



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

**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**

**AUTOR: ENRIQUEZ QUIROS, CRISTOPHER WILLIAM  
DIRECTORA: Ing. ALPUSIG CUICHAN, SILVIA EMPERATRIZ**

**LATACUNGA  
2021**



**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**



# Objetivos

## 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.



# Objetivos

## 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



# Resumen

- Para realizar el chequeo operacional del sistema contra hielo y lluvia se emplea un software Home Cockpit SimControl Interface. El sistema se usa para proteger el avión ante la formación de hielo 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 almacena en Arduino Mega, este envía datos de control y activa a varias funciones de X-Plane que se encarga de procesar los datos del simulador y envía los resultados a los dispositivos de salida.



# SIMULADOR DE VUELO

- Los simuladores de vuelo se han convertido en una valiosa herramienta para el entrenamiento y la educación de los pilotos
- La función principal es entrenar a la tripulación en procedimientos normales, anormales y de emergencia





# NIVELES DE LOS SIMULADORES DE VUELO

## SIMULADORES DE VUELO

### NIVEL A

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

### NIVEL B

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

### NIVEL C

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.

### NIVEL D

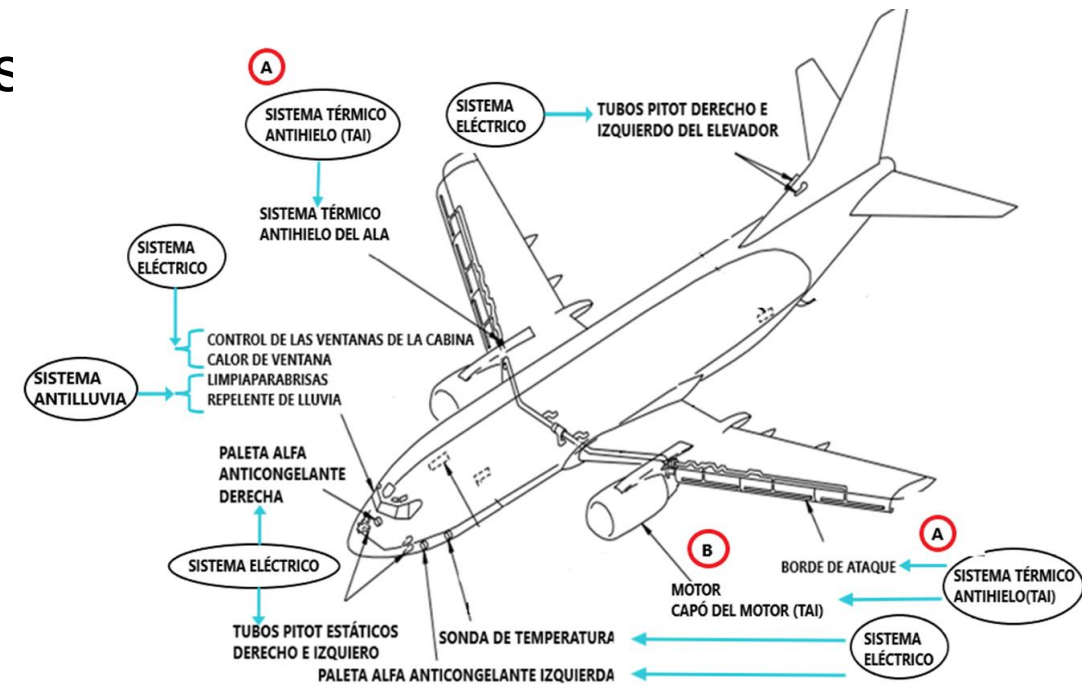
Tiene control de fuerzas, dinámicas y de recorrido de los controles que corresponden a la aeronave; posee un sistema visual diurno, vespertino y nocturno con un campo mínimo de visión de 30° vertical por 75° horizontal para cada estación de piloto. Además, un sistema de movimiento al menos de seis (6) ejes



# SISTEMA ANTI HIELO Y LLUVIA

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:

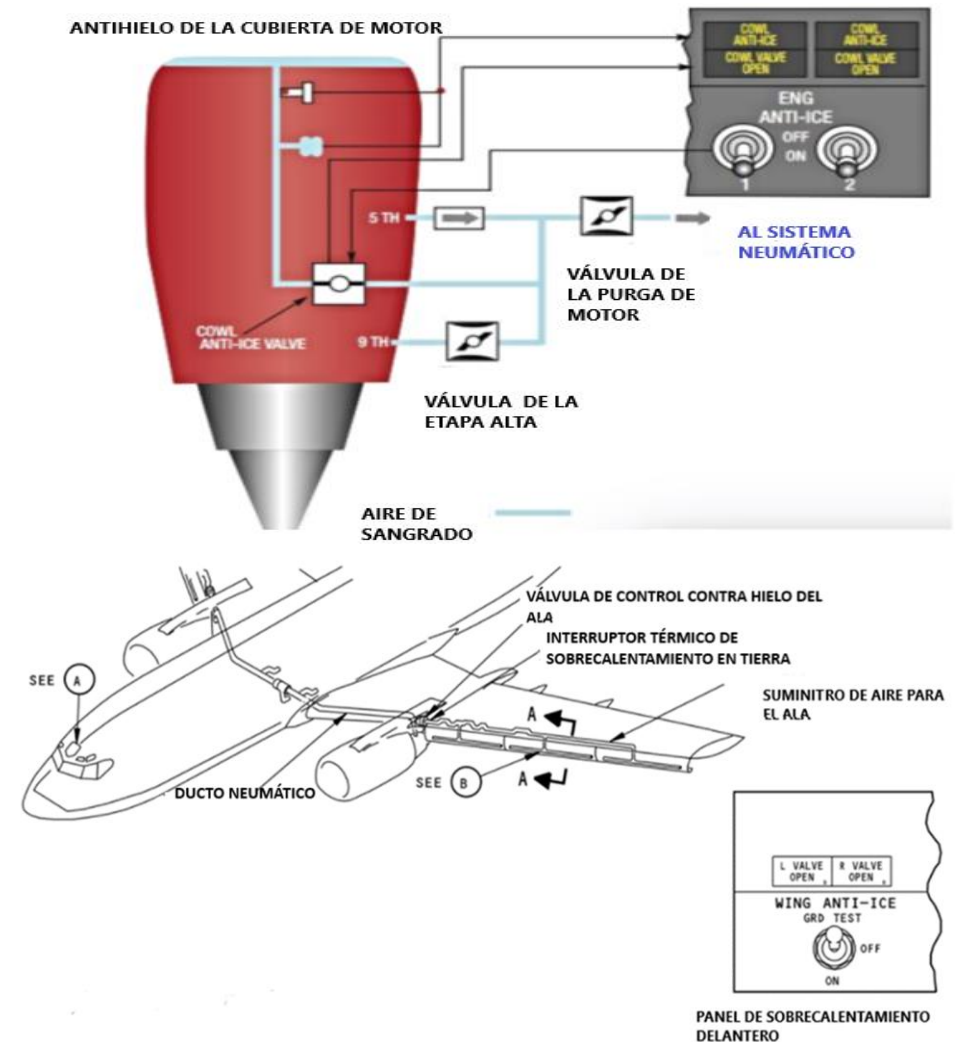
1. Los sistemas térmicos antihielo (TAI) que utilizan aire de purga del motor se proporcionan para el ala, el motor y los capós del motor.
2. Se proporcionan sistemas eléctricos antihielo para las ventanas de la cabina de control, los sensores de temperatura de las válvulas Pitot, y las paletas alfa.
3. La eliminación de la lluvia se realiza en las ventanas de la cabina de control mediante un sistema de limpiaparabrisas





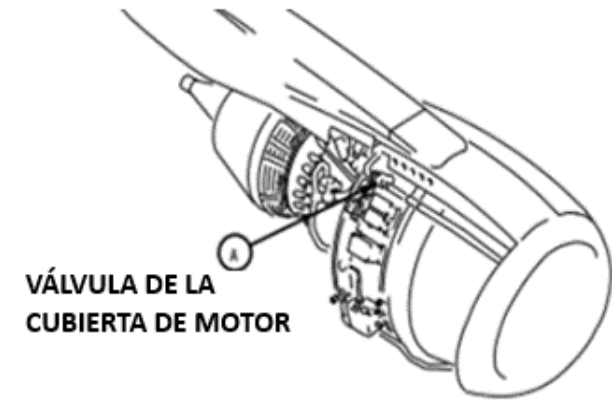
# SISTEMAS TÉRMICOS ANTIHIELO (TAI)

- El sistema térmico antihielo (TAI) del ala descongela los slats del borde de ataque.
- El sistema térmico antihielo (TAI) del motor descongela la cúpula de la nariz o morro del motor y el capó de entrada del motor.



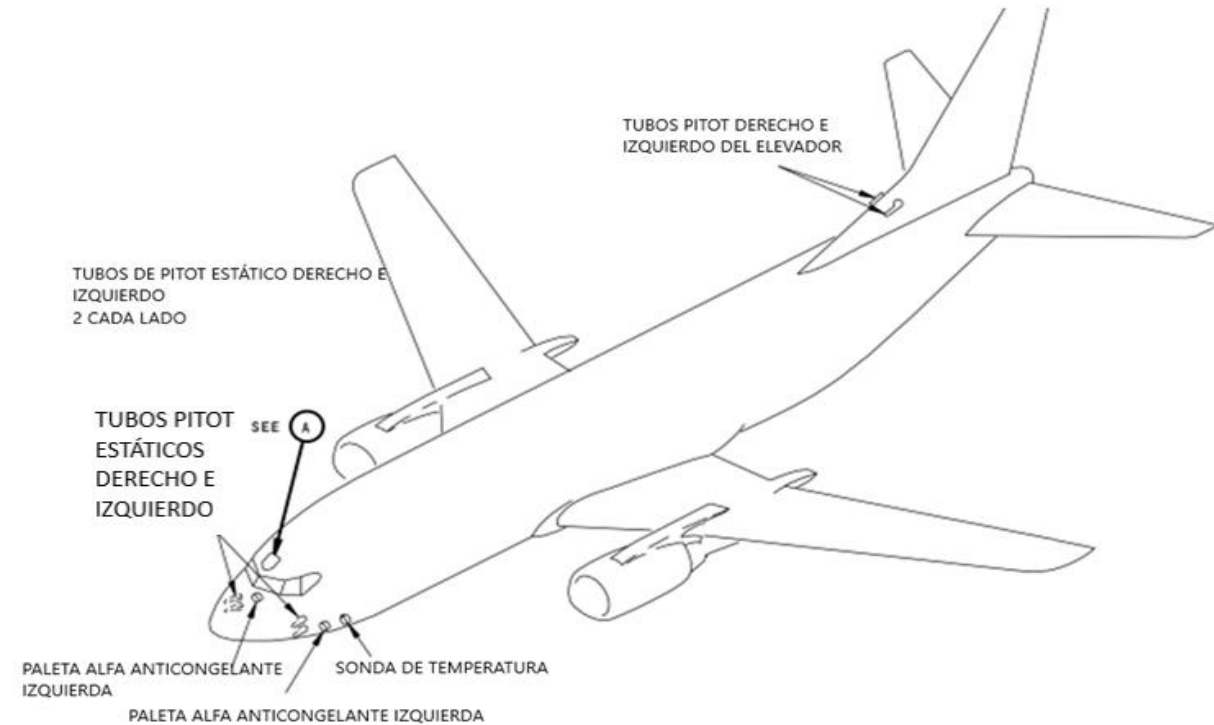
# SISTEMA ANTICONGELANTE DEL CAPÓ DE ENTRADA DEL MOTOR

- El sistema anticongelante de la capó 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



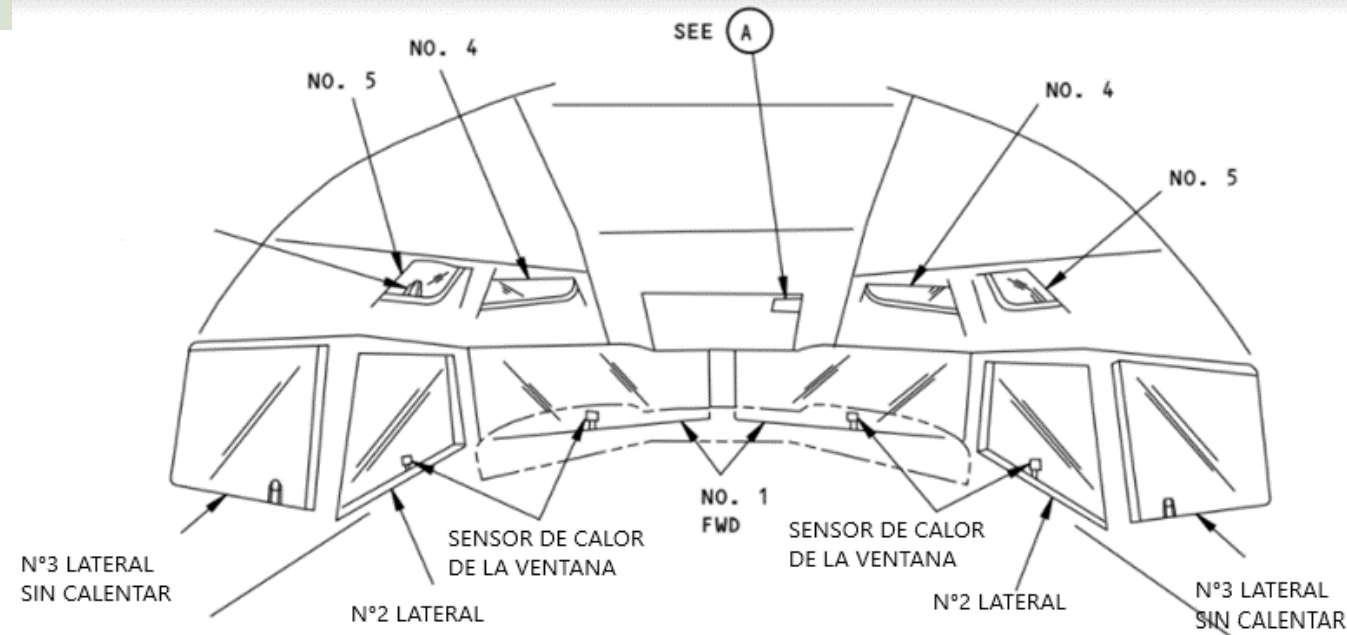
# TUBOS PITOT-ESTÁTICOS, SONDA DE TEMPERATURA Y SISTEMA ANTIHIELO DE PALETAS ANTICONGELANTES ALFA

- El calentamiento se realiza mediante calentadores eléctricos para evitar la formación de hielo que podría afectar la precisión de la detección en instrumentos.



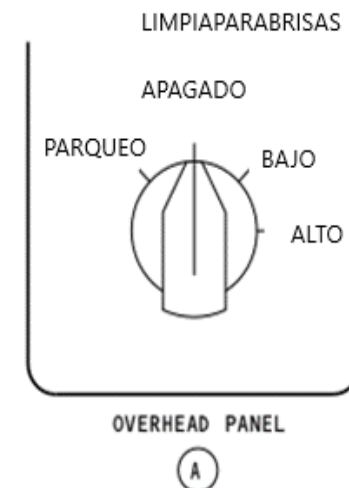
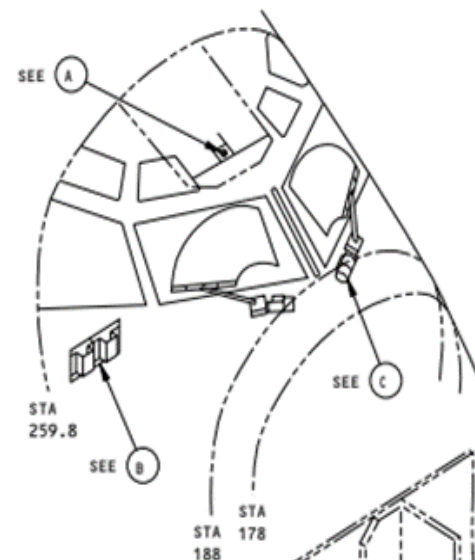
# SISTEMA ANTICONGELANTE DE LA VENTANA DE LA CABINA DE CONTROL

- 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.



# SISTEMA LIMPIAPARABRISAS

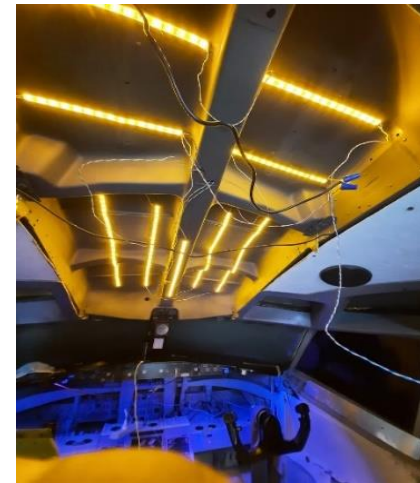
- Se proporcionan limpiaparabrisas para mantener un área despejada en las ventanas No. 1 de los pilotos durante el despegue, aproximación y aterrizaje bajo la lluvia o la nieve.
- La regulación de la velocidad se realiza modificando la tensión aplicada al motor del limpiaparabrisas mediante resistencias.





# REHABILITACIÓN DE LA PARTE ESTRUCTURAL DEL SIMULADOR

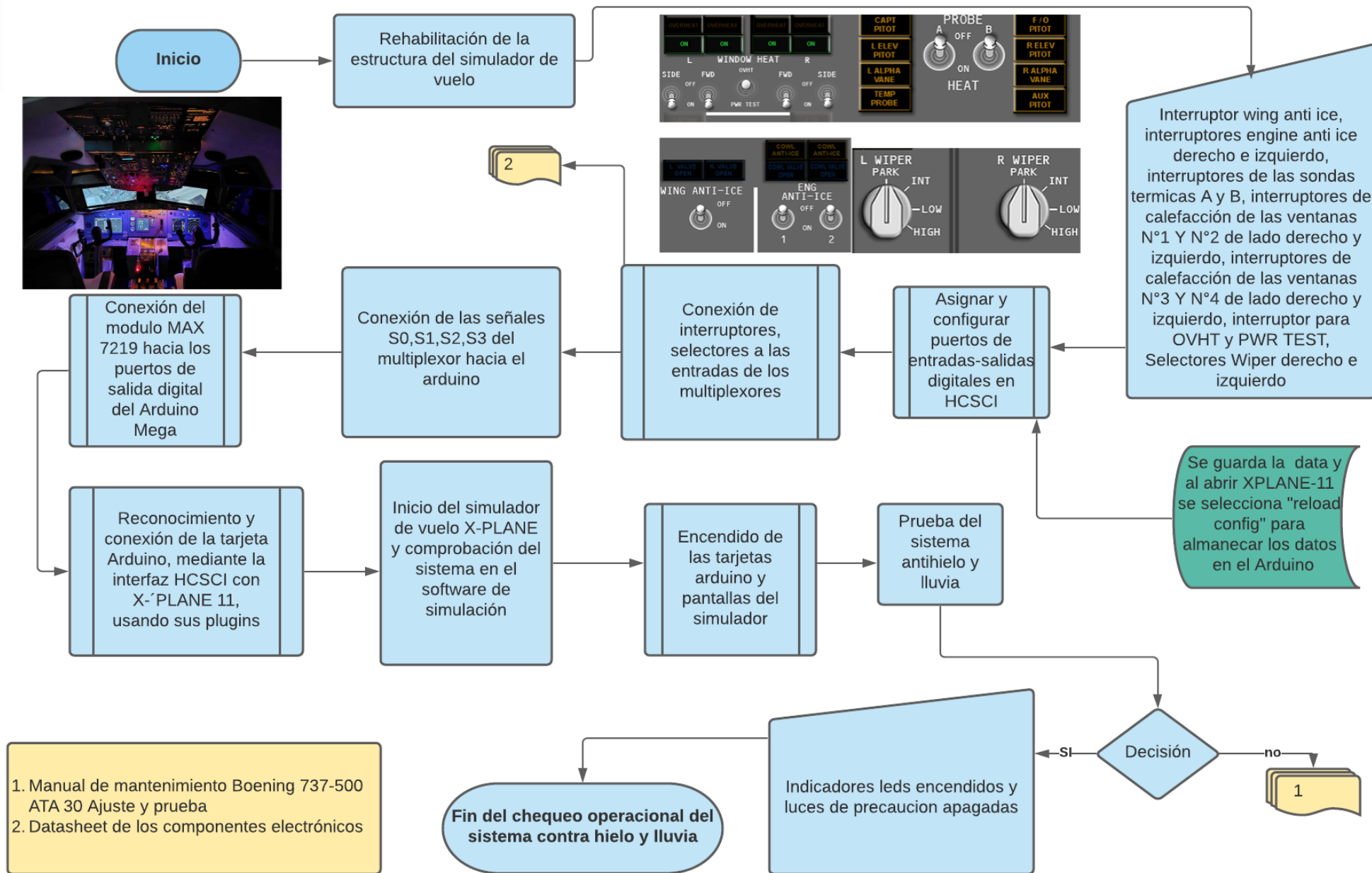
- Previo al desarrollo de mi tema de tesis se realizó la habilitación de la parte interna de cabina, retirando los paneles antiguos que se encontraban en mal estado. De igual forma para la parte externa de la cabina se rediseño la estructura del simulador debido a que se encontraba expuesto al sol e incluso a bajas temperaturas lo que ocasionó un notable desgaste





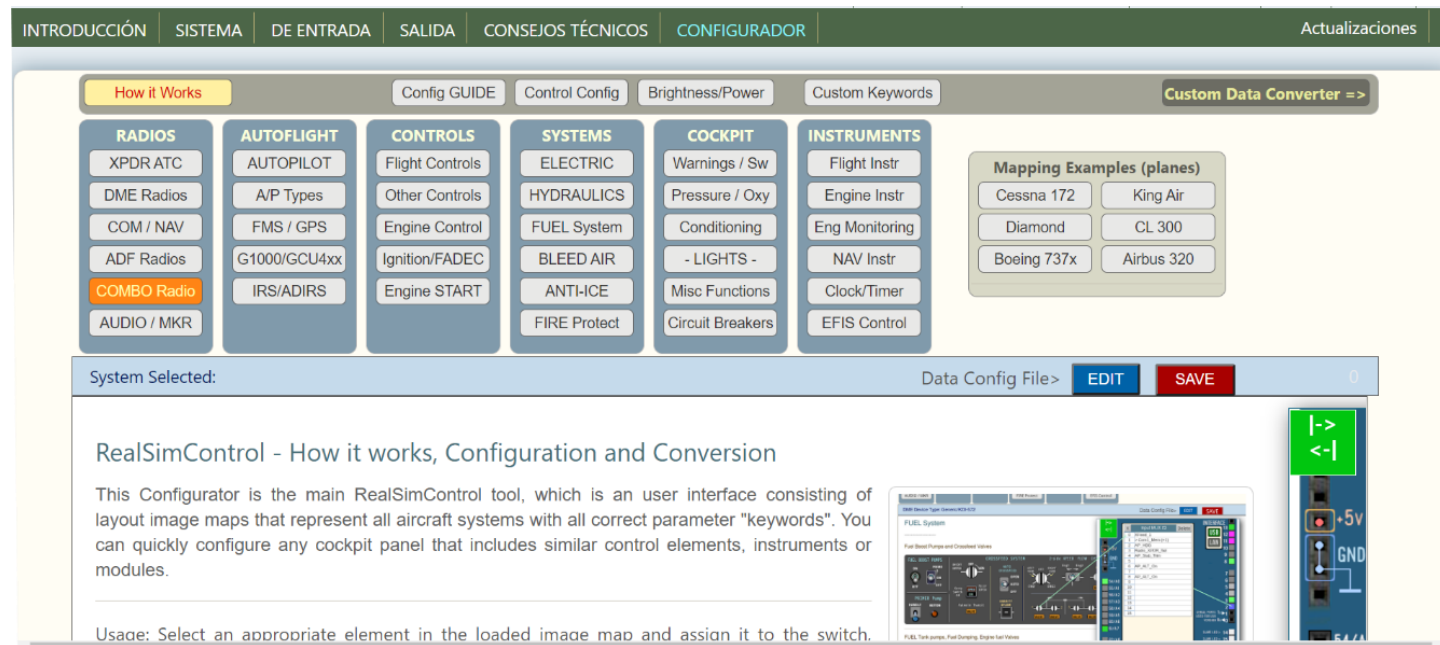
# IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA CONTRA HIELO Y LLUVIA, CHEQUEO OPERACIONAL





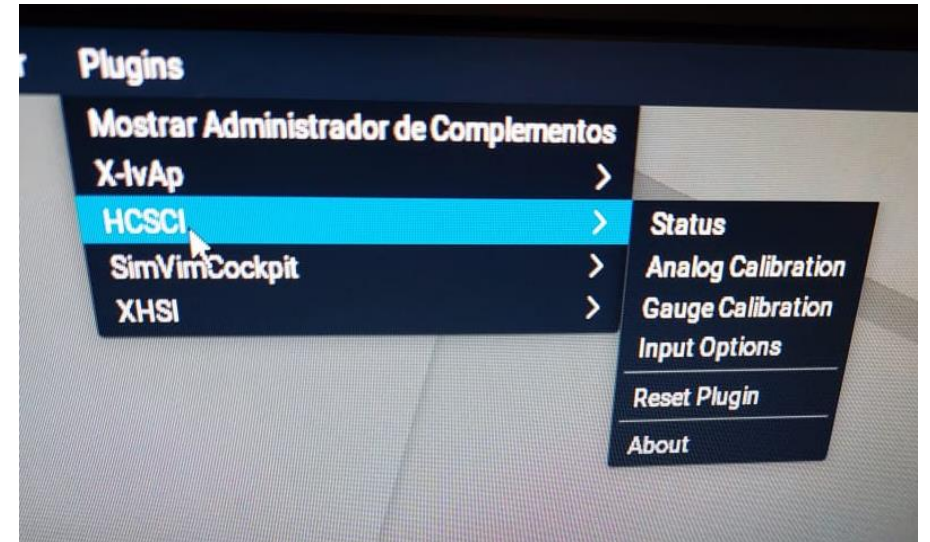
# PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN

- 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



# Plugin Home Cockpit SimControl Interface

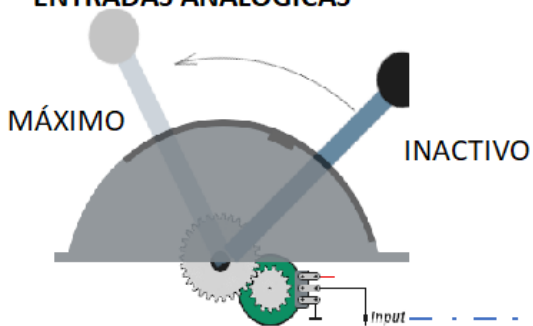
- Se realizó la descarga de X-PLANE 11 en el CPU que posee un sistema operativo Linux, se ejecutó el programa y se añadió el plugin HCSCI extrayendo el archivo ZIP de HCSCI que se descargó de la página principal. Se abrió el programa X-Plane y se seleccionó en la ventana de plugin, teniendo en cuenta que el plugin debe ser actualizado.



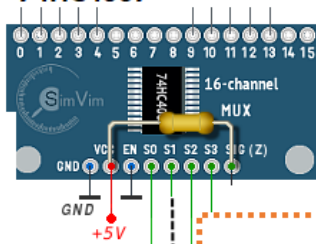
**PANEL DEL SISTEMA ANTIHIELO Y LLUVIA ENTRADAS DIGITALES**



**PALANCA DE EMPUJE DE LOS ENTRADAS ANALÓGICAS**



**MULTIPLEXOR 74HC4067**



BUS DE DIRECCIONES

**PLACA ARDUINO MEGA 2560**



BUS DE DIRECCIONES

**CPU LINUX**



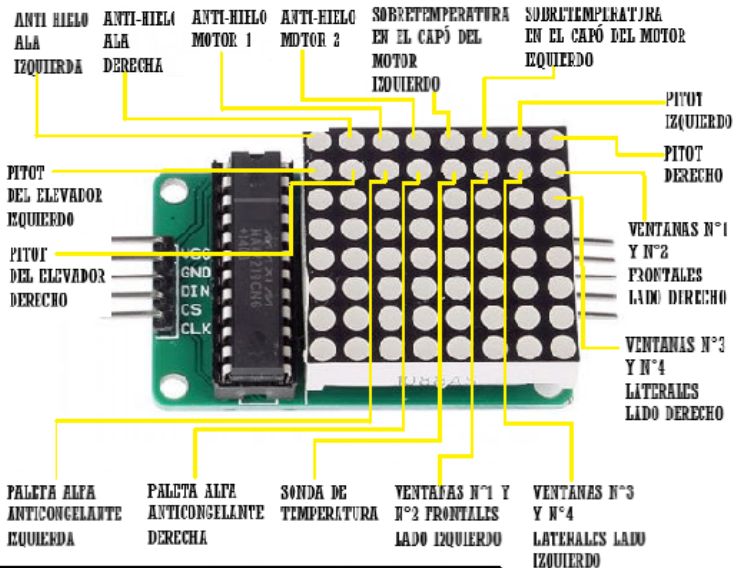
**X-PLANE**



CONEXIÓN HDMI

CONEXIÓN USB

**MÓDULO MAX 7219 SALIDAS DIGITALES**



**SIMBOLOGÍA**

- SEÑALES DIGITALES
- SEÑALES ANALÓGICAS
- CONEXIÓN USB
- CONEXIÓN HDMI



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



# 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.

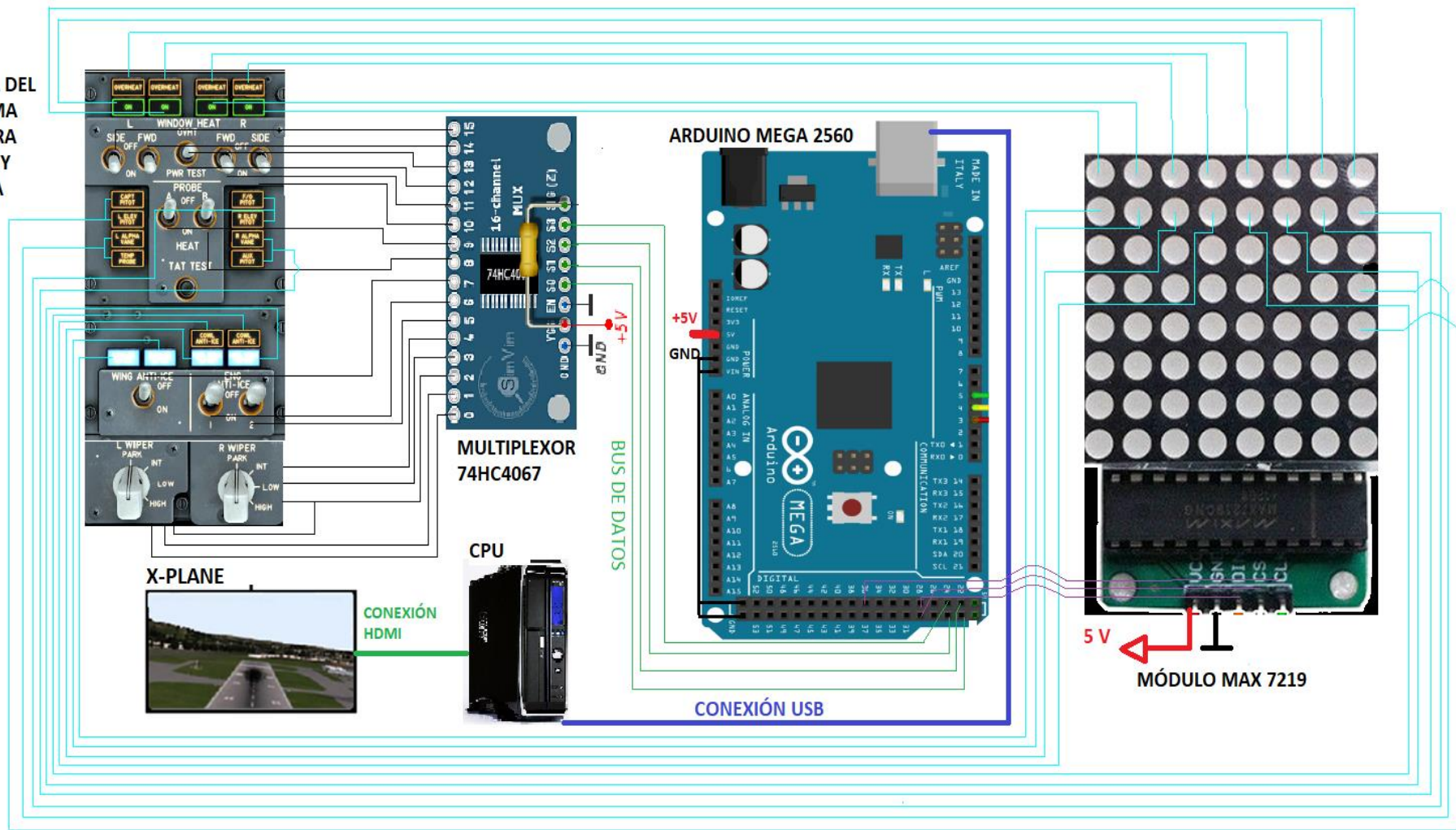
The screenshot displays the RealSimControl software interface. On the left, a physical panel is shown with various controls and labels: 'L WINDOW SIDE FWD OFF', 'PWR TI', 'PROI', 'OFF', 'HEA', 'TAT', 'WING ANTI-ICE OFF', and 'ON'. A green box highlights the '+5V' and 'GND' pins. The main window shows a table titled 'LED Matrix #30' with 17 rows of pin assignments. A green box highlights the navigation buttons '|->' and '<-|'. On the right, the 'INTERFACE' section shows 'USB' and 'LAN' options, and 'SERIAL PORTS' with 'Tx' and 'Rx' indicators. The 'SLAVE' section includes 'SLAVE LCD' and 'SLAVE STEPPER/MATRIX' options.

X	LED Matrix #30
0	Pitot_L_Heat
1	AOA_1_Heat
2	Pitot_R_Heat
3	AOA_2_Heat
4	undefined
5	Wing_R_Heat_X
6	Wing_L_Heat_X
7	Cowl_Heat1_On
8	Cowl_Heat2_On
9	Cowl_Heat1_Warn
10	Cowl_Heat2_Warn
11	WindL_Heat_SIDE_On
12	WindL_Heat_FWD_On
13	WindR_Heat_FWD_On
14	WindR_Heat_SIDE_On
15	WindL_SIDE_Overheat
16	WindL_FWD_Overheat
17	WindR_FWD_Overheat





PANEL DEL SISTEMA CONTRA HIELO Y LLUVIA

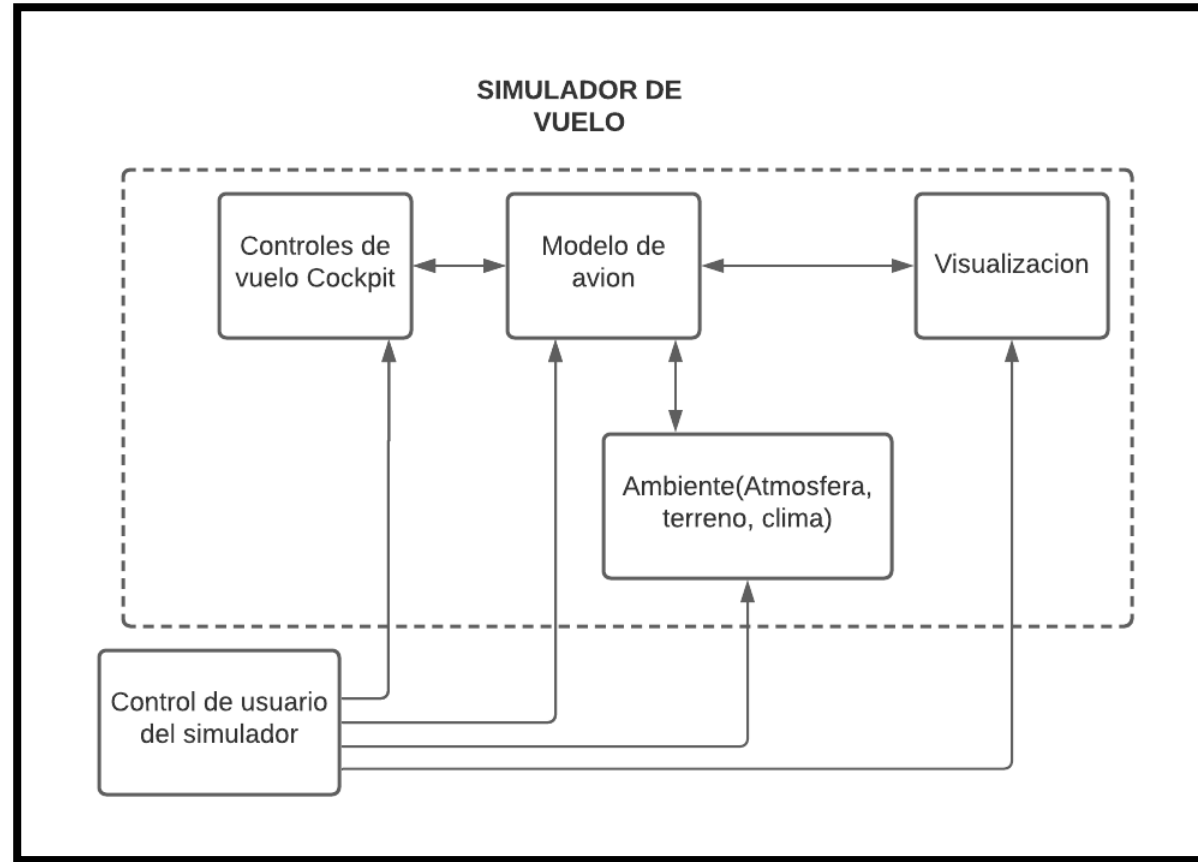


SIMBOLOGÍA	
ENTRADAS DIGITALES	
CONEXIÓN USB	
CONEXIÓN HDMI	
BUS DE DATOS	
SALIDAS LED	



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

# DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA SIMULACIÓN



# PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA CONTRA HIELO DEL ALA

- Para realizar esta prueba se debe poner en marcha los motores
- Para realizar el chequeo operacional del sistema antihielo del ala se acciona el interruptor de “Wing Anti-Ice” colocado en el panel superior.
- Al presentarse un fallo la luz “L Valve Open” o “R Valve Open” se encienden intensamente



# PROCEDIMIENTO PARA PRUEBA DEL SISTEMA

## ANTIHIELO DEL MOTOR

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



3. Cuando el interruptor “Eng Anti-Ice” se coloca en OFF, las luces de “válvula de capó abierta” se enciende brillantemente para indicar que la válvula está en tránsito, luego se apaga para indicar que la válvula está cerrada.



# PROCEDIMIENTO PARA PRUEBA DEL SISTEMA ANTIHIELO DEL MOTOR

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





# PROCEDIMIENTO DEL SISTEMA ANTIHIELO DE LOS TUBOS PITOT, SONDA DE TEMPERATURA Y PALETAS ALFA

- Al colocar el interruptor A en la posición ON, localizado en el módulo de calefacción de ventana y Pitot Panel 5-9 se encienden los calentadores eléctricos





# PROCEDIMIENTO DEL SISTEMA ANTIHIELO DE LOS TUBOS PITOT, SONDA DE TEMPERATURA Y PALETAS ALFA

- 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



# PROCEDIMIENTO DEL SISTEMA ANTIHIELO DE LOS TUBOS PITOT, SONDA DE TEMPERATURA Y PALETAS ALFA

- Proporcione energía eléctrica
- Ponga todos los interruptores selectores de la ventana en OFF
- Asegúrese de que los interruptores “Pitot Static A y B” están en la posición de apagado.
- Compruebe que todas las luces indicadoras del módulo de Ventana y Calor de Pitot están encendidas.



# 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.

- Ponga el interruptor "Pitot-estático A" en la posición de encendido.
- Asegúrese de que todos los calentadores del tubo Pitot están apagados.
- Ponga el interruptor "Pitot-Static A" en la posición de apagado.
- Ponga el interruptor "Pitot-Static B" en la posición de encendido.
- Asegúrese de que sólo se apague el indicador luminoso "Aux Pitot".



# PRUEBA DEL CALENTADOR EN EL TUBO PITOT PARA EL ELEVADOR IZQUIERDO

- Ponga el interruptor “Pitot-Static B” en la posición de encendido.
- Asegúrese de que todos los calentadores del tubo de Pitot están apagados.
- Ponga el interruptor “Pitot-Static B” en la posición de apagado.
- Ponga el interruptor “Pitot-Static A” en la posición de encendido.
- Asegúrese de que sólo se calienta el tubo Pitot del elevador izquierdo.
- Ponga el interruptor “Pitot-Static A” en la posición de apagado.





# PRUEBA DEL CALENTADOR DE LA SONDA DE TEMPERATURA.

- Poner el interruptor “Pitot-Static B” en posición de encendido.
- Asegúrese de que todos los calentadores de la sonda Pitot están apagados
- Ponga el interruptor “Pitot-Static B” en la posición de apagado.
- Ponga el interruptor “Pitot-Static A” en la posición de encendido.
- Asegúrese de que sólo se apague la luz indicadora de la Sonda de Temperatura.
- Ponga el interruptor “Pitot-Static A” en posición de apagado.



# PROCEDIMIENTO DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE LAS VENTANAS

- Un interruptor a la vez ponga los interruptores de “Calor de Ventana” en la posición Encendido.
- Asegúrese de que se enciende la luz correspondiente ON
- Asegúrese de que la luz de “master caution” esta apagada.



- Ponga el interruptor “Window Heat Test OVHT/PWR” en la posición “OVHT” durante 1 segundo.





# PROCEDIMIENTO DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE LAS VENTANAS

- Ponga el interruptor “Window Heat Test OVHT/PWR” en la posición “OVHT” durante 1 segundo.
- Asegúrese de que las luces de “Overheat” de ventanas se encienden.
- Asegúrese de que se enciende la luz “master warning”.



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



# PROCEDIMIENTO DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE LAS VENTANAS

- Pulse cualquiera de las luces “master warming”.
- Asegúrese de que la luz de “master warming” se apaga.
- Mantenga el interruptor “Test” de la calefacción de la ventana en “PWR”.
- Asegúrese de que las luces de calefacción de la ventana ON permanecen encendidas.
- Suelte el interruptor de prueba de calefacción de la ventana.
- Ponga los interruptores de alimentación de la calefacción de la ventana en la posición OFF.



# PROCEDIMIENTO DEL SISTEMA DE LIMPIAPARABRISAS

- Suministrar energía eléctrica
- Suministre un chorro continuo de agua limpia al parabrisas.
- Coloque el interruptor “Wiper” en posición Bajo.
- 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.



# 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 paginas efectivas para cada aeronave



# CONCLUSIONES

- 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





# 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 verifica que sean los pines correctos a los que fueron asignados desde el HCSCI





1922  
ECUADOR