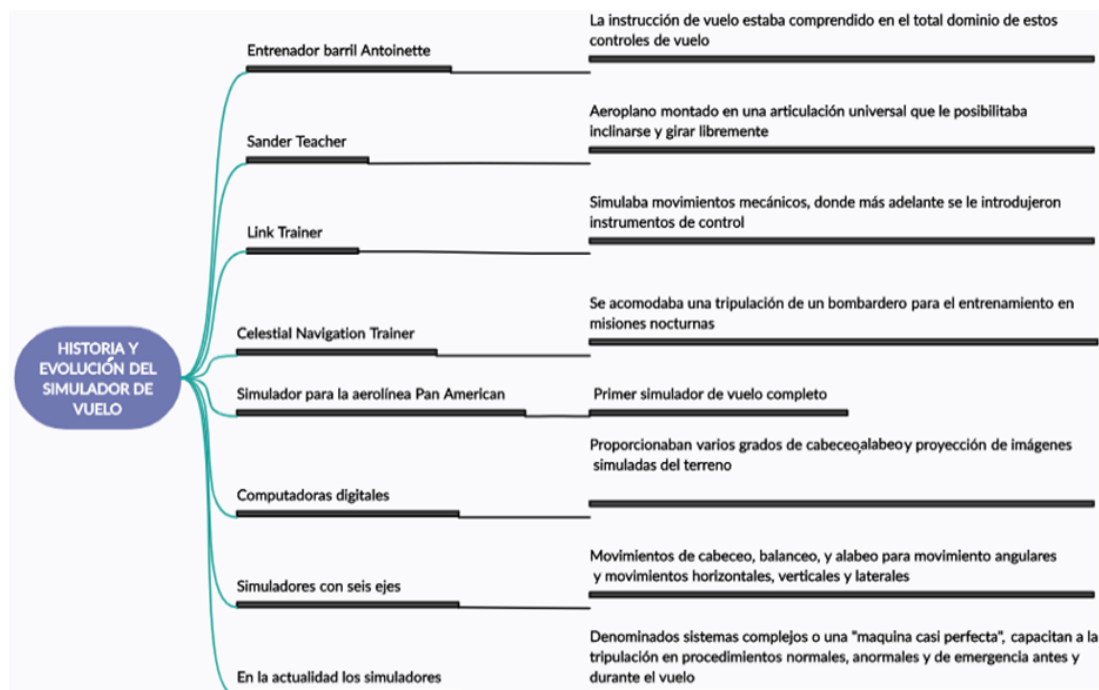
*Simulador de vuelo Celestial Navigation Trainer*



*Nota.* La imagen muestra a Ed Link y Philip Van Horn Weems en un entrenador de navegación celestial Link. Tomado de (Binghamton, s.f.)

En 1948, Curtiss-Wright desarrolló un simulador para Pan American Airlines, que fue el primer simulador de vuelo completo. Ya en la década de 1960, se utilizaron computadoras digitales, las cuales proporcionaban varios grados de cabeceo-ladeo y proyección de imágenes simuladas del terreno; así mismo, se construyen simuladores con seis ejes de movimiento. (Gallo, 2017)

En el mundo de hoy, los simuladores de vuelo se han convertido en una valiosa herramienta para el entrenamiento y la educación de los pilotos; los simuladores vienen en una variedad de formas y tamaños, con muchos que van desde sistemas de entrenamiento básicos hasta aquellos con seis ejes de movimiento. La función principal es entrenar a la tripulación en procedimientos normales, anormales y de emergencia antes y durante el vuelo; circunstancias donde las maniobras en la vida real no se puede realizar, por el alto precio económico, riesgoso y peligroso que puede resultar, en el entrenador de vuelo se tienen la oportunidad de practicar variedad de situaciones, como vientos de cola, falla de motores, falla de sistemas hidráulicos, , pérdida de controles de vuelo, pérdida de potencia entre otros. (Gallo, 2017)

**Figura 3.***Línea de tiempo del simulador de vuelo*

*Nota.* La imagen muestra una línea de tiempo del simulador de vuelo con su respectiva característica más relevante. La imagen fue creada en Creately, un programa para elaborar mapas conceptuales

## 2.2. Investigación del proyecto

El simulador de vuelo aparece con la necesidad de ser un instructor de vuelo para los pilotos principiantes, para que tengan conocimiento de maniobras tanto en tierra como en el aire, sirve para que se relacionen con maniobras que se deben llevar a cabo durante factores ambientales o incluso en situaciones de fallas en la aeronave.

En los últimos años Boeing y Airbus han invertido en crear sus propios centros de formación, con simuladores de vuelo de alta gama que poseen un sistema de movimiento de hasta 6 ejes de libertad, una vista horizontal de 150° para el piloto y mejor fidelidad de manejo en los controles de vuelo. Proporciona una mejor calidad en el entorno de la cabina con sonidos realistas, efectos especiales de movimiento y buena calidad de imágenes. En la actualidad los

dispositivos de entrenamiento de simulación de vuelo tienen niveles de calificación acorde a su desempeño operacional y requisitos de entrenamiento que cumplen en vuelo y en tierra.

En la actualidad el sistema contra hielo y lluvia presente en los simuladores de vuelo se sigue desarrollando. “*Microsoft Flight Simulator*” proporciona un ambiente de mayor realismo en el sistema de alerta al presentarse formación de hielo en los perfiles aerodinámicos. El simulador de vuelo Phantom 320 es la revolución de la tecnología, posee para todos sus sistemas “plug and play” conectar y usar. Permite ingresar a la interfaz a distancia, lo que lo que facilita las labores de mantenimiento. Posee un software DJI Flight Simulator, un software de entrenamiento de pilotos profesional

La elección del software Home Cockpit SimControl Interface para este proyecto es debido a que es la última generación en la interfaz input-output para X-Plane. Posee un sistema mejorado en el momento de conectar el plugin al firmware de la placa maestra

### **2.3. Situación actual del simulador de vuelo**

El simulador de vuelo creado en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE posee la capacidad de recrear situaciones de vuelo a las que se puede enfrentar un piloto, permite que se realice chequeos operacionales de distintos sistemas para la educación de un técnico de aviación. En la actualidad los diferentes simuladores permiten el entrenamiento de una manera más real, ya que poseen sistemas hidráulicos que reproducen los distintos movimientos que se perciben en la cabina de una aeronave. El simulador que se realizó en la ESPE tiene la capacidad de colocar a un piloto frente condiciones adversas como fallas de motor, falla de instrumentos o colisiones con otras aeronaves. Los dispositivos de entrenamiento de vuelo aparentan el funcionamiento y rendimiento de aviones por lo que se clasifican en diferentes niveles, dependiendo la adecuación de sus componentes.

### **2.4. Componentes del simulador**

#### **2.4.1. Interruptores.**

“Existen varios tipos de interruptores en la cabina del avión, se pueden encontrar diferentes combinaciones: interruptores de conmutación simples con dos estados ON-OFF fijos, interruptores de alternancia con tres posiciones ON-OFF-ON, interruptores de balancín,

interruptores de pulsador con acción alternativa (fija) o momentánea.” (HCSCI, Simulador de software de interfaz de control, 2012)

**Figura 4.**

*Interruptores de dos y tres posiciones en la aeronave*



*Nota.* La imagen posee interruptores de diferente alternancia que poseen estados fijos e interruptores de estados momentáneos. Tomado de (Cockpit, 2012)

#### **2.4.2. Indicadores LED**

Las salidas digitales son señales que presentan dos estados, encendido o apagado y se pueden utilizar para controlar anunciadores, luces, relés, banderas, es decir, todos los dispositivos de salida de dos estados o acústicos que están en la cabina de la aeronave. Su propósito principal es controlar anunciadores e indicadores de modo (Cockpit, 2012)

**Figura 5.**

*Indicadores led*



*Nota.* Salida de señales digitales mediante indicadores led. Tomado de (Cockpit, 2012)

#### **2.4.3. Selector multiposición**

Los selectores multiposición son esenciales en el sistema de control de la aeronave. Este selector permite controlar un parámetro con más de dos estados, como seleccionar un modo para equipos de radio, seleccionar la velocidad del limpiaparabrisas, determinar el rango de mapa, y seleccionar el origen de navegación. También actuadores de control como la palanca de las aletas se pueden considerar un selector multiposición. (HCSCI, Simulador de software de interfaz de control, 2012)

**Figura 6.**

*Interruptores giratorios multiposición*



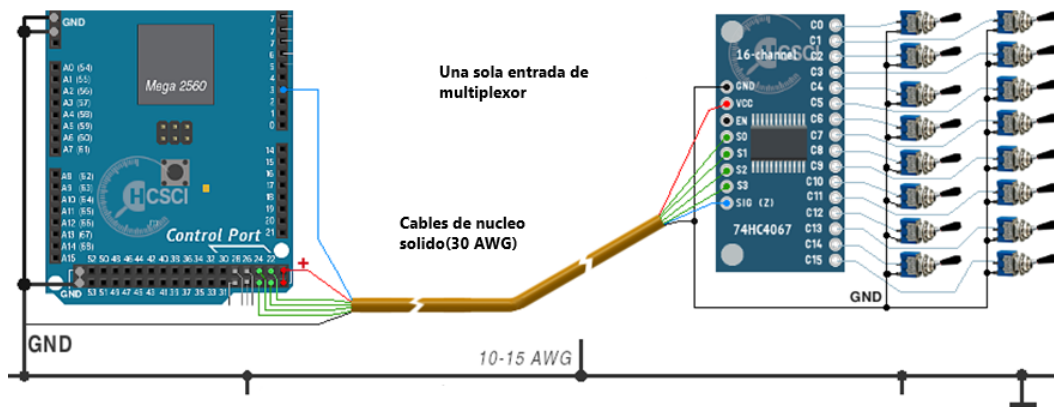
*Nota.* La imagen muestra la variedad de los instrumentos que usan interruptores giratorios multifunción. Tomado de (HCSCI, Simulador de software de interfaz de control, 2012)

**2.4.4. Multiplexor 74HC4067 para las entradas**

El multiplexor es un dispositivo CMOS con 16 canales, con cuatro entradas de dirección. Solo se requieren 4 cables para conectar todos los multiplexores de entrada, con 4 líneas de dirección comunes: S0, S1, S2, S3 (o pines #22, 23, 24, 25) y, por supuesto, 2 líneas eléctricas: +5V y tierra común (GND) para todas las placas. La salida “sig” de cada multiplexor debe conectarse directamente al pin designado en el configurador para esta extensión de entrada. (HCSCI, Simulador de software de interfaz de control, 2012)

**Figura 7.**

*Diagrama de conexión de las entradas multiplexeadas*



*Nota.* La imagen muestra las entradas del sistema de cableado HCSCI. Obtenido de (HCSCI, Simulador de software de interfaz de control, 2012)



#### **2.4.5. Arduino**

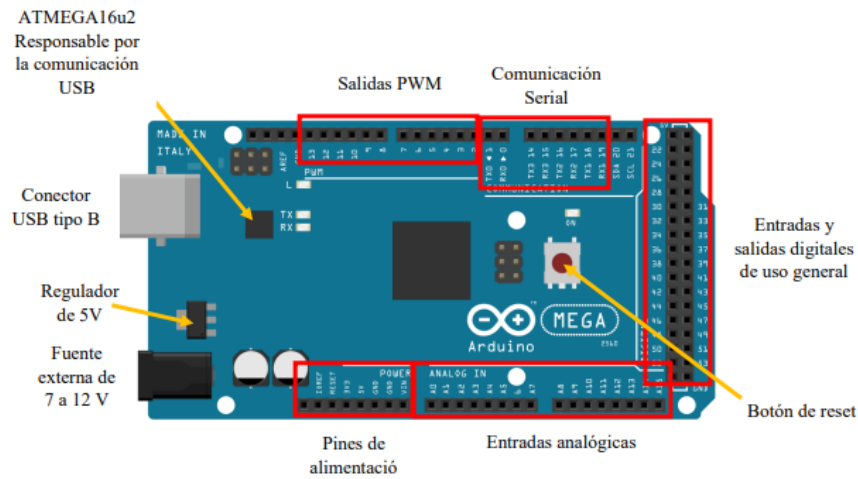
Según (ARDUINO, 2018), afirma que:

Arduino es parte de una gama en la electrónica de código abierto que se fundamenta en hardware y software fácil de usar. Las placas de Arduino son capaces de leer entradas de luz en un sensor, un dedo en un botón, o un mensaje de Twitter y convertirlo en una salida, la activación de un motor, encender un led. Se puede indicar a la placa Arduino qué función va a cumplir cada pin, dependiendo de la configuración realizada en Home Cockpit SimControl Interface, enviando un conjunto de instrucciones al microcontrolador que forma parte de la placa Arduino. Para ello se utiliza el lenguaje de programación Arduino, y el software Arduino, basado en el procesamiento.

#### **2.4.6. Arduino Mega 2560**

Es una placa de microcontroladores basado en el ATmega2560. En su estructura consta de 54 pines digitales de entrada-salida (de los cuales 15 permiten salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos serie de hardware), tiene un oscilador de cristal de 16 MHz, se abastece de una conexión USB, permite un conector de alimentación y un botón de reinicio.

Abarca todo lo necesario para sustentar el microcontrolador; para la alimentación se conecta a una computadora con un cable USB al conector tipo B del microcontrolador, con un adaptador de corriente alterna (AC) que lo convierte a corriente continua (DC) a la fuente externa de 7 a 12 V, o batería para comenzar. (ARDUINO, 2018)

**Figura 8.***Características del Arduino mega*

*Nota.* La imagen muestra las partes de un Arduino mega y sus respectivas características.

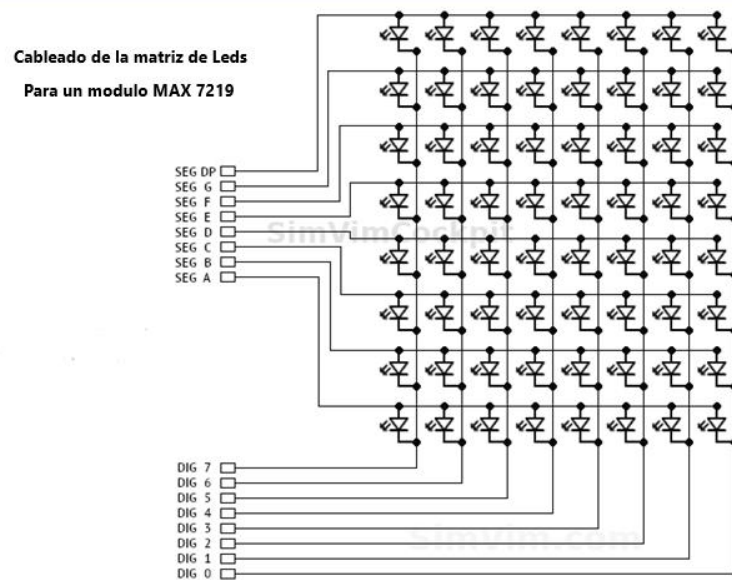
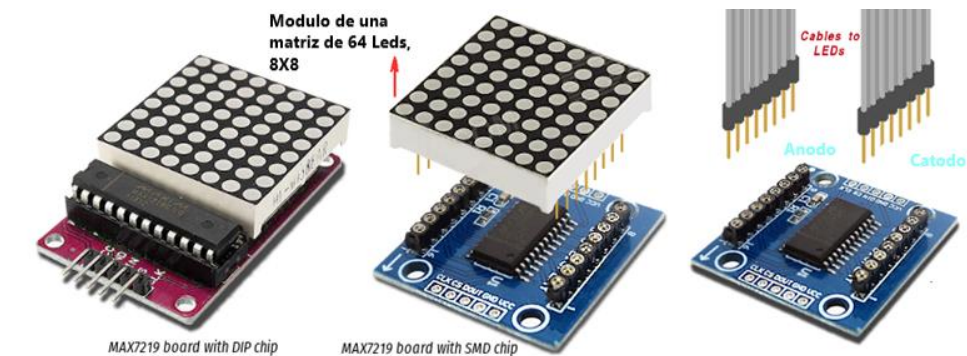
Tomado de (Torrente Artero, 2013)

#### **2.4.7. Max 7219 para las salidas**

El MAX7219 es un controlador de pantalla de cátodo común, de interfaz de microprocesador ( $\mu$ P). Solo se necesita una resistencia externa para configurar la corriente del segmento para todos los LED. Se pueden utilizar hasta 64 LED con el controlador MAX7219. Este es el mismo controlador que se usa para las pantallas de 7 segmentos. (HCSCI, Home Cockpit Simulador de software de interfaz de control, 2012)

Figura 9.

Conexión del Max 7219



*Nota.* La imagen muestra el Max 7219 y la matriz de cómo deben estar conectados para su funcionamiento. Tomado de (HCSCI, Simulador de software de interfaz de control, 2012)

#### 2.4.8. Paneles del sistema contra hielo y lluvia

Para la colocación de los interruptores y luces indicadoras es necesario la colocación de los paneles, esto genera un ambiente más realista de la cabina de un avión. El sistema contra hielo posee interruptores para evitar la formación de hielo en áreas del ala, motores, tubos Pitot, paletas antihielo alfa y ventanas. Los paneles poseen luces indicadoras que muestran el estado de las válvulas para la entrada del aire de sangrado en el motor y alas, permiten observar el estado de los calentadores eléctricos de los tubos Pitot, sonda de temperatura, paletas antihielo alfa, tubos Pitot de los elevadores, además generan avisos luminosos para el sistema de calefacción de las ventanas.

Todas las luces indicadoras son usadas en el momento de realizar el chequeo operacional del sistema contra hielo. Para el sistema contra lluvia es necesario la colocación de selectores multiposición en el panel para poder regular la velocidad del limpiaparabrisas del lado derecho e izquierdo

**Figura 10.**

**Panel del sistema contra hielo**



*Nota.* En la imagen se muestra el panel que pertenece al sistema contra hielo y lluvia con sus respectivos interruptores y luces indicadoras colocadas

## 2.5. Software

### 2.5.1. Plugin Home Cockpit SimControl Interface Software

Según (HCSCI, Simulador de software de interfaz de control, 2012) afirma que

El componente principal de la interfaz entre los controles de entrada y salida con X-Plane 11 es el complemento Home Cockpit SimControl Interface, que logra lo siguiente:

- Otorga un protocolo de comunicación con el firmware Home Cockpit SimControl Interface en la placa Arduino y el software Home Cockpit SimControl Interface del tablero de instrumentos.
- Recibe datos de control de la entrada del Arduino, que se usan para activar funciones Home Cockpit SimControl Interface que permiten simular una lógica de un dispositivo específico o llamar a diversas funciones de X-Plane.
- Procesa los datos del simulador y envía los resultados a los dispositivos de salida a través del firmware Home Cockpit SimControl Interface en un formato determinado, teniendo en cuenta el tipo de salida, el tipo de dispositivo predefinido y un conjunto de condiciones.

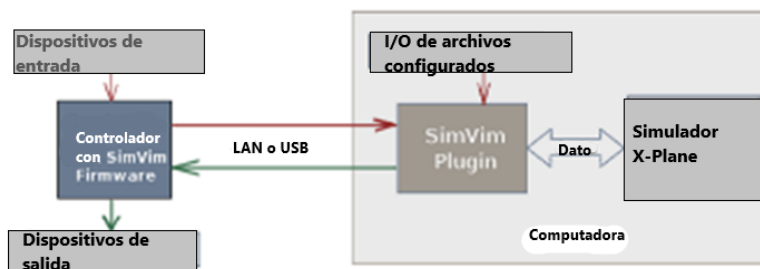
### 2.5.2. Flujo de datos Plugin

Home Cockpit SimControl Interface puede conectarse mediante ethernet de área local o USB. El protocolo de comunicación se sincroniza con las tramas de X-Plane, y la sincronización de fotogramas por segundo se utiliza como "luces estroboscópicas" para definir el final de cada trama (puede ver el LED RX parpadeante cuando se usa USB) para sincronizar más eficazmente los datos de entrada-salida y evitar perder cualquier bit de paquete de datos. (HCSCI, Herramientas de cabina para el hogar, 2012)

"Los complementos que interactúan con programas y dispositivos externos deben considerar que solo pueden enviar y recibir datos a las velocidades permitidas por fotogramas X-Plane que es de 20 fotogramas por segundo". (HCSCI, Herramientas de cabina para el hogar, 2012)

**Figura 11.**

*Secuencia de inicio del flujo de datos*



*Nota.* La imagen contiene la secuencia de inicio del flujo de datos. Tomado de (HCSCI, Herramientas de cabina para el hogar, 2012)

### 2.5.2.1. *Secuencia de inicio Plugin*

- 1) El firmware del controlador y el plugin se localizan entre sí al inicio, y el plugin establece la conexión con el controlador.
- 2) Plugin lee todos los archivos de configuración de datos, crea todas las variables necesarias para los datos, diferentes tipos de entradas-salidas y dispositivos de salida.
- 3) Firmware se encarga de enviar una serie de solicitudes de configuración al complemento.
- 4) Plugin envía datos de configuración en cada solicitud.
- 5) El firmware está asignado para configurar puertos del controlador para entradas-salidas, guarda las opciones de parámetros recibidos para el entorno de entrada-salida.
- 6) El firmware envía el estados o posición en la que se encuentran todas las entradas (interruptores, eje analógico). Permite que el plugin envíe datos y espera.
- 7) Plugin envía todos los valores de salida actuales en un paquete (o varios, en las siguientes tramas de X-Plane).
- 8) Firmware envía todos los datos recibidos a las funciones de salida (LED, pantallas). (HCSCI, Herramientas de cabina para el hogar, 2012)

### 2.5.2.2. *Ciclo de trabajo plugin*

- 1) El firmware analiza y guarda todas las entradas configuradas, y espera una señal estroboscópica o un paquete de datos del complemento. Cuando el firmware recibe los datos, envía solo los estados de entrada cambiados (posiciones interruptor/botón, posiciones de eje analógicas y pasos de recuento de codificadores) al plugin.
- 2) En cada trama X-PLANE el plugin procesa los datos recibidos, comprueba todas las condiciones asignadas para desactivar, habilitar o cambiar los parámetros de entrada, y envía todos los cambios a X-Plane: ejecuta comandos, cambia datarefs o invoca algunas Funciones específicas de Home Cockpit SimControl Interface.
- 3) Como resultado de la configuración, el complemento lee datos de las variables X-Plane, verifica todas las condiciones asignadas a la salida (deshabilita, habilita o cambia la fuente de algunas salidas) y envía el paquete de datos de salida al controlador. Envíe únicamente datos que hayan cambiado desde el último fotograma. Si no hay cambios en los datos de salida, solo se envía la señal estroboscópica.

- 4) El firmware HCSCI tiene el potencial de enviar datos a una velocidad de 1000 veces por segundo, pero lo hace en cada fotograma X-Plane

### **2.5.3. Software de X-Plane**

X-Plane es un simulador de vuelo producido por Laminar Research y creado por Meyer. Se trata de un simulador muy preciso, basado en el cálculo del efecto del flujo de aire sobre las superficies de los aviones simulados. La Administración Federal de Aviación (FAA) de Estados Unidos de América ha admitido su uso, con hardware específico, para la práctica de pilotos de vuelo instrumental. (MTAdmin, 2021)

El objetivo de este simulador es brindar una experiencia de vuelo lo más realista posible. Para ello, posee una variedad de aviones simulados, desde los más sencillos hasta los grandes reactores de línea y, además, una recreación del planeta tierra con sus principales accidentes geográficos y alrededor de 18.000 aeropuertos, aeropuertos y helipuertos, así como portaaviones en los que realizar sus prácticas de vuelo. (MTAdmin, 2021)

(X PLANE, 2021), menciona que “el simulador de vuelo puede admitir tres tipos principales de complementos”:

- Modelos de aeronaves
- Paisaje
- Plugin

### **Figura 12.**

*Logo de X Plane Flight Simulator*



*Nota.* La figura muestra el logo actual del simulador de vuelo X-plane. Tomado de (Mypilotstore, 2021)

## 2.6. Protocolo de comunicación

UDP o User Datagrama Protocol es un protocolo que permite que los datos se transmitan sin una conexión previa; de esta forma, la información se puede enviar muy rápidamente sin confirmar la conexión y esperar la respuesta para recibir el paquete de datos correctamente. UDP permite que los datagramas se envíen a través de la red sin establecer una conexión por adelantado, porque el propio datagrama contiene suficiente información de direccionamiento en su encabezado. No posee confirmación ni control de flujo, por lo que los paquetes o información pueden adelantarse entre sí y no se sabe si han llegado todos correctamente porque no hay confirmación de entrega ni de recepción. Se utiliza principalmente para transmitir audio y video. (infotecs, 2020)

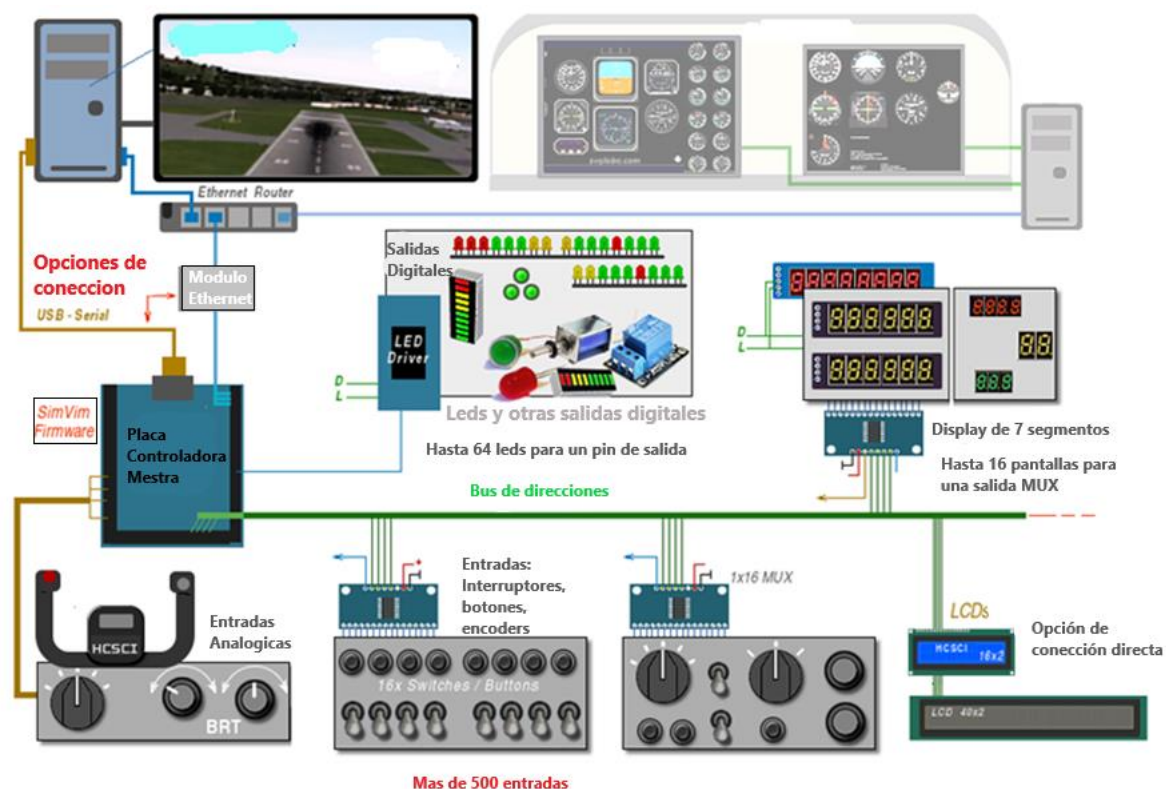
## 2.7. Hardware Home Cockpit SimControl Interface

- Sólo un Arduino Mega se utiliza como unidad de control central del sistema.
- Utilizando multiplexores de entrada y controladores de salida, el número de entradas/salidas se puede aumentar considerablemente.
- Los paneles LCD, los motores paso a paso, los servos motores y una matriz de teclas se controlan mediante placas controladoras de "esclavas" adicionales
- Se pueden asignar como entradas o salidas a todos los pines que se encuentran disponibles en el configurador. (HCSCI, Home Cockpit Simulador de software de interfaz de control, 2012)



**Figura 13.**

*Hardware de entradas y salidas a los paneles*



*Nota.* La imagen enseña las entradas y las salidas digitales presentes en el simulador. Además, muestra el ambiente de los controladores de vuelo y el monitor. Tomado de (HCSCI, Home Cockpit Simulador de software de interfaz de control, 2012)

## 2.8. Funcionamiento Home Cockpit SimControl Interface (HCSCI) para configuración

La principal herramienta de HCSCI es el configurador en línea, que es una interfaz de usuario que consiste en mapas de imágenes de diseño que representan todos los sistemas de aeronaves con todos los parámetros HCSCI correctos. Permite configurar rápidamente cualquier panel de cabina que incluya elementos de control, instrumentos o módulos similares. (HCSCI, Simulador de software de interfaz de control, 2012)

**Figura 14.**

*Configuración de pines en Home Cockpit SimControl Interface*



*Nota.* La imagen muestra la configuración de un pin perteneciente al interruptor del sistema antihielo del ala aeronave. Tomado de (Cockpit, 2012)

## 2.9. Simulación del panel Home Cockpit SimControl Interface

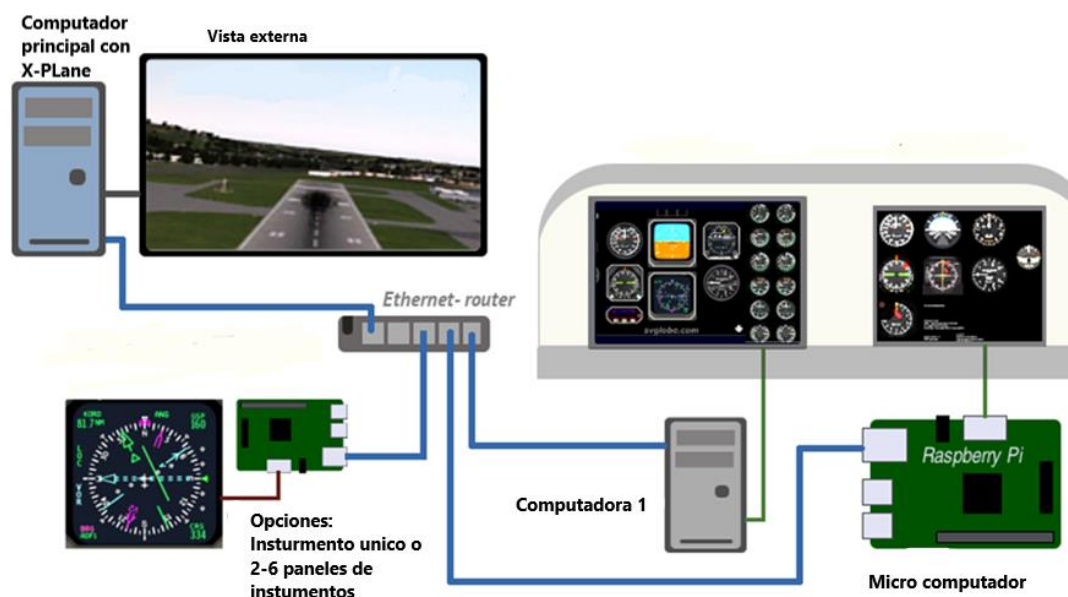
HCSCI Panel es un programa que brinda un conjunto de instrumentos de aeronaves realistas y completamente funcionales que se pueden mostrar en una computadora conectada a la computadora principal de X-Plane a través de una red. El sistema está elaborado para que cualquier número de computadoras con diferentes paneles de control se puede conectar a la computadora principal que ejecuta X-Plane. (HCSCI, 2012)

La aplicación no necesita ninguna configuración en nombre del usuario. Se conectan automáticamente las computadoras al descargarse el plugin HCSCI para X-Plane y al ejecutarlo. Los propios paneles de instrumentos están dimensionados para imitar con precisión la funcionalidad y las posiciones de los instrumentos del mundo real en aeronaves específicas. Cada

instrumento está hecho para imitar al original y tiene dimensiones de la vida real en los paneles LCD elegidos. HCSCI Panel no es un constructor, sino más bien una colección de paneles listos para usar para aeronaves específicas. (HCSCI, Home Cockpit Simulador de software de interfaz de control, 2012)

**Figura 15.**

*Paneles de instrumentos conectados a través de HCSCI al computador*



*Nota.* La imagen muestra paneles de instrumentos conectados a la computadora principal. Tomado de (HCSCI, Home Cockpit Simulador de software de interfaz de control, 2012)

## 2.10. Programa del panel Home Cockpit SimControl Interface

HCSCI Panel es un programa independiente que proporciona un conjunto de tableros de instrumentos de aeronaves realistas y completamente funcionales que se pueden mostrar en una computadora conectada a otra computadora principal de X-Plane a través de una red. La aplicación no requiere un sistema potente, cualquier PC antiguo con una frecuencia de procesador de alrededor de 1000Mhz es suficiente. Arduino Mega es totalmente compatible y se puede utilizar con cualquier panel HCSCI. (HCSCI, Simulador de software de interfaz de control, 2012)

**Figura 16.**

*Panel de instrumentos*



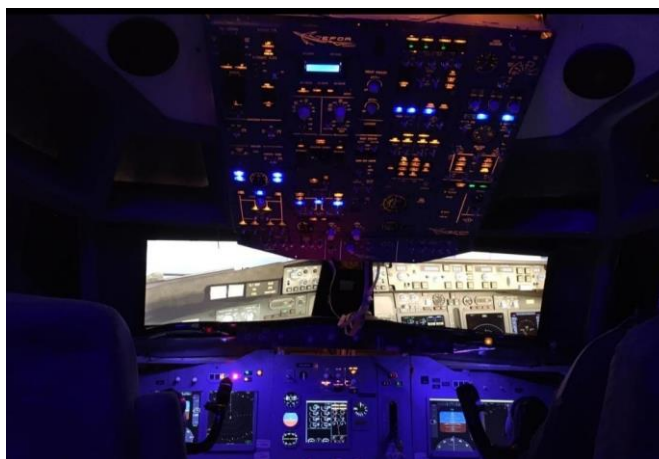
*Nota.* En la figura se muestra un panel de instrumentos usando HCSCI. Tomado de (HCSCI, Simulador de software de interfaz de control, 2012)

### **2.11. Simulador de vuelo**

Los simuladores de vuelo son instrumentos que permiten reproducir el vuelo de un avión y varios aspectos del entorno del vuelo. Es así como los simuladores de vuelo pueden reproducir fielmente los mandos y controles de las aeronaves, las situaciones por las que puede pasar en vuelo o en tierra, las maniobras a efectuarse en momentos del despegue o aterrizaje, condiciones climáticas, etc. De esta forma el piloto tiene conocimiento previo al vuelo real, lo que se deduce en un correcto manejo de la aeronave y una gran disminución en el riesgo de usar la aeronave por primera vez. (Malpartida Valverde, 2014)

**Figura 17.**

*Entorno de un simulador de vuelo*



*Nota.* La imagen muestra el entorno que compone un simulador de vuelo terminado en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

## **2.12. Clasificación, propósito y características mínimas de los simuladores de vuelo**

Para poder obtener un simulador de vuelo en donde sea una réplica exacta a escala normal de la cabina de pilotaje de un tipo particular de aeronave o ya sea que utilice la misma cabina para varios tipos de aeronave se debe incluir : el ensamblaje del equipo y los programas informáticos necesarios para representar la operación de la aeronave en tierra y en vuelo, un sistema visual que provee visión exterior desde la cabina de pilotaje y un sistema de movimiento que simula las fuerzas de la aeronave este último mencionado es opcional ya que no todos los simuladores son creados con el mismo propósito, este debe satisfacer los requisitos mínimos para la calificación del simulador de vuelo y obtener una categoría o nivel de simulador que la OACI determina mediante pruebas. (LAR 121, 2018, pág. 14)

### **2.12.1. Nivel A**

Permite el procedimiento y ejercicio de las aptitudes esenciales para la realización de tareas de operaciones de vuelo de acuerdo con una norma establecida de competencia del personal aeronáutico, en una aeronave y posición de trabajo específica. Pueden ser utilizados para los requerimientos de experiencia reciente de un piloto específico y para los requerimientos de instrucción de tareas de operación de vuelo durante la instrucción de transición, promoción, periódica y de recalificación bajo la RDAC. Cuenta con exhibición de sistemas, interruptores y controles, los cuales son utilizados por el diseño de tipo o clase de la aeronave y por el programa de instrucción aprobado del explotador. Tiene sistemas que responden acertadamente y con requerimiento a los interruptores y controles de la aeronave a ser simulada (RDAC 142, 2011, págs. 28, 29)

### **2.12.2. Nivel B**

Admite el desarrollo y ejecución de las aptitudes necesarias para la efectuar las tareas de operaciones de vuelo, de acuerdo con una norma establecida de la competencia del personal aeronáutico, en una aeronave y posición de trabajo específica. Pueden también ser utilizados para la instrucción inicial de nuevo empleado e inicial en equipo nuevo en eventos específicos y para realizar despegues y aterrizajes nocturnos y aterrizajes en verificaciones de la competencia. Cuenta con un sistema gráfico de sistemas, interruptores y controles, que son requeridos por el diseño de tipo de la

aeronave y por el programa de instrucción aprobado. Brinda correcta simulación de las características aerodinámicas (incluyendo el efecto tierra) y dinámicas en tierra de la aeronave a ser simulada. Presenta correcta simulación de los efectos de las condiciones climáticas seleccionadas, que podría encontrar la aeronave simulada. Tiene control de fuerzas y de recorridos de mandos que pertenecen a la aeronave (RDAC 142, 2011, págs. 29, 30)

#### **2.12.3. Nivel C**

Admite el procedimiento y práctica de las aptitudes necesarias para la realización de tareas de operaciones de vuelo de acuerdo con una norma establecida de la competencia del personal aeronáutico, en una aeronave y posición de trabajo específica. Cuenta con una representación de sistemas, interruptores y controles, que son requeridos por el diseño de tipo de la aeronave y por el programa de instrucción aprobado del explotador. Tiene sistemas que responden apropiadamente y con precisión a los interruptores y controles de la aeronave a ser simulada. Es una réplica a escala normal de la cabina de pilotaje de la aeronave a ser simulada. Consta de un sistema visual vespertino y nocturno con un campo mínimo de visión de 75° horizontal y 30° vertical, para cada estación de piloto. Consta de un sistema de movimiento al menos de seis (6) ejes. (RDAC 142, 2011, págs. 30, 31)

#### **2.12.4. Nivel D**

Admite el desarrollo y práctica de las aptitudes necesarias para efectuar las tareas de operaciones de vuelo de acuerdo con una norma establecida de competencia del personal aeronáutico, en una aeronave y posición de trabajo específica. Ofrece una correcta simulación de las propiedades aerodinámicas (incluyendo el efecto tierra) y de las características dinámicas en tierra de la aeronave a ser simulada. Posee correcta simulación de las características aerodinámicas afectadas por el medio ambiente y de las características dinámicas en tierra de la aeronave a ser simulada, considerando el rango total de su envolvente de vuelo en todas las configuraciones aprobadas.

Ofrece una simulación correcta y real de los efectos de las condiciones ambientales que la aeronave podría encontrar. Tiene control de fuerzas, dinámicas y de recorrido de los controles que corresponden a la aeronave; posee un sistema visual

diurno, vespertino y nocturno con un campo mínimo de visión de 30° vertical por 75° horizontal para cada estación de piloto. Además, un sistema de movimiento al menos de seis (6) ejes (RDAC 142, 2011, págs. 31, 32)

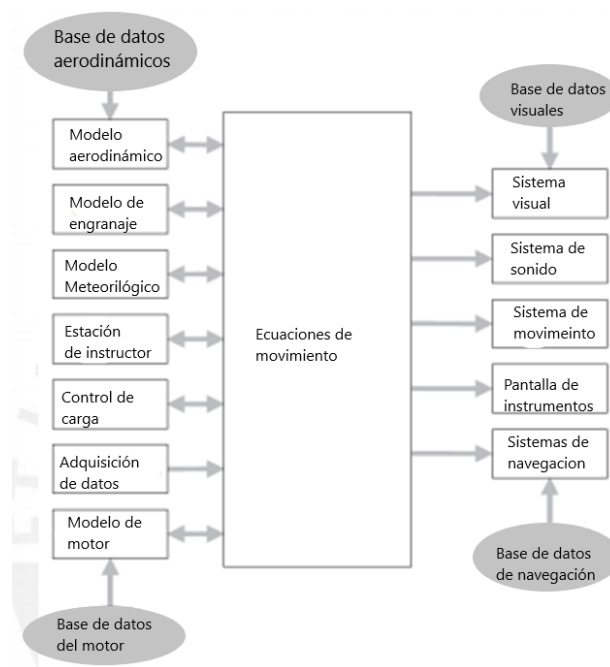
## **2.12. Organización de un simulador de vuelo**

Los componentes de un simulador de vuelo se encuentran organizados en modelos y sistemas esta organización tiene como punto central las ecuaciones de movimiento. Mediante las ecuaciones se calcula las variables que determinan el estado del avión simulado, es decir las fuerzas, los momentos, la actitud, la altitud, el rumbo y la velocidad; para lo que se apropian de las entradas provenientes de los controles del piloto, los vientos, las condiciones aerodinámicas y del motor, etc. Para ello los simuladores de vuelo cuentan con software adecuados que cuenta con modelos aerodinámico, meteorológico, de tren de aterrizaje, de control de carga y del motor; los cuales dependiendo de la situación que se está simulando otorgan las variables necesarias para determinar el estado del avión simulado. (Allerton, 2009, pág. 16)

El estado del avión simulado es apreciado por el piloto gracias a los sistemas visuales, de sonido, de movimiento y los resultados como la velocidad, altitud, estado del motor que son indicados en el tablero de instrumentos. El sistema visual proporciona un número de canales de imágenes en tiempo real visto desde la posición de los ojos del piloto los cuales son mostradas en movimiento de acuerdo con el estado en el que se encuentra el avión. Para el sistema de movimiento almacena la información de las aceleraciones y velocidades calculadas y reproduce los movimientos en la cabina de acuerdo con estos datos. En este trabajo se debe considerar como los sistemas más importantes para el diseño de la cabina al sistema de movimiento y el sistema visual, ya que dependiendo de estos sistemas se modificarán las dimensiones, la forma y los elementos que compondrán la cabina. En la parte eléctrica se debe considerar que no exista cables que afecten con el desarrollo de la simulación (Allerton, 2009, pág. 16)

**Figura 18.**

*Organización de un simulador de vuelo*



*Nota.* La imagen señala la clasificación que posee un simulador de vuelo. Tomado de (Allerton, 2009)

### 2.13. Sistema visual del simulador de vuelo

El sistema visual otorga imágenes en movimiento como aeropuertos, pista de aterrizaje, árboles, montañas, nubes y diversos panoramas presentes en el mundo. Este sistema imita la visión que tendría un piloto en vuelo a bordo de una aeronave. Para este sistema se emplean monitores que son conectados entre sí para tener el ambiente de una cabina de avión (Malpartida Valverde, 2014)

**Figura 19.**

*Sistema visual de un simulador*



*Nota.* Sistema visual que compone el simulador de vuelo en la Universidad de las Fuerzas Armadas



## 2.14. Mandos de control

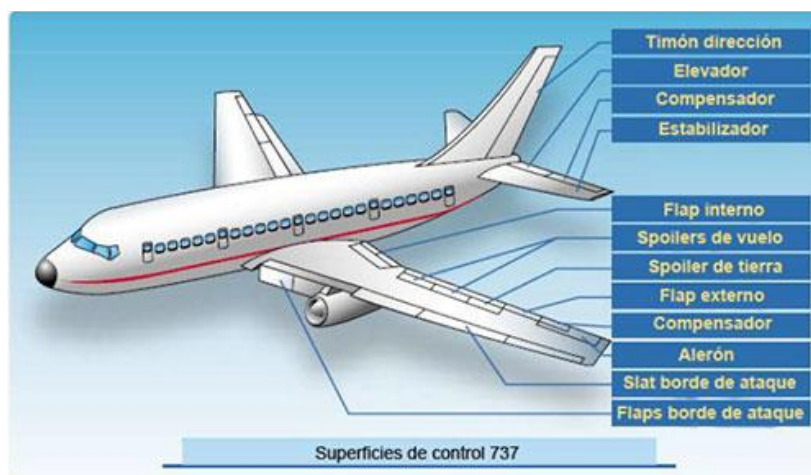
Segun (VOLAR, 2020) menciona que

Los mandos de control son los que posibilitan que el piloto pueda controlar el movimiento del avión. Estos son aquellos mecanismos integrados en una aeronave cuyo objetivo es el de accionar las superficies de mando, variando así la posición y orientación de la aeronave. Pueden ser controles de vuelo primario y secundario

- Controles de vuelo primarios maniobran la aeronave sobre los ejes de cabeceo, alabeo y dirección (o guiñada). Se incluyen los alerones, elevadores y timón.
- Los controles de vuelo secundarios o auxiliares incluyen compensadores, flaps de borde de ataque, flaps de borde de fuga, spoilers, y slats

**Figura 20.**

*Superficies de control*



*Nota.* Controles de vuelo primarios y secundarios de un Boeing 737. Tomado de (VOLAR, 2020)

## 2.15. Sistema de protección contra hielo y lluvia

(Boeing, 2015, pág. 1), determina que

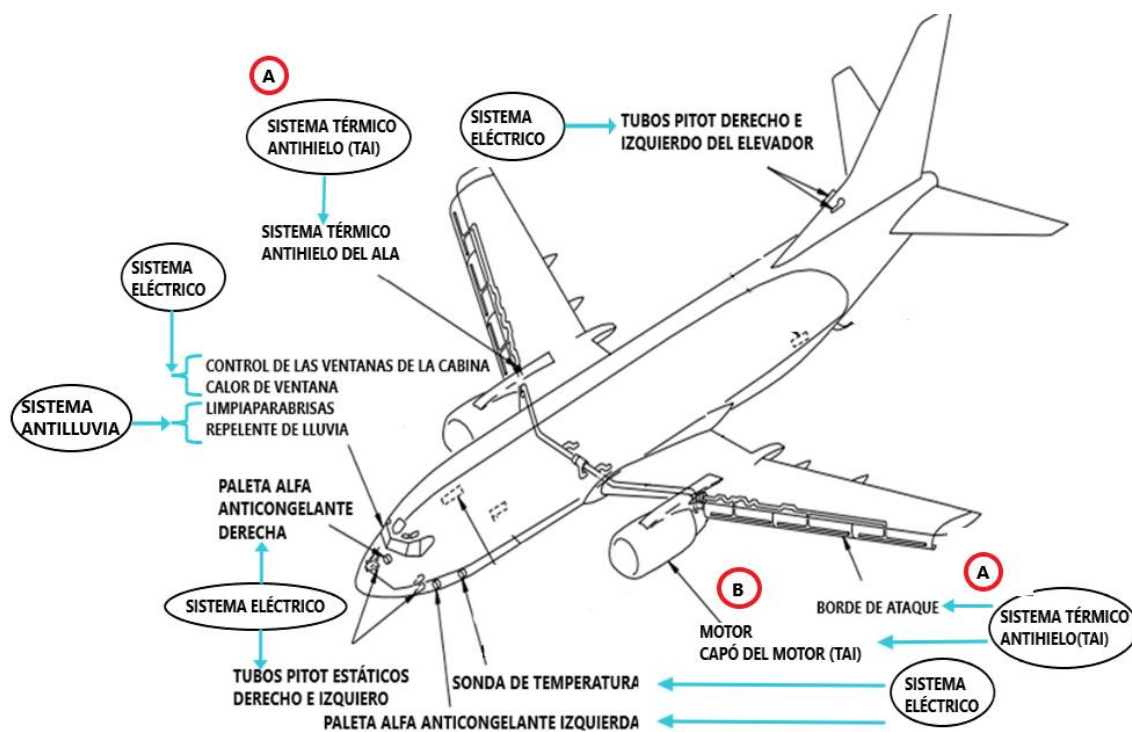
El sistema de protección contra hielo y lluvia se utiliza para proteger el avión y ayudar a los pilotos cuando operan en condiciones de hielo y lluvia:

- 1) Los sistemas térmicos antihielo (TAI) que utilizan aire de purga del motor se proporcionan para el ala, el motor y los capós del motor.

- 2) Se proporcionan sistemas eléctricos antihielo para las ventanas de la cabina de control, los sensores de temperatura de las válvulas pitot, y las paletas alfa.
- 3) También hay sistemas anticongelantes para los desagües de los baños
- 4) La eliminación de la lluvia se realiza en las ventanas de la cabina de control mediante un sistema de limpiaparabrisas

**Figura 21.**

*Sistemas de protección contra hielo y lluvia*



*Nota.* La imagen indica la localización de los principales sistemas de protección contra hielo y lluvia. Tomado de (Boeing, Ice and rain protection ATA 30 manual de mantenimiento, 2015)

## 2.22. Sistemas térmicos antihielo (TAI)

Según (Boeing, 2015, pág. 3) menciona que:

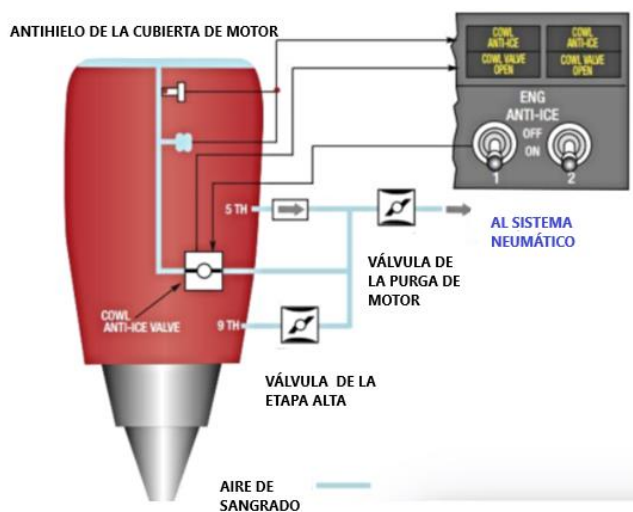
- A.** El sistema térmico antihielo (TAI) del ala descongela los slats del borde de ataque. El aire para el sistema TAI se suministra desde el aire de purga del motor
- B.** El sistema térmico antihielo (TAI) del motor descongela la cúpula de la nariz o morro del motor y el capó de entrada del motor.

### 2.22.1. Sistema de distribución de aire de purga del motor

El sistema de distribución de aire de purga del motor es un colector de conductos y válvulas que transporta el aire caliente aire comprimido del compresor del motor a los paquetes de aire acondicionado y a las unidades y subsistemas dependientes del aire en otros sistemas. La fuente de aire, la presión y el control de la temperatura forman parte del sistema. Los conductos de los motores pasan por los componentes de control y se unen a los respectivos colectores del ala izquierda o derecha. (Boeing, *Pneumatic*, 2015)

**Figura 22.**

*Esquema del sistema antihielo del motor*



*Nota.* La imagen señala el principio de funcionamiento del sistema de purga del motor suministrado para el sistema antihielo

### 2.23. Sistemas eléctricos antihielo

(Boeing, 2015, pág. 3), establece ítems para este sistema los cuales son:

- A. El sistema anticongelante de las ventanas de la cabina de control descongela y protege contra las aves las ventanas de la cabina de control N° 1, 2, 3 y 4 de cada lado de la cabina de control. Las ventanas se calientan mediante el uso de un revestimiento de resistencia eléctrica transparente incorporado como parte integral de las ventanas.

- B.** El sistema anticongelante del Pitot-estático y la sonda de temperatura descongela los tubos Pitot izquierdo y derecho, los tubos Pitot izquierdo y derecho de sentido del levador, y la sonda de temperatura. Los sensores son calentados por elementos de resistencia eléctrica instalados dentro del cabezal de detección de las unidades.
- C.** Los sensores de paleta alfa se descongelan mediante elementos de resistencia eléctrica instalados dentro del sensor de la paleta meteorológica
- D.** El sistema anticongelante de aguas residuales y desagües de inodoros descongela los conectores de desagüe de inodoros de proa y de popa. Los conectores de desagüe del inodoro se calientan mediante elementos de resistencia eléctrica instalados como parte integral de la junta del conector.

#### **2.24. Sistema de eliminación de lluvia**

- A.** El sistema de limpiaparabrisas mantiene las áreas despejadas en las ventanas de la cabina de control N.º 1 durante el despegue, la aproximación y el aterrizaje con lluvia o nieve. Los limpiaparabrisas son accionados independientemente por motores eléctricos que son controlados por un interruptor común.
- B.** El sistema repelente de lluvia rocía una solución repelente a la lluvia en las ventanas de la cabina de control N.º 1 y es utilizado junto con el sistema de limpiaparabrisas para mejorar la visibilidad durante las fuertes lluvias. La solución repelente para ambas ventanas se suministra desde un contenedor presurizado común, pero es controlado independientemente por interruptores de control separados para cada ventana
- C.** El sistema repelente a la lluvia consiste en un recubrimiento hidrofóbico aplicado a la ventana N.º 1. Las acciones del piloto son necesarias para operar el sistema. (Boeing, 2015, pág. 3)

#### **2.25. Hidrofóbico**

“Se lo denomina efecto o interacción hidrofóbica a la unión entre el agua y los hidrófobos (moléculas poco separables en agua). Se trata de moléculas no polares que poseen una larga cadena de carbonos que no se mezclan con moléculas de agua.” (Maria, 2019)

**Figura 23.***Revestimiento hidrofóbico en aeronave*

*Nota.* La imagen muestra la colocación de material hidrofóbico en una aeronave. Tomado de (AeroEXPO, 2021)

Para explicar, si una sustancia es insoluble en agua, entonces la sustancia es hidrófoba. En otras palabras, la hidrofobicidad ocurre cuando la molécula en cuestión no puede interactuar con la molécula de agua a través de interacciones ion-dipolo o enlaces de hidrógeno. Este es el caso de los hidrocarburos saturados. En este caso, las moléculas de agua cercanas a los hidrocarburos se orientan y unen para formar una estructura helada, formando una especie de jaula molecular de agua alrededor de las moléculas hidrófobas. (Corzo, 2005)

### **2.26. Ventana combinada y módulo de calor pitot (panel 5- panel 9)**

“El módulo P5-9 se encuentra en el panel superior de los pilotos. Contiene las luces e interruptores utilizados por el Sistema Antihielo de la Sonda Pitot Estática y de Temperatura. También contiene las luces e interruptores utilizados por el sistema antihielo de la ventana de la cabina de control.” (Boeing, 2015, pág. 401)

### **2.27. Sistema térmico antihielo del ala**

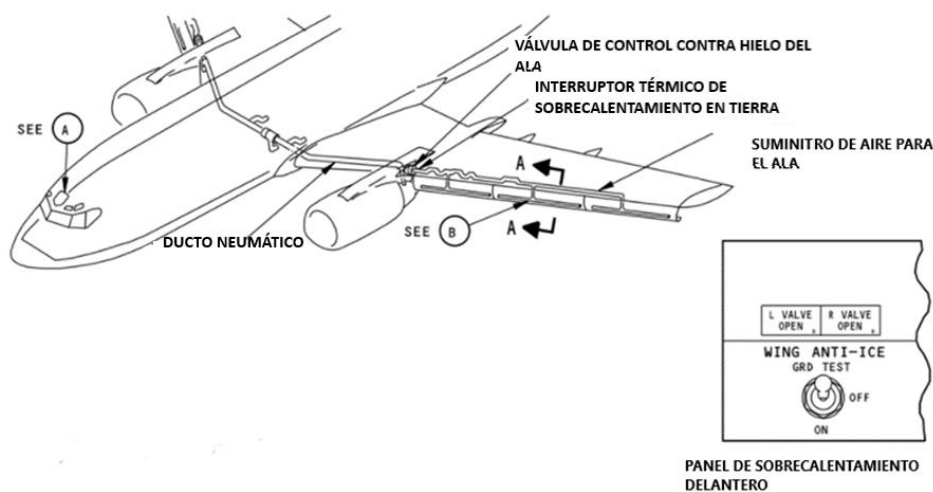
Según (Boeing, 2015, pág. 1), determina generalidades

- A.** El sistema térmico anticongelante del ala (TAI) está sujeto a pruebas en tierra y en vuelo. Una función de sobrecalentamiento en tierra protege automáticamente los conductos del sistema señalando las válvulas de cierre. En vuelo, el control requiere una conmutación manual. El sistema incluye disposiciones de prueba en tierra.

- B. El sistema térmico antihielo del ala (TAI) elimina la acumulación de hielo en los “slats” del borde de ataque del ala. El sistema recibe aire caliente regulado desde el colector neumático. El flujo de aire es controlado por una válvula de cierre para cada ala. Ambas válvulas son operadas por un único interruptor de control en el panel superior del piloto. Cuando el sistema está en funcionamiento, las válvulas dirigen el aire a través de un sistema de distribución a los “slats” del borde de ataque del ala.
- C. El sistema consta de conductos de suministro y distribución, dos válvulas de control, componentes de control eléctrico, interruptores térmicos y componentes indicadores

**Figura 24.**

*Sistema térmico antihielo del ala*



*Nota.* La imagen indica la localización del sistema térmico antihielo del ala con su respectivo panel de control. Tomado de (Boeing, 2015)

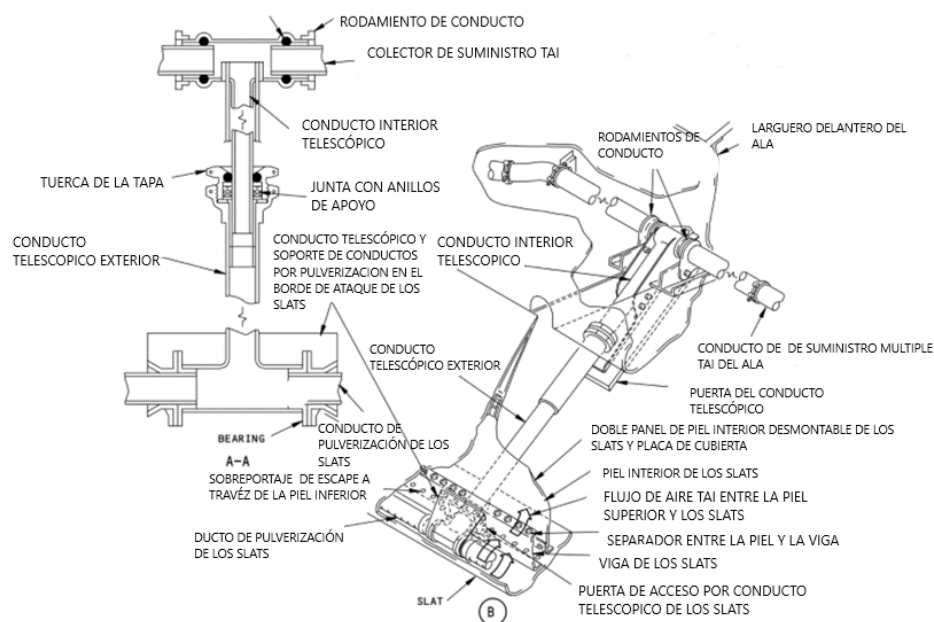
### **2.27.1. Conductos antihielos del ala**

El conducto de aire neumático está conectado a cada uno de los conductos de suministro del borde de ataque del ala a través de una válvula de control situada en el borde de ataque del ala justo al interior de la costilla de cierre del puntal del ala en cada lado del del avión. Los conductos de suministro del ala están conectados a cada uno de los slats del borde de ataque del ala mediante conductos telescópicos. (Boeing, 2015, pág. 5)

Los conductos telescópicos consisten en dos tubos, uno de los cuales se desliza dentro del otro a medida que los “slats” se extienden o se retraen, y están sellados por una junta tórica entre ellos. El conducto telescópico interior está conectado a los conductos del colector de suministro del ala TAI mediante una conexión en T giratoria para permitir el movimiento de rotación del conducto telescópico alrededor del conducto de suministro del ala. La conexión en T está sellada por una junta tórica entre cada extremo de la T y el conducto de suministro. El conducto telescópico exterior está conectado a un conducto de pulverización antihielo de los “slats” mediante una conexión en T giratoria para permitir el movimiento de rotación del conducto telescópico alrededor del conducto de pulverización antihielo de “slats”. Un soporte en el borde de ataque de los “slats” y el conducto telescópico e impide que el aire TAI vuelva a fluir a través del recorte del conducto telescópico en la viga de los “slats”. El conducto de pulverización anticongelante de los “slats” recorre toda la longitud de los “slats” y tiene perforaciones para dirigir el aire hacia el borde de ataque de los “slats”. El aire fluye entonces entre la piel superior de los “slats” y la viga de los “slats”, donde el aire se expulsa por la borda a través de las aberturas en el revestimiento inferior de los “slats”. (Boeing, 2015, pág. 5)

**Figura 25.**

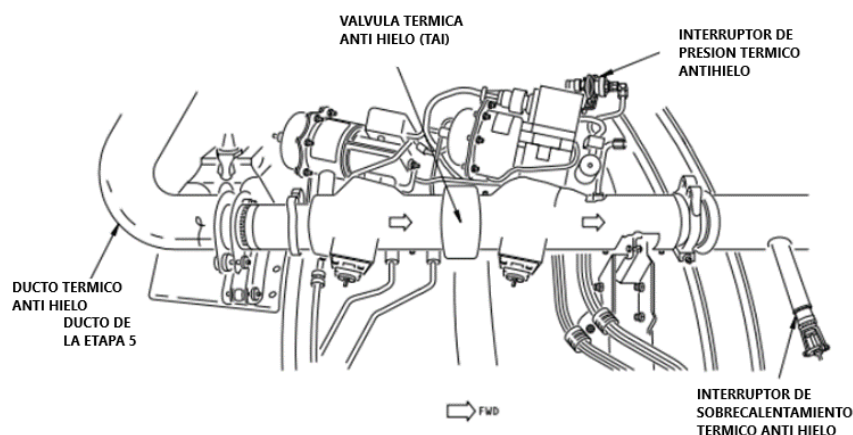
### Conductos antihielo del ala



*Nota.* La imagen señala la ubicación de suministros del sistema térmico antihielo del ala.  
Tomado de (Boeing, 2015)

**Figura 26.**

*Conexión de la válvula TAI*



*Nota.* La imagen identifica la conexión en T de la válvula TAI (Boeing, 2015)

### **2.27.2. Componentes de control antihielo del ala**

- A.** El funcionamiento de las válvulas de control antihielo del ala se rige por los siguientes componentes de control eléctrico relés de seguridad del tren de aterrizaje principal y de morro, un interruptor de control antihielo del ala, relés de control de las válvulas, dos interruptores térmicos de sobrecalentamiento en tierra, dos tarjetas de circuito transistorizadas y dos interruptores de posición del acelerador de posición del acelerador.
- B.** El funcionamiento de las válvulas de control antihielo del ala se rige por los siguientes componentes de control eléctrico relés de seguridad del tren de aterrizaje principal y de morro, un interruptor de control antihielo del ala, relés de control de la válvula relés de control de las válvulas, dos interruptores térmicos de sobrecalentamiento en tierra, dos tarjetas de circuito transistorizadas y dos interruptores de posición del acelerador de posición del acelerador
- C.** El interruptor de control del antihielo del ala se encuentra en el panel superior P5. El interruptor es de dos de dos posiciones. Durante el funcionamiento en tierra del sistema antihielo del ala, el interruptor “Wing Anti- Ice” permanece en la posición ON, pero vuelve automáticamente a la posición OFF en el despegue del avión. El funcionamiento en vuelo requiere la colocación manual del interruptor



- D. El relé de control de la válvula se encuentra en el módulo panel P5-11. El relé dirige la energía de 115 voltios de CA de los de los disyuntores “Wing A/I” para cerrar las válvulas de control antihielo de las alas cuando están des energizadas y para abrir las válvulas cuando el relé está energizado. El relé es controlado por circuitos transistorizados junto con los relés de seguridad, el interruptor de control, dos interruptores de posición del acelerador y los interruptores térmicos de sobrecalentado a tierra.
- E. El circuito transistorizado controla las luces indicadoras.
- F. Los interruptores térmicos de sobrecalentamiento en tierra están situados en el extremo de la raíz de cada borde de ataque del ala de distribución del borde de ataque del ala. El interruptor es un interruptor de tipo bimetalico sensible a la temperatura con puntos de contacto normalmente abiertos que se cierran a aproximadamente 125°C. El accionamiento de cualquiera de los interruptores, mientras el avión está en tierra, completará un circuito para cerrar ambas válvulas antihielos de las alas. (Boeing, 2015, pág. 5)

### 2.27.3. *Componentes de indicación antihielo del ala*

- A. El sistema antihielo del ala está provisto de una luz azul para cada válvula de control para indicar la posición de la válvula. Las luces son del tipo "presionar para probar" y están ubicadas en el panel superior adyacente a el interruptor de control del sistema “Wing Anti-Ice”. Las luces indicadoras “L Valve Open” y “R Valve Open” de la válvula abierta se encienden tenuemente cuando la válvula respectiva está en la posición abierta, y brillantemente cuando la posición de la válvula respectiva no coincide con la posición de la válvula abierta debido a un mal funcionamiento del sistema o durante el tránsito de la válvula. La luz puede ser probada mediante el uso del interruptor de prueba de la luz principal.
- B. Cada luz indicadora de válvula está controlada por un circuito transistorizado. El interruptor de control del sistema debe estar en posición ON. Los interruptores de control transistorizados están en tarjetas de circuito impreso montadas detrás del panel superior. Los interruptores transistorizados de control de las luces se alimentan con 28 voltios de corriente continua desde el disyuntor de control A/I (Boeing, 2015, pág. 6)

**Figura 27.**

*Componente de indicación antihielo del ala*



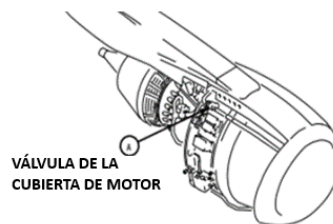
*Nota.* En la imagen se observa las luces indicadoras L VALVE OPEN y R VALVE OPEN del sistema antihielo del ala. Tomado de (b737studyguide, s.f.)

## 2.28. Sistema anticongelante del capó de entrada

El sistema anticongelante de la capota de entrada es un sistema térmico que utiliza el aire caliente de purga del motor de las etapas 5ª y 9ª del compresor de alta presión (HPC). La función del sistema es mantener las superficies del capó de entrada libre de hielo durante el vuelo y las operaciones en tierra. (Boeing, 2015)

**Figura 28.**

*Válvula del Capó de entrada*



*Nota.* En la figura se muestra la válvula que mantiene las superficies del capó de entrada libre de hielo. Tomado de (Boeing, 2015, pág. 2)

El sistema consta de conductos, una válvula de regulación y cierre de presión de doble propósito, un presostato (interruptor de presión) y un interruptor de sobrecalentamiento a continuación de la válvula, un anillo de pulverización de distribución anticongelante situado en el labio de la cubierta o capó de entrada, y un orificio de escape situado en la posición de las 6 horas de la cubierta de entrada.

Cada sistema antihielo del motor funciona de forma independiente. Cada válvula es operada neumáticamente y controlada eléctricamente por un interruptor situado en el panel superior de los pilotos. Las luces indicadoras de la posición de la válvula de la posición de la válvula y las luces de advertencia están situadas junto a los interruptores. (Boeing, 2015, pág. 1)

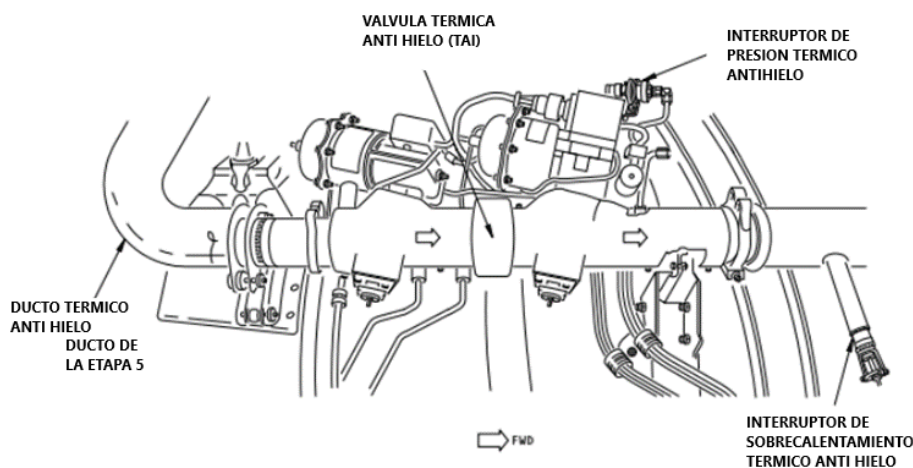
### **2.28.1. Válvula térmica antihielo (TAI)**

- A.** La válvula TAI, ubicada en la posición de la 1:30 en punto (a popa mirando hacia adelante) en el marco del ventilador, está montada en línea en los conductos TAI y está asegurada con acoplamientos de banda en V. La válvula funciona con aire y está configurada para regular la presión de salida a  $50 \pm 3$  psi. La válvula está completamente abierta a presiones de entrada de 10 a 47 psi. La unidad consiste en una válvula de cierre de mariposa normalmente cerrada, una válvula de mariposa reguladora de presión normalmente abierta, una válvula servo piloto y componentes asociados que forman una sección de conducto de aire aislado. Si la válvula reguladora de presión no regula la presión, la válvula de cierre mantendrá la presión en  $75 \pm 10$  psi. (ANDREATHONE, s.f.)
- B.** Se incorpora una disposición de anulación manual en la válvula para el funcionamiento mecánico directo y para bloquear la válvula en una posición parcialmente abierta en caso de mal funcionamiento del sistema. La válvula está diseñada para fallar en la posición cerrada. La válvula incorpora dos interruptores de posición para proporcionar la indicación de la posición de la válvula en la cabina. (ANDREATHONE, s.f.)
- C.** La válvula reguladora de presión se carga con resorte en la dirección abierta de la válvula. La presión de entrada P1 se admite a través de los orificios restrictores 1 y 2 a las cámaras del pistón del actuador.  
Cuando las presiones en ambas cámaras son iguales, el mecanismo de accionamiento tiende a abrir la válvula. (ANDREATHONE, s.f.)
- D.** La válvula de cierre se carga con un resorte en la dirección válvula cerrada. La presión P2 de aguas abajo se dirige a través de la válvula de suministro de prueba a tierra en ambas cámaras de pistón del actuador. La presión aguas abajo P2 también se admite a través de un orificio restrictor en la válvula piloto de sobrepresión. El mecanismo de accionamiento mantiene la válvula en la posición cerrada cuando la válvula piloto solenoide se des energiza. (ANDREATHONE, s.f.)

- E. La válvula reguladora de presión y la válvula de cierre tienen disposiciones para la anulación manual por medio de planos de desgarradores externos en los indicadores de posición de la válvula. El regulador de presión puede bloquearse en la posición abierta reemplazando el tornillo de ajuste de posición cerrada con un tornillo de bloqueo. La válvula de cierre se puede bloquear en la posición cerrada o media insertando un pasador de liberación rápida en el orificio de bloqueo proporcionado en la cubierta de la válvula. (ANDREATHEONE, s.f.)
- F. Para bloquear la válvula reguladora de presión en la posición abierta, primero se deben aflojar las abrazaderas de la válvula y se debe quitar el hardware de la válvula. A continuación, la válvula debe girarse hasta que el tornillo de ajuste de posición cerrada se pueda quitar y reemplazar con el tornillo de bloqueo. Después de instalar el tornillo de bloqueo, se debe realinear la válvula y reinstalar el hardware y las abrazaderas. (ANDREATHEONE, s.f.)

**Figura 29.**

*Válvula térmica antihielo (TAI)*



*Nota.* La figura indica la conexión de la válvula térmica antihielo TAI con otras válvulas de presión. Tomado de (Boeing, 2015, pág. 2)

### **2.28.2. Interruptor de presión térmico**

La válvula de presión TAI detecta la presión de una toma de presión en los conductos TAI aguas abajo de la válvula. La función del interruptor es actuar como un control en el funcionamiento de la válvula para evitar la sobre presión de la capucha de entrada. El interruptor

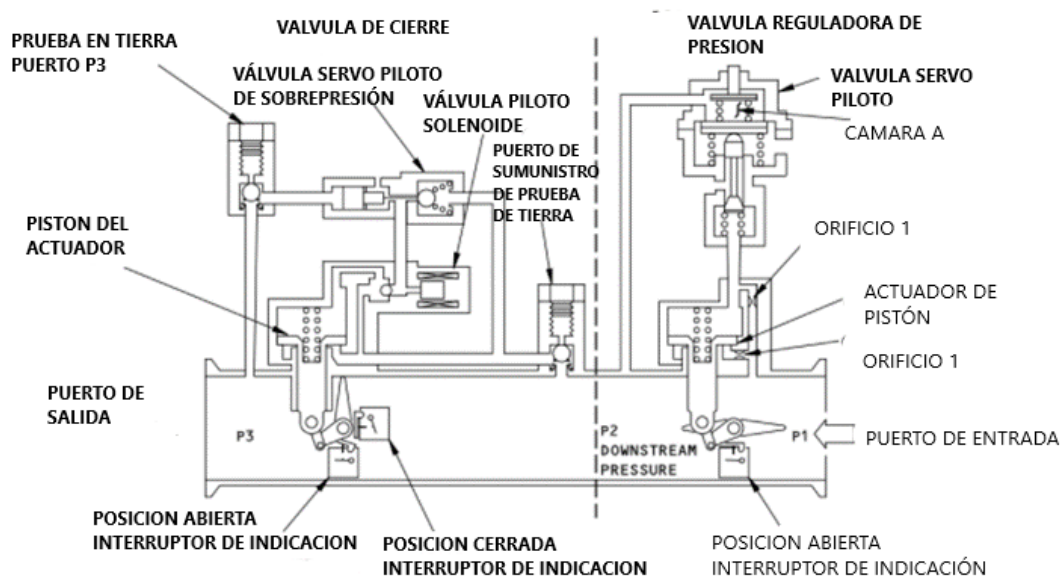
está configurado para activarse a  $65 \pm 3$  PSI, y proporciona una indicación de advertencia de sobrepresión de capucha al iluminar una luz de advertencia anti-HIELO de capucha ámbar en la cabina. (Boeing, 2015, pág. 6)

### 2.28.3. Interruptor térmico antihielo (TAI) de sobrecalentamiento

El interruptor de sobrecalentamiento TAI detecta la temperatura en el conducto TAI aguas abajo de la válvula. El interruptor está configurado para activarse a  $825 \pm 20$  ° F e indicará una condición de sobre temperatura iluminando la precaución maestra, las luces del anunciador antihielos y una luz de advertencia “Anti-Ice Cowl” ambar en la cabina. La unidad consta de un sensor termostático que acciona un interruptor de un solo polo y un solo tiro. (Boeing, 2015, pág. 6)

**Figura 30.**

*Válvula de cierre y válvula reguladora de presión*



*Nota.* La imagen muestra el principio de funcionamiento de la válvula de cierre y válvula reguladora (Boeing, 2015, pág. 4)

## **2.29. Tubos Pitot-estáticos, sonda de temperatura y sistema antihielo de paletas**

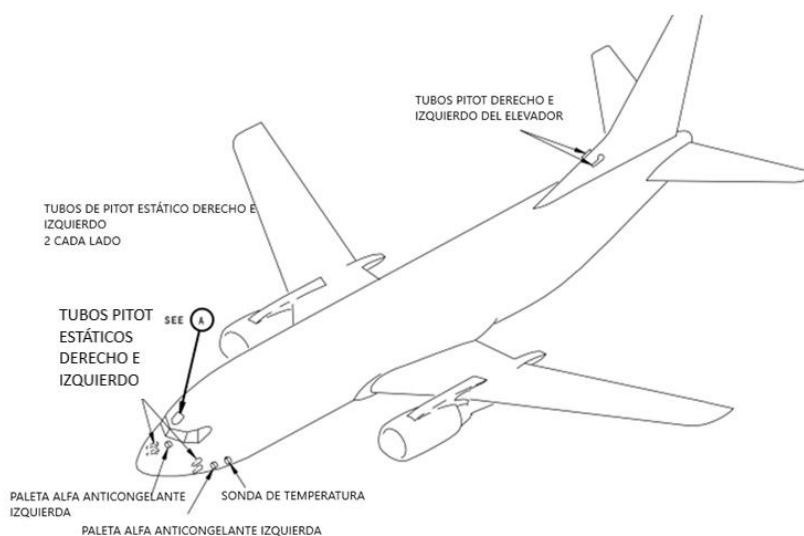
### **anticongelantes alfa**

- A.** Los tubos Pitot estáticos izquierdo y derecho, los tubos Pitot izquierdo y derecho del elevador, la sonda de temperatura y las paletas anticongelantes alfa izquierdo y derecho se calientan para evitar la formación de hielo que podría afectar la precisión de la detección. El calentamiento se realiza mediante calentadores eléctricos instalados como parte integral de las unidades. Los calentadores consisten en elementos de resistencia que funcionan con 115 voltios de corriente alterna (Boeing, 2015, pág. 1)
- B.** Los calentadores se controlan mediante dos interruptores en el panel 5 y panel 9 superior. Los interruptores de control son interruptores de palanca de cuatro polos y dos posiciones (ON-OFF). El sistema tiene un circuito indicador compuesto por un transformador de corriente, un interruptor electrónico y una luz indicadora para cada sensor. Los interruptores electrónicos y los circuitos luminosos de indicación están instalados en tarjetas impresas. El transformador está instalado en la línea del calentador. (Boeing, 2015, pág. 1)
  - 1) Hay dos sistemas de calefacción de sonda de datos de aire, A y B. Estos interruptores de palanca permiten a la tripulación encender los sistemas de calefacción de la sonda.
  - 2) Si la tripulación no activa los sistemas de calefacción de la sonda, los sistemas de calefacción de la sonda siguen automáticamente cuando los motores arrancan.
- C.** Un interruptor controla el calentamiento del calentador estático de Pitot superior e inferior izquierdo, el calentador de la sonda de temperatura, el calentador de paleta anticongelante alfa izquierda y el calentador Pitot del elevador izquierdo. El otro interruptor controla el calentamiento de los calentadores Pitot-estáticos superior e inferior derecho, el calentador de paleta anticongelante alfa derecho y el calentador Pitot del elevador derecho. Cuando el transformador no detecta el flujo de corriente, el interruptor electrónico proporciona una tierra para la luz indicadora. (Boeing, 2015, pág. 1)

- D. Los circuitos de luz reciben alimentación de 28 voltios de corriente continua a través del relé maestro de atenuación desde el indicador “DIM BUS NO. 1 DC y NO. 2 DC” en el panel P6. Las luces son del tipo de prueba a presión y pueden ser probadas individualmente o mediante el uso del interruptor de prueba de la luz principal. Las luces pueden atenuarse mediante el uso del interruptor maestro de atenuación (Boeing, 2015, pág. 1)
- E. El módulo P5-9 situado en el panel superior P5 de los pilotos contiene los interruptores de control, las luces indicadoras, transformadores y tarjetas de circuito impreso. El módulo P5-9 también contiene los interruptores y luces indicadoras para el sistema antihielo de las ventanas de la cabina de control. (Boeing, 2015, pág. 1)

**Figura 31.**

*Tubos Pitot-estáticos, sonda de temperatura y sistema antihielo de paletas alfa*



*Nota.* La imagen identifica los tubos de Pitot estático, los tubos de Pitot estático en los elevadores y las paletas alfa, los mismo que son usados para el sistema antihielo. Tomado de (Boeing, Ice and rain protection ATA 30 manual de mantenimiento, 2015)

**Figura 32.**

*Panel de control de los tubos Pitot y paletas alfa del sistema antihielo*

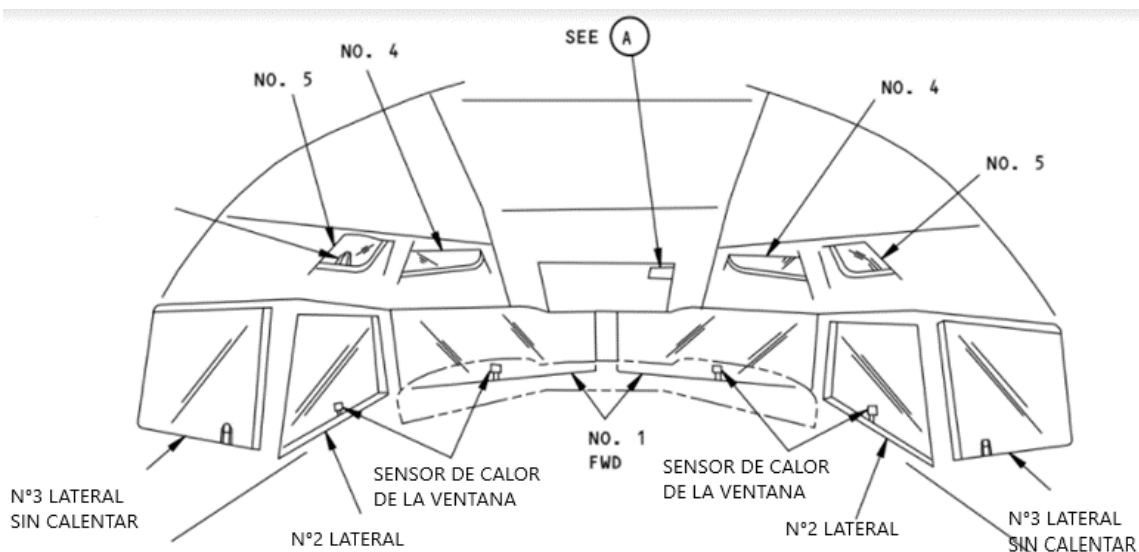


*Nota.* La imagen consta del sistema de luces indicadoras e interruptores del sistema antihielo de los tubos Pitot estáticos, tubos Pitot del elevador y las paletas alfa localizadas en el panel de control. Tomado de (b737studyguide, s.f.)

### **2.30. Sistema anticongelante de la ventana de la cabina de control**

Las ventanas N.º 1, 2, 4 y 5 de cada lado de la cabina de mando están provistas de calefacción eléctrica para evitar que las ventanas se congelen y se desempañen. La calefacción de las ventanas de la cabina de control también mejora la resistencia a los impactos de las ventanas y se utiliza para proteger las ventanas contra los pájaros cuando se vuela a altitudes en las que es posible que se produzcan choques con ellos. La energía para las ventanas izquierdas N.º 1, 3, 4 y 5 y la ventana derecha N.º 2 se suministra desde el GEN BUS N.º 1 y las ventanas derechas N.º 1, 3, 4 y 5 y la ventana izquierda N.º se alimentan del GEN BUS N.º 2. En el caso de una falla de energía de un generador, la ventana N.º en ese lado y las ventanas N.º. 1, 4 y 5 en el otro lado seguirá siendo suministrado energía desde el otro generador, asegurando así que se mantendrá la visión de cada lado. (Boeing, 2015, pág. 1)



**Figura 33.***Ventanas de la cabina de control*

*Nota.* La imagen señala las ventanas de la cabina de control que poseen el sistema anticongelante mediante un sistema de calefacción. Tomado de (Boeing, 2015, pág. 2)

El parabrisas delantero N.º 1 y la ventana deslizante N.º 2 de cada lado de la cabina tienen un sistema de control independiente para cada ventana. El sistema de control mantiene la ventana respectiva a la temperatura requerida mediante el uso de controles automáticos. Cada sistema consta de la ventana calefactada, un sensor de calor de la ventana, un interruptor de control, una unidad de control de calor, una luz indicadora de potencia y una luz indicadora de sobrecalentamiento. Un interruptor de potencia y de prueba de sobrecalentamiento se utiliza en común con los cuatro sistemas. (Boeing, 2015, pág. 1)

Las ventanillas N.º 4 y 5 reciben energía a través del interruptor térmico de las ventanillas laterales. La alimentación de las ventanillas N.º y 5 se regula mediante un interruptor térmico situado en la ventanilla N.º 5. Mientras el sistema está en funcionamiento, la temperatura de las ventanillas se regula a  $107 \pm 7^{\circ}\text{F}$  para las ventanillas N.º y 2 y de  $80$  a  $120^{\circ}\text{F}$  para las ventanas N.º 4 y 5. El sistema de control desconecta la alimentación de las ventanas N.º 1 y 2 cuando se detecta una condición de sobrecalentamiento de aproximadamente  $145^{\circ}\text{F}$ . (Boeing, 2015, pág. 1)

Cuando el sistema se enciende por primera vez, una función de rampa en la unidad de control de calor hace que la potencia de calor haga que la potencia suministrada a las ventanas N.º 1 y N.º 2 aumente gradualmente desde cero hasta la máxima potencia en aproximadamente 3 minutos, a menos que se controle a un nivel menor por la ventana que alcanza la temperatura de control antes de que se agote el tiempo de rampa. Esto reduce el choque térmico en el cristal cuando se aplica la potencia a una ventana fría. Una interrupción de la alimentación de cinco segundos o más hará que la función de rampa comience de nuevo desde cero, mientras que, para interrupciones menores, la rampa comenzará sobre una fracción que es proporcional al tiempo de interrupción. El sensor de calor de la ventana proporciona una señal de control de temperatura a la unidad de control de calor que, a su vez, modula la cantidad de energía que se aplica a la ventana para mantenerla a la temperatura de funcionamiento requerida. La luz indicadora de potencia estará encendida cuando se esté suministrando potencia a la ventana. cuando se suministra energía a la ventana. Si se detecta una condición de sobrecalentamiento, la unidad de control de calor cortará la energía a la energía a las ventanas, apagará la luz indicadora de energía, y encenderá la luz indicadora de sobrecalentamiento y las de sobrecalentamiento y las luces de precaución y antihielo del sistema de precaución principal (Boeing, 2015, pág. 1)

Mientras el sistema está en funcionamiento, la unidad de control de calor puede ser probada funcionalmente mediante el uso del interruptor de prueba del sistema. Si se mantiene el interruptor de prueba en la posición de encendido, la unidad de control suministra energía a la ventana y enciende la luz indicadora de energía. Si la comprobación del funcionamiento se realiza en condiciones en las que la temperatura de la ventana está dentro del rango de corte de sobrecalentamiento ya sea por el ambiente exterior o por una prueba excesivamente larga, se producirá un corte por sobrecalentamiento. Se puede simular una condición de sobrecalentamiento manteniendo el interruptor de prueba en la posición "Overheat". El sistema vuelve a la normalidad colocando momentáneamente el interruptor de control en la posición OFF. La temperatura de las ventanas N.º 4 y 5 se controla mediante el interruptor térmico de la ventana N.º 5. (Boeing, 2015, pág. 1)

**Figura 34.**

*Panel del sistema anticongelante de las ventana de la cabina de control*



*Nota.* La imagen señala las luces indicadoras e interruptores del sistema anticongelante de la cabina de control. Tomado de (b737studyguide, s.f.)

### **2.31. Sistema limpiaparabrisas**

Se proporcionan limpiaparabrisas para mantener un área despejada en las ventanas No. 1 de los pilotos durante el despegue, aproximación y aterrizaje bajo la lluvia o la nieve. Cada limpiaparabrisas es operado por un sistema separado para garantizar que se mantendrá una visión clara a través de una de las ventanas en caso de fallo del sistema. Las escobillas limpiaparabrisas despejan una zona de aproximadamente 13-1/2 pulgadas de ancho a través de un arco de  $84 \pm 4$  grados. (Boeing, 2015, pág. 1)

Ambos sistemas de limpiaparabrisas se accionan mediante un interruptor situado en el panel superior. El interruptor permite selección de las velocidades de acción del limpiaparabrisas. El interruptor también controla la posición PARK cuando el sistema no está en uso. (Boeing, 2015, pág. 1)

Cada sistema de limpiaparabrisas consta de estos componentes:

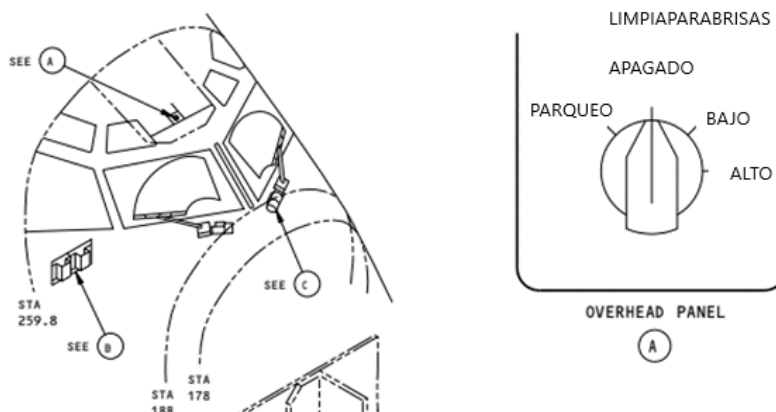
- 1) Motor de accionamiento y conjunto del convertidor de par
- 2) Un conjunto de interruptor de control
- 3) Conjunto del limpiaparabrisas
- 4) Caja de resistencia (Boeing, 2015, pág. 1)

La regulación de la velocidad se realiza modificando la tensión aplicada al motor del limpiaparabrisas mediante resistencias. La resistencia requerida se conecta en el circuito del motor girando el interruptor del limpiaparabrisas a una posición seleccionada. El movimiento rotatorio del motor de accionamiento se transmite al convertidor que reduce la velocidad del eje y cambia el movimiento rotatorio a un movimiento oscilante del brazo del limpiaparabrisas. (Boeing, 2015, pág. 1)

“Un segundo método para mantener las ventanas despejadas en caso de lluvia intensa es el uso de repelente de lluvia” (Boeing, 2015, pág. 1)

**Figura 35.**

*Limpiar parabrisas e interruptor de control*



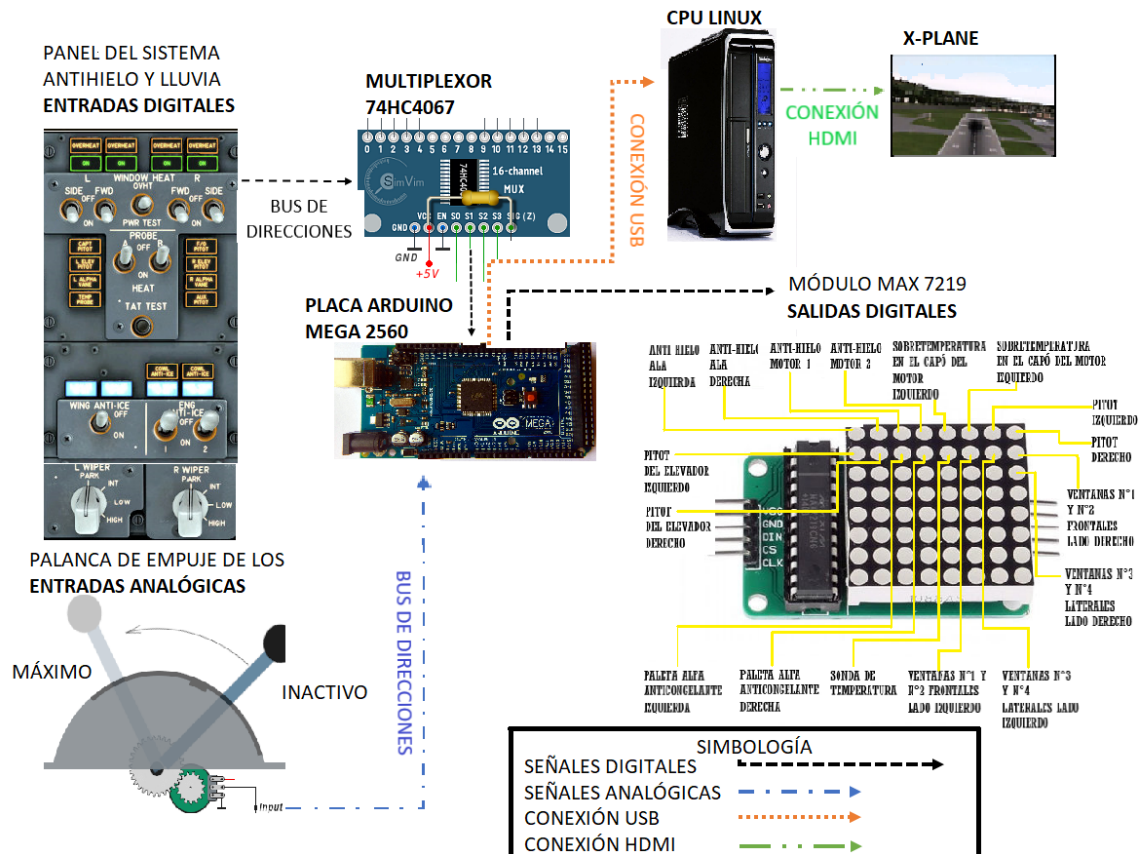
*Nota.* La imagen señala las dimensiones de alcance hacia las ventanas de los limpiaparabrisas y el interruptor de accionamiento en el panel de control. Tomado de (Boeing, 2015, pág. 2)

Capítulo III

3. Desarrollo del tema

Figura 36.

Diagrama de bloques del Sistema contra hielo y lluvia



Nota. El gráfico se muestra el diagrama de bloques del sistema antihielo y lluvia desarrollado en el simulador

Para el sistema de protección contra hielo y lluvia del simulador de vuelo se utiliza una interfaz Home Cockpit SimControl Interface que sirve para el control de entradas digitales - analógicas y salidas (indicadoras de luz pertenecientes al sistema antihielo y lluvia, debido a que en el configurador Home Cockpit SimControl Interface solo se necesita definir el número de pin para el Arduino Mega y su función (interruptor, multiplexor, max7219, etc.), simplemente para el sistema de protección contra hielo y lluvia se usaron interruptores comunes y luces LED. La configuración HCSCI de entradas y salidas digitales - analógicas permite intercambiar datos con el programa X-Plane y el Arduino Mega y así controlar el panel de instrumentos del sistema

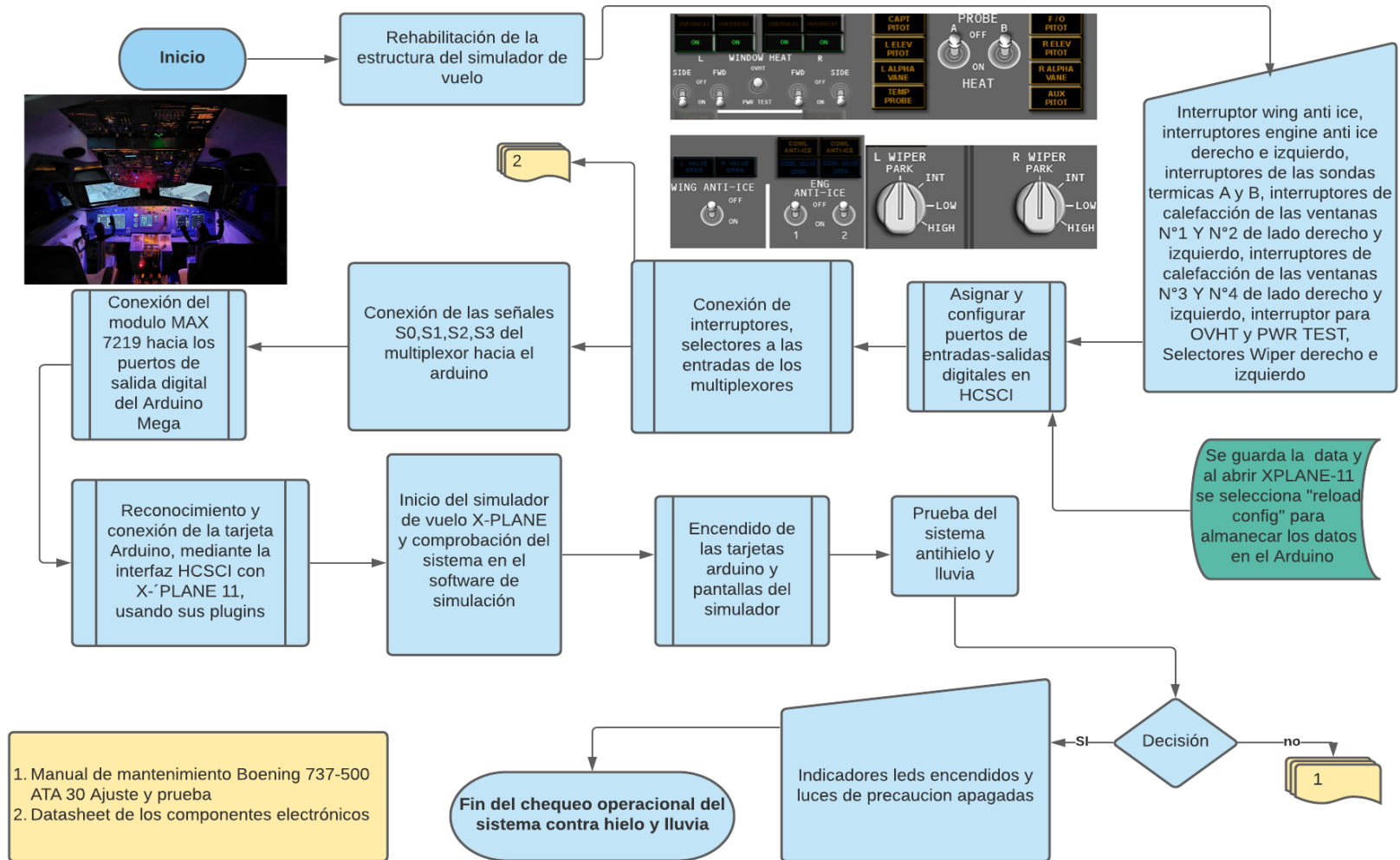
contra hielo y lluvia del simulador, por lo que cada entrada estaba conectada a un multiplexor 74HC4067 y las salidas (leds indicadores) a un módulo Max 7219 en el que se visualiza la activación de los interruptores que forman parte del sistema. Para escribir el código de entrada y salida proveniente de la configuración de HCSCI se utiliza un Arduino Mega.

Para la interfaz entre Arduino y X-Plane 11 se usó un protocolo de intercambio de datos UDP, el cual es un protocolo que permite la transmisión de datagramas sin conexión de la red, este protocolo viene integrado en el programa X-Plane y no hay necesidad de conectarlo, el data es generado por el configurador HCSCI y guardado en el Arduino al subir el data como plugin en el programa X-Plane, la placa de Arduino Mega se encarga de monitorear todas las entradas y verifica si se realizó un cambio de estado en los interruptores del panel del sistema antihielo y lluvia. Además, fue necesario conocer el funcionamiento de las entradas analógicas, ya que se necesario adquirir la señal de las palancas de empuje para realizar el chequeo operacional del sistema contra hielo

El plugin HCSCI y el programa del panel de instrumentos para el sistema antihielo poseen una biblioteca XPData que envía datos de entrada/salida a X-Plane, dependiendo del modelo de aeronave por lo que solamente se debe seleccionar los puertos que se van a utilizar en la placa Arduino. Los paneles de instrumentos junto con entorno gráfico de la simulación se mostraron en monitores. Se uso un CPU con un sistema operativo Linux para contener al programa X-PLANE y el mismo que estaba conectado al Arduino Mega mediante USB para adquirir los datos almacenamos. El sistema operativo Windows también es compatible y soporta esta clase de programas, pero se recomienda usar Linux

Figura 37.

Diagrama de flujo del sistema de protección contra hielo y lluvia en el simulador de vuelo Boeing 737-500



*Nota.* El diagrama de flujo muestra el procedimiento que se llevó a cabo para adecuar el sistema de protección contra hielo y lluvia al simulador de vuelo Boeing 737-500.

### 3.1. Dimensionamiento de las protecciones eléctricas

Se llevo a cabo el dimensionamiento de las protecciones eléctricas que se va a usar para las conexiones eléctricas del simulador. La distribución de energía se realizó con cable de aluminio ACSR numero 6 proveniente de la caja de transformadores de la Universidad por vía subterránea, se realizó un empalme monofásico con el cable AWG numero 12 para la conexión que va dirigida a los breakers o disyuntores que sirven para proteger o evitar daños de los dispositivos electrónicos en el caso de presentarse una sobrecarga o corto circuito en el simulador y desde ahí se realizó la conexión para los interruptores que van a ser usados para los diferentes sistemas

- Cálculo del consumo total del simulador

CPU=350 W

2 monitores de 24 pulgadas HD= 32W x 2= 64W

3 monitores de 19 pulgadas = 21W x 3 = 63W

1 monitor de 15 pulgadas para la estación de instructor= 18 W

Potencia de Arduino=  $V \times I = 9V \times 1A = 9 W$

4 Arduinos Mega = 36W

3 fuentes externas de 5V= 15 W

Consumo Total=  $350W + 64W + 63W + 18W + 36W + 15W = 546W$

Consumo por 1 hora en funcionamiento del simulador=  $546W \times 1 = 0,546KWh$

- Calculo para el diámetro del cable AWG

$$IT = \frac{PT}{VT}$$

$$IT = \frac{556W}{821V} = 0,67A$$

Se recomienda usar un cable numero 12 AWG, ya que soporta hasta un amperaje de 15A



**Figura 38.**

*Instalación eléctrica*



*Nota.* El gráfico muestra la caja de disyuntores del simulador que servirá para abastecer de energía eléctrica

### **3.1.1. Sistema de iluminación**

Para la iluminación de toda la cabina se usó una fuente alimentación externa con una salida de voltaje de 7V a 9V, la misma que sirvió para la conexión de cintas led y para la placa de Arduino. Para el encendido tiene un interruptor giratorio en la entrada del circuito

**Figura 39.**

*Iluminación de la cabina*



*Nota.* La imagen enseña el interior de la cabina con su respectiva iluminación, mediante cintas led

### 3.2. Estructura del simulador

Previo al desarrollo de mi tema de tesis se realizó la habilitación de la parte interna de cabina, retirando los paneles antiguos que se encontraban en mal estado. De igual forma para la parte externa de la cabina se rediseño la estructura del simulador debido a que se encontraba expuesto al sol e incluso a bajas temperaturas lo que ocasionó un notable desgaste, para lo cual se sometió a un proceso de pintura y a la colocación de un anticorrosivo para que evite la presencia de oxido ante la exposición de climas externos

#### Figura 40.

*Parte estructural de la cabina del simulador terminada*



*Nota.* En la imagen se muestra la parte externa del simulador después de realizar el proceso de mantenimiento.

### 3.4 Software

#### 3.4.1 Protocolo de comunicación

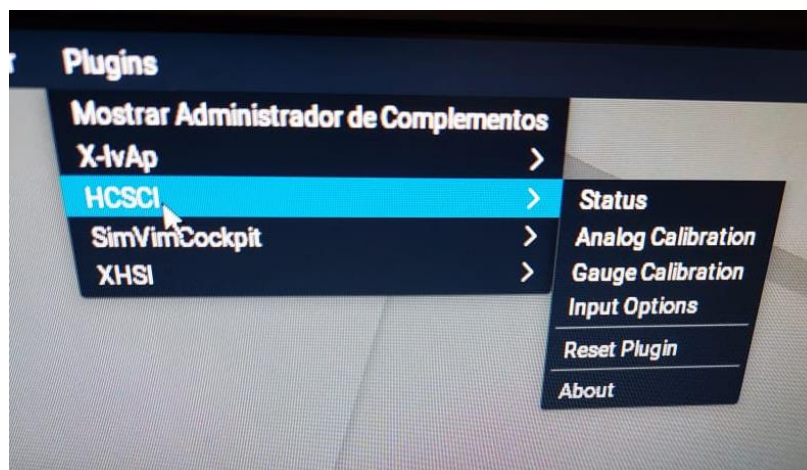
Para el protocolo de comunicación entre los controles de entrada y salida del panel de control del sistema contra hielo y lluvia con X-Plane 11 se utilizó una interfaz de Home Cockpit SimControl Interface, que posee un configurador para las entradas y salidas del sistema y se almacena como un data que va a ser descargado como plugin en X-Plane ya que posee un protocolo de intercambio de datos UDP (Protocolo de datagrama de usuario) incorporado. Todo el firmware o código se carga en la placa Arduino mega que controla la activación de entradas y salidas.

### 3.4.2 Plugin Home Cockpit SimControl Interface

Se realizó la descarga de X-PLANE 11 en el CPU que posee un sistema operativo Linux, se ejecutó el programa y se añadió el plugin HCSCI extrayendo el archivo ZIP de HCSCI que se descargó de la página principal. Se abrió el programa X-Plane y se seleccionó en la ventana de plugin, teniendo en cuenta que el plugin debe ser actualizado. Los plugin HCSCI se consideran el elemento más importante de la interfaz, al descargarlos se pudo tener una comunicación firmware HCSCI con el Arduino mega y el software HCSCI Panel. En la opción de plugins se puede calibrar todos los instrumentos para mejorar el funcionamiento de los mismos

**Figura 41.**

**Descarga de plugins en X-Plane 11**



*Nota.* En la imagen se muestra la descarga de los plugin en X-Plane y las diferentes opciones que posee para mejorar el funcionamiento de los instrumentos

**Figura 42. Versión de descarga de los plugin para HCSCI**

Download	Version	Date
<a href="#">Latest HCSCI Plugin Release Notes</a>	---	---
Current HCSCI version (plugin and database file)	<a href="#">HCSCI Plugin - v. 1.0.79b</a>	30 June, 2021
Latest database file (also included in the plugin archive above)	<a href="#">HCSCI.dat</a>	03 July, 2021

*Nota.* La imagen muestra la versión de descarga de los plugin para HCSCI

### 3.4.3 Firmware para la placa Arduino

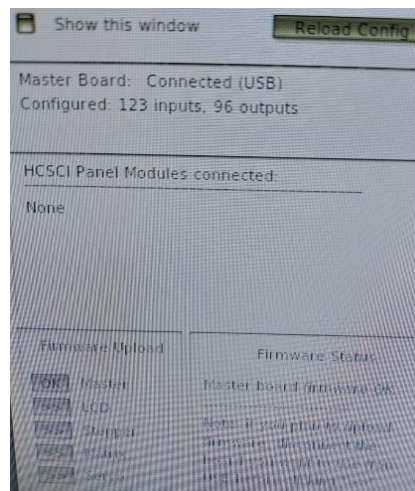
El código firmware se subió a la placa de Arduino mega desde el menú del plugin para controlar las entradas, dispositivos de salida e intercambiar datos. Para cargar el firmware

seleccionamos la ventana plugin, seleccionamos “estado” teniendo en cuenta que la placa de Arduino no debe estar conectada por el puerto USB, se selecciona el icono “>>” para establecer como maestro y en la parte derecha aparece el botón “detectar puerto”, se conecta la placa Arduino mediante USB, seleccionamos el botón “detectar puerto” y apareció un mensaje de “conexión de la placa maestra”, por último se da clic en “subir” para conectarse al controlador de manera automática.

Para comprobar que la conexión fue exitosa nos fijamos en los mensajes de “conectada placa maestra”, “configuración de entradas y salidas” según sea el valor que seleccionemos. Después de comprobar esto comenzamos a conectar las entradas y dispositivos de salidas del simulador

#### **Figura 43.**

*Cargar los plugin en X-Plane*



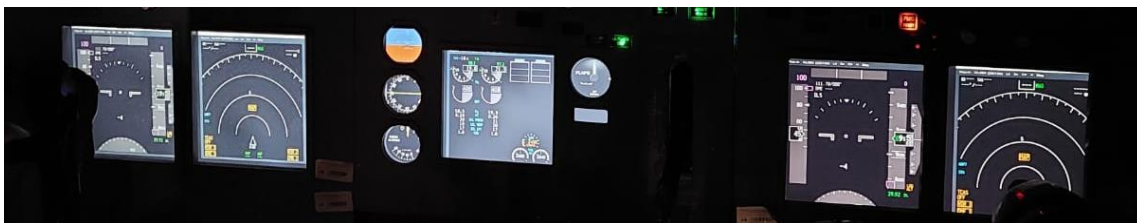
*Nota.* La imagen describe todos los componentes para examinar el estado de la conexión para cargar el firmware a la placa Arduino con los plugins HCSCI

#### **3.4.4 Programa del panel HCSCI**

Se usó un programa independiente denominado HCSCI Panel, el cual generó todos los paneles de instrumentos del Boeing 737-500. Los instrumentos fueron proyectados en monitores y se encuentran conectados por red a la computadora principal con X-PLANE

**Figura 44.**

*Instrumentos del simulador*



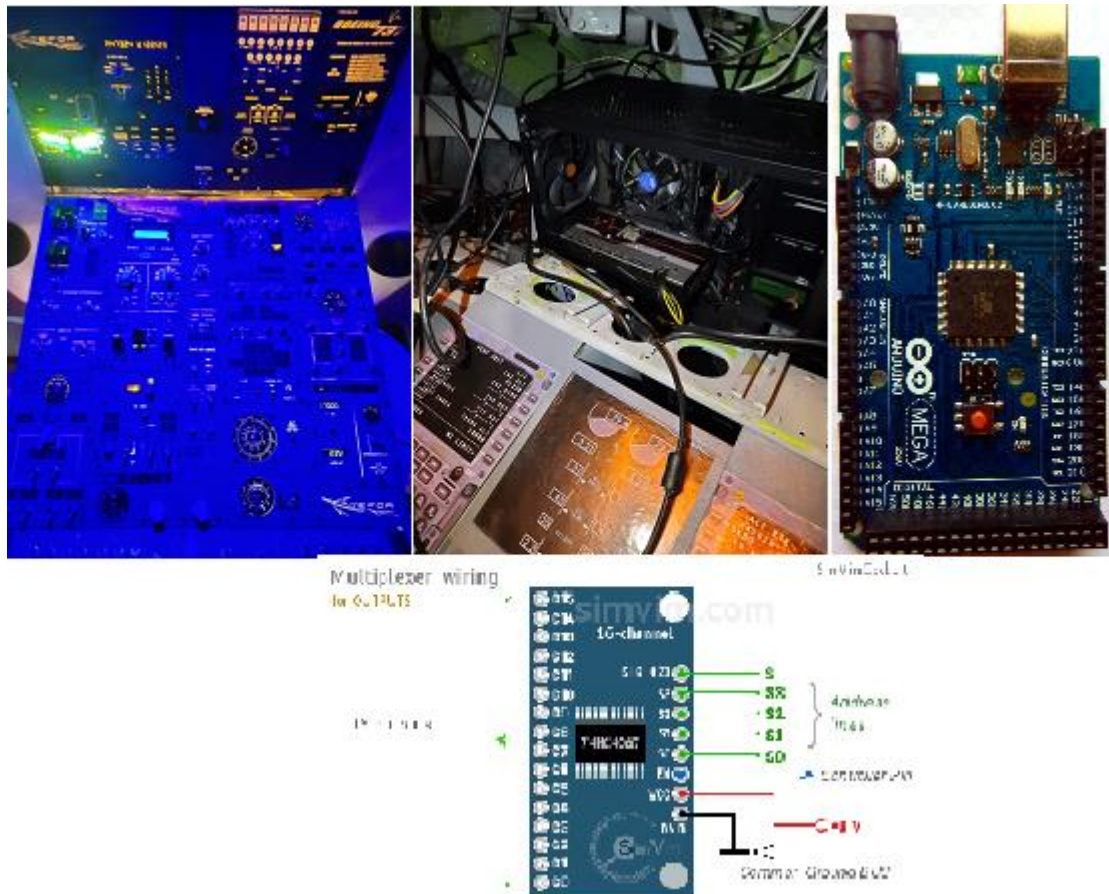
*Nota.* La imagen muestra el panel de instrumentos proyectados en un monitor

### 3.5 Hardware

La unidad de control de todo el simulador es la placa maestra conocido como Arduino MEGA, es donde se carga el firmware HCSCI. Mediante esta placa se puede configurar a los pines como entradas o salidas. Un multiplexor CD74HC4067 fue usado ya que es muy importante para colocar hasta 16 interruptores en cada pin. Para proyectar las imágenes consta de 6 monitores conectados entre sí mediante conectores VGA, en donde se muestran los instrumentos de vuelo y la perspectiva del piloto con el entorno de vuelo. El simulador consta de un CPU con un sistema operativo LINUX y los distintos paneles de control del avión Boeing 737-500.

**Figura 45.**

*Hardware del simulador*



*Nota.* La imagen muestra los componentes físicos que conforman la parte interna del simulador como: paneles, CPU, Arduino mega, multiplexor, monitor

### 3.6 Configuración de Home Cockpit SimControl Interface

Los instrumentos, elementos de control o cualquier panel de la cabina para el sistema contra hielo y lluvia se configuró en línea. Se seleccionó para cada una de las entradas y salidas los puertos que serían utilizados para cada sistema contra hielo y lluvia presentes en el avión y se fue asignando, dependiendo si era un interruptor, led o pantalla. Clic en guardar y se descargó el archivo data.

**Figura 46.**

*Configuración Home Cockpit SimControl Interface*



*Nota.* La imagen muestra el panel para el sistema contra hielo y lluvia en la configuración HCSCI para entradas y salidas

### 3.7 Entradas digitales

Para las entradas digitales del sistema antihielo y lluvia se usó el multiplexor 74HC4067. Todos los interruptores que forman parte del sistema se conectaron al multiplexor desde la entrada 0 hasta la 15 y sus 4 línea de salidas S0, S1, S2 y S3 se conectan a los pines 22, 23, 24 y 25 del Arduino Mega. La alimentación que se uso es 5V DC.

Para los sistemas Anti-Ice se usaron interruptores de palanca, pulsadores de momento, interruptor de alternancia On-Off, selectores o interruptores giratorios multiposición. Todo este tipo de entradas deben conectarse a las entradas del multiplexor.

Se soldaron cables de datos a todas las entradas de los sistemas y estos cables se soldaron a los espadines del multiplexor, sus señales de salidas S0, S1, S2, S3 son conectadas al Arduino con cable de datos. Cada cable estaba determinado por colores y se identificó cada uno para no confundirse en el momento de colocar las entradas al Arduino

**Figura 47.**

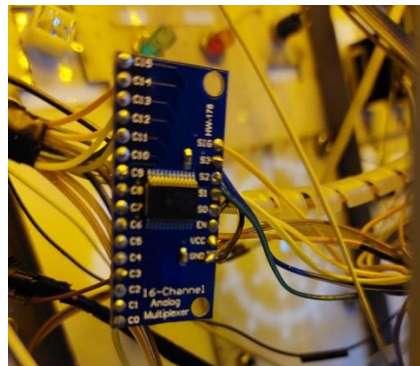
*Soldadura de interruptores del sistema contra hielo y lluvia*



*Nota.* La imagen muestra el proceso de soldar los interruptores Anti-ice que serán usados como entradas digitales hacia el multiplexor

**Figura 48.**

*Multiplexor con entradas digitales del sistema contra hielo y lluvia*

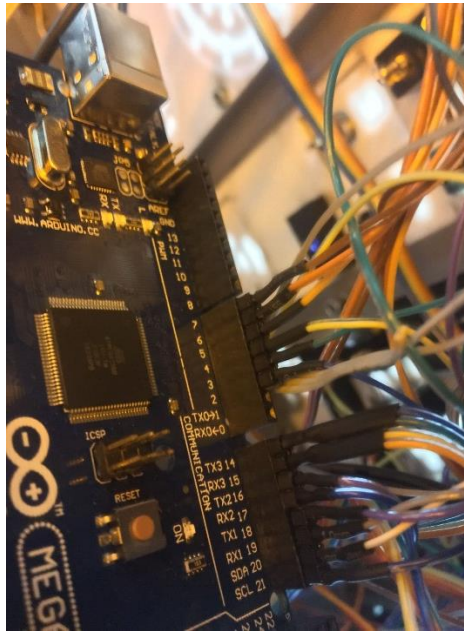


*Nota.* La imagen señala el multiplexor 74HC4067 utilizado para las entradas digitales del sistema contra hielo y lluvia soldadas



**Figura 49.**

*Cableado del Arduino Mega*



*Nota.* La imagen muestra la conexión de las entradas provenientes desde el multiplexor hacia el Arduino mega

**Figura 50.**

Panel de instrumentos del sistema contra hielo y lluvia



*Nota.* Las imágenes indican los paneles del sistema contra hielo y lluvia con sus respectivos interruptores que son utilizados como entradas digitales

### 3.8 Entradas analógicas

Para realizar el chequeo operacional del sistema contra hielo y lluvia es necesario las palancas de empuje de motores, las mismas que poseen señales analógicas, por lo que la señal proviene de un potenciómetro debido a que permite tener valores que varían dentro de un rango, para conocer la posición de las palancas. Los potenciómetros se consideran los elementos sensores y estos van a ir conectados a las entradas analógicas del Arduino Mega.

Se soldaron cables en los terminales del potenciómetro, la pata de la mitad es la señal de salida y debe ser conectada a la entrada analógica y los otros dos hacia la alimentación. Cada vez que se realiza un movimiento en el rango del sensor se envía un nuevo valor a X-PLANE, que determina el nuevo dato.

Mediante plugin HCSCI se realizó la calibración del sensor para tener rangos de valores completos. Para usar una entrada analógica se localizó en el configurador HCSCI la entrada que posee este parámetro y por último se seleccionó un pin de entrada analógica en el Arduino

#### **Figura 51.**

*Conexión de las entradas analógicas*



*Nota.* La imagen muestra la conexión de la palanca de empuje como una entrada analógica hacia los potenciómetros

### 3.9 Componentes indicadores o salidas del sistema

#### 3.9.1 Modulo MAX 7219

Para todas las salidas de indicadores led se usó el circuito integrado MAX 7219 que brinda una interfaz serie de 3 pines para controlar desde Arduino, se alimenta con 5v desde la placa de Arduino y mediante las líneas DIN, CS, CLK se envían los comandos hacia la placa Arduino para activar los indicadores led del sistema antihielo. Este módulo consta de una matriz de leds de 8x8 con una conexión de cátodo común lo que facilita la toma de señales digitales

Para las luces indicadoras se usaron leds, dispositivos sonoros que permitieron determinar si existe algún fallo en los sistemas, las banderas que se despliegan también son consideradas como una salida. Para las luces “máster warming” y “máster caution” se soldaron leds de alta luminosidad que poseen un mecanismo de “reset” al ser presionadas, ya que funciona como un interruptor.

**Figura 52.**

*Configurador de los indicadores del en HCSCI*



*Nota.* La imagen muestra la asignación de todos los indicadores led del sistema antihielo y lluvia. Tomado de (HCSCI, RealSimControl, 2012)

**Figura 53.**

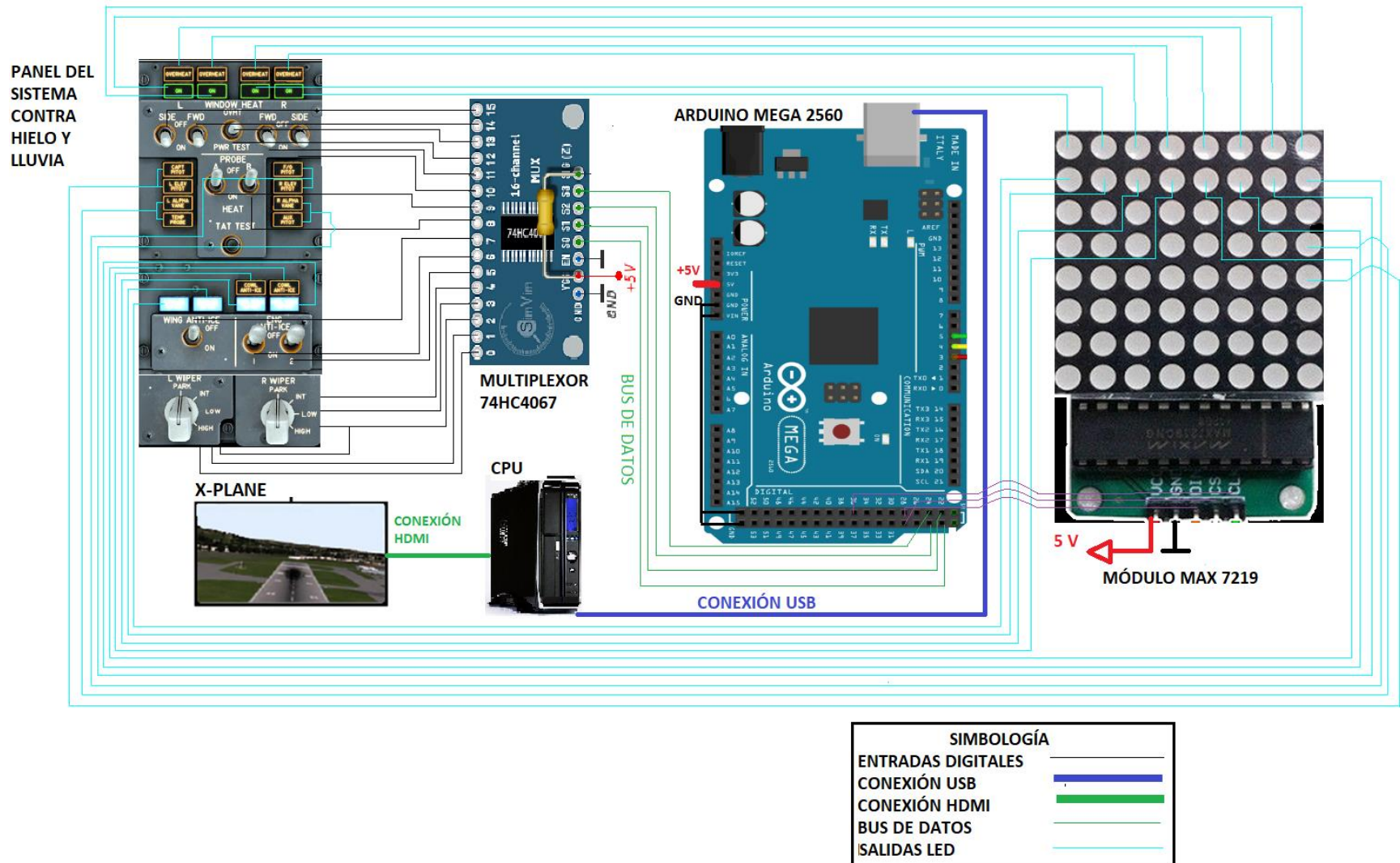
*Indicador led Máster Caution*



*Nota.* La imagen muestra los leds indicadores “master caution” y “master warning” colocados en interruptores que contiene un reset al ser presionarlos

Figura 54.

Diagrama de conexionado del sistema anti hielo y lluvia en el simulador



Nota. La figura muestra el diagrama de conexiones perteneciente al sistema contra hielo y ll

### 3.10 Colocación de paneles pertenecientes al simulador

La colocación de los paneles de control y monitores se efectuó al terminar el proceso de soldadura de los pines de entrada y salida hacia el Arduino mega. Se los colocó usando remaches o tornillos enfocándose en la estética del simulador

Para las identificaciones de la parte externa y circuit breakers se mandó a una imprenta laser para que nos ayude con la impresión en vinilo color hueso. Posteriormente se recortó y se pegó en cada una de las zonas designadas

#### Figura 55.

*Colocación de los paneles*



*Nota.* La imagen muestra el sistema de iluminación del interior del simulador

### 3.11 Configuración de tamaño y centrado de instrumentos en los monitores

Las dimensiones de las pantallas se ajustaron entrando al menú principal, se da clic en “ancho de pantalla” y se introduce los valores en milímetros. Para cada panel e instrumento se realizó el ajuste de posicionamiento de acuerdo con su espacio.

**Figura 56.**

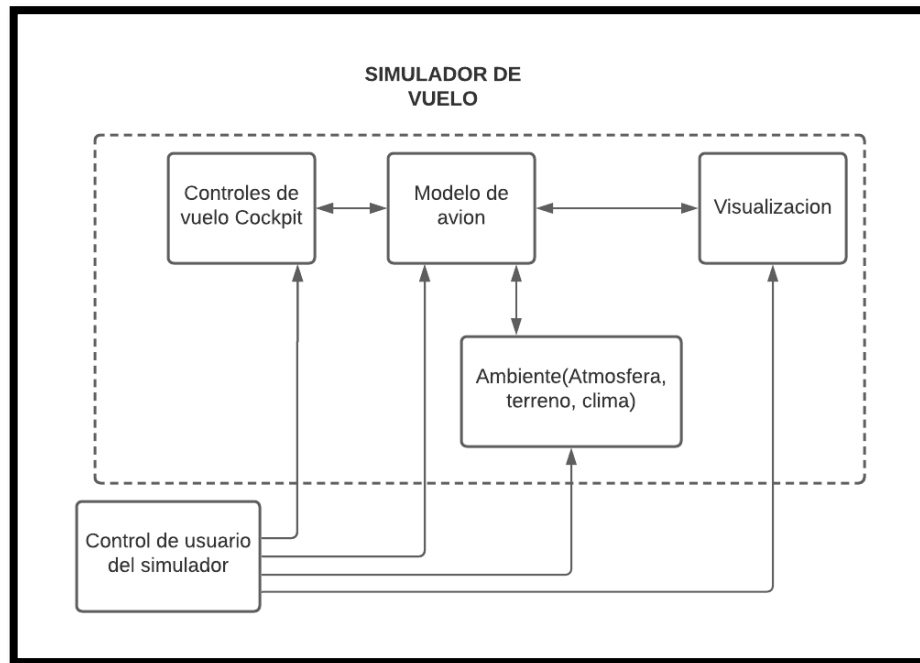
*Configuración y centrado de los instrumentos*



*Nota.* La imagen muestra los instrumentos de vuelo centrados de acuerdo a sus respectivas dimensiones

**Figura 57.**

*Diagrama de bloques durante la simulación*



*Nota.* En este gráfico se muestra el diagrama de bloques durante la simulación y las opciones que podemos seleccionar para el vuelo

El diagrama de bloques señala como está compuesto el simulador, los controles de vuelo Cockpit son considerados como el hardware del sistema, este contiene mandos como el timón, los pedales, palanca de empuje y sistemas del panel de control. Para la entrada de todos los controles se usaron las entradas analógicas y digitales del Arduino Mega.

Después se selecciona el modelo del avión dependiendo la necesidad del usuario y tomando en cuenta los sistemas que posee la aeronave o el modo de propulsión de cada una de ellas, se debe tomar en cuenta que se puede modificar la aeronave mientras se ejecuta la simulación. Las condiciones meteorológicas son establecidas con el bloque de ambiente, incluso se puede tener características de la pista de aterrizaje, accidentes geográficos, presencia de océanos, etc.

El grupo de visualización tiene varias opciones desde el avión visto por la parte exterior hasta la parte interior de la cabina. El módulo control de usuario del simulador permite la interacción entre el usuario y simulador, ya que se puede setear funciones de los controles de vuelo

### **3.12 Procedimiento para prueba del sistema antihielo térmico del ala**

Para el interruptor Antihielo del ala se lo configuro como entrada en el HCSCI. Desde el interruptor se realizó la conexión hacia un multiplexor 74HC4067. La salida sig. del multiplexor se conectó a la entrada de los pines digitales del Arduino. Para las luces indicadoras de válvula abierta izquierdo y válvula abierta se configura como salidas leds en el HCSCI. La conexión se realiza desde el Arduino hacia el Max 7219 utilizando puertos digitales libres para conectar los leds

Para realizar esta prueba se debe poner en marcha los motores, existen dos maneras de hacerlo, mediante el software al ingresar a la aplicación de X-Plane colocando la opción de motores en marcha o mediante el procedimiento de puesta en marcha de motores que se detalla a continuación:

- a) Se encendió la batería del avión
- b) Se activó las bombas de combustible delanteras del lado izquierdo
- c) Se colocó el interruptor del APU en inicio durante 3 segundos
- d) Se puso en línea el generador del APU
- e) El interruptor de sangrado de motor está en la posición ON
- f) Los packs de aire acondicionado se colocaron en la posición de auto, al igual que la circulación FAN



- g) Se comprueba que los interruptores de las bombas hidráulicas eléctricas están en la posición OFF y Los interruptores de las bombas hidráulicas de los motores en la posición ON
- h) Se alinee el sistema de referencia inercial colocando el selector del IRS en la posición de navegación
- i) Se activó la calefacción de las ventanas
- j) El interruptor de amortiguador de guiñada se colocó en ON
- k) Se colocó el interruptor de motor de arranque hacia la posición de motor derecho
- l) Se ubicaron todos los interruptores de las bombas de combustible en la posición ON
- m) Los interruptores de las bombas hidráulicas eléctricas se colocaron en ON
- n) Se activo la luz de anticollisión
- o) Los packs de aire acondicionado se colocaron en la posición de OFF
- p) Se ubico el selector de arranque del motor derecho en la posición de ground, después de inyectar combustible volverá automáticamente a la posición OFF
- q) Se ubico el selector de arranque del motor izquierdo en la posición de ground, después de inyectar combustible volverá automáticamente a la posición OFF
- r) Se volvió a colocar los packs de aire acondicionado en Auto
- s) Se posiciono los interruptores de sangrado del APU en ON y el interruptor del Bleed del APU en posición OFF
- t) Se activa los generadores eléctricos del APU del motor derecho e izquierdos

Para realizar el chequeo operacional del sistema antihielo del ala se acciono el interruptor de “Wing Anti-Ice” colocado en el panel superior. Cuando se accionó el interruptor, las válvulas de control TAI se abren para permitir el paso de aire neumático por los conductos antihielo del borde de ataque del ala.

Al presentarse un fallo la luz “L Valve Open” o “R Valve Open” se encienden intensamente debido a que la posición de las válvulas no coincide con la posición del interruptor de control y brillara tenue si las posiciones coinciden.

**Figura 58.**

*Luces indicadoras del sistema antihielo del ala*



*Nota.* La imagen muestra las luces indicadoras del sistema antihielo del ala con un brillo tenue, que señala que el sistema funciona correctamente cuando se colocó el interruptor en la posición ON

El cierre automático de las válvulas se produjo cuando existe un sobrecalentamiento de 125° del aire de purga por un conducto en el borde de ataque o al colocar la palanca de empuje de motor N°1 o motor N°2 en un ángulo superior a 32°. Para el chequeo operacional se debe colocar la palanca de empuje del motor 1 a más de 32°, el mismo procedimiento se realiza para el motor N°2

**Figura 59.**

*Palanca de empuje de motor 1*



*Nota.* La imagen señala la posición de la palanca de empuje del motor N°1 a más de 32°

La válvula TAI del ala izquierda se debe cerrar debido a que ya no se permite el paso de aire de purga del motor por la posición de la palanca de empuje y no coincide con el interruptor de antihielo del ala que se encuentra en la posición de encendido y como consecuencia la luz indicadora de válvula abierta del ala izquierda se apaga

**Figura 60.**

*Luz de indicación de ajuste y prueba del sistema antihielo del ala izquierda*



*Nota.* En el gráfico se puede verificar que la luz de válvula del ala izquierda se encuentra apagada, debido a lo que menciona el chequeo operacional del sistema

Para el chequeo operacional del sistema antihielo del ala derecha se debe colocar la palanca de empuje del motor numero 2 a una posición mayor de los 32°

**Figura 61.**

*Palanca de empuje de motor n2*



*Nota.* La imagen señala la posición de la palanca de empuje del motor n2 a más de 32°

La válvula TAI del ala derecha se debe cerrar debido a que ya no se permite el paso de aire neumático del motor por la posición de la palanca de empuje y no coincide con el interruptor de antihielo del ala que se encuentra en la posición de encendido y como consecuencia la luz indicadora de válvula abierta del ala derecha se apaga

**Figura 62.**

*Luz de indicación de ajuste y prueba del sistema antihielo del ala derecha*



*Nota.* En el gráfico se puede verificar que la luz de válvula del ala derecha se encuentra apagada, debido a lo que menciona el chequeo operacional del sistema

### 3.13 Procedimiento para prueba del sistema antihielo del motor

El interruptor antihielo del motor 1 y el interruptor antihielo del motor 2 se configuraron como entradas en el HCSCI. Desde el interruptor del motor 1 se realizó la conexión hacia un multiplexor 74HC4067 y se realiza el mismo procedimiento para el interruptor del motor 2 dependiendo de los pines que se asignaron. Las dos salidas sigs. del multiplexor se conectaron a las entradas de los pines digitales del Arduino. Para las luces indicadoras de válvula antihielo del capó de entrada del motor 1 y 2, para las luces de sobrepresión se configuraron como salidas leds en el HCSCI. La conexión se realiza desde el Arduino hacia el MAX 7219 utilizando puertos digitales libres para conectar los leds

- (1) Para realizar esta prueba se debe poner en marcha los motores
- (2) Cuando el interruptor “Eng Anti-Ice” se coloca en ON para el motor seleccionado, se suministran 28V DC a la válvula TAI. El solenoide de la válvula se energiza y el aire caliente se dirige a través de la válvula al aro de distribución de aire, que contiene agujeros que dirigen el aire antihielo al borde interior de la de la cubierta de entrada.  
El aire circula alrededor de la cubierta de entrada y se ventila por la borda a través del puerto de escape de la TAI.
- (3) Cuando el interruptor “Eng Anti-Ice” se coloca por primera vez en ON, la luz azul de Válvula abierta de la cubierta de motor se enciende brillantemente para indicar que la válvula está en tránsito. Cuando la válvula alcanza la posición de apertura total, la luz de color azul se atenúa y se mantiene así

**Figura 63.**

*Luz de indicación del sistema antihielo del capo de motor*



*Nota.* La imagen indica las luces indicadoras del sistema antihielo del capo de entrada de los 2 motores cuando el interruptor se coloca en la posición de encendido

- (4) Cuando el interruptor "Eng Anti-Ice" se coloca en OFF, el solenoide de la válvula se desenergiza y la válvula se cierra.

**Figura 64.**

*Indicación de válvula solenoide cerrada*



*Nota.* En la imagen se observa el interruptor del sistema antihielo del motor en la posición OFF, por lo que la válvula está cerrada y no se enciende ninguna indicación en el panel

- (5) Cuando el interruptor "Eng Anti-Ice" se coloca en OFF, la luz azul de Válvula abierta de la cubierta de motor se enciende brillantemente para indicar que la válvula está en tránsito, luego se apaga para indicar que la válvula está cerrada.

**Figura 65.**

*Válvulas en tránsito del sistema antihielo del motor*



*Nota.* En la imagen se observa que el grado de brillantes azul es mayor debido a que las válvulas para el sistema antihielo de los motores se están empezando a abrir

- (6) Cuando una presión de  $65 \pm 3$  psi es detectada por el interruptor de presión TAI, el interruptor se activa haciendo que se encienda la luz de antihielo de capo y una luz de precaución maestra

**Figura 66.**

*Indicación por presión excesiva*



*Nota.* En la imagen se evidencia la luz de precaución maestra cuando se presenta una presión excesiva en las válvulas

**Figura 67.***Luz de presión excesiva*

*Nota.* En la imagen se observa la alerta que se presenta cuando se realiza el ajuste y prueba del sistema contra hielo del motor en situación de sobrepresion

- (7) Cuando el interruptor de sobrecalentamiento del TAI detecta una temperatura de  $825 \pm 20^\circ\text{F}$ , el interruptor se activa y se enciende la luz de precaución. Para este procedimiento se configuro en X-plane para que exista fuego en los motores

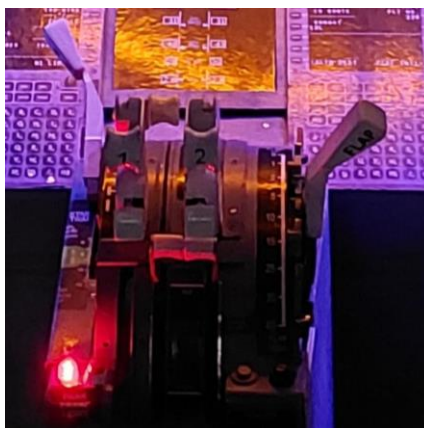
**Figura 68.***Indicación por sobre temperatura*

*Nota.* En la imagen se observa la luz de precaución maestra que permite identificar que se activó el interruptor térmico del motor por sobre temperatura

- (8) Si el motor no está en marcha, las palancas de empuje en la posición  $0^\circ$  y el interruptor "Eng Anti-Ice" está en ON, la luz Válvula abierta de la cubierta de motor se encenderá y permanecerá encendida. En estas condiciones, si el sistema neumático está presurizado, la luz de válvula abierta puede atenuarse momentáneamente.

**Figura 69.**

*Palancas de empuje en el chequeo antihielo de motor*



*Nota.* En el gráfico se observa las palancas de empuje en la posición 0° para poder realizar la prueba del sistema antihielo del motor

**Figura 70.**

*Atenuación de la luz de válvula abierta del sistema contra hielo del motor*



*Nota.* En el gráfico se puede evidenciar que las luces de válvula abierta del capo de entrada de motor se atenuaron cuando el motor no se encuentra en marcha



### 3.14 Procedimiento del sistema antihielo de los Tubos Pitot, sonda de temperatura y paletas alfa

Se asignaron los pines para las entradas desde HCSCI para la operación de: los tubos Pitot estático izquierdo y derecho, la sonda de temperatura, para las paletas alfa anticongelante izquierda y derecha, para los tubos de Pitot izquierdo y derecho del elevador.

Al colocar el interruptor A en la posición ON, localizado en el módulo de calefacción de ventana y Pitot P5-9 se encienden los calentadores eléctricos que controlan el calentamiento del Pitot estático izquierdo, la sonda de temperatura, el calentador de la paleta alfa anticongelante izquierda y el calentador del elevador izquierdo. El mismo funcionamiento se tiene al colocar el interruptor B en la posición ON para el lado derecho. Estos sistemas poseen elementos de resistencia que funcionan con 115 V CA.

NOTA: La sonda de Temperatura Total de Aire no se calienta en tierra, pero la luz de "Temp Probe" se apaga cuando el interruptor A está en la posición ON durante la operación en tierra.

#### Figura 71.

*Luz indicadora de TEMP PROBE*



*Nota.* La imagen muestra la luz de "Temp Probe" apagada mientras el avión se encuentra realizando operaciones en tierra

Las luces de indicación se iluminan cuando el interruptor respectivo está en posición OFF y cuando el interruptor respectivo está en posición ON y no hay suficiente flujo de corriente a través de los elementos calefactores

**Figura 72.**

*Luces del Pitot estático, la sonda de temperatura, el calentador de la paleta alfa anticongelante y el calentador del elevador*



*Nota.* La imagen muestra a los interruptores A y B en la posición de Off y las luces indicadoras que corresponden al Pitot estático, la sonda de temperatura, el calentador de la paleta alfa anticongelante y el calentador del elevador

El sistema tiene un circuito de indicación que consiste en un transformador de corriente, un interruptor electrónico y una luz indicadora para cada sensor. Cuando el transformador no detecta el flujo de corriente, el interruptor electrónico proporciona una tierra para la luz indicadora. Los circuitos de la luz reciben 28 voltios de corriente continua a través del relé maestro de atenuación del BUS DIM DEL INDICADOR NO. 1 DC y NO. 2 DC en el panel P6. Las luces son del tipo "presionar para probar" y pueden ser probadas individualmente o mediante el uso del interruptor de prueba de luz principal. Las luces también pueden atenuarse mediante el uso del interruptor de atenuación principal

**3.14.1 Ajuste y prueba del sistema antihielo de los Tubos Pitot, sonda de temperatura y paletas alfa**

- (1) Proporcione energía eléctrica
- (2) Ponga todos los interruptores selectores de la ventana en OFF

**Figura 73.**

*Interruptores de las ventanas y tubos pitot en OFF*



*Nota.* En la imagen se muestra los interruptores de la calefacción de las ventanas en la posición de OFF

- (3) Asegúrese de que los interruptores “Pitot Static A y B” están en la posición de apagado.
- (4) Compruebe que todas las luces indicadoras del módulo de Ventana y Calor de Pitot están encendidas.

**Figura 74.**

*Interruptores A y B en posición OFF y luces indicadoras*



*Nota.* En el gráfico se observa a los interruptores de los calentadores eléctricos en la posición OFF y las luces indicadoras del Pitot estático, la sonda de temperatura, el calentador de la paleta alfa anticongelante y el calentador del elevador encendidas

- Realice una prueba del sistema de calentador Pitot-estático "A" y "B"

NOTA: Las luces de “Precaución Maestra” y el anunciador “Anti-Ice” estarán encendidos para esta prueba.

**Figura 75.**

*Luz de precaución maestra encendida*



*Nota.* En la imagen se evidencia la luz de precaución maestra encendida para realizar el ajuste y prueba

- (1) Haga una prueba del calentador en el tubo Pitot superior izquierdo.
  - (a) Ponga el interruptor “Pitot-estático A” en la posición de encendido.
  - (b) Asegúrese de que todos los calentadores del tubo Pitot están apagados.

**Figura 76.**

*Luces indicadoras “Pitot Static” con interruptor A en ON*



*Nota.* En la imagen se muestra la posición del interruptor A en ON de los calentadores eléctricos y las luces apagadas

- (c) Ponga el interruptor “Pitot-Static A” en la posición de apagado.

**PRECAUCIÓN:** NO HAGA FUNCIONAR NINGÚN CALEFACTOR DURANTE MÁS DE 5 MINUTOS. PUEDE DISMINUIR LA VIDA ÚTIL DEL CALEFACTOR SI LO DEJA ENCENDIDO.

- (d) Ponga el interruptor “Pitot-Static B” en la posición de encendido.
- (e) Asegúrese de que sólo se apague el indicador luminoso “Aux Static”.

**Figura 77.**

*Indicador Aux Static*



*Nota.* En la imagen se muestra que el indicador luminoso de Aux Static se encuentra apagado

ADVERTENCIA: NO TOQUE LOS CALENTADORES PARA SABER QUE ESTÁN ENCENDIDOS. SENTIR EL AIRE CERCA DE LOS CALEFACTORES PARA CONOCER SU TEMPERATURA. LOS CALENTADORES PUEDEN CALENTARSE MUCHO Y CAUSAR LESIONES SI LOS TOCA.

- (2) Haga una prueba del calentador en el tubo Pitot inferior izquierdo.
  - (a) Ponga el interruptor “Pitot-Static B” en la posición de encendido.
  - (b) Asegúrese de que todos los calentadores del tubo de Pitot están apagados.

**Figura 78.**

*Luces indicadoras “Pitot Static” con interruptor B en ON*



*Nota.* En la imagen se muestra la posición del interruptor B en ON de los calentadores eléctricos y las luces apagada

- (c) Ponga el interruptor “Pitot-Static B” en la posición de apagado.

**Figura 79.**

*Interruptor "Pitot Stati" c apagado*



*Nota.* En el gráfico se observa el interruptor B en la posición B y las luces de los calentadores eléctricos encendidos

PRECAUCIÓN: NO HAGA FUNCIONAR NINGÚN CALEFACTOR DURANTE MÁS DE 5 MINUTOS. PUEDE DISMINUIR LA VIDA ÚTIL DEL CALEFACTOR SI LO DEJA ENCENDIDO.

(d) Ponga el interruptor "Pitot-Static A" en la posición de encendido.

(e) Asegúrese de que sólo se apague la luz indicadora "Aux P/S".

**Figura 80.**

*Indicador Aux Pitot*



*Nota.* En la imagen se muestra que el indicador luminoso de "Aux Static" se encuentra apagado y el interruptor A en la posición ON

ADVERTENCIA: NO TOQUE LOS CALEFACTORES PARA SABER QUE ESTÁN ENCENDIDOS. SENTIR EL AIRE CERCA DE LOS CALEFACTORES PARA CONOCER SU TEMPERATURA. LOS CALEFACTORES PUEDEN CALENTARSE MUCHO Y CAUSAR LESIONES SI LOS TOCA.

- (f) Asegúrese de que sólo se calienta el tubo Pitot inferior izquierdo.
- (g) Ponga el interruptor “Pitot-Static A” en la posición de apagado.
- (3) Haga una prueba del calentador en el tubo Pitot para el elevador izquierdo.
  - (a) Ponga el interruptor “Pitot-Static B” en la posición de encendido.
  - (b) Asegúrese de que todos los calentadores del tubo de Pitot están apagados.

**Figura 81.**

*Indicadores de los calentadores de los Tubo Pitot B*



*Nota.* En el gráfico se comprueba que las luces indicadoras de los calentadores Pitot B están apagados al colocar le interruptor en la posición ON

- (c) Ponga el interruptor “Pitot-Static B” en la posición de apagado.

PRECAUCIÓN: NO HAGA FUNCIONAR NINGÚN CALEFACTOR DURANTE MÁS DE 5 MINUTOS. PUEDE DISMINUIR LA VIDA ÚTIL DEL CALEFACTOR SI LO DEJA ENCENDIDO.

- (d) Ponga el interruptor “Pitot-Static A” en la posición de encendido.

ADVERTENCIA: NO TOQUE LOS CALENTADORES PARA SABER QUE ESTÁN ENCENDIDOS. SENTIR EL AIRE CERCA DE LOS CALEFACTORES PARA CONOCER SU TEMPERATURA. LOS CALENTADORES PUEDEN CALENTARSE MUCHO Y CAUSAR LESIONES SI LOS TOCA.

- (e) Asegúrese de que sólo se calienta el tubo Pitot del elevador izquierdo.

**Figura 82.**

*Indicador del tubo Pitot del elevador izquierdo*



*Nota.* En la imagen se observa que el indicador de Pitot del elevador esta apagado, lo que representa que el calentador se encuentra encendido

- (f) Ponga el interruptor “Pitot-Static A” en la posición de apagado.
- (4) Hacer una prueba del calentador de la sonda de temperatura.
  - (a) Poner el interruptor “Pitot-Static B” en posición de encendido.
  - (b) Asegúrese de que todos los calentadores de la sonda Pitot están apagados.

**Figura 83.**

*Indicadores de los calentadores de los Tubo Pitot B*



*Nota.* En el gráfico se comprueba que las luces indicadoras de los calentadores Pitot B están apagados al colocar le interruptor en la posición ON

- (c) Ponga el interruptor “Pitot-Static B” en la posición de apagado.

**PRECAUCIÓN:** NO HAGA FUNCIONAR NINGÚN CALEFACTOR DURANTE MÁS DE 5 MINUTOS. PUEDE DISMINUIR LA VIDA ÚTIL DEL CALEFACTOR SI LO DEJA ENCENDIDO.

- (d) Ponga el interruptor “Pitot-Static A” en la posición de encendido.
- (e) Asegúrese de que sólo se apague la luz indicadora de la Sonda de Temperatura.



**Figura 84.***Indicador de Sonda de Temperatura*

*Nota.* En la imagen se observa que el indicador de la sonda de temperatura se encuentra apagado, lo que demuestra que es la única que se está calentando

ADVERTENCIA: NO TOQUE LOS CALENTADORES PARA SABER QUE ESTÁN ENCENDIDOS. SENTIR EL AIRE CERCA DE LOS CALEFACTORES PARA CONOCER SU TEMPERATURA. LOS CALENTADORES PUEDEN CALENTARSE MUCHO Y CAUSAR LESIONES SI LOS TOCA.

- (f) Asegúrese de que sólo se calienta la sonda de temperatura.
- (g) Asegúrese de que la luz indicadora de “Temp Probe” se encuentra apagada.
- (h) Ponga el interruptor “Pitot-Static A” en posición de apagado.

### **3.15 Procedimiento del sistema de calefacción de las ventanas**

Para el sistema de calefacción se posee 4 interruptores de control que fueron configurados en HCSCI como entradas digitales para conectarlos a los multiplexores, las salidas S0, S1, S2, S3 se colocan en las entradas digitales del Arduino, se usó un interruptor “FWD” para cada una de las ventanas N.º 1 y N.º2 de cada lado de la cabina y un switch “SIDE” para las ventanas N.º3 y N.º4 de ambos lados. Los interruptores son de cuatro polos y dos posiciones ON-OFF y están en el panel superior.

Al activar el interruptor “FWD L” se activa el sistema de calefacción para las ventanas N.º 1 y N.º2 del lado izquierdo y las luces indicadoras de encendido se iluminan de color verde en la parte izquierda. Lo mismo sucede al accionar el interruptor “FWD R” para el lado derecho. Al activar el interruptor SIDE L se activa el sistema de calefacción para las ventanas N.º 3 y N.º4 del lado izquierdo y las luces indicadoras de encendido se iluminan de color verde en la parte izquierda. Lo mismo sucede al accionar el interruptor “SIDE R” para el lado derecho.

Las luces son la indicación del sistema y están configuradas desde el HCSCI como salidas leds y estas van a ir conectadas al Arduino directamente para después colocarlas en el controlador led Max 7219 y a través de este se realiza la conexión para las luces indicadoras

Las luces de sobrecalentamiento se encienden cuando la temperatura de las ventanas excede los 110 grados °F. El circuito indicador de sobrecalentamiento también controla las luces Maestras de Precaución y un anuncio Maestro de Precaución para los pilotos.

### 3.15.1 Ajuste y prueba del sistema de calefacción de las ventas

- (1) Un interruptor a la vez ponga los interruptores de “Calor de Ventana” en la posición Encendido.
  - (a) Asegúrese de que se enciende la luz correspondiente ON

**Figura 85.**

*Indicador de las ventanas 3 y 4 del lado izquierdo*



*Nota.* La imagen muestra la luz indicadora de las ventanas laterales 3 y 4 del lado izquierdo al colocar el interruptor Side L en la posición de ON

**Figura 86.**

*Indicador de las ventanas 1 y 2 del lado izquierdo*



*Nota.* La imagen muestra la luz indicadora de las ventanas frontales 3 y 2 del lado izquierdo al colocar el interruptor FWD L en la posición de ON

**Figura 87.***Indicador de las ventanas 1 y 2 del lado derecho*

*Nota.* La imagen muestra la luz indicadora de las ventanas frontales 1 y 2 del lado derecho al colocar el interruptor FWD R en la posición de ON

**Figura 88.***Indicador de las ventanas 3 y 4 del lado derecho*

*Nota.* La imagen muestra la luz indicadora de las ventanas frontales 3 y 4 del lado derecho al colocar el interruptor SIDE R en la posición de ON

(b) Asegúrese de que la luz de “master caution” esta apagada.

**Figura 89.***Indicador de la luz de precaución maestra*

*Nota.* En el gráfico se observa la luz indicadora de precaución maestra apagada

- (2) Espere a que se calienten los cristales.
- (a) Asegúrese de que las ventanas delanteras y laterales se estabilicen a una temperatura de (90 a 120 grados F).
- NOTA: La temperatura de las ventas puede tardar hasta 4 minutos en estabilizarse.
- (b) Asegúrese de que las ventanas número 4 y número 5 se calienten a más de 90 °F pero menos de 125 grados F (52 grados C).
- (3) Ponga el interruptor “Window Heat Test OVHT/PWR” en la posición “OVHT” durante 1 segundo.
- (a) Asegúrese de que las luces de “Overheat” de ventanas se encienden.

**Figura 90.**

*Indicadores OVHT de las ventanas*



*Nota.* En la imagen se observa las luces indicadoras overheat de las ventanas al colocar el interruptor en la posición OVHT

- (b) Asegúrese de que se enciende la luz “master warning”.

**Figura 91.**

*Indicador de “master warning”*



*Nota.* La imagen indica la luz de master caution encendida en el momento de activar el interruptor OVHT

- (c) Compruebe que las ventanas comienzan a enfriarse.
- (d) Compruebe que las luces ON se apagan en menos de 70 segundos.

**Figura 92.**

*Indicadores ON del sistema de calefacción de las ventanas apagadas*



*Nota.* El gráfico muestra las luces de calefacción ON apagadas después de que las ventanas se enfriaron

- (4) Pulse cualquiera de las luces “master warning”.
  - (a) Asegúrese de que la luz de “master warning” se apaga.

**Figura 93.**

*Indicador de “master warning” apagada*



*Nota.* La imagen muestra la luz de precaución maestra después de presionarla, ya que cuenta con un sistema de reseteo

- (5) Mantenga el interruptor “Test” de la calefacción de la ventana en “PWR”.
  - (a) Asegúrese de que las luces de calefacción de la ventana ON permanecen encendidas.

**Figura 94.**

*Indicadores de calefacción de las ventanas en ON*



*Nota.* El gráfico muestra las luces de calefacción de las ventanas encendidas al colocar el interruptor en “PWR TEST”

NOTA: Si la ventana alcanza su límite superior de temperatura de seguridad, se encenderán las luces de sobrecalentamiento, “master warming” y la luz de Antihielo. Si el interruptor de prueba se mantiene en PWR después de que se encienda la luz Overheat, la luz ON se apagará en 70 segundos.

(b) Suelte el interruptor de prueba de calefacción de la ventana.

- (6) Ponga los interruptores de alimentación de la calefacción de la ventana en la posición OFF.

### **3.16 Procedimiento del sistema de limpiaparabrisas**

Se configura en el HCSCI cada posición del selector izquierdo como entradas y con el selector de la derecha lo mismo. El selector posee 4 posiciones del lado izquierdo Parqueo, Baja, Alta, Intermitente y 4 posiciones del lado derecho con igual descripción

- (1) Parqueo. -Apaga los motores del limpiaparabrisas y guarda las escobillas del limpiaparabrisas.
- (2) Intermitente. -operación intermitente de siete segundos.
- (3) Baja. - Operación de baja velocidad.
- (4) Alta. - Operación de alta velocidad

Al colocar el interruptor en las posiciones baja, alta, intermitente localizado en el panel superior se accionan los motores eléctricos de 28VDC. Posee un interruptor de sobrecarga térmica que cierra el circuito de campo del motor cuando la temperatura supera los 300°F o cuando la corriente supera los 8 o 10 amperios.

### 3.16.1 Ajuste y prueba del sistema de limpiaparabrisas

- (1) Suministrar energía eléctrica
- (2) Suministre un chorro continuo de agua limpia al parabrisas.
- (3) Asegúrese de que los limpiaparabrisas funcionan correctamente:
  - (a) Coloque el interruptor “Wiper” en posición Bajo.
    - 1) Asegúrese de que las escobillas del limpiaparabrisas se mueven libremente y con suavidad.
    - 2) Asegúrese de que las escobillas del limpiaparabrisas no tocan la estructura del avión.

#### Figura 95.

*Selector del sistema contra lluvia en posición baja*



*Nota.* En la imagen se observa al selector del sistema contra lluvia en la posición baja

- (b) Coloque el interruptor del limpiaparabrisas en la posición Alta.

NOTA: En la posición alta, la escobilla del limpiaparabrisas se mueve a un mínimo de 250 golpes por minuto.

- 1) Asegúrese de que las escobillas del limpiaparabrisas se mueven libremente y con suavidad.
- 2) Asegúrese de que las escobillas no hacen demasiado ruido.
- 3) Asegúrese de que las escobillas del limpiaparabrisas no tocan la estructura del avión.

**Figura 96.**

*Selector del sistema contra lluvia en posición baja*



Nota. En la imagen se observa al selector del sistema contra lluvia en la posición alta

(c) Coloque el interruptor del limpiaparabrisas en la posición "Park".

- 1) Asegúrese de que las escobillas no se mueven a la posición de estacionamiento.

(4) Quitar la energía eléctrica



## Capítulo IV

### 4. Conclusiones y recomendaciones

#### 4.1. Conclusiones

- Se elaboró un simulador de vuelo que permite recrear el comportamiento de una cabina Boeing 373-500 para conocer las partes estructurales que componen al sistema contra hielo y lluvia
- Se implemento las partes estructurales de los instrumentos del sistema antihielo y lluvia, cumplen todas las funcionalidades que evitan la acumulación de hielo por factores atmosféricos
- Para los chequeos operacionales del sistema antihielo y lluvia del ala, motor, tubos Pitot, paletas alfa, calefacción de las ventanas, limpiaparabrisas se usan los manuales de mantenimiento establecidos por el fabricante, teniendo en cuenta las páginas efectivas para cada aeronave
- Lo más importante para los elementos de control y los instrumentos es el configurador presente en Home Cockpit SimControl Interface Software, que es la interfaz con mapas de imágenes de diseño que puede representar todos los sistemas de la aeronave Boeing. Cuando se termine la configuración se debe seleccionar en guardar para que se pueda descargar el archivo data que se abrirá en X-Plane
- Se comprobó que el sistema de protección contra hielo y lluvia para los motores y alas del avión Boeing 737-500 usa aire de sangrado proveniente de los motores, mientras que, para el sistema de calefacción de ventanas, tubos Pitot, paletas alfa usan energía eléctrica de la aeronave

## 4.2 Recomendaciones

- Se debe alimentar la tarjeta madre con una fuente de alimentación externa de 12 voltios y 1 amperio para evitar que durante el chequeo operacional de las luces se produzca una desconexión de la placa de Arduino
- Se debe considerar que algunas funciones no van a funcionar debido al modelo de la aeronave, debido a que se anulan los comandos data de X-plane
- Para el chequeo operacional protección contra hielo en alas y motor se debe conocer el procedimiento para poner los motores en marcha
- Si deseo cambiar un parámetro en el configurador de control debo volver a guardarlo para que la nueva data se descargue
- Se debe tener cuidado en el momento de realizar la conexión hacia el Arduino y se debe comprobar que sean los pines correctos a los que fueron asignados desde el HCSCI

## Bibliografía

- AeroEXPO. (2021). Obtenido de <https://www.aeroexpo.online/es/prod/ppg-coatings-sa/product-170324-42412.html>. Recuperado el 27 Julio de 2021
- Allerton, D. (2009). *Principles of Flight Simulator*. Sheffield: Libreria britanica.
- ANDREATHEONE. (s.f.). *LIBERO DIGILAND*. Recuperado el 28 de Julio de <https://digilander.libero.it/andreatheone/engantieng.htm>
- ARDUINO. (5 de Febrero de 2018). *ARDUINO*. Recuperado el 28 de Julio de 2021, de <https://www.arduino.cc/>
- b737studyguide*. (s.f.). Recuperado el 01 de Agosto de <http://www.b737studyguide.com/B737NGiPad/B737/ForwardOverhead/ForwardOverheadPanel.html>
- Binghamton, U. d. (s.f.). *Time and Navigation*. Recuperado el 13 de Julio de 2021, de <https://timeandnavigation.si.edu/multimedia-asset/ed-link-and-p-v-h-weems-in-a-link-celestial-navigation-trainer>
- Boeing. (2015). *Ice and rain protection ATA 30 manual de mantenimiento*. Recuperado el 18 de Julio de 2021
- Boeing. (2015). *Pneumatic*. Recuperado el 18 de Julio de 2021
- Brady, C. (Septiembre de 1999). *El sitio técnico de Boeing 737*. Recuperado el 13 de Julio de 2021 ,de <http://www.b737.org.uk/iceandrain.htm>
- Cockpit, H. (2012). *SimVimCockpit 2012 - 202X*. Recuperado el 14 de Julio de 2021, de [http://hcscis.com/io\\_led.html](http://hcscis.com/io_led.html)
- Corzo, J. (10 de Mayo de 2005). *Interacciones no covalentes*. Recuperdo el 16 de Julio de 1021 deObtenido de <https://www.arduino.cc/>
- Daniel Malagon, J. A. (15 de Enero de 2010). *Diseño y contrucción de un banco de simulación para el sitema anti ice del borde de ataque de la aeronave airbus 320*. Recuperado el 2021, de Julio de 2021, de <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/66259.pdf>
- Gallo, C. (16 de Noviembre de 2017). *Helifly*. Recuperado el 13 de Julio de 2021, de <http://heliflycolombia.com/blog/los-simuladores-de-vuelo-su-gran-importancia-en-el-entrenamiento-de-pilotos/>
- Guerra, A. (13 de Julio de 2012). *Hispaviación*. Recuperado el 13 de Julio de 2021, de <https://www.hispaviacion.es/simulacion-de-vuelo-un-poco-de-historia/#:~:text=El%20primer%20%E2%80%9Csimulador%20de%20vuelo%E2%80%9D%2C%20por%20ese%20entonces,poder%20entrenarse%20adecuadamente%20en%20el%20vuelo%20del%20%E2%80%9CAntoinette%E2%80%9D>.

- HCSCI. (2012). *Herramientas de cabina para el hogar*. Recuperado el 13 Julio de 2021 de, <https://homecockpitsoft.wordpress.com/simvimplugin/>
- HCSCI. (2012). *Home Cockpit Simulador de software de interfaz de control*. Recuperado el 29 de Julio de 2021, de [http://hcscis.com/svp\\_index.html](http://hcscis.com/svp_index.html)
- HCSCI. (2012). *Simulador de software de interfaz de control*. Recuperado el 30 de Julio de 2021, de [http://hcscis.com/io\\_led.html](http://hcscis.com/io_led.html)
- HCSCI. (2012). *Simulador de software de interfaz de control*. Recuperado el 19 de Julio de 2021, de [http://hcscis.com/io\\_ext.html](http://hcscis.com/io_ext.html)
- HCSCI. (2012). *Simulador de software de interfaz de control*. Recuperado el 19 de Julio de 2021, de [http://hcscis.com/io\\_led.html](http://hcscis.com/io_led.html)
- infotecs. (08 de junio de 2020). Recuperado el 30 de Julio de 2021, de <https://infotecs.mx/blog/protocolo-udp.html>
- LAR 121. (2018). Recuperado el 22 de Julio de 2021
- Malpartida Valverde, S. E. (12 de 2014). *Diseño mecánico de una cabina para un simulador de entrenamiento de vuelo*. Recuperado el 29 de Julio de 2021, de [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5968/MALPARTIDA\\_SERGIO\\_DISE%c3%91O\\_MECANICO\\_CABINA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5968/MALPARTIDA_SERGIO_DISE%c3%91O_MECANICO_CABINA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Maria, F. (21 de Octubre de 2019). Lo que debes saber sobre el efecto hidrofóbico. *ok diario*.
- MTAdmin. (2021). *Misimulador*. Recuperado el 30 de Julio de 2021, de [https://misimulador.blogspot.com/2018/05/laminar-research-x-plane-11\\_27.html](https://misimulador.blogspot.com/2018/05/laminar-research-x-plane-11_27.html)
- Mypilotstore. (2021). Recuperado 31 de Julio de 2021, de <https://images.mypilotstore.com/hr/11322-highres.jpg>
- PLANE, X. (2021). *X PLANE 11*. Recuperado el 31 de Julio del 2021, de <https://www.x-plane.com/desktop/extend-it/>
- RDAC 142. (2011). Recuperado el 22 de Julio de 2021
- Torrente Artero, O. (Febrero de 2013). *Arduino*. Recuperado el 28 de Julio de 2021, de [http://cienciasvirtuales.com/wp-content/uploads/2016/11/Arduino\\_Curso\\_Practico\\_de\\_Formacion.pdf](http://cienciasvirtuales.com/wp-content/uploads/2016/11/Arduino_Curso_Practico_de_Formacion.pdf)
- VOLAR, A. P. (16 de Julio de 2020). *Controles de vuelo de alta velocidad*. Recuperado el 31 de Julio del 2021, de <https://www.pasionporvolar.com/controles-de-vuelo-de-alta-velocidad/>

# ANEXOS