



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN
MOTORES

TRABAJO DE GRADUACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA
MENCIÓN MOTORES

TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
DIGITAL DE MONITOREO Y CONTROL POR PC QUE
ASEMEJE AL SISTEMA EICAS BÁSICO PARA LA TURBINA
JETCAT P-80 DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS

AUTOR: GUACHAMIN LAMILLA, KEVIN ALEXANDER

DIRECTOR: TLGO. NAUÑAY, MARITZA

LATACUNGA

2015

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE
UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS
MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN MOTORES**

CERTIFICADO

Tlga: Maritza Nauñay

CERTIFICA:

Que el trabajo titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIGITAL DE MONITOREO Y CONTROL POR PC QUE ASEMEJE AL SISTEMA EICAS BÁSICO DE UNA TURBINA PARA LA TURBINA JETCAT P-80 DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS”, realizado por el Sr. KEVIN ALEXANDER GUACHAMIN LAMILLA, ha sido guiado y revisado continuamente y cumple con todas las normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

Debido a que el mismo se trata de una investigación y busca la motivación en el alumnado se recomienda su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato de documento portátil (pdf). Autorizan a Sr. KEVIN ALEXANDER GUACHAMIN LAMILLA que lo entregue a la Tecnóloga MARITZA NAUÑAY, en su calidad de Coordinadora de la Carrera.

Tlga. Maritza Nauñay

DIRECTORA DEL PROYECTO

Latacunga, Mayo del 2015

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE
UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS
MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN MOTORES**

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Kevin Alexander Guachamin Lamilla

DECLARO QUE:

El presente proyecto de grado titulado, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIGITAL DE MONITOREO Y CONTROL POR PC QUE ASEMEJE AL SISTEMA EICAS BÁSICO DE UNA TURBINA PARA LA TURBINA JETCAT P-80 DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS**” ha sido desarrollado con una exhaustiva responsabilidad basada en una investigación insistente tanto en la teoría como en la práctica, manteniendo el correcto respeto hacia el intelecto de terceros, resaltando sus aportes teóricos en cada cita al pie y notándolo en la bibliografía y netgrafía. Por cuyas opiniones presentes me responsabilizo, así como todos los argumentos constantes en el proyecto.

Por lo antes mencionado este trabajo es de mi autoría, al cual me responsabilizo sobre contenido, legitimidad y peso científico, del presente proyecto de grado.

**Kevin Alexander Guachamin Lamilla
AUTOR DEL PROYECTO**

Latacunga, Mayo del 2015

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE
UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS
MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN MOTORES**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACION

Yo, Kevin Alexander Guachamin Lamilla

AUTORIZO A:

La Unidad de Gestión de Tecnologías sustentada en la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE la publicación, en la biblioteca virtual y física de la institución el trabajo, **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIGITAL DE MONITOREO Y CONTROL POR PC QUE ASEMEJE AL SISTEMA EICAS BÁSICO DE UNA TURBINA PARA LA TURBINA JETCAT P-80 DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS”**, cuyo contenido, opiniones y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

**Kevin Alexander Guachamin Lamilla
AUTOR DEL PROYECTO**

Latacunga, Mayo del 2015

DEDICATORIA

A mi padre Ney que desde muy joven me inculco valores y principios que durante la vida me han servido en incontables ocasiones, de igual manera por su apoyo incondicional ya que gracias a él estoy donde estoy.

A mi madre Nancy que siempre estuvo ahí para ayudarme e incentivándome guiándome por buen camino llegando a ser la persona que soy.

A mi hermano Jershon cómplice de innumerables aventuras siendo parte fundamental de mi vida.

A mi familia en general que a pesar de todo me brindaron su apoyo.

Kevin Alexander Guachamin Lamilla

AGRADECIMIENTO

Al finalizar un trabajo tan arduo y lleno de dificultades como el desarrollo de una tesis, me llena de emoción saber que he culminado una meta muy importante en mi vida, y por este medio me permito expresarles mis más profundos agradecimientos a todas las personas que me apoyaron y fueron parte fundamental en el alcance de este logro.

Al anterior ITSA que me permitió forjarme en sus aulas, a los docentes que a más de maestros fueron amigos, y todo el personal en general.

A mi familia y amigos que me aguantaron y siempre estuvieron apoyándome, en las buenas y en las malas, decirles gracias sería muy poco.

Kevin Alexander Guachamin Lamilla

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	iii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACION.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN	xiv
SUMMARY.....	xv
CAPÍTULO I	
EL TEMA.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2 . Planteamiento del problema.....	1
1.3. Justificación e importancia	2
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo General.	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. Alcance	4
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	5
2.1 Motor Turborreactor.	5
2.1.1 Componentes de un Turborreactor.	6
2.2 Tipos de turborreactor según el tipo de compresor.....	6
2.2.1 Turborreactores de flujo axial	6
2.2.2 Turborreactores de flujo centrífugo:	7
2.3 Generalidades de la Turbina JETCAT P80 SE	8
2.4 Instrumentos de Vuelo.	10
2.4.1 Instrumentos de Navegación.....	10
2.4.2 Instrumentos del motor.....	15
2.4.3 Instrumentos de pilotaje.	18
2.5 Sistema digital.....	21

2.6	Software.....	21
2.7	Software de control JET-TRONIC versión 1.0.57:.....	22
2.8	USB 2.0 (universal serial bus):.....	22
2.9	Interface Jetcat USB ECU cable 2.0.	23
2.10	Computadora portátil:.....	23
2.11	Brazo de sujeción articulado.	24
2.12	Equipo de protección personal (EPP).	25
2.12.1	Requisitos de un E.P.P.....	25
2.12.2	Clasificación de los E.P.P.....	25
CAPÍTULO III		
DESARROLLO DEL TEMA.....		
3.1.	Selección del dispositivo de control	27
3.2.	Datos técnicos de la notebook Acer Aspire 5742-7620.....	28
3.3.	Obtención de software.	28
3.4.	Obtención de cable de interface Jetcat USB 2.0.....	29
3.5.	Pasos para la instalación de software de control en el ordenador portátil.....	30
3.6.	Sincronización entre el ordenador y el motor.....	40
3.7.	Diseño de la estación de control y monitoreo del motor.....	42
3.7.1.	Armado de la estación de control y monitoreo.....	43
3.8.	Pruebas funcionales.....	44
3.9.	Gastos del proyecto.....	57
CAPÍTULO IV		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		
4.1.	CONCLUSIONES	61
4.2.	RECOMENDACIONES.....	62
GLOSARIO		
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		
ANEXOS.....		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Generalidades del motor P80 SE.....	9
Tabla 2 Relación de potencia y rpm del motor.....	9
Tabla 3 Gastos de Materiales	59
Tabla 4 Costos Otros Gastos.....	59
Tabla 5 Total de gastos.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Motor turbo reactor	5
Figura 2 Secciones de un Turbo reactor.....	6
Figura 3. Turbo reactor de compresor axial	7
Figura 4. Turbo reactor de flujo centrífugo.....	7
Figura 5. Motor JetCat P80 SE	8
Figura 6. Brújula aeronáutica.....	10
Figura 7. Instrumento indicador de rumbos.....	11
Figura 8. Automatic Directioner Finder.	12
Figura 9. Distance Measuring Equipment.	12
Figura 10. Course Deviation Indication.....	13
Figura 11. Instrument Landing System.	13
Figura 12. Piloto automático.	14
Figura 13. Director de vuelo.....	14
Figura 14. Instrumentos principales del motor	17
Figura 15. Indicador EPR (engine pressure ratio).....	18
Figura 16. Indicador Air speed.....	18
Figura 17. Indicador altímetro	19
Figura 18. Indicador de velocidad vertical.....	19
Figura 19. Indicador de giro e indicador de viraje respectivamente.....	20
Figura 20. Horizonte artificial.	20
Figura 21. Panel de control de software	22
Figura 22. Cable de Datos USB 2.0.....	23
Figura 23. Interface Jetcat USB ECU cable 2.0.....	23
Figura 24. Notebook modelo HP.....	24
Figura 25. Soporte para laptops.....	24

Figura 26. Equipo de protección personal.....	26
Figura 27. Acer Aspire 5742-7620	28
Figura 28. Descarga del software Jet-tronic.....	29
Figura 29. Cable de datos Jetcat USB 2.0.....	29
Figura 30. Carpeta “Descargas”.....	30
Figura 31. Carpeta comprimida “setupJet4Win-eng.zip”	30
Figura 32. Ventana de instalación de software	31
Figura 33. Ícono Jet-tronic	31
Figura 34. Ventana de descarga del programa Driver Toolkit.....	32
Figura 35. Ventana de instalación de Driver Toolkit.....	32
Figura 36. Ícono Driver Toolkit.....	32
Figura 37. Ventana principal de Driver Toolkit	33
Figura 38. Ventana de ventajas de registro	33
Figura 39. Página de registro y compra de licencia	34
Figura 40. Detalle del producto a comprar	34
Figura 41. Elección de forma de pago por PayPal.....	35
Figura 42. Mensaje de información de registro	35
Figura 43. Botón de acceso al registro de la contraseña	36
Figura 44. Ventana con mensaje de activación de la licencia de software ..	36
Figura 45. Botón de inicio de escaneo de controladores.	36
Figura 46. Ventana de escaneo de controladores	37
Figura 47. Resultado del escaneo	37
Figura 48. Descarga de controladores.....	38
Figura 49. Ventana de asistente para la instalación de controladores de dispositivos.....	38
Figura 51. Habilidad del puerto COM3	39

Figura 52. GSU y ordenador conectados por medio del cable USB JetCat 2.0	40
Figura 53. Ventana principal de Jet-tronic.....	40
Figura 54. Ventana “Communication Settings”	41
Figura 55. Mensaje de sincronización entre ordenador y motor.	41
Figura 56. Brazo de sujeción para laptop Atdec Visidec VF-AT-NK.	42
Figura 57. Silla designada para la estación de control.....	43
Figura 58. Realización del orificio por broca 3/8 de cobalto.....	43
Figura 59. Brazo de sujeción armado.	43
Figura 60. Estación de control completa.....	44
Figura 61. Disposición de puertos de la cara derecha del ECU.....	46
Figura 62. Posición del plug eléctrico a la turbina.....	46
Figura 63. Posición del plug tipo RJ de transferencia de datos entre la turbina y el ECU.....	47
Figura 64. Posición del plug de alimentación desde la batería.	47
Figura 65. Posición del plug de la válvula shut-off de paso de gas propano	48
Figura 66. Disposición de puertos de la cara izquierda del ECU.	49
Figura 67. Posición del plug de la bomba de combustible.	49
Figura 68. Posición del plug de transferencia de datos entre el ECU y el Tablero LED I/O.	49
Figura 69. Posición del plug de la válvula shut-off de paso de combustible.	50
Figura 70. Posición de los plugs de throttle y auxiliar.	50
Figura 71. GSU y tablero LED I/O conectados.	51
Figura 72. Ubicación de los plugs de throttle y aux.....	51
Figura 73. Ubicación del plug de la batería.....	52
Figura 74. Ubicación los cables y cañerías en el motor.....	52
Figura 75. Ubicación en el GSU del puerto que conecta el GSU con el ordenador.....	53

Figura 76. Puerto USB 2.0 habilitado para la sincronización con el GSU....	53
Figura 77. Ventana principal de Jet-tronic.....	54
Figura 78. Habilitación del indicador de voltaje de la batería.....	55
Figura 79. Sistema armado desde el panel Jet-tronic.....	55
Figura 80. Panel de control con el motor en idle.....	56
Figura 81. Panel de control con potencia a 80.8%.....	56
Figura 82. Panel de control de la turbina.	57

RESUMEN

El presente trabajo está directamente aplicado al proyecto de grado previo “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BANCO DE PRUEBAS DE UN MOTOR JETCAT P80SE PARA OPTIMIZAR EL INTERAPRENDIZAJE DE LOS ESTUDIANTES DE LA CARRERA AERONÁUTICA DEL ITSA”, la estación de **monitoreo** y **control** ubicada en el mismo banco de pruebas del motor consta principalmente de un **panel de instrumentación digital** de control y monitoreo, ejecutando un software exclusivo para el motor manejado por una laptop. El software utilizado es el **Jettronic** versión 1.0.57 desarrollado por CAT, para que el panel sea sincronizado con el motor se implementó el dispositivo de **interface** llamado **JetCat USB 2.0**, versión reciente del cable RS232 de igual manera desarrollado por CAT. Para que el programa jet-tronic pueda funcionar a la par con el motor, el ordenador requiere de controladores complementarios diseñados por Windows exclusivamente para **JetCat**, estos **controladores** se descargaron del programa DriverToolkit, previamente adquirido, mediante un escaneo general se encontró los drivers que faltaban, se los descargó haciendo posible que el programa funcione. En lo que se refiere al manejo del motor y la estación de control y monitoreo se desarrolló un **manual de operaciones** tanto del motor como de la estación que detalla cada función, situación y posible falla específica del motor JetCat P80SE y todos los elementos del sistema.

Palabras clave:

- **MONITOREO Y CONTROL,**
- **PANEL DE INSTRUMENTACION DIGITAL,**
- **JETTRONIC**
- **INTERFACE JETCAT USB 2.0**
- **JETCAT**

SUMMARY

This work is directly applied to the previous project "DESIGN AND CONSTRUCTION OF A TEST BENCH FOR A MOTOR JETCAT P80SE TO OPTIMIZE STUDENT'S LEARNING OF UGT AVIATION CAREER " **monitoring and control** station located in the same engine test bench consists primarily of control and monitoring **digital instrument panel**, executing an exclusive software for the engine operated by a laptop. The software used is **Jettronic** 1.0.57 version developed by CAT so that panel be synchronized with the engine, the JetCats called **USB 2.0 interface** was included; RS232 cable current version also developed by CAT. To operate the jet-tronic program in tandem with the engine, the computer requires additional drivers designed for Windows exclusively for **JetCat**, these drivers were downloaded from the DriverToolkit software previously acquired, when scanning, missing drivers were obtained and the program was enabled to begin running. As regards the engine handling and control and monitoring station, and operating manual was developed, both the engine and the control station detailing each function, situation and a possible specific engine JetCat P80SE failure and all developed system elements.

Keywords:

- **MONITORING AND CONTROL**
- **DIGITAL INSTRUMENT PANEL**
- **JETTRONIC**
- **USB 2.0 INTERFACE**
- **JETCAT**

Legalized: MSc. Rosa E. Cabrera T.

CAPÍTULO I

EL TEMA

“Diseño e implementación de un sistema digital de monitoreo y control por PC que asemeje al sistema EICAS básico para la turbina JETCAT P-80 de la Unidad de Gestión de Tecnologías”

1.1. Antecedentes

Debido a la relevancia de las investigaciones en el campo aeronáutico se han realizado trabajos que han proporcionado excelentes resultados, entre los que tenemos:

- Trabajo realizado por: Cañizares Villegas Segundo Xavier y Herrera Garzón Geovanny Alfredo “CONSTRUCCIÓN DE UN SIMULADOR DE LOS CONTROLADORES DE VUELO DEL ELEVADOR Y TIMÓN CONTROLADOS POR PC (PARTE AUTOMATIZACIÓN)”. El desarrollo de la investigación permitió plantear, analizar y seleccionar alternativas a llevar a cabo pero con el estudio previo se pudo elaborar un equipo de tipo didáctico que alcance una mejor asimilación y puedan elevar su nivel de conocimiento general en estudio básico de los movimientos alcanzados por el elevador y el timón del avión empleando para ello material didáctico como es el simulador.

1.2. Planteamiento del problema

La Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE anteriormente el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico (I.T.S.A.), fue creado para brindar servicios de carácter académico con carreras como: Telemática, Ciencias de la Seguridad Aérea y Terrestre, Logística y Transporte, Electrónica mención Instrumentación & Aviónica y Mecánica Aeronáutica mención Aviones o Motores. El mencionado Instituto

lleva ofreciendo por más de 10 años carreras aeronáuticas a la sociedad Latacungueña y a todo el país.

Mismo que cuenta con una turbina JETCAT P80 en excelente estado pero esta no posee un sistema digital que asemeje al sistema EICAS básico de una turbina actual de una aeronave

Dando origen a:

- Anomalías en el funcionamiento de la turbina.
- Falla en el monitoreo de la misma.
- La falta de registros digitales de los datos.

Que de no solucionarse lo expuesto, el control y monitoreo del funcionamiento de la turbina adoptará fallas de interpretación de datos, esto conllevará a posibles accidentes e incidentes que pueden ser evitados.

Por lo expuesto, es necesaria la implementación un sistema digital que asemeje al sistema EICAS básico de una turbina actual de una aeronave para la turbina JETCAT P80 de la carrera de mecánica motores de la UGT.

1.3. Justificación e importancia

Debido al desarrollo, avances y complejidad en lo que se refiere al monitoreo y control regular del funcionamiento de una turbina tanto como interpretación de datos, estos son fundamentales en la formación de un técnico aeronáutico en la actualidad. Razón por la cual el proyecto de grado de la turbina JetCat P-80 debe contar con un sistema digital que asemeje al sistema EICAS básico de una turbina actual de una aeronave.

Además ayudará a:

- Uso adecuado de la turbina JetCat P-80.
- Monitorear y controlar el funcionamiento de la turbina.
- Evitar problemas de control en su funcionamiento.

- Llevar un registro similar a los de una turbina de una aeronave.
- La interpretación de datos en tiempo real de la turbina.

Los resultados del presente trabajo investigativo permitirá un monitoreo regular y control del funcionamiento mucho más cómodo, seguro y adecuado de la turbina JETCAT P-80, semejante al sistema EICAS básico de una turbina actual.

Por lo antes citado es importante la implementación de un sistema digital que asemeje al EICAS básico de una turbina actual de una aeronave para el proyecto de grado de la turbina JETCAT P-80 de la carrera de Mecánica de la UGT

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General.

Diseñar e implementar un sistema digital de monitoreo y control por medio de un software desarrollado por JetCat que asemeje al EICAS de una turbina actual controlado por PC para la turbina JETCAT P-80 de la Unidad de Gestión de Tecnologías.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Dotar a la turbina JETCAT P-80 que posee la Unidad de Gestión de Tecnologías de un sistema de monitoreo y control que asemeje al EICAS de una turbina real controlado por PC.
- Elaborar un manual instructivo de fácil interpretación del motor y del sistema de control y monitoreo.
- Elaborar una estación de control y monitoreo adecuada para la turbina.

1.5. Alcance

El presente proyecto tendrá un alto beneficio para la Unidad de Gestión de Tecnologías puesto que complementará el funcionamiento de la turbina Jetcat que posee la Carrera de Mecánica Aeronáutica, el cual busca facilitar el monitoreo y control adecuado de la misma implementando un sistema digital que asemeje al EICAS de un motor de la actualidad, el cual también servirá como fuente de aprendizaje tanto para docentes como estudiantes de la Unidad de Gestión de Tecnologías.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Motor Turborreactor.

El turborreactor, es un tipo de motor que a diferencia de los alternativos que tienen un funcionamiento discontinuo (explosiones) estos motores tienen un funcionamiento continuo. Constan de las mismas fases que un motor alternativo: Compresión, combustión y expansión. Para la compresión se usan compresores axiales o centrífugos que elevan grandes volúmenes de aire a presiones relativamente bajas, en torno a las 8 atmósferas. Una vez comprimido el aire, se introduce en las cámaras de combustión donde el combustible es quemado de forma continua. El aire a alta presión y alta temperatura (o sea, con más energía que a la entrada) es llevado a la turbina donde se expande parcialmente para obtener energía con la que mover el compresor. Después el aire pasa a un difusor (comúnmente llamado tobera de escape) en la que es acelerado hasta la presión de salida. En este proceso transforma su presión en velocidad.



Figura 1. Motor turborreactor

2.1.1 Componentes de un Turborreactor.

Entre los componentes más sobresalientes y básicos sobresalen los siguientes:

- Sección fría:
 - ✓ Entrada de aire
 - ✓ Compresor
- Sección caliente:
 - ✓ Cámara de combustión
 - ✓ Ducto de escape



Figura 2 Secciones de un Turborreactor.

2.2 Tipos de turborreactor según el tipo de compresor

2.2.1 Turborreactores de flujo axial

Los compresores axiales son los más populares por su elevado rendimiento y facilidad acoplamiento, la compresión de aire en este tipo de motores se realiza de manera horizontal, paralela al eje de rotación. Los compresores axiales constan de dos partes principales los estatores y los rotores, independientemente del número de estaciones del compresor.



Figura 3. Turborreactor de compresor axial

2.2.2 Turborreactores de flujo centrífugo:

Los compresores centrífugos fueron los primeros utilizados en los motores a reacción, este tipo de compresores está formado principalmente por tres componentes: el rotor, el difusor y el colector. El conjunto está generalmente ubicado dentro de un cárter, el aire ingresa de manera horizontal y por medio del compresor centrífugo es enviado de manera perpendicular, donde los colectores toman el aire y lo redirigen a los difusores los cuales envían la presión de aire a las cámaras de combustión.



Figura 4. Turborreactor de flujo centrífugo

2.3 Generalidades de la Turbina JETCAT P80 SE

El motor P80 SE desarrollado por JetCat, es la versión obviamente mejorada del P80 en lo que respecta a eficiencia y seguridad, y también ya que incorpora dispositivos que facilitan su encendido y funcionamiento los cuales son:

- Jet-tronic ECU (sistema electrónico de control de combustible)
- GSU (Display y Programador)
- Tablero LED de I/O
- Bomba de combustible en miniatura
- La válvula de gas de arranque electrónico
- Válvula electrónica de combustible
- Tubería de combustible, conjunto conector del tubo, filtros, y juego de cables
- Batería de dos células a 2500mA LiPoly (7,4 v)
- Tanque de gas
- Abrazadera de montaje de la turbina



Figura 5. Motor JetCat P80 SE

Fuente: <http://www.jetcatusa.com/p80.html>

Tabla 1
Generalidades del motor P80 SE

No	Concepto	Detalle
1	Empuje	22lbs a 125000 RPM
2	Peso	2.9 lb
3	Diámetro	4.4 pulgadas
4	Rango de RPM	35000 - 125000
5	Temp. De gas de escape	580 ° C - 690 ° C
6	Consumo de combustible	9 onzas por minuto a 100% de potencia
7	Combustible	Jet A1, 1-K querosén
8	Lubricación	Aproximadamente el 5% de aceite de turbina sintético en el combustible
9	Intervalo de mantenimiento	25 horas

Fuente: <http://www.jetcatusa.com/p80.html>

Tabla 2
Relación de potencia y rpm del motor

RPM	Empuje (lb)
35000	0.8
85000	8.0
93000	10.0
101000	12.5
110000	15.0
117000	17.0

CONTINÚA →

118000	18.0
120000	20.0
125000	22.0

Fuente: <http://www.jetcatusa.com/p80.html>

2.4 Instrumentos de Vuelo.

Se denominan instrumentos de vuelo al conjunto de mecanismos que equipan una aeronave y que permiten al piloto una operación de vuelo en condiciones seguras.

2.4.1 Instrumentos de Navegación.

Son los instrumentos esenciales para poder orientarse y seguir la ruta deseada por parte del piloto.

- **Brújula:** La brújula o compás permite al piloto conocer el rumbo de la aeronave. En muchas ocasiones, la brújula se complementa con un giróscopo, cuyo movimiento es más estable y preciso que el del compás.



Figura 6. Brújula aeronáutica.

Fuente: <http://www.slideshare.net/fersebx94/clasificacin-de-los-instrumentos-de-vuelo>

- **Indicador de rumbos:** Este instrumento, al funcionar sobre la base de un giróscopo, permite eliminar los defectos de la brújula magnética, entre otros la inexactitud en viraje. Suele accionarse con vacío en motores de émbolo, o bien eléctricamente. Es ajustable por parte del piloto para compensar con la brújula magnética. Constituyó la base del primer Piloto automático, el Sperry. Erróneamente se le suele llamar giro-compás, aunque éste es un dispositivo de navegación marítima.



Figura 7. Instrumento indicador de rumbos.

Fuente: <http://www.slideshare.net/fersebx94/clasificacin-de-los-instrumentos-de-vuelo>

- **ADF (Automatic Directioner Finder):** Es el primero de los instrumentos de radionavegación que se montó desde los años 30 en los aviones, se basa en captar la máxima intensidad de una señal de baja frecuencia y de gran alcance de una emisora NDB (Non-Directional Beacon) en tierra, su aguja nos indicará la dirección a dicha estación. Al captar la siguiente frecuencia (ver imagen) nos señalará la dirección de esta otra. Por triangulación sobre un mapa en el que figuran las emisoras NDB podremos conocer nuestra posición en ese instante.



Figura 8. Automatic Directioner Finder.

Fuente: <http://www.slideshare.net/fersebx94/clasificacin-de-los-instrumentos-de-vuelo>

- **DME (Distance Measuring Equipment):** Este equipo, basado en el fundamento del tiempo de respuesta de la señal de Radar aportó la gran ventaja de que nos proporciona la distancia a la emisora cuya frecuencia hemos seleccionado, mediante el cálculo de la diferencia de las señales pulsatorias de alta frecuencia.



Figura 9. Distance Measuring Equipment.

Fuente: <http://www.slideshare.net/fersebx94/clasificacin-de-los-instrumentos-de-vuelo>

- **CDI (Course Deviation Indication):** Este dispositivo, basado en señales de muy alta frecuencia (VHF) y por tanto de alcance menor, se basa en las antenas VOR (VHF Omnidirectional Range) aporta sobre los

anteriores la particularidad de que permite saber al piloto si se encuentra a la derecha, a la izquierda o centrado sobre el radial (rumbo a o desde la emisora VOR).



Figura 10. Course Deviation Indication.

Fuente: <http://www.slideshare.net/fersebx94/clasificacin-de-los-instrumentos-de-vuelo>

- **ILS (Instrument Landing System):** Este sistema es fundamental para las fases de aproximación y aterrizaje en condiciones IFR especialmente de baja visibilidad , ya que a diferencia de los anteriores dispositivos, que sólo indican rumbos, éste nos indica el ángulo de descenso correcto además de la alineación con el eje de la pista.



Figura 11. Instrument Landing System.

Fuente: <http://www.slideshare.net/fersebx94/clasificacin-de-los-instrumentos-de-vuelo>

- **Piloto Automático:** Desarrollado desde los años 30, por Elmer Sperry es una de las claves que permitieron el gran desarrollo de la navegación a larga distancia, ya que permite automatizar el pilotaje manteniendo el rumbo, la altitud y la velocidad durante largos períodos de tiempo, descargando al piloto de esta tarea, para poder concentrarse en la navegación y la supervisión de los sistemas, especialmente del motor, así como de las comunicaciones.



Figura 12. Piloto automático.

Fuente: <http://www.slideshare.net/fersebx94/clasificacin-de-los-instrumentos-de-vuelo>

- **Director de vuelo (Flight Director):** Ordenador de gestión de vuelo. Este aparato, en realidad un potente ordenador, permite programar la ruta y volarla manualmente o mediante el Piloto Automático, además de calcular una gran cantidad de variables de la aeronave, entre las cuales las relativas a la operación de los motores, la gestión del combustible, y todos los cálculos imaginables con respecto a la navegación y el vuelo de la aeronave.



Figura 13. Director de vuelo

Fuente: <http://www.slideshare.net/fersebx94/clasificacin-de-los-instrumentos-de-vuelo>

2.4.2 Instrumentos del motor.

Los instrumentos del motor permiten la operación adecuada del mismo, facilitando el monitoreo y control del mismo.

- **Indicador de N1:** El indicador de N1 representa la velocidad de rotación del compresor de baja y se presenta en el indicador como un porcentaje respecto a las RPM del diseño. Después del arranque, la velocidad del compresor de baja es gobernada por el eje de la turbina de baja, la cual está conectada al compresor de baja mediante un eje concéntrico.
- **Indicador de N2:** El N2 representa la velocidad de rotación del compresor de alta presión y se presenta en el indicador como un porcentaje respecto a las RPM del diseño. El compresor de alta es gobernado por la turbina de alta. Ambos están conectados mediante un eje concéntrico.
- **EGT (Exhaust Gas Temperature):** Un factor que limita un motor de turbina es la temperatura de los gases en la sección de la turbina. La temperatura en la sección de la turbina se debe monitorizar para evitar el recalentamiento de las láminas que forman la turbina y de otros componentes de la sección de salida, por ello se incorpora siempre una sonda para medir la temperatura de los gases de escape. Así podemos limitar la potencia del motor controlando la temperatura de escape.
- **Indicador de flujo de combustible:** El indicador de flujo de combustible (fuel flow) indica, en función del tiempo, la cantidad de combustible que está recibiendo y consumiendo el motor, indicando en Galones por HORA (GAL/HR.)

El sistema de un transmisor electromecánico que utiliza un dispositivo mecánico para, en función del flujo recibido, producir una señal eléctrica proporcional al flujo que señala en el indicador.

- **Indicador de temperatura de aceite:** La capacidad del aceite de motor para realizar su trabajo de lubricación y refrigeración es función de la temperatura del aceite, así como también de la cantidad de aceite suministrado a las áreas críticas. Frecuentemente se proporciona un indicador de temperatura de aceite de entrada para mostrar la temperatura del aceite a medida que entra en los compartimentos de los cojinetes del motor. La temperatura de entrada del aceite también sirve como una indicación del adecuado funcionamiento del radiador de aceite del motor.
- **Indicador de cantidad de aceite:** Mide en porcentaje la cantidad de aceite en el motor, si cae demasiado se deberá aterrizar a la brevedad para su revisión y reposición, y de ser necesario realizar las reparaciones.
- **Indicador de cantidad de combustible:** Cantidad de combustible en el tanque, medido en libras. La medición según el avión podrá ser sobre un tanque determinado o la total de todos los tanques.
- **Indicador de presión del líquido hidráulico:** Manómetro que mide la presión en los sistemas hidráulicos del avión., si este los tuviere, este sistema por lo general es el que acciona los actuadores de la superficies de control y tren de aterrizaje.
- **Indicador de cantidad de líquido hidráulico:** Cantidad de aceite hidráulico en el sistema.

- **TAT:** Termómetro dispuesto para medir la temperatura del aire externo, útil para calcular la densidad del aire y prever las diversas velocidades de la nave.



Figura 14. Instrumentos principales del motor

Fuente: <http://www.slideshare.net/fersebx94/clasificacin-de-los-instrumentos-de-vuelo>

- **EPR (Relación de Presiones del Motor):** Un indicador del cociente de presión (EPR) del motor se utiliza para indicar la potencia de salida de un turboreactor o de un turbofan. El EPR es el cociente entre la presión de la descarga de la turbina y la presión de entrada del compresor. Las medidas de la presión se toman mediante sondas situadas en la admisión de motor y en la salida. Cuando se recogen estos datos, se envían a un transductor de presión diferencial, el cual envía una señal al instrumento de cabina. El sistema EPR está diseñado para compensar

automáticamente los efectos de la velocidad y de la altitud sobre las medidas tomadas.

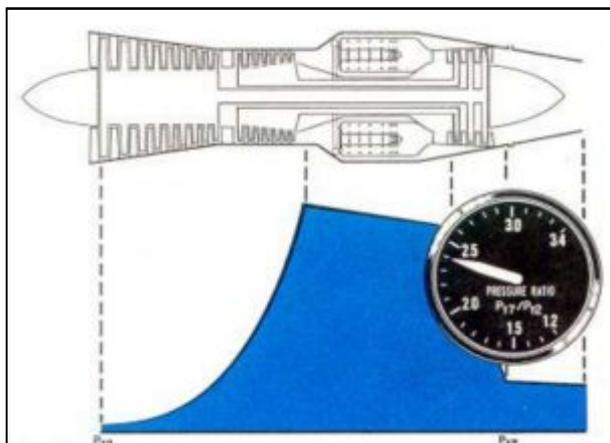


Figura 15. Indicador EPR (Engine Pressure Ratio).

Fuente: Motores de turbinas a gas. A.G. Rivas. Pág. 155.

2.4.3 Instrumentos de pilotaje.

- **Indicador Air Speed:** Es el indicador de la velocidad relativa con respecto a la masa de aire alrededor de la aeronave. Su funcionamiento se basa en la comparación de 2 presiones: estática y dinámica captadas en los puntos apropiados en un llamado sistema pitot-estática.



Figura 16. Indicador Air Speed.

Fuente: <http://www.slideshare.net/fersebx94/clasificacin-de-los-instrumentos-de-vuelo>

- **Altímetro:** El altímetro indica, en pies o en metros, la lectura de la altitud relativa a un nivel de referencia dado a la cual está volando el avión.



Figura 17. Indicador altímetro

Fuente: <http://www.slideshare.net/fersebx94/clasificacin-de-los-instrumentos-de-vuelo>

- **Indicador de velocidad vertical:** El VSI (Vertical Speed Indicator), indica si el avión está ascendiendo, descendiendo o va nivelado y la velocidad vertical a la que asciende o desciende.



Figura 18. Indicador de velocidad vertical.

Fuente: <http://www.slideshare.net/fersebx94/clasificacin-de-los-instrumentos-de-vuelo>

- **Indicador de giro e indicador de inclinación o viraje:** son dos instrumentos de vuelo integrados en un mismo cuadrante.

- **Indicador de giro:** presenta por un lado una aguja que se desvía de la vertical al ritmo en que el eje longitudinal del avión va variando su orientación o rumbo.
- **Indicador de inclinación:** Indica qué tanto gira, hacia qué lado y su ratio.

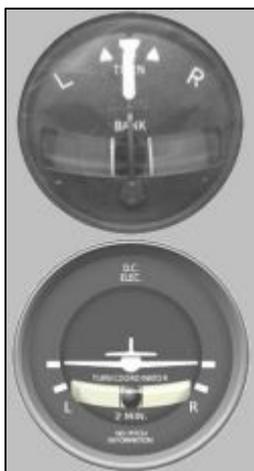


Figura 19. Indicador de giro e indicador de viraje respectivamente.

Fuente: <http://www.slideshare.net/fersebx94/clasificacin-de-los-instrumentos-de-vuelo>

- **Horizonte artificial:** indica la posición de los ejes longitudinales y transversales del avión con respecto al horizonte natural.



Figura 20. Horizonte artificial.

Fuente: <http://www.slideshare.net/fersebx94/clasificacin-de-los-instrumentos-de-vuelo>

2.5 Sistema digital.

Un sistema digital es cualquier dispositivo destinado a la generación, transmisión, procesamiento o almacenamiento de señales digitales. También un sistema digital es una combinación de dispositivos diseñado para manipular cantidades físicas o información que estén representadas en forma digital; es decir, que sólo puedan tomar valores discretos.

La mayoría de las veces estos dispositivos son electrónicos, pero también pueden ser mecánicos, magnéticos o neumáticos.

Para el análisis y la síntesis de sistemas digitales binarios se utiliza como herramienta el álgebra de Boole.

Los sistemas digitales pueden ser de dos tipos:

- **Sistemas digitales combinacionales:** Son aquellos en los que la salida del sistema sólo depende de la entrada presente. Por lo tanto, no necesita módulos de memoria, ya que la salida no depende de entradas previas.
- **Sistemas digitales secuenciales:** La salida depende de la entrada actual y de las entradas anteriores. Esta clase de sistemas necesitan elementos de memoria que recojan la información de la 'historia pasada' del sistema.

Para la implementación de los circuitos digitales, se utilizan puertas lógicas (AND, OR y NOT) y transistores. Estas puertas siguen el comportamiento de algunas funciones booleanas.

2.6 Software.

El software representa toda la parte inmaterial o intangible que hace funcionar a un ordenador para que realice una serie de tareas específicas, coloquialmente conocidos como programas el software engloba a toda la

información digital que hace al conjunto de elementos físicos y materiales que componen el computador trabajar de manera inteligente.

2.7 Software de control JET-TRONIC versión 1.0.57:

El programa controlador de jetcat (jet-tronic) nos permite monitorear y controlar el funcionamiento del motor a través de un panel de instrumentos digitalizado tomando en cuenta los parámetros e instrumentos más importantes y necesarios que requiere el motor. Todos los datos que recibe el programa por medio del interfaz de transmisión del GSU o a su vez de la ECU directamente son mostrados en tiempo real en la pantalla e incluso se puede controlar el motor desde el ordenador.

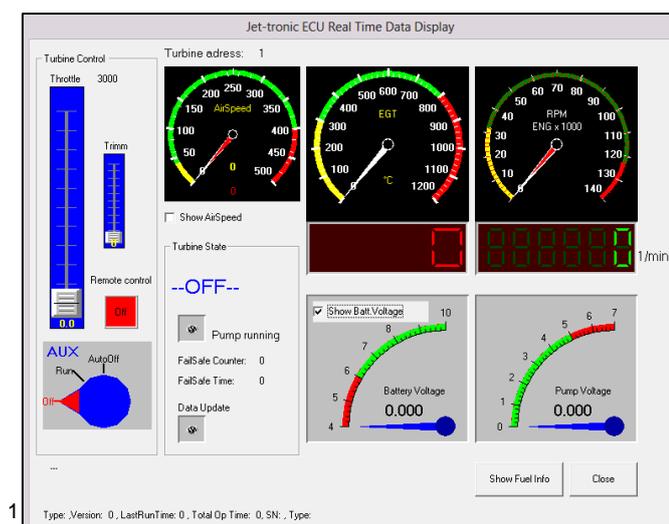


Figura 21. Panel de control de software

2.8 USB 2.0 (universal serial bus):

USB 2.0 es un bus externo que soporta hasta 480 Mbits/s de transferencia de datos. Se trata de una extensión del USB 1.1, por lo tanto utiliza los mismos cables y conectores, y es compatible con éste.

¹ Panel principal de control y monitoreo digital Jettronic



Figura 22. Cable de Datos USB 2.0.

Fuente: http://www.silicon-edinburgh.co.uk/wp-content/uploads/2013/10/USB-Male_Male.jpg

2.9 Interface Jetcat USB ECU cable 2.0.

Es un cable de transmisión de datos entre el ECU y el ordenador o a su vez entre el GSU y el ordenador, este cable tiene la particularidad de tener un extremo con el conector USB macho de 2.0 de velocidad y al otro extremo un conector macho ²RJ-12 de 6 hilos.



Figura 23. Interface Jetcat USB ECU cable 2.0.

2.10 Computadora portátil:

Una computadora portátil u ordenador portátil (en inglés: laptop o notebook) es un ordenador personal móvil o transportable, que pesa normalmente entre 1 y 3 kg. Los ordenadores portátiles son capaces de realizar la mayor parte de las tareas que realizan los ordenadores de

² Un RJ-12 es un conector telefónico para crimpar en cable de 6 hilos

escritorio, también llamados "de torre", con similar capacidad y con la ventaja de su peso y tamaño reducidos; sumado también a que tienen la capacidad de operar por un período determinado sin estar conectadas a una red eléctrica.



Figura 24. Notebook modelo HP.

Fuente: http://www.notebookcheck.org/uploads/tx_nbc2/hp-pavilion-dv5-1000-entertainment-notebook-pc-series-EMEA_400x400.jpg

2.11 Brazo de sujeción articulado.

Es un dispositivo el cual sirve como pedestal omnidireccional incluso en algunos casos con variación de altura, sirve principalmente para facilitar el manejo de computadoras portátiles y pantallas de tipo LED, incluso tablets, según los requerimientos particulares de este.



Figura 25. Soporte para laptops.

Fuente:

[http://csimg.mercamania.es/srv/ES/29000648321751/T/340x340/C/FFFFFF
F/url/newstar.jpg](http://csimg.mercamania.es/srv/ES/29000648321751/T/340x340/C/FFFFFF/F/url/newstar.jpg)

2.12 Equipo de protección personal (EPP).

Los EPP comprenden todos aquellos dispositivos, accesorios y vestimentas de diversos diseños que emplea el trabajador para protegerse contra posibles lesiones.

Los equipos de protección personal (EPP) constituyen uno de los conceptos más básicos en cuanto a la seguridad en el lugar de trabajo y son necesarios cuando los peligros no han podido ser eliminados por completo o controlados por otros medios como por ejemplo: Controles de Ingeniería.

2.12.1 Requisitos de un E.P.P.

- Proporcionar máximo confort y su peso debe ser el mínimo compatible con la eficiencia en la protección.
- No debe restringir los movimientos del trabajador.
- Debe ser durable y de ser posible el mantenimiento debe hacerse en la empresa.
- Debe ser construido de acuerdo con las normas de construcción.
- Debe tener una apariencia atractiva.

2.12.2 Clasificación de los E.P.P.

- Protección a la Cabeza (cráneo).
- Protección de Ojos y Cara.
- Protección a los Oídos.
- Protección de las Vías Respiratorias.
- Protección de Manos y Brazos.
- Protección de Pies y Piernas.
- Cinturones de Seguridad para trabajo en Altura.



Figura 26. Equipo de protección personal.

Fuente: http://avenrut.com/wp-content/uploads/2013/10/68345230_2-Fotos-de-EQUIPO-DE-PROTECCION-PERSONAL-FERRELECT.jpg

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

El desarrollo del tema será aplicado directamente en el proyecto de graduación “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA BANCO DE PRUEBAS DE UN MOTOR JETCAT P80SE PARA OPTIMIZAR EL INTERAPRENDIZAJE DE LOS ESTUDIANTES DE LA CARRERA AERONÁUTICA DEL ITSA” realizado por ROBERTO CAMACHO , al cual se le implementará un sistema digital de instrumentos y una estación de control y monitoreo, lo cual facilitara el manejo y control del motor JetCat P80SE.

3.1. Selección del dispositivo de control

El dispositivo de control se determinará según condiciones físicas y de software los cuales son:

- Debe contar con sistema operativo Windows 7 o Windows 8.
- Debe tener un puerto de datos USB 2.0
- Tener memoria en RAM de mínimo 2 GB

El análisis general nos propone dos alternativas, una laptop corei3 o una Tablet.

Se determinó que el dispositivo más conveniente para cumplir las funciones propuestas es una laptop corei3, por las siguientes razones:

- La batería de una laptop dura mas
- Una laptop tiene más funciones
- Una laptop es mucho más fácil de manipular
- La mayoría de las Tablet no funcionan con Windows y tampoco poseen un puerto de datos USB 2.0
- El costo de las Tablet´s que funcionan con Windows y tienen puerto de datos USB 2.0 es mayor o igual al de una laptop.

Por lo antes mencionado, se ha escogido el ordenador del usuario una laptop Acer Aspire 5742-7620 Intel Core i3, ya que cumple con todas las condiciones necesarias para el desarrollo del proyecto e incurre un costo mucho menor. Ver fig. 27.

3.2. Datos técnicos de la notebook Acer Aspire 5742-7620

- Procesador Intel Core i3-370 millones
- Memoria DDR3 de 4GB
- Disco duro de 320GB SATA
- Quemador de DVD 8X SuperMulti de doble capa
- Pantalla ancha LCD de 15.6 " HD CineCrystal
- Intel HD Graphics con 128 MB de memoria del sistema
- Webcam de 1,3 megapíxeles con micrófono incorporado
- Original de Microsoft Windows 8 Home Premium 64-Bit Edition



Figura 27. Acer Aspire 5742-7620

3.3. Obtención de software.

El software controlador a utilizarse es el Jet-tronic versión 1.0.57, que permite monitorear y controlar el funcionamiento del motor a través de un panel instrumentos digitalizado, tomando en cuenta los parámetros e instrumentos más importantes y necesarios que requiere el motor. Todos los datos que recibe el programa por medio del interface de transmisión del

GSU o a su vez de la ECU directamente son mostrados en tiempo real en la pantalla e incluso se puede controlar el motor desde el ordenador.

El programa se lo puede descargar directamente de la página propia de Jetcat www.jetcatusa.com/download/html. Ver fig. 28.



Figura 28. Descarga del software Jet-tronic

3.4. Obtención de cable de interface Jetcat USB 2.0

El cable de datos jetcat, se lo importa a través de la compra en internet en una tienda de aeromodelismo en línea que tenga en stock el artículo mencionado, en este caso se prefirió adquirir el cable de la misma tienda Jetcat con su matriz en Alemania, el envío tardó 2 meses y tuvo un costo global de \$200. Ver fig. 29.



Figura 29. Cable de datos Jetcat USB 2.0

3.5. Pasos para la instalación de software de control en el ordenador portátil.

Después de descargar el programa de control Jetcat, se procedió a instalarlo:

- En la carpeta “Descargas” en el explorador de Windows y ubica el programa con el nombre “setupJet4Win-engl” y se lo procedió a ejecutar. Ver fig. 30.

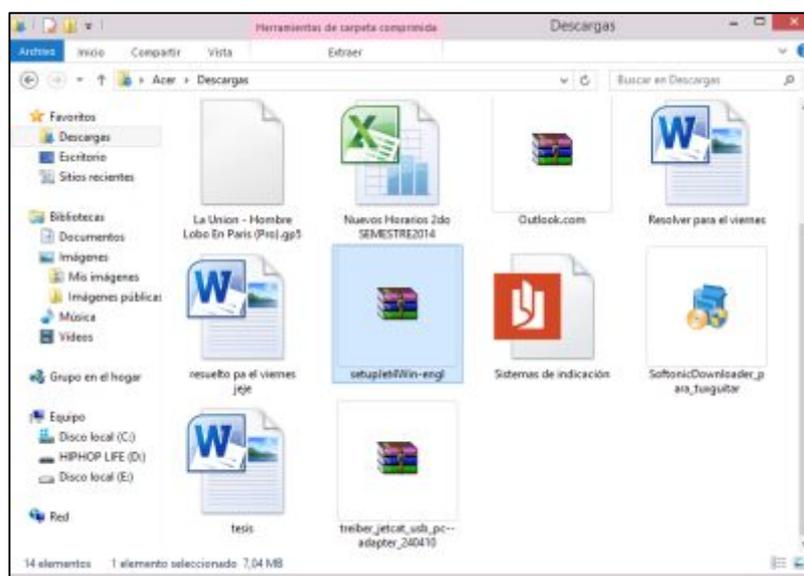


Figura 30. Carpeta “Descargas”

- Ya abierto el archivo comprimido se presentó un único documento con el nombre de “setup_Engl.exe” y se lo procedió a correr. Ver fig. 31.

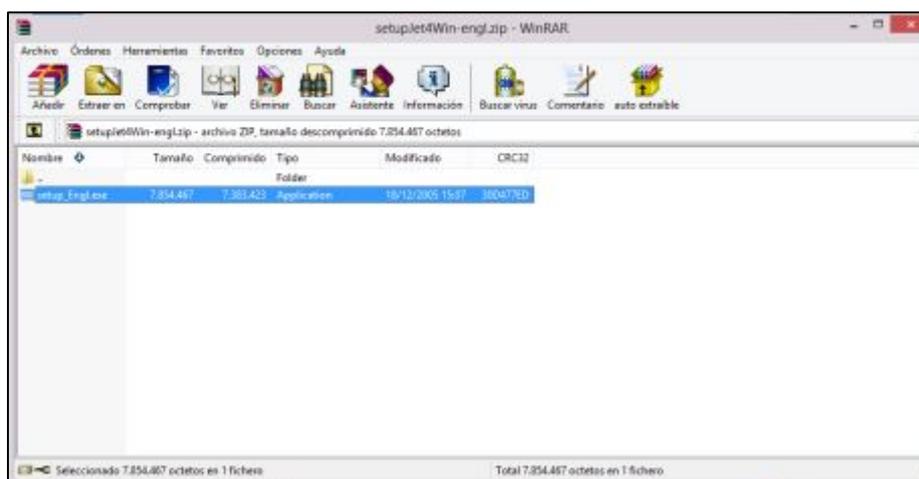


Figura 31. Carpeta comprimida “setupJet4Win-eng.zip”

- Se presentó una ventana de instalación con el nombre de “Jet-tronic for Windows” y se cliqueó el botón “Next”. Ver fig. 32.



Figura 32. Ventana de instalación de software

- Al terminar de instalarse el programa, la misma ventana indicó que la instalación ha sido completada, se hizo clic en el botón “Finish” y en el escritorio apareció un nuevo ícono con el nombre de “Jet-tronic”. Ver fig. 33.



Figura 33. Ícono Jet-tronic

Ya instalado el programa, aún no estaba listo para la sincronización con el motor, el ordenador debe obtener algunos programas de complemento dependiendo del procesador y sistema operativo. Para ello se le realizó un escaneo general de controladores, se realizaron los siguientes pasos:

- El programa de escaneo y complementación de controladores se llama “Driver Toolkit”, se lo pudo descargar desde su homepage www.drivertoolkit.com/download. Ver fig. 34.



Figura 34. Ventana de descarga del programa Driver Toolkit

- El programa se archivó en la carpeta “Descargas” del navegador de Windows, se procedió a instalarlo y se presentó una ventana llamada “Setup – Driver Toolkit”. Ver fig. 35.



Figura 35. Ventana de instalación de Driver Toolkit

- Ya instalado el programa apareció en el escritorio el ícono de Driver Toolkit. Ver fig. 36.



Figura 36. Ícono Driver Toolkit

- Se abrió el acceso directo y apareció la siguiente ventana. Ver fig. 37.



Figura 37. Ventana principal de Driver Toolkit

- Se seleccionó la opción “Register Now” ubicada en la parte inferior izquierda de la ventana principal de Driver Toolkit, (ver fig. 3.11). Se abrió una ventana de ventajas de registro, se volvió a seleccionar “Register Now”. Ver fig. 38.



Figura 38. Ventana de ventajas de registro

- Lo que llevó directamente a la página de registro y compra de licencia de Driver Toolkit www.drivertoolkit.com/register; ver fig. 39.

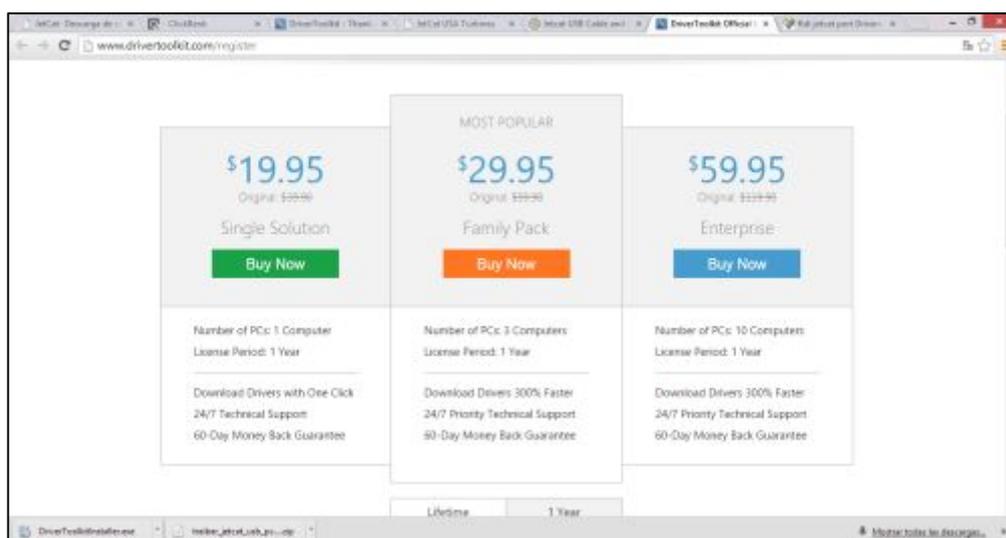


Figura 39. Página de registro y compra de licencia

- Se escogió la alternativa más conveniente en este caso fue la opción “Single Solution”, e inmediatamente se abrió otra ventana en la que detallaba al producto (ver fig. 40), la información de facturación y las formas de pago de como adquirirlo.

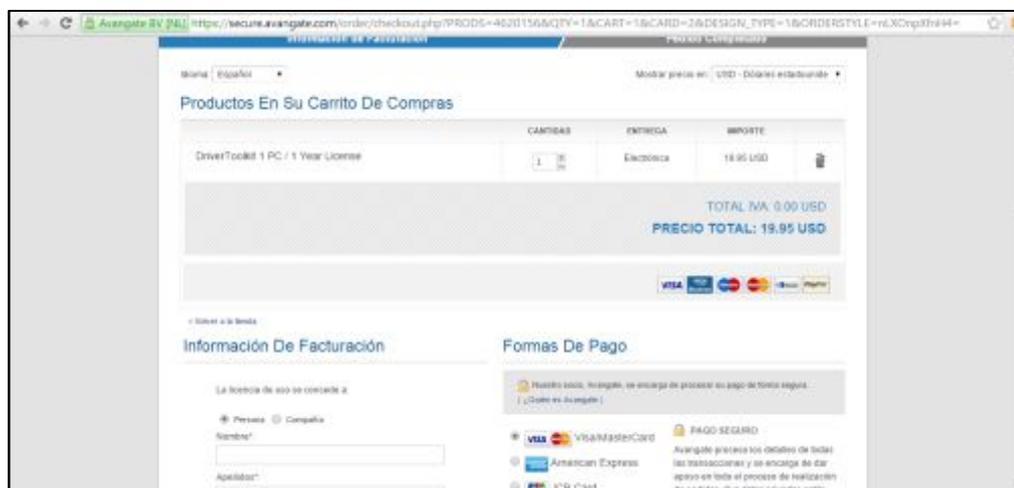


Figura 40. Detalle del producto a comprar

- La forma de pago escogida fue PayPal, ya que en este caso el usuario posee una cuenta para poder realizar transacciones de esta manera (Ver fig. 41), después se hizo clic en “finalizar pedido”.



Figura 41. Elección de forma de pago por PayPal.

- Realizado el pago, de manera enseguida se surgió una ventana con la información de registro, el nombre del E-mail de usuario y la contraseña de la licencia recurrente e indicaciones generales. Ver fig. 42.

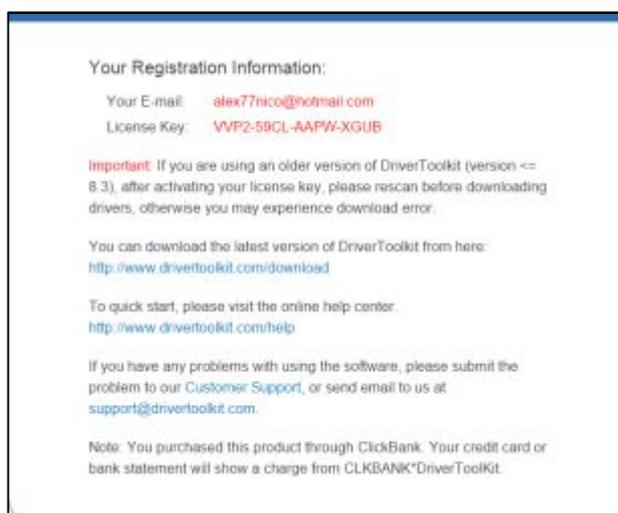


Figura 42. Mensaje de información de registro

- En la ventana de registro se ubicó en la parte inferior izquierda la opción de "Already have a license key" (ver fig.43.), se copió la contraseña y se presentó una ventana con un mensaje de activación del software que dice "Your license key has been activated successfully". Ver figura 44.



Figura 43. Botón de acceso al registro de la contraseña

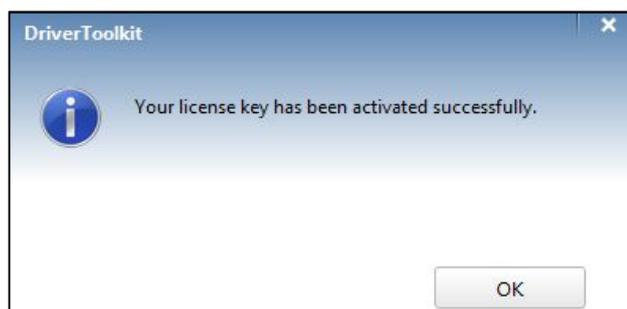


Figura 44. Ventana con mensaje de activación de la licencia de software

- Ya activado el programa, se escaneó los controladores complementarios para poder sincronizar el ordenador con el motor, haciendo clic en el botón “Start Scan” (ver fig. 45).

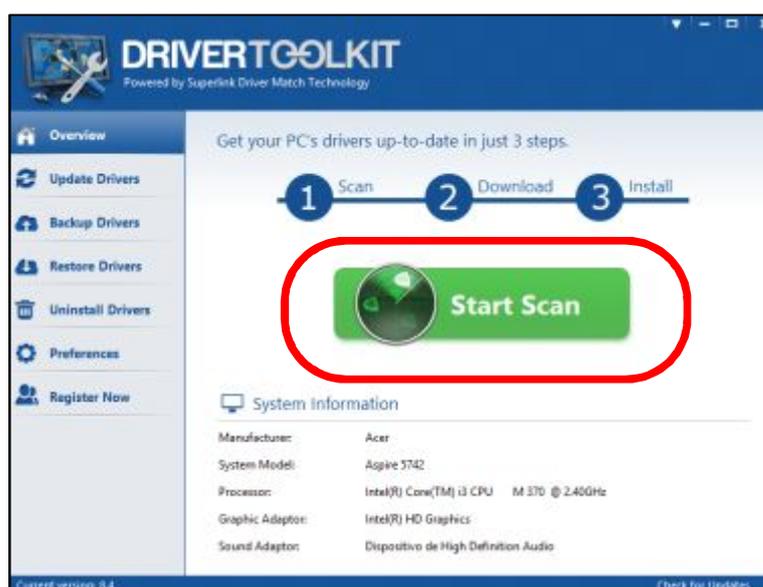


Figura 45. Botón de inicio de escaneo de controladores.

- Se clicó el botón y automáticamente comenzó el escaneo de los controladores. Ver fig. 46.



Figura 46. Ventana de escaneo de controladores

- Inmediatamente después de que se escaneó el ordenador, se presentaron los resultados (ver fig. 47), en lo que se pudo apreciar los controladores que faltaban en el sistema.



Figura 47. Resultado del escaneo

- Se eligieron los controladores complementarios del software de Jetronic y se los procedió a descargar seleccionando el botón verde “Download” ubicado al frente de cada ítem en la lista, en este caso se descargó los controladores de USB, Jetcat y los controladores del puerto “Com3”. Ver fig. 48.



Figura 48. Descarga de controladores

- Se instalaron los controladores necesarios haciendo clic en el botón verde “Install”, frente a cada uno de los controladores enlistados apareciendo una ventana de asistente de instalación controladores para dispositivos y se sigue los pasos generales. Ver fig. 49.

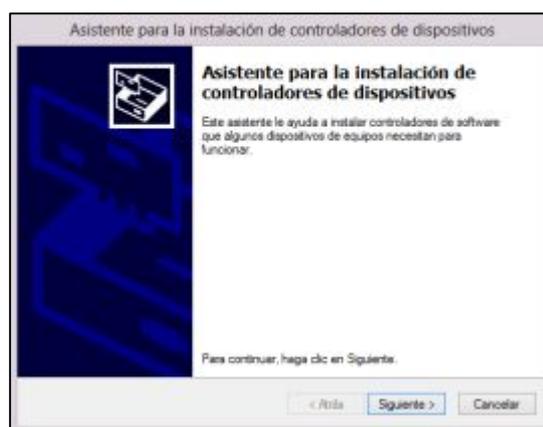


Figura 49. Ventana de asistente para la instalación de controladores de dispositivos.

- Ya instalados los controladores necesarios, se aseguró en el administrador de dispositivos del equipo, que el dispositivo de interface Jetcat USB 2.0 sea reconocido sin ningún tipo de inconveniente (ver fig. 50) y el puerto COM3 del ordenador este habilitado. Ver fig. 51.



Figura 50. Reconocimiento del dispositivo Jetcat USB 2.0

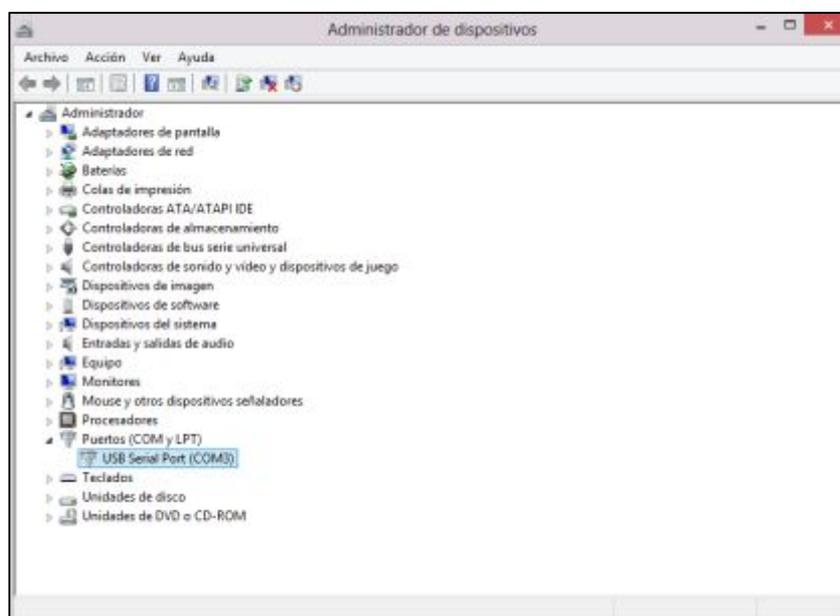


Figura 51. Habilitación del puerto COM3

3.6. Sincronización entre el ordenador y el motor.

Para la sincronización entre el ordenador y el motor Jetcat P80SE, se realizaron los siguientes pasos.

- Con el ordenador encendido y el motor listo para encenderse según los procedimientos previos de encendido citados en el manual de operación. Ver anexo A, se conectó el cable de interface Jetcat USB 2.0, entre el GSU y el puerto USB habilitado. Ver fig. 52.



Figura 52. GSU y ordenador conectados por medio del cable USB JetCat 2.0

- Se ejecutó el software Jet-tronic desde su acceso directo en el escritorio del ordenador, presentándose la ventana principal de jet-tronic, se seleccionó “Settings” en la barra de menú ubicada en la parte superior izquierda de la ventana. Ver fig. 53.



Figura 53. Ventana principal de Jet-tronic.

- Después de hacer clic en “Settings” se desplegó un menú con tres ítems, se seleccionó “COM-Settings” e inmediatamente se desplegó una ventana de los puertos de comunicación y la velocidad de cada uno con el nombre de “Communication Settings”, se hizo clic en el botón “AutoDetect”, y automáticamente se definió el puerto habilitado en este caso COM3 y a la velocidad de Baudios que trabaja el mismo en este caso 9600. Ver fig. 54.

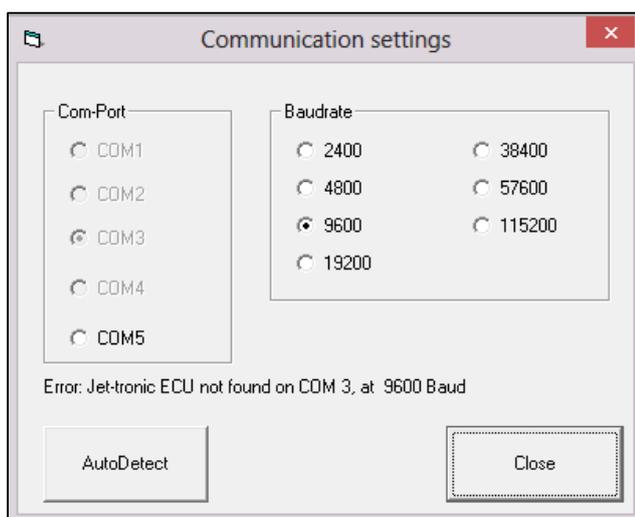


Figura 54. Ventana “Communication Settings”

- Enseguida apareció el mensaje de sincronización en la ventana principal de Jet-tronic, en el cual se lee lo siguiente: “ECU connected on COM 3→ OK”. Ver fig. 55.



Figura 55. Mensaje de sincronización entre ordenador y motor.

3.7. Diseño de la estación de control y monitoreo del motor.

En el marco del diseño se sostuvo que la estación debe ser portátil, cómoda y sencilla, para esto se evaluaron los elementos que podrían hacer de esta una estación adecuada para las funciones requeridas.

Un pedestal del tipo brazo articulado para laptop sin variación de altura aprovechando el espacio en el banco del motor, adicionando una silla ergonómica con variación de altura para controlar el ordenador.

El pedestal escogido fue Atdec Visidec VF-AT-NK (ver fig. 56), cuyas especificaciones son las siguientes.

- Compatible con portátiles de hasta 18 pulgadas de pantalla y con peso de hasta 17,5 libras (8 kg)
- Superficie de la bandeja antideslizante
- Alcance máximo del brazo 16.25 "in (421mm)
- Rango de inclinación de la bandeja de 25 grados



Figura 56. Brazo de sujeción para laptop Atdec Visidec VF-AT-NK.

Fuente: http://g-ecx.images-amazon.com/images/G/01/electronics/detail-page/Visidec_VF-AT-NK_Focus_Monitor_Arm_img1_lg.jpg

La silla designada para la estación es una silla básica de oficina, cómoda y sencilla, de fácil manejo y transporte, con ajuste de altura y espaldar.



Figura 57. Silla designada para la estación de control.

Fuente: http://mec-s1-p.mlstatic.com/sillas-para-oficina-regulables-671-MEC4398866814_052013-O.jpg

3.7.1. Armado de la estación de control y monitoreo.

Para el empotre del brazo de soporte se hizo un orificio en la esquina inferior derecha de la mesa del motor, con una broca 3/8 de cobalto. Ver fig.58.

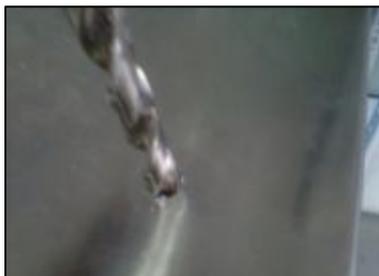


Figura 58. Realización del orificio por broca 3/8 de cobalto

Se procedió a armar la base del brazo y asegurarla a la mesa por medio de un perno de acero de 3/8 de diámetro por 5 pulgadas de largo, colocando sus respectivas arandelas. Ver fig. 59.



Figura 59. Brazo de sujeción armado.

Finalmente se adicionó la silla para el cómodo control de la estación. Ver fig. 60.



Figura 60. Estación de control completa

3.8. Pruebas funcionales.

Se obtuvo un resultado satisfactorio en el desarrollo de las pruebas funcionales, en las cuales se buscó principalmente prevenir y corregir, todas las posibles fallas que se presentaran en la estación de monitoreo, antes, durante y después de la operación del motor.

Hubieron inconvenientes al momento de probar el motor, en este caso algunos elementos del sistema eléctrico del proyecto al cual fue aplicada la estación estaban conectados de manera errónea tales como el receptor, los throttle y el aux en el ECU, en el manual proporcionado no se indicaba de una manera clara y entendible como debe ir conectado. Con la ayuda de un manual en idioma alemán e inglés, y el conocimiento empírico del tecnólogo Proaño, se pudo evaluar el estado de cada elemento y su correcta posición en el ECU y sistema en general.

Se identificó todos los elementos y el funcionamiento individual de cada uno, los elementos del sistema son los siguientes.

- Tanque de combustible.
- Pesa del tanque de combustible.

- Tanque reservorio de gas propano.
- Puerto de llenado de gas propano.
- Filtro de combustible.
- Bomba de combustible.
- Válvula manual de paso de combustible.
- Válvula shutoff de paso de combustible.
- Válvula manual de paso de gas propano.
- Válvula shutoff de paso de gas propano.
- Filtro de gas propano.
- GSU (Ground Support Unit)
- ECU (Electronic Control Unit)
- Receptor del sistema de R/C
- Batería del sistema de R/C
- Válvula Check de paso de gas propano al reservorio

Con el sistema del motor conectado de manera adecuada la disposición de elementos eléctricos queda similar al diagrama de conexión eléctrica (1/2) y diagrama de conexión eléctrica (2/2) del manual de operación de la turbina JetCat P80. Ver anexo A.

Situándose de esta manera:

En la cara derecha del ECU (Ver fig. 61). Se conectan los siguientes elementos del sistema:

- Plug de alimentación eléctrica al motor.
- Plug tipo RJ de transferencia de datos entre el motor y el ECU.

- Plug de alimentación eléctrica desde la batería al ECU.
- Plug de válvula shut-off de paso de gas propano.
- Plug de conexión con sensor de Air Speed.



Figura 61. Disposición de puertos de la cara derecha del ECU.

El puerto del plug de alimentación eléctrica de la turbina ubicado en la parte inferior izquierda. Ver fig. 62.



Figura 62. Posición del plug eléctrico a la turbina

El puerto del plug tipo RJ de transferencia de datos entre la turbina y el ECU ubicado en la parte de media de la cara derecha del ECU. Ver fig. 63.

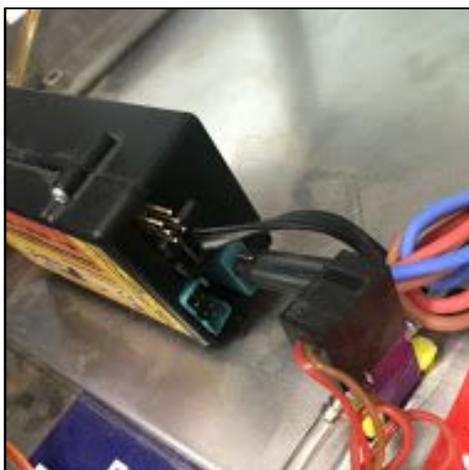


Figura 63. Posición del plug tipo RJ de transferencia de datos entre la turbina y el ECU

El puerto del plug de alimentación desde la batería, ubicado en la parte inferior izquierda. Ver fig. 64.



Figura 64. Posición del plug de alimentación desde la batería.

El puerto del plug de la válvula shut-off de paso de gas propano, ubicado en la parte superior derecha (ver fig. 65). Siempre tomar en cuenta que el cable de fase se ubica en un extremo de los tres y no va de colores vivos o no hay cable.



Figura 65. Posición del plug de la válvula shut-off de paso de gas propano

La posición restante pertenece al plug del sensor de Air Speed, que se instalará en caso de que el motor sea implementado en un modelo aeronáutico.

En la cara izquierda del ECU (Ver fig. 66). Se conectan los siguientes elementos del sistema:

- Plug de la bomba de combustible.
- Plug RJ de transferencia de datos entre el ECU y el tablero LED I/O.
- Plug de válvula shut-off de paso de combustible
- Plug de Throttle del receptor
- Plug de Trim o Auxiliar del receptor
- Plug de la bomba de humo en caso de que el motor esté fijado en un modelo aeronáutico.



Figura 66. Disposición de puertos de la cara izquierda del ECU.

El puerto del plug de la bomba de combustible ubicado en la parte inferior izquierda. Ver fig. 67.



Figura 67. Posición del plug de la bomba de combustible.

El puerto del plug de transferencia de datos entre el ECU y el tablero LED I/O, ubicado en la parte media a la derecha. Ver fig. 68.



Figura 68. Posición del plug de transferencia de datos entre el ECU y el Tablero LED I/O.

El puerto del plug de la válvula shut-off de paso de combustible, ubicado en la posición número uno del puerto de cuatro espacios en la parte inferior derecha (ver fig. 69). Siempre tomar en cuenta que el cable de fase se ubica en un extremo de los tres y no va de colores vivos o no hay cable.



Figura 69. Posición del plug de la válvula shut-off de paso de combustible.

Los puertos de Throttle y Auxiliar desde el receptor ubicados en la posición tres y cuatro respectivamente del puerto de cuatro espacios. Ver fig. 70



Figura 70. Posición de los plugs de throttle y auxiliar.

El plug de la bomba de humo en caso de que el motor esté montado en un modelo aeronáutico y se disponga de una bomba de humo va ubicado en el espacio número dos del puerto de cuatro espacios.

Con los puertos identificados para cada elemento periférico del ECU, siguiendo el diagrama eléctrico (1/2), se procedió también a parrear los demás elementos del sistema.

El GSU y el tablero LED I/O, están conectados por un cable de transferencia de datos tipo RJ-12. Ver fig. 71.



Figura 71. GSU y tablero LED I/O conectados.

Los plugs que van al receptor deben estar ubicados de manera correcta en los puertos de control principales es decir las palancas, esto varía según el modelo de control R/C, en este caso son el 3 y el 5. Ver fig. 72.



Figura 72. Ubicación de los plugs de throttle y aux.

El plug de alimentación eléctrica del receptor debe ir ubicado de manera correcta en el puerto "B" de la batería, como se muestra en la imagen. Ver fig. 73.



Figura 73. Ubicación del plug de la batería.

Los puertos de los plugs y cañerías que están adaptados al motor deben ir de la siguiente manera. Ver figura 74.

- El cable eléctrico está ubicado en la posición de las 3.
- El cable de transferencia de datos está ubicado en la posición de las 11.
- Las cañerías de suministro tanto de combustible como de gas propano están ubicadas en las posiciones de las 2 y 10 respectivamente.

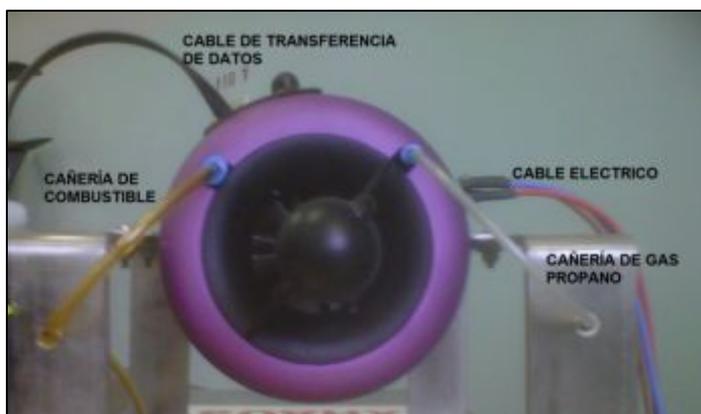


Figura 74. Ubicación los cables y cañerías en el motor.

El puerto del plug entre el ordenador y el GSU está ubicado en el GSU en la parte superior derecha. Ver fig. 75.



Figura 75. Ubicación en el GSU del puerto que conecta el GSU con el ordenador

El puerto USB 2.0 habilitado en el ordenador está ubicado en la parte izquierda. Ver fig. 76.



Figura 76. Puerto USB 2.0 habilitado para la sincronización con el GSU

Con el sistema eléctrico conectado excepto la batería del ECU por cuestión de seguridad, se aseguró que la válvula manual de paso de combustible este cerrada (posición vertical) y se procedió a llenar el tanque con la mezcla de JP1 y aceite sintético 2380, previamente mezclados, verificando que la pesa llegue al fondo al momento de tapan el tanque.

Se llenó el tanque de gas propano asegurándose que la válvula manual de paso de gas este abierta (posición horizontal), contando “mil uno, mil dos, y mil tres” como dice el manual de operación del motor.

Controlando que el entorno donde el motor fue encendido, se tomó las medidas de seguridad necesarias tales como el radio seguro alrededor del motor:

- En frente de la turbina = 15 pies
- En el lado de la turbina = 25 pies
- Detrás de la turbina = 15 pies

Y tomando en cuenta el equipo de protección personal requerido, en este caso guantes, gafas, protectores de oídos, overol, teniendo a la mano el extinguidor de CO₂, se procedió a conectar la batería al ECU, y a sincronizar el ordenador con el GSU, de esta manera obtuvimos el control total del sistema, se abrió las válvulas manuales tanto del combustible como del gas propano.

Con el sistema listo se procedió a correr el programa Jet-tronic, por medio del acceso directo ubicado en el escritorio digital del ordenador, se seleccionó en el botón “Show Real Values” para ingresar al panel de control. Ver figura 77.



Figura 77. Ventana principal de Jet-tronic.

Ya en el panel de control se habilitó el indicador de voltaje de la batería. Ver fig. 78.



Figura 78. Habilitación del indicador de voltaje de la batería.

Para armar el sistema se seleccionó el botón rojo “Remote control” en Off ubicado en el panel “Turbine Control”, el cual automáticamente cambió a ON de color verde e inmediatamente se encendieron los led’s del tablero led I/O y emitió un sonido secuencial, el botón superior verde “Start Turbine” comenzó a parpadear. Ver fig. 79.

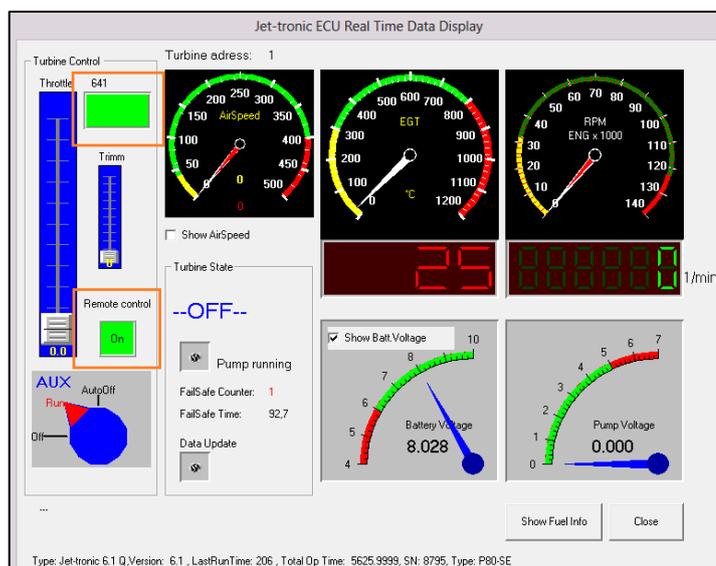


Figura 79. Sistema armado desde el panel Jet-tronic.

Se presionó el botón de “Start Turbine” y automáticamente el motor se encendió, con las palancas del TRIM y el THROTTLE disponibles en el panel de control de la turbina, se ubicó en idle previamente establecidos según el manual de operaciones del motor, ver anexo A. Se esperó a que el motor se estabilice, esto ocurre de 1 a 2 minutos después del encendido. Ver fig. 80.

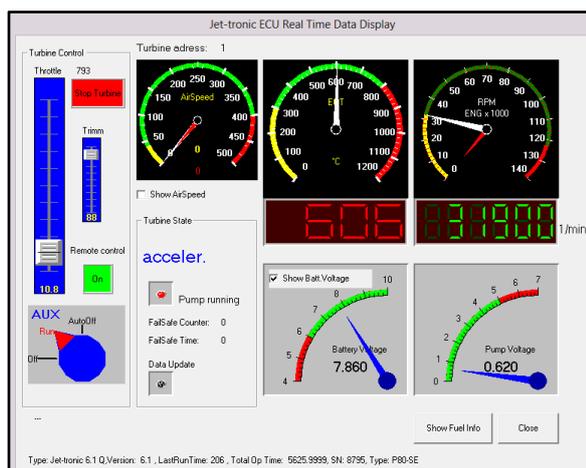


Figura 80. Panel de control con el motor en idle.

El motor se estabilizó dentro del rango de 30000 a 35000 rpm y temperatura de 500 a 600 grados centígrados, según las condiciones del día.

Ya el motor estable en idle, con las palancas de potencia del throttle y del trim se procedió a controlar el motor satisfaciendo requerimientos particulares y obteniendo el 100% de su potencia. Ver fig. 81.

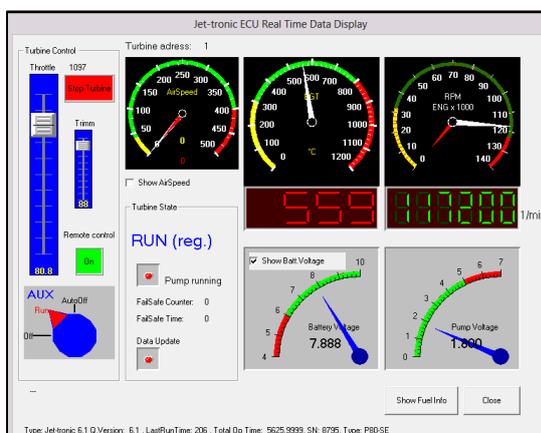


Figura 81. Panel de control con potencia a 80.8%.

Existen tres maneras de apagar el motor desde el ordenador, bajando las palancas de throttle x hasta 0% los dos, rotando el auxiliar a "AutoOff", la otra manera es directamente presionando el botón rojo "Stop Turbine" dispuesto en el panel de control de la turbina. Ver fig. 82.

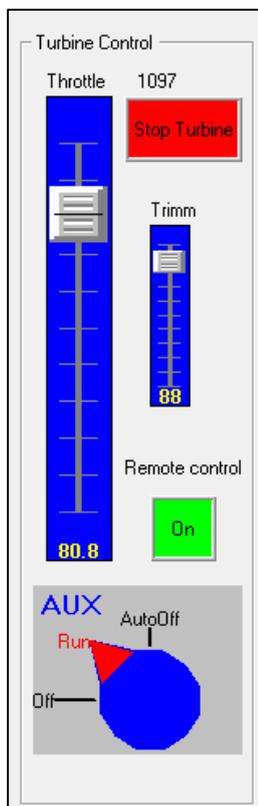


Figura 82. Panel de control de la turbina.

3.9. Gastos del proyecto.

En este estudio se determinara el costo total del "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIGITAL DE MONITOREO Y CONTROL POR PC QUE ASEMEJE AL SISTEMA EICAS BÁSICO PARA LA TURBINA JETCAT P-80 DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS " en todo el transcurso del desarrollo del proyecto.

3.9.1. Presupuesto

Al inicio del presente proyecto se realizó una investigación de proformas y cotizaciones y se llegó a la conclusión que para el "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIGITAL DE MONITOREO Y CONTROL POR PC QUE ASEMEJE AL SISTEMA EICAS BÁSICO PARA LA TURBINA JETCAT P-80 DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS " tenía un gasto total de 900 USD.

3.9.2. Análisis Económico.

En los gastos del "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIGITAL DE MONITOREO Y CONTROL POR PC QUE ASEMEJE AL SISTEMA EICAS BÁSICO PARA LA TURBINA JETCAT P-80 DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS" se tomó en cuenta cuatro factores económicos: los cuales son:

- Materiales
- Maquinarias y Herramientas
- Otros Gastos

3.9.3. Materiales.

Este rubro económico contiene toda la materia prima necesaria y utilizada para el desarrollo del proyecto.

Tabla 3
Gastos de Materiales

Detalle	QT	C. Uni.	Total
	Y		
Laptop	1	400	400
Interface JetCat USB 2.0	2	120	240
Brazo articulado para laptop	1	150	100
Programa de control	1	20	20
Gas propano	3	5	15
Combustible JP1	5lts	6	30
Aceite Aeroshell 2380	1/4	60	15
TOTAL			820

3.9.4. Otros Gastos

Este punto económico hace referencia a los gastos generados por expediente del proyecto e investigación.

Tabla 4
Costos Otros Gastos

DETALLE	GASTO
Impresiones	50
Internet	40
Empastados	15
Total	105

3.9.5. Total de gastos

Tabla 5
Total de gastos

DETALLE	GASTO
Gasto de Materiales	820
Otros	105
Total	925

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Para el control y monitoreo del motor Jetcat P80SE se utilizó el software Jet-tronic versión 1.0.57.
- Se desarrolló un manual completo para el motor Jetcat P80SE que abarca procedimientos, diagramas y especificaciones tanto del motor como del software de control y monitoreo del mismo.
- Tomando en cuenta que el banco del motor debe ser trasladado para su operación y optimizando el espacio del mismo, se optó diseñar una estación sencilla y portátil de fácil manejo. Se implementó un brazo articulado para laptops.
- El dispositivo de interface que se utilizó es el Jetcat USB 2.0, la versión moderna del RS232 A part 29 de Jetcat.
- La garantía de funcionamiento del motor P80SE involucra que los elementos que se adicionen al sistema deben ser de la franquicia propia de Jetcat, por razones de compatibilidad y evitar posibles fallas en el funcionamiento y operación general.

4.2. RECOMENDACIONES

- Antes de ejecutar el programa de control en el ordenador, el cable de interface Jetcat USB 2.0 debe estar conectado en el GSU (puerto telefónico) y en el puerto COM3 del ordenador (puerto USB), para que la sincronización sea inmediata.
- Es de carácter obligatorio, antes de utilizar el motor o manipular los elementos del sistema electrónico se lea detenidamente y entienda de manera completa el funcionamiento, control y monitoreo de los mismos, todo lo anterior mencionado está detallado en el manual de operación del Jetcat P80SE.
- Se debe tener pleno cuidado con los elementos del sistema electrónico manejándose con cautela y asegurándose que estén conectados de manera correcta.
- Antes de la operación del motor debe asegurarse que el computador está colocado de una manera cómoda y en la que el usuario pueda manipular con facilidad, nunca situé el ordenador cerca del inlet del motor.
- En caso de aplicar futuros proyectos ya sea en el banco del motor o en la estación de control, los dispositivos que se adicionen tales como GPS, el sensor de Air Speed o repuestos del sistema en general, deben ser de la franquicia de Jetcat por razones de compatibilidad con el sistema y software, ya que de no cumplirse lo antes mencionado podría ocurrir fallas en el funcionamiento y control de motor.
- La refrigeración manual del motor solo puede ser activada pulsando el botón ubicado en el tablero LED I/O.

GLOSARIO

A

Aux: Control de potencia auxiliar para el trim.

C

Cable RJ-12: Cable de tipo telefónico de 6 hilos de transmisión de datos bidireccional.

Compuerta AND: La puerta lógica Y, más conocida por su nombre en inglés AND ($\text{AND} \equiv Y \equiv \text{and}$), realiza la función booleana de producto lógico. Su símbolo es un punto (\cdot), aunque se suele omitir. Así, el producto lógico de las variables A y B se indica como AB, y se lee A y B o simplemente A por B.

Compuerta NOT: La puerta lógica NO (NOT en inglés) realiza la función booleana de inversión o negación de una variable lógica. Una variable lógica A la cual se le aplica la negación se pronuncia como "no A" o "A negada".

Compuerta OR: La puerta lógica O, más conocida por su nombre en inglés OR ($\text{OR} \equiv O \equiv \text{or}$), realiza la operación de suma lógica.

D

Driver Toolkit: Programa de escaneo de controladores complementarios.

E

ECU: Electronic Control Unit (Unidad de control electrónico)

EGT: Exhaust Gas Temperature (Temperatura de gas de escape).

EICAS: Engine Instrument and Crew Alert System.

EPP: Equipo de Protección Personal.

EPR: Engine Pressure Ratio.

F

F/F: Indicador de flujo de combustible

G

GSU: Ground Support Unit.

I

I/O: Input/Out del tablero led.

IFR: Instrumental Flight Rules (Reglas de vuelo por instrumentos)

ILS: Instrument Landing System.

J

JetCat: Compañía de desarrollo de tecnología de aeromodelismo.

Jet-tronic: Software de control del motor JetCat.

L

LiPoly: Batería de polímero de litio.

N

N1: Indicador de rpm de compresor de baja o turbina de baja.

N2: Indicador de rpm de compresor de alta o turbina de alta.

P

PayPal: Forma de pago por internet a través de una tarjeta de crédito.

Puerto COM3: Puerto de comunicación USB habilitado por medio de controladores.

R

R/C: Radio control.

RAM: Sigla de Random Access Memory ('memoria de acceso aleatorio'), memoria principal de la computadora, donde residen programas y datos, sobre la que se pueden efectuar operaciones de lectura y escritura.

RPM: Revoluciones por minuto.

T

Throttle: Control principal de potencia del motor.

U

USB: Sigla del inglés universal serial bus, periférico que permite conectar diferentes periféricos a una computadora.

V

VHF: Sigla del inglés very high frequency, frecuencia muy elevada con que se designan las ondas radioeléctricas de frecuencias comprendidas entre 30 y 300 MHz.

VOR: es un acrónimo para la frase en inglés VHF Omnidirectional Radio Range, que en castellano significa Radiofaro Omnidireccional de Muy Alta Frecuencia.

VSI: Vertical Speed Indicator.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ing. Büro CAT M.Zipperer GmbH; Intruccion Manual JETCAT P80. 2006.
- Interface gráfica para el medidor de nivel; Capitulo 3.
- JetCat USA made in Germany (2008); Instruction manual V6.0 ECU
- A.G. Rivas; Motores de turbina de gas.
- Enciclopedia universal (2012), Turborreactor, http://enciclopedia_universal.esacademic.com/12630/Turborreactor [Citado el 10 de septiembre de 2014].
- Foro de comunidad aeroespacial (2013), Motores aeronáuticos (parte 10)-Turborreactor, <http://www.taringa.net/comunidades/aeroespacio/7345528/Motores-aeronauticos-parte-10---Turborreactor.html> [Citado el 10 de septiembre de 2014].
- Sebastián Guardado (2012), Clasificación de los instrumentos de vuelo, <http://www.slideshare.net/fersebx94/clasificacin-de-los-instrumentos-de-vuelo>. [Citado el 12 de septiembre de 2014].
- Pasión por volar (2012), Instrumentos del motor nociones básicas, <http://www.pasionporvolar.com/instrumentos-del-motor-nociones-basicas/> [Citado el 12 de septiembre de 2014].
- Blog aeronáutico y tecnológico Aire y Espacio (2010), Los Indicadores y Parámetros en Cabina de los Motores de Turbina, <http://www.aireyespacio.com/2010/03/los-indicadores-y-parametros-en-cabina.html> [Citado el 15 de septiembre de 2014].
- Diccionario de informática y tecnología ALEGSA (1998-2014), Definición de USB 2.0 (high speed), <http://www.alegsa.com.ar/Dic/usb%202.0.php> [Citado el 18 de septiembre de 2014].

ANEXOS