

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN AUTOMATIZACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL

Tema:

“MIGRACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DENOMINADO ETL A
UNA PLATAFORMA DE CÓDIGO ABIERTO PARA UAV’S”

Trabajo de Investigación, previo a la obtención del Grado Académico de Magister
en Automatización y Sistemas de Control

Autor: Ing. Wilson Efraín Medina Pazmiño

Director (a): Lic. José María Lavín PhD.

Ambato - Ecuador

2019

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

El Tribunal receptor del Trabajo de Investigación presidido por la Ingeniera Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg., e integrado por los señores Ingeniero Carlos Diego Gordon Gallegos PhD., Ingeniero Franklin Wilfrido Salazar Logroño Mg. e Ingeniero Marcelo Vladimir García Sánchez PhD. designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Investigación con el tema: “**MIGRACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DENOMINADO ETL A UNA PLATAFORMA DE CÓDIGO ABIERTO PARA UAV’S**”, elaborado y presentado por el Ingeniero Wilson Efraín Medina Pazmiño, para optar por el Grado Académico de Magister en Automatización y Sistemas de Control; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



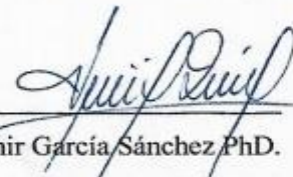
Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.
Presidente de Tribunal



Ing. Carlos Diego Gordon Gallegos PhD.
Miembro de Tribunal



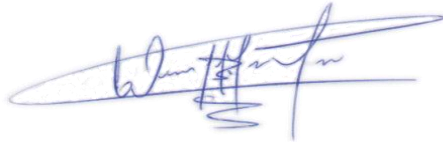
Ing. Franklin Wilfrido Salazar Logroño Mg.
Miembro de Tribunal



Ing. Marcelo Vladimir García Sánchez PhD.
Miembro de Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el trabajo de titulación con el tema: “**MIGRACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DENOMINADO ETL A UNA PLATAFORMA DE CÓDIGO ABIERTO PARA UAV’S**”, le corresponde exclusivamente a: Ing. Wilson Efraín Medina Pazmiño, Autor bajo la Dirección del Lic. José María Lavín, PhD Director del trabajo de titulación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Wilson Efraín Medina Pazmiño

C.C.: 1803531548

AUTOR



Lic. José María Lavín, PhD

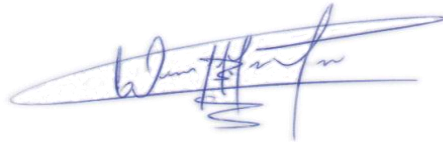
C.C.: 1756866123

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Investigación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.



Ing. Wilson Efraín Medina Pazmiño

C.C.:1803531548

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

<u>PORTADA</u>	I
<u>A LA UNIDAD ACADÉMICA DE TITULACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL.</u>	II
<u>AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</u>	III
<u>DERECHOS DE AUTOR</u>	IV
<u>ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS</u>	V
<u>ÍNDICE DE FIGURAS</u>	XII
<u>ÍNDICE DE TABLAS</u>	XV
<u>RESUMEN EJECUTIVO</u>	XX
<u>EXECUTIVE SUMMARY</u>	XXII
<u>INTRODUCCIÓN</u>	1
<u>CAPITULO I</u>	5
<u>EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</u>	5
1.1. TEMA DE INVESTIGACIÓN	5
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.2.1. CONTEXTUALIZACIÓN	5
1.2.2. ÁRBOL DEL PROBLEMA	7
1.2.3. ANÁLISIS CRÍTICO	7
1.2.4. PROGNOSIS.....	8
1.2.5. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	8

1.2.6. PREGUNTAS DIRECTRICES	8
1.2.7. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	9
1.3. JUSTIFICACIÓN	9
1.4. OBJETIVOS	11
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	11
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11

CAPÍTULO II..... 12

MARCO TEÓRICO 12

2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	12
2.2. FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA	13
2.3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL	13
2.4. CATEGORÍAS FUNDAMENTALES	16
2.4.1. CATEGORÍAS DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE	16
2.4.2. CATEGORÍAS DE LA VARIABLE DEPENDIENTE	19
2.4.2.1. CONCENTRACIÓN DE DATOS	19
2.4.2.2. DATOS ESTANDARIZADOS	20
2.4.2.3. INTERFACES DE COMUNICACIÓN	20
2.4.2.4. ESTÁNDAR DE COMUNICACIÓN RS232	20
2.4.2.5. TTY (LAZO DE CORRIENTE DE 20 mA)	21
2.4.2.6. ESTÁNDAR DE COMUNICACIÓN RS4-22	21
2.4.2.7. ESTÁNDAR DE COMUNICACIÓN RS-485	22
2.4.2.8. TOMA DE DECISIONES	22
2.5. HIPÓTESIS	23
2.6. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	23

CAPITULO III..... 24

METODOLOGÍA 24

3.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	24
--	----

3.2. MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	24
3.2.1. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA	24
3.2.2. INVESTIGACIÓN DE CAMPO	24
3.2.3. INVESTIGACIÓN CAUSAL.....	25
3.3. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA	25
3.4.1. POBLACIÓN.	25
3.4.2. MUESTRA.....	26
3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	27
3.6. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	28
3.6.1. TÉCNICA E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN ..	28
3.6.2. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	30
3.6.3. PROCESAMIENTO.....	30
3.6.4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	30

CAPITULO IV 31

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS..... 31

4.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	31
4.1.1. RESULTADOS DE LA ENCUESTA	31
4.2. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS	42
4.2.1. MODELO LÓGICO	42
4.2.2. MODELO ESTADÍSTICO.....	43
4.2.3. ELECCIÓN DE LA PRUEBA ESTADÍSTICA	43
4.2.4. DEFINICIÓN DEL NIVEL DE SIGNIFICACIÓN.....	45
4.2.5. GRADOS DE LIBERTAD.....	45
4.2.6. CALCULO DE CHI CUADRADA.	47
4.2.7. VALORES DE JI CUADRADO.....	48
4.2.8. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS	48

CAPITULO V..... 50

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 50

5.1. CONCLUSIONES 50
5.2. RECOMENDACIONES..... 50

CAPITULO VI 51

PROPUESTA 51

6.1. DATOS INFORMATIVOS 51
6.1.1. TITULO 51
6.1.2. INSTITUCIÓN EJECUTORA..... 51
6.1.3. BENEFICIARIOS 51
6.1.4. UBICACIÓN 51
6.1.5. EQUIPO TÉCNICO RESPONSABLE 52
6.2. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA. 52
6.3. JUSTIFICACIÓN 53
6.4. OBJETIVOS 54
6.4.1. OBJETIVO GENERAL 54
6.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 54
6.5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD 55
6.5.1. FACTIBILIDAD TÉCNICA..... 55
6.5.2. FACTIBILIDAD ORGANIZACIONAL..... 55
6.5.3. FACTIBILIDAD ECONÓMICA 55
6.5.4. FACTIBILIDAD OPERATIVA 56
6.6. FUNDAMENTACIÓN 56
6.7. DEFINICIONES GENERALES 56
6.7.1. SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS 56
6.7.2. SENSOR 57
6.7.3. TRANSDUCTOR..... 58
6.8. METODOLOGÍA 58
6.9. EQUIPOS A BORDO DEL UAV 59
6.9.1. DESCRIPCIÓN 59

6.9.2. EQUIPOS DEL ÁREA DE GUIADO NAVEGACIÓN Y CONTROL (GNC).	60
6.9.3. EQUIPOS DEL ÁREA DE COMUNICACIONES.	60
6.9.4. EQUIPOS DEL ÁREA DE PROPULSIÓN	61
6.9.5. EQUIPOS DEL ÁREA DE ENERGÍA.	61
6.10. CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS A BORDO DEL UAV.	66
6.10.1. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL GPS	66
6.10.2. SISTEMA DE PROPULSIÓN	66
6.10.3. MICRO PILOTO	68
6.10.4. SISTEMA DE ENERGÍA.	68
6.10.5. SISTEMA DATA LINK.....	68
6.11. ALGORITMO DE FUNCIONAMIENTO	69
6.12. DISEÑO DEL SISTEMA ETL DESARROLLADO BAJO CÓDIGO ABIERTO.....	71
6.12.1. ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES PARA EL SISTEMA ETL	71
6.12.2. ACONDICIONAMIENTO SEÑALES DE VOLTAJE	72
6.12.3. ACONDICIONAMIENTO SEÑALES DE CORRIENTE	72
6.12.4. ACONDICIONAMIENTO SEÑALES DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN MEGGITT MDS342	73
6.12.5. SISTEMA DE PROPULSIÓN ZANZOTTERA 498H.	76
6.12.6. SISTEMA DE DATA LINK.....	80
6.13. ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EL SISTEMA ETL.	80
6.13.1. DECISIÓN DEL DISPOSITIVO PARA EL HARDWARE DEL SISTEMA ETL.....	83
6.14. ESTANDARIZACIÓN DE DATOS DEL SISTEMA ETL DESARROLLADO BAJO CÓDIGO ABIERTO.	84
6.14.1. SISTEMA DE ENERGÍA	85
6.14.2. SISTEMA DE PROPULSIÓN MEGGITT MDS 342	86
6.14.3. DISEÑO DE LOS CIRCUITOS ACONDICIONADORES DE TEMPERATURA.	86
6.14.4. ACONDICIONADOR DE REVOLUCIONES POR MINUTO RPM.....	87
6.14.5. ACONDICIONAMIENTO NIVEL DE COMBUSTIBLE.	88
6.14.6. ACONDICIONAMIENTO SISTEMA DE PROPULSIÓN ZANZOTTERA 498H	88
6.14.7. DECODIFICACIÓN DE LA TRAMA DE RESPUESTA DEL SERVIDOR.....	91
6.14.8. ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL DEL MICRO PILOTO.	93
6.14.9. ADQUISICIÓN DE DATOS DEL GPS.....	94

6.15. INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN MEDIANTE EL SISTEMA ETL.	95
6.15.1. ANÁLISIS DE LA TRAMA DE COMUNICACIONES CON EL HMI.	96
6.16. DISEÑO ELÉCTRICO DEL SISTEMA ETL DESARROLLADO EN CÓDIGO ABIERTO.....	97
6.17. CODIFICACIÓN DEL ALGORITMO DE FUNCIONAMIENTO.	103
6.18. ANÁLISIS DEL NIVEL DE CONFIANZA DEL SISTEMA ETL DESARROLLADO BAJO CÓDIGO ABIERTO.....	104
6.19. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ETL DESARROLLADO BAJO CÓDIGO ABIERTO.....	104
6.20. PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS DEL SISTEMA ETL CIDFAE Y EL SISTEMA ETL MIGRADO.....	107
6.20.1. COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS ETL CIDFAE vs ETL MIGRADO EN EL INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN.....	109
6.20.2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS ETL A 57600 [BPS]....	109
6.20.3. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS ETL A 38400[BPS]	112
6.20.4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS ETL A 19200 [BPS]....	115
6.21. COMPARACIÓN TÉCNICA Y FÍSICAS DE LOS SISTEMAS ETL.	118
6.22. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS DEL SISTEMA ETL IMPLEMENTADO BAJO CÓDIGO ABIERTO.....	119
6.22.1. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS ETL A 57600 [BPS].....	119
6.22.2. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS ETL A 38400 [BPS].....	120
6.22.3. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS ETL A 19200 [BPS].....	121
6.23. APLICACIÓN DE JI CUADRADA PARA LA VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS MEDIANTE PRUEBAS DE CAMPO	122
6.23.1. DISTRIBUCIÓN JI CUADRADO PARA EL SISTEMA ETL MIGRADO A 19200 [BPS].....	122
6.23.2. DISTRIBUCIÓN JI CUADRADO PARA EL SISTEMA ETL MIGRADO A 38400 [BPS]... ..	126
6.23.3. DISTRIBUCIÓN JI CUADRADO PARA EL SISTEMA ETL MIGRADO A 57600 [BPS]... ..	128
6.24. CONCLUSIONES.....	131
6.25. RECOMENDACIONES.....	133

<u>REFERENCIAS</u>	<u>134</u>
<u>ANEXO 1: ESTRUCTURA DEL CUESTIONARIO</u>	<u>140</u>
<u>ANEXO 2: CALIBRACIÓN SENSOR DE COMBUSTIBLE.....</u>	<u>143</u>
<u>ANEXO 3: DISEÑO DEL CIRCUITO ESQUEMÁTICO Y PCB</u>	<u>146</u>

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 Arquitectura de UAS.	6
Fig. 1.2 Árbol del Problema.....	7
Fig. 2.1 Variables dependiente e independiente Inclusiones Conceptuales.....	16
Fig. 2.2 Comunicación Diferencial Balanceada	22
Fig. 4.1 Representación gráfica de los resultados de la pregunta 1.	32
Fig. 4.2 Representación gráfica de los resultados de la pregunta 2.	33
Fig. 4.3 Representación gráfica de los resultados de la pregunta 3.	34
Fig. 4.4 Representación gráfica de los resultados de la pregunta 4.	35
Fig. 4.5 Representación gráfica de los resultados de la pregunta 5.	36
Fig. 4.6 Grafico de resultados de la pregunta 6.	37
Fig. 4.7 Grafico de resultados de la pregunta 7.	38
Fig. 4.8 Grafico de resultados de la pregunta 8.	40
Fig. 4.9 Grafico de resultados de la pregunta 9.	41
Fig. 4.10 Grafico de resultados de la pregunta 10.	42
Fig. 4.11: Valores críticos de Ji-Cuadrada	48
Fig. 4.1213 Curva de Ji Cuadrado	48
Fig. 6.1 Cronología de la Investigación de aeronaves no tripuladas en el CIDFAE.	53
Fig. 6.2 Arquitectura del proyecto DOCR	59
Fig. 6.3 Configuración de la aeronave UAV con el sistema de propulsión Meggitt MDS 342.	62
Fig. 6.4 Configuración de la Aeronave UAV con el sistema de propulsión Zanzottera 498H.....	62
Fig. 6.5 Esquemático del sistema ETL con el sistema de propulsión Meggitt MD342.	64
Fig. 6.6 Esquemático del sistema ETL con el sistema de propulsión Zanzottera 498H.....	65
Fig. 6.7 Señal de aceleración del micro-piloto.	68
Fig. 6.8 Algoritmo lógico de funcionamiento del sistema ETL desarrollado bajo código abierto.....	70
Fig. 6.9 Acondicionamiento de señales de voltaje.....	72

Fig. 6.10 Sensor de corriente de efecto Hall.....	73
Fig. 6.11 Circuito Integrado AD595	74
Fig. 6.12 Forma de onda de la Señal de la bobina de RPMs del motor Meggitt MDS 342.....	74
Fig. 6.13 Opto acoplador PC817.....	75
Fig. 6.14 Sensor de nivel de combustible Princeto Capacitance Fuel Probes	76
Fig. 6.15 Dispositivo Raspberry pi3	81
Fig. 6.16 Arduino DUE.....	82
Fig. 6. 17 Núcleo 64 F334R8.....	83
Fig. . 6.18 Diseño del acondicionador de señal de termopar.	86
Fig. 6.19 Acondicionamiento óptico de la señal de RPM.....	87
Fig. 6.20 Algoritmo cálculo de checksum	90
Fig. 6.21 Registros de variables del Sistema de propulsión Zanzottera 498H	91
Fig. 6.22 Modificación del Porcentaje de aceleración sistema de propulsión Zanzottera 498H.....	93
Fig. 6.23 Conexión RPM´s Sistema Medggitt MD342.....	99
Fig. 6.24 Conexión de las variables del sistema de Energía con el sistema ETL	100
Fig. . 6.25 Diagrama de conexión de los sensores de temperatura a bordo de la aeronave UAV.....	101
Fig. 6.26 Conexión de los dispositivos de estándar de comunicación RS-232 con el sistema ETL.....	102
Fig. 6.27 Librerías clases y estructuras generadas por el compilador Mbed OS	103
Fig. 6.28 HMI instalado en la EMCT	105
Fig. 6.29 Levantamiento de reportajes y lista de chequeos personal de aerotécnicos CIDFAE	106
Fig. 6.30 Monitoreo de los sistemas del UAV	106
Fig. 6.31 Aeronave UAV en Punto Fijo en pruebas del Sistema ETL desarrollado bajo código abierto.....	107
Fig. 6.32: Aeronave UAV en Punto Fijo en pruebas de los Sistemas ETL CIDFAE vs ETL Migrado configurado a 57600 [bps] y 50 [ms] de tiempo de actualización.....	109

Fig. 6.33: Aeronave UAV en Punto Fijo en pruebas de los Sistemas ETL CIDFAE vs ETL Migrado configurado a 57600 [bps] y 100 [ms] de tiempo de actualización.....	110
Fig. 6.34: Aeronave UAV en Punto Fijo en pruebas de los Sistemas ETL CIDFAE vs ETL Migrado configurado a 57600 [bps] y 100 [ms] de tiempo de actualización.....	111
Fig. 6.35: Aeronave UAV en Punto Fijo en pruebas de los Sistemas ETL CIDFAE vs ETL Migrado configurado a 38400 [bps] y 50 [ms] de tiempo de actualización.....	112
Fig. 6.36: Aeronave UAV en Punto Fijo en pruebas de los Sistemas ETL CIDFAE vs ETL Migrado configurado a 38400 [bps] y 100 [ms] de tiempo de actualización.....	113
Fig. 6.37: Aeronave UAV en Punto Fijo en pruebas de los Sistemas ETL CIDFAE vs ETL Migrado configurado a 38400 [bps] y 200 [ms] de tiempo de actualización.....	114
Fig. 6.38: Aeronave UAV en Punto Fijo en pruebas de los Sistemas ETL CIDFAE vs ETL Migrado configurado a 19200 [bps] y 50 [ms] de tiempo de actualización.....	115
Fig.6.39: Aeronave UAV en Punto Fijo en pruebas de los Sistemas ETL CIDFAE vs ETL Migrado configurado a 19200 [bps] y 100 [ms] de tiempo de actualización	116
Fig.6.40: Aeronave UAV en Punto Fijo en pruebas de los Sistemas ETL CIDFAE vs ETL Migrado configurado a 19200 [bps] y 200 [ms] de tiempo de actualización	117

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 3-1: Variable Independiente: Sistema ETL.</i>	27
<i>Tabla 3-2: Variable Dependiente Intercambio de datos a bordo de un UAV</i>	28
<i>Tabla 3-3: Plan de recolección de la información.</i>	29
<i>Tabla 4-1: Cuadro porcentual respuestas a la pregunta 1.</i>	31
<i>Tabla 4-2: Cuadro porcentual respuestas a la pregunta 2.</i>	33
<i>Tabla 4-3: Cuadro porcentual respuestas a la pregunta 3.</i>	34
<i>Tabla 4-4: Cuadro porcentual respuestas a la pregunta 4.</i>	35
<i>Tabla 4-5: Cuadro porcentual respuestas a la pregunta 5.</i>	36
<i>Tabla 4-6: Cuadro porcentual respuestas a la pregunta 6.</i>	37
<i>Tabla 4-7: Cuadro porcentual respuestas a la pregunta 7.</i>	38
<i>Tabla 4-8: Cuadro porcentual respuestas a la pregunta 8.</i>	39
<i>Tabla 4-9: Cuadro porcentual respuestas a la pregunta 9</i>	40
<i>Tabla 4-10: Cuadro porcentual respuestas a la pregunta 10</i>	41
<i>Tabla 4-11: Comprobación de hipótesis: Eficiencia.</i>	44
<i>Tabla 4-12: Comprobación de hipótesis: Mejoramiento en las tareas de liberación de la aeronave UAV.</i>	44
<i>Tabla 4-13: Grados de libertad.</i>	45
<i>Tabla 4-14: Frecuencias Esperadas</i>	46
<i>Tabla 4-15: Cálculo de Ji Cuadrada.</i>	47
<i>Tabla 6-1 Áreas y Equipos a bordo del UAV.</i>	60
<i>Tabla 6-2: Especificaciones técnicas de los sensores del sistema de propulsión Medggitt MD342</i>	67
<i>Tabla 6-3: Especificaciones técnicas de los sensores de sistema de propulsión Zanzottera 498H.</i>	67
<i>Tabla 6-4: Sensores y variables del sistema de Energía.</i>	71
<i>Tabla 6-5: Sensores y variables del sistema de propulsión Meggitt MDS342.</i>	73
<i>Tabla 6-6 Sensores y variables del sistema de propulsión Zanzottera 498H</i>	76
<i>Tabla 6-7 Estructura de la trama de comunicaciones sistema de propulsión Zanzottera 498H</i>	78
<i>Tabla 6-8: Sensores y variables del sistema Data Link</i>	80

Tabla 6-9: Valores de la resistencia de los divisores de voltaje del sistema de energía.....	86
Tabla 6-10: Variables y direcciones de memoria del sistema de Propulsión Zanzottera 498H	89
Tabla 6-11: Estructura de la trama de lectura del sistema de propulsión Zanzottera 498H	90
Tabla 6-12: Tabla de decodificación del comando Read.....	92
Tabla 6-13: Trama GPGGA del dispositivo GPS.....	94
Tabla 6-14: Distribución de las variables físicas para el intercambio de información.....	95
Tabla 6-15: Trama de comunicaciones EMCT-UAV.....	97
Tabla 6-16: Muestra de los datos recolectados durante una prueba del sistema ETL.....	108
Tabla 6-17: Porcentajes de paquetes de datos buenos obtenidos del sistema ETL Migrado y sistema ETL CIDFAE a 57600 [bps].	119
Tabla 6-18: Porcentajes de paquetes de datos buenos obtenidos del sistema ETL Migrado y sistema ETL CIDFAE a 38400 [bps].	120
Tabla 6-19: Porcentajes de paquetes de datos buenos obtenidos del sistema ETL Migrado y sistema ETL CIDFAE a 19200 [bps].	121
Tabla 6-20: Frecuencias Observadas en la recolección de datos sistema ETL Migrado a 19200 [bps].	123
Tabla 6-21: Frecuencias Esperadas en la recolección de datos sistema ETL Migrado a 19200 [bps].	124
Tabla 6-22: Cálculo Ji Cuadrado sistema ETL Migrado a 19200 [bps].	125
Tabla 6-23: Frecuencias Observadas en la recolección de datos sistema ETL Migrado a 38400 [bps]	126
Tabla 6-24: Frecuencias Esperadas en la recolección de datos sistema ETL Migrado a 38400 [bps].	126
Tabla 6-25: Cálculo Ji Cuadrado sistema ETL Migrado a 38400 [bps].	127
Tabla 6-26: Frecuencias Observadas en la recolección de datos sistema ETL Migrado a 57600 [bps].	128

Tabla 6-27: <i>Frecuencias Esperadas en la recolección de datos sistema ETL Migrado a 57600 [bps].</i>	128
Tabla 6-28: <i>Calculo Ji Cuadrado sistema ETL Migrado a 57600 [bps].</i>	129
Tabla 6-29: <i>Comparación Físicas sistemas ETL CIDFAE & sistema ETL Migrado.</i>	131

DEDICATORIA

Con todo el amor eterno, el afecto y gratitud dedico este proyecto a Gabriel, Monserrath, a todos aquellos que me han brindado su apoyo, su confianza y han creído en mí. De manera especial a Margarita y Clever mis padres que ya no están aquí...

Wilson Efraín

AGRADECIMIENTO

A Dios por su infinita bondad y misericordia por haberme dado sabiduría para poder tomar las mejores decisiones en los momentos más difíciles.

Paulina, Gabriel y Monserrath por acompañarme todos los días de mi vida.

A la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato por brindarme la oportunidad de progresar profesionalmente. Al CIDFAE por el apoyo y la apertura para la elaboración del presente trabajo.

Lic. José María Lavín PhD., más que un director un amigo que encontró la manera de compartir su vasto conocimiento para la realización del presente trabajo.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto con gratitud infinita Elsita y mi amigo Pericles.

Wilson Efraín

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERIA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL / DIRECCIÓN DE POSGRADO**

MAESTRÍA EN AUTOMATIZACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL

TEMA:

“MIGRACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DENOMINADO ETL A
UNA PLATAFORMA DE CÓDIGO ABIERTO PARA UAV’S”.

AUTOR: Ing. Wilson Efraín Medina Pazmiño

DIRECTOR: Lic. José María Lavín, PhD.

FECHA: Diciembre, 2018

RESUMEN EJECUTIVO

La investigación sobre Sistemas Aéreos no Tripulados (UAS) en los últimos años ha despertado el interés en entidades comerciales, educativas e investigativas. Es así que el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE) lleva dos décadas investigando e integrando sistemas aéreos operados de manera autónoma.

En la actualidad, el CIDFAE cuenta con dos prototipos de aeronaves que realizan tareas de vigilancia y reconocimiento de áreas estratégicas. Los Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV) del CIDFAE llevan a bordo varios equipos que realizan tareas específicas que corroboran en el desarrollo de misiones seguras y eficientes.

Uno de los equipos que va a bordo de las aeronaves UAV es conocido como sistema de Extracción Tratamiento y Carga (ETL), el ETL es un sistema que se encarga de adquirir datos de diferentes sistemas o fuentes de información, una vez adquirida la información la trata con el fin de estandarizarla para poder cargar esa información en otro sistema que requiera esa información.

El sistema ETL se encuentra instalado y funcionando en las aeronaves UAV sin embargo: el CIDFAE se ha visto afectado por el recorte presupuestario que fue aplicado a todas las entidades gubernamentales en el Ecuador. Por este y otros motivos de carácter técnico el CUDFAE tiene la necesidad de desarrollar un sistema que realice las tareas que en la actualidad realiza el sistema ETL.

El CIDFAE necesita un sistema que realice las tareas del sistema ETL manteniendo la eficiencia en las tareas encomendadas y lo más importante que reduzca los costos de implementación.

En la actualidad, las tareas de adquisición y procesamiento de datos tienen una gama amplia en lo referente a estándares de comunicación, adquisición de datos procesamiento de señales como para poder escoger una alternativa que cumpla con los requerimientos del CIDFAE

En base a los requerimientos establecidos por el CIDFAE, se plantea desarrollar un sistema que realice las tareas que en la actualidad el sistema ETL ejecuta a bordo de la aeronave UAV. Con las siguientes ventajas en la estructura física como son: reducción de peso y volumen que utiliza el del sistema ETL a bordo de la aeronave UAV. Dando la posibilidad de aumentar la capacidad de carga útil transportada por la aeronave.

Descriptor: Sistema ETL, Datos Analógicos, Datos Digitales, Microcontrolador, Sistemas Aéreos no Tripulados, Adquisición de datos, Protocolos de comunicación, Interfaz de Comunicación, Vehículos aéreos no tripulados (UAV), Software Libre.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL /DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN AUTOMATIZACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL

TOPIC

“MIGRATION OF AN ELECTRONIC SYSTEM DENOMINATED ETL TO AN
OPEN CODE PLATFORM FOR UAV'S”

AUTHOR: Ing. Wilson Efraín Medina Pazmiño

DIRECTOR: Lic. José María Lavín, PhD.

Date: December, 2018

EXECUTIVE SUMMARY

The research about Unmanned Aerial Systems (UAS) in recent years has sparked interest in commercial, educational and research entities. Thus, the Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE) has spent two decades researching and integrating air systems operated autonomously.

In nowadays, The CIDFAE has two aircraft prototypes that carry out surveillance and recognition of strategic areas. The Unmanned Aerial Vehicles (UAV) of CIDFAE has several devices on board that carry out specific tasks that corroborate the development of safe and efficient missions.

One of the equipment that goes on board the UAV aircraft is known as Treatment ETL (Extract, Transform, and Load), ETL is responsible for the acquisition of data from the systems of the information sources; once the information is acquired, it is treated so that the information is standardized in order to load this information into another system that requires it.

The ETL system is installed and operating on UAV aircraft, however, CIDFAE has been affected by the budget cut applied to all government entities in Ecuador.

For this and other reasons of a technical nature, CIDFAE has the need to develop a system that performs the tasks currently performed by the ETL system.

The CIDFAE needs a system that performs the tasks of the ETL system, maintaining efficiency in the tasks entrusted and, most importantly, reducing the costs of implementation.

Currently, the tasks of data acquisition and processing have a wide range in terms of compliance with communication standards, data acquisition, signal processing as the possibility of choosing an alternative that meets the requirements of CIDFAE.

Based on the requirements established in the CIDFAE, it is about developing a system that will perform the tasks currently performed by the ETL system on board an UAV aircraft. With the following advantages in the physical structure as weight and volume reduction that the ETL system uses on boards the UAV aircraft. Giving the option to increase the possibility of carrying out the payload by the aircraft.

Keywords: ETL System, Analog Data, Digital Data, Microcontroller, Unmanned Aerial Systems, Data Acquisition, Communication Protocols, Communication Interface, Unmanned Aerial Vehicles (UAV), Open Software.

INTRODUCCIÓN

Los Sistemas Aéreos no Tripulados (UAS) están formados por una Estación de Mando y Control ubicada en Tierra (EMCT), un sistema de comunicaciones (Data Link), diversos equipos de apoyo y el *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Cada componente tiene asignada una tarea específica (Dalamagkidis, Valavanis and Piegl, 2012).

La EMCT cuenta con interfaces hombre máquina (HMI) (Micconi, Aleotti and Caselli, 2016) que permiten al operador supervisar, controlar y monitorear la misión todo el tiempo. El sistema de comunicación permite intercambiar información en tiempo real entre el UAV y la EMCT. Los equipos de apoyo están preparados para asistir ante cualquier eventualidad que puede darse durante una misión. Por su parte, el UAV es el componente que realiza la misión de forma remota a varios kilómetros de distancia de la EMCT.

En la última década, la investigación y el desarrollo de plataformas aéreas autónomas con fines investigativos o comerciales, han despertado el interés en la industria y en entidades gubernamentales. Así centros de investigación, universidades, escuelas politécnicas... con propósitos civiles o militares abarcan aspectos como la comunicación mediante redes de UAV's (Hayat, Yanmaz and Muzaffar, 2016), o la comprobación de nuevos algoritmos de control... (Zhou et al., 2017), entre otras aplicaciones. En todas ellas la tecnología UAV ha sido aplicada obteniendo buenos resultados que han contribuido al crecimiento y desarrollo de otras plataformas aéreas autónomas (Dalamagkidis, Valavanis and Piegl, 2012).

La dimensión y la configuración del UAV depende de la necesidad que se pretende solventar o de las tareas en las que se piensa utilizarlo. Al no llevar tripulantes a bordo, estas aeronaves están integradas por sensores y equipos electrónicos en su interior con la finalidad de volar de forma autónoma y mantener comunicación con el personal responsable de las operaciones ubicado en la EMCT mediante enlaces inalámbricos que cubren largas distancias (Micconi, Aleotti and Caselli, 2016).

Un UAV puede operar de dos formas. La primera es cuando el UAV es controlado desde la EMCT. En este caso un operador de la EMCT toma las decisiones sobre lo que debe hacer el UAV, (Roldan et al., 2016) a través de enlaces inalámbricos de largo alcance (Medina-Pazmiño and Jara-Olmedo, 2017) se controla la trayectoria, velocidad, y las tareas que debe cumplir durante la misión. La segunda forma es completamente autónoma e independiente de la intervención humana (Zhou et al., 2017) es decir, el UAV realiza tareas ya designadas y con trayectorias previamente cargadas. Aquí, los operadores de la EMCT únicamente supervisan el vuelo de la aeronave, en el caso de presentarse alguna eventualidad están preparados para tomar decisiones.

En cualquiera de las dos formas de operación, el UAV necesita incorporar sensores (Bhatti et al, 2016) y otros sistemas tales como dispositivos de comunicación, de identificación, de posicionamiento, navegación o propulsión, entre otros. El presente trabajo realiza el análisis y la implementación de un sistema basado en código abierto para la extracción tratamiento y carga de información (Sabtu et al., 2017) entre los dispositivos electrónicos o sistemas a bordo del UAV y la EMCT.

Es importante para el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE) contar con un sistema de código abierto para realizar las tareas de liberación de las aeronaves en pruebas como puntos fijos (UAV anclado en un punto durante periodos cortos de tiempo y en constante monitoreo de los sistemas), carreteos (UAV desplazándose por la pista a velocidades bajas durante periodos cortos de tiempo y en constante monitoreo de los sistemas) y vuelos de comprobación (UAV en vuelo periodos cortos de tiempo y en constante monitoreo de los sistemas). El CIDFAE, antes de la presente investigación, cuenta con un sistema que realiza las tareas de extracción, transformación y carga de información entre diferentes equipos a bordo del UAV y la EMCT. Sin embargo, el sistema mencionado tiene un alto costo económico, razón por la cual dificulta las tareas de pruebas de liberación de la aeronave UAV. El alto costo limita la posibilidad de experimentación y uso de estas aeronaves, impidiendo un mejor desarrollo de las funciones del CIDFAE. Además, y debido al momento de restricción económica que atraviesa el Ecuador, no parece probable que se

aumenten o asignen presupuestos para tareas de investigación e innovación, por lo que reducir costos en áreas estratégicas, es una alternativa adecuada.

Los sistemas en los que se pueden reducir estos problemas económicos son plataformas que pueden ser programadas y configuradas haciendo uso de plataformas de código abierto.

ETL nombre que proviene de sus siglas en inglés *Extract, Transform and Load* (Sabtu et al., 2017), es un sistema que extrae información de diferentes fuentes, una vez extraída la información es tratada mediante procesos matemáticos y de algoritmos de codificaciones con la finalidad de digitalizar la información. Una vez digitalizada la información esta puede ser compartida o cargada en algún dispositivo que requiera parte o toda la información disponible.

Disponer las características descritas de un sistema ETL configurado y programado bajo una plataforma de código abierto permitirá al CIDFAE realizar las tareas de liberación de la aeronave UAV a un costo económico menor del que se tiene actualmente.

El contenido del presente trabajo está estructurado en los siguientes capítulos.

EN EL CAPÍTULO I o “*Problema*”, se describe el problema que es objeto de investigación, conteniendo: Tema de investigación. El planteamiento del problema, justificación y objetivos, con sus correspondientes subtemas.

EN EL CAPÍTULO II o “*Marco teórico*”, Se encuentra estructurado por: Antecedentes Investigativos, Fundamentación Filosófica, Fundamentación Legal, Categorías Fundamentales, Formulación de Hipótesis y Señalamiento de Variables de la Hipótesis.

EL CAPÍTULO III o “*Metodología*” está conformado por el Enfoque Investigativo, Modalidad Básica de la Investigación, Nivel o tipo de Investigación, Población y Muestra, Operacionalización de Variables, Técnicas e Instrumentos, Plan de Recolección de Información y Plan de Procesamiento de la Información.

EN EL CAPÍTULO IV o “Análisis e interpretación de los resultados”, se aplicará una encuesta al personal técnico y de operación del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana CIDFAE. En base a las respuestas obtenidas se analiza la validez de la hipótesis con la finalidad de plantear una propuesta que dé solución a los requerimientos o problemática encontrada en el CIDFAE.

EN EL CAPÍTULO V o “Conclusiones y Recomendaciones” las conclusiones y recomendaciones son en base a la investigación de problema planteado.

EN EL CAPÍTULO VI o “La Propuesta”, Se realiza la descripción, estrategia, implementación, pruebas y análisis de resultados obtenidos que contribuyeron a conseguir los objetivos generales y específicos, también se describe el desarrollo con sus respectivas pruebas. Se presenta el Análisis comparativo de resultados en porcentajes de intercambio de paquetes buenos en relación al total de paquetes enviados de información entre el sistema actual implementado por el CIDFAE y el que será desarrollado bajo código abierto, se presentan las conclusiones y recomendaciones. Finalmente se agregan las fuentes bibliográficas y los anexos del presente trabajo de investigación.

CAPITULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Tema de investigación

MIGRACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DENOMINADO ETL A UNA PLATAFORMA DE CÓDIGO ABIERTO PARA UAV'S.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Contextualización

Los UAV han sido desarrollados con el propósito de ayudar en tareas en las que la integridad física de un operador está en peligro. El tipo de tareas que un UAV realiza requiere la integración de varios equipos y sensores que ayuden a dar seguridad y eficiencia en la obtención de los objetivos que realice la aeronave (Dalamagkidis, Valavanis and Piegl, 2012).

Los equipos, dispositivos o sensores que están a bordo de un UAV requieren intercambiar información entre ellos. En la EMCT es necesario saber qué es lo que está pasando a bordo del UAV. Tal es el caso de los equipos de propulsión que deben recibir parámetros de funcionamiento del sistema de navegación, el sensor electro-óptico necesita saber parámetros de posicionamiento del Sistema de Posicionamiento Global (GPS). El intercambio de información entre los dispositivos y sensores a bordo del UAV depende de los protocolos y las interfaces de comunicación (Zhao Jue y Yang Shun, 2012). Los protocolos de comunicación son las reglas que usan los sistemas para enviar y recibir información mientras que las interfaces de comunicación son el medio físico por el que se envían o reciben los datos.

Para que dos o más dispositivos puedan intercambiar información, es necesario que trabajen en el mismo protocolo y estén en la misma interfaz. Para realizar estas tareas se puede utilizar conversores de interfaces o tener un sistema administrador de información que tenga la capacidad de extraer la información de

diferentes fuentes de comunicación, tratar esa información y luego compartirla con el usuario que requiera esa información (Gomes and Belo, 2016).

El CIDFAE requiere migrar un sistema denominado ETL que realiza tareas de extracción, tratamiento y carga de información entre equipos, dispositivos y sensores que van a bordo del UAV. EL intercambio de información se debe realizar a bordo del UAV, es decir, no es necesario transmitir la información mediante un sistema de comunicaciones (Data Link) a la EMCT para que sea procesada.

El dispositivo en el que se realice la migración del sistema ETL a bordo de la aeronave UAV deberá ser desarrollado en una herramienta de código abierto que pueda adquirir señales analógicas de sensores y/o señales digitales de equipos electrónicos, con la finalidad de compartir estos datos obtenidos con los dispositivos que soliciten información en el menor tiempo y la mayor eficiencia posible. En (Cherukuri 2014), se puede apreciar la utilización de sistemas embebidos con propósitos similares al aquí planteado, la Figura 1.1 muestra la arquitectura de un sistema aéreo no tripulado.

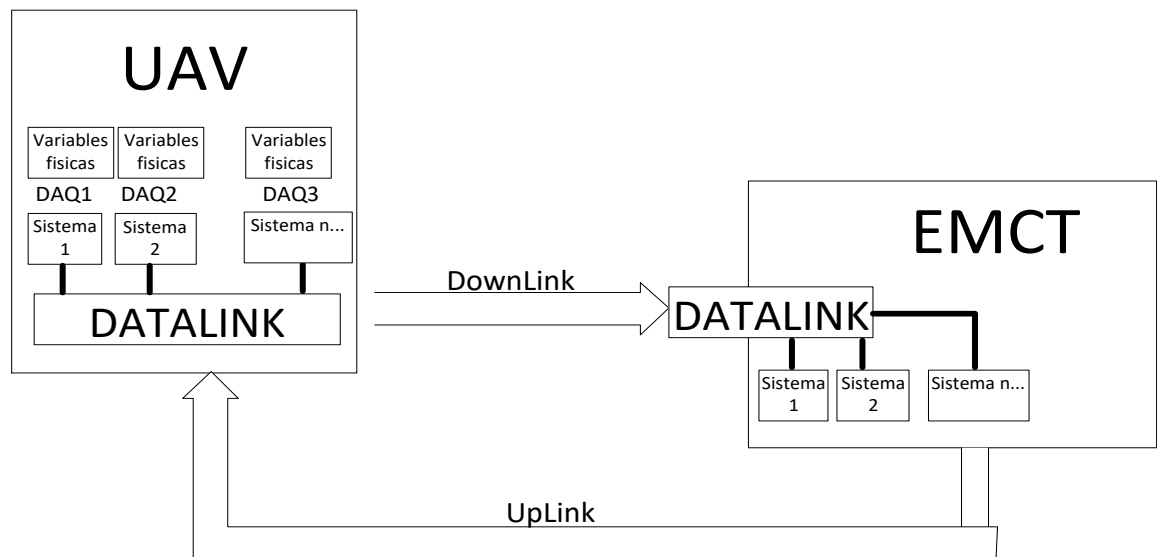


Fig. 1.1 Arquitectura de UAS.

Elaborado por: Wilson Medina

1.2.2. Árbol del problema

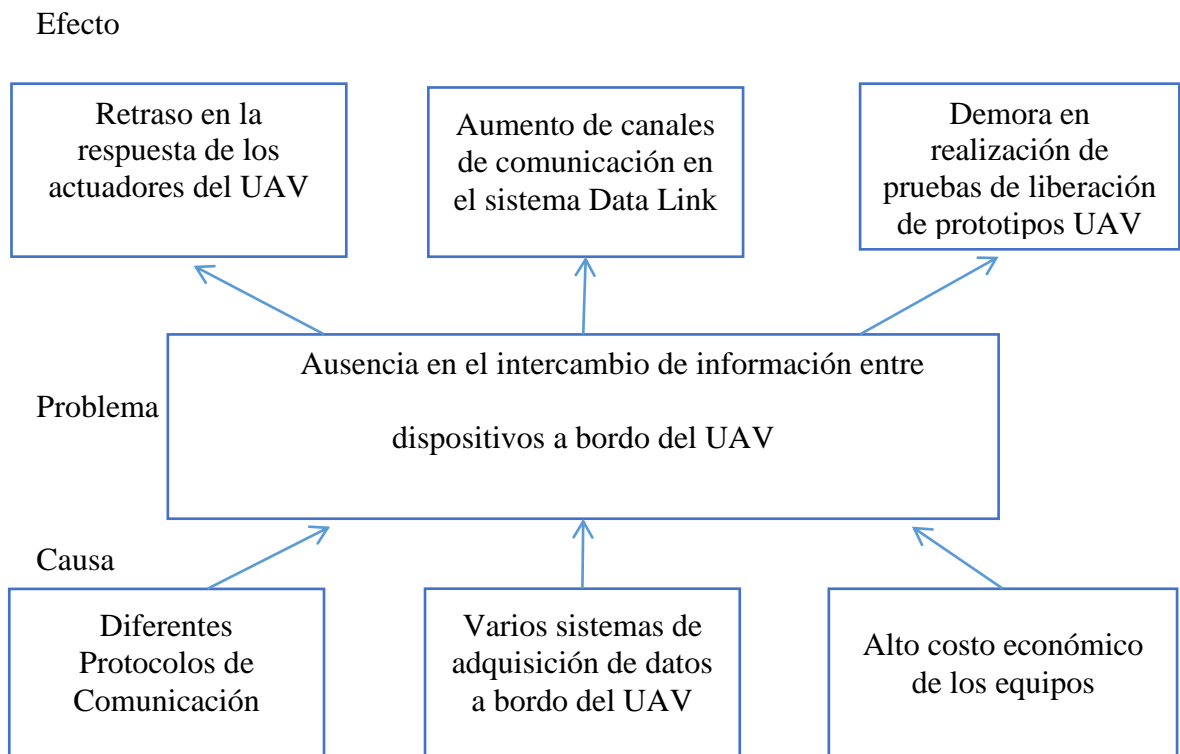


Fig. 1.2 Árbol del Problema.
Elaborado por: Wilson Medina

1.2.3. Análisis crítico

En los sistemas de adquisición de datos es importante mantener la eficiencia y la rapidez en las tareas de intercambio de información.

Los dispositivos que van a bordo de una aeronave UAV usualmente utilizan sus propio protocolos de información para intercambiar datos, aceptar parámetros de configuración, entre otras tareas. Una forma en la que se trabaja en los sistemas UAS es realizando peticiones de información desde la EMCT hacia el UAV y viceversa a través del Data Link, esta manera de intercambiar información produce retardos en la ejecución de tareas o requerimientos ya que se utiliza el tiempo de petición y el tiempo de respuesta, además aumenta la probabilidad de

perdida de información pues esta depende de la eficiencia y calidad de señal del sistema Data Link.

El monitoreo permanente del estado de las variables físicas es importante en la aeronave UAV, saber durante toda la misión el estado de cada sistema garantiza la misión que se está ejecutando. Sin embargo usar un canal de comunicaciones para cada sistema causará un incremento de equipos, requerimientos extras en el sistema Data Link, y el costo económico sería mayor en la integración de la aeronave. Las causas mencionadas darían como efecto la demora en las pruebas de liberación de la aeronave.

1.2.4. Prognosis

En la actualidad, el CIDFAE cuenta con un sistema de adquisición de datos que permite realizar tareas de extracción, tratamiento y carga de información entre dispositivos a bordo del UAV. Sin embargo, el sistema empleado en la actualidad por el CIDFAE tiene un costo elevado, ocupa espacio relativamente grande y es considerado pesado razón por la cual es necesario disponer de una herramienta alternativa para realizar las tareas de liberación de la aeronave.

1.2.5. Formulación del problema

¿Cómo incide un sistema ETL en relación a la eficiencia, rapidez y económicamente en las pruebas de liberación de los prototipos UAV?

1.2.6. Preguntas directrices

- ¿Es conveniente realizar la migración del sistema electrónico ETL a una plataforma de código abierto?
- ¿Cómo incidirá económicamente la migración del electrónico ETL en una plataforma de código abierto?

- ¿Se mantendrá como mínimo el mismo nivel de confianza en las tareas de intercambio de información entre dispositivos a bordo del UAV y la EMCT con la migración del sistema electrónico ETL a una plataforma de código abierto?

1.2.7. Delimitación del problema

Límite del contenido

- **Campo:** Electrónica/ Telemática
- **Área** Redes Digitales Industriales
- **Aspecto:** Sistemas de adquisición de datos

Delimitación espacial

La investigación y pruebas experimentales se desarrollarán en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana ubicada en la ciudad de Ambato.

1.3. Justificación

La presente investigación es de interés porque permite evaluar herramientas actuales desarrolladas bajo plataformas no licenciadas o conocidas como plataformas de código abierto. El propósito de este proyecto es aplicar las características de los sistemas ETL en plataformas aéreas UAV para permitir el intercambio de información entre dispositivos que usan diferentes protocolos e interfaces de comunicación.

La implementación del sistema ETL le dará al CIDFAE una opción para realizar pruebas de calibración en tierra (pre-vuelos) y en vuelo a menor costo del actual en los prototipos de UAV con los que el CIDFAE cuenta.

Es de utilidad teórica, mediante la utilización de conceptos sobre redes, buses de campo e interfaces industriales (Zhao Jue and Yang Shun, 2012) se desarrollará e implantará un algoritmo lógico que permita adquirir y compartir información

entre los dispositivos a bordo del UAV y la EMCT. Y es de utilidad práctica ya que mediante la utilización de HMI (Interface Hombre Máquina) se verificarán el nivel de confianza en el intercambio de información, con pruebas reales se depurará el sistema y valorará los resultados obtenidos.

Es novedosa ya que mediante procesos investigativos se podrá adecuar herramientas informáticas como los sistemas ETL a tareas de intercambio de información a bordo de aeronaves UAV, se dará soporte y resolverá problemas que se están presentando en la institución utilizando herramientas de nuevas tecnologías.

La investigación tendrá un impacto positivo en las características físicas y técnicas de la aeronave pues se reducirá peso y volumen del componente ETL que actualmente lleva a bordo la aeronave UAV. La investigación permitirá implementar aplicaciones desarrolladas bajo programas que no requieren la compra de licencias para su implementación, el CIDFAE podrá optimizar las tareas de adquisición de datos en los prototipos UAV que desarrollan en sus instalaciones.

El beneficiario principal será el CIDFAE, ya que podrá seguir probando y experimentando herramientas de reciente desarrollo tecnológico a menor costo del actual, y ayudarán a validar mediante pruebas reales la eficiencia de las plataformas aéreas.

La presente investigación es factible. Se dispone de recursos bibliográficos, resultados experimentales obtenidos en otras plataformas construidas en el CIDFAE (David et al., 2015), (Loya and Burbano, 2012), herramientas tecnológicas como: sensores, sistemas de control, sistemas de propulsión... para UAV necesarios para llevar a cabo la investigación planteada. Finalmente se reducirán costos en las tareas de validación de prototipos aéreos del CIDFAE.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar e implementar una plataforma de código abierto manteniendo como mínimo el mismo nivel de confianza del sistema ETL que actualmente realiza tareas de intercambio de información entre equipos a bordo del UAV.

1.4.2. Objetivos específicos

- Escoger la plataforma de código abierto que mejor cumpla los requerimientos para conseguir el intercambio de información entre los equipos a bordo del UAV.
- Verificar el nivel de confianza en las tareas de intercambio de información del sistema desarrollado en código abierto
- Establecer diferencias entre el sistema actual y el sistema desarrollado bajo código abierto.
- Reducir los costos de operación en las pruebas de validación del UAV.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos

Con los avances tecnológicos las plataformas UAV están en la capacidad de realizar tareas de apoyo en temas como monitoreo en zonas agrícolas (Gevaert et al., 2014), obtención de imágenes de alta calidad (Wu et al., 2017), vigilancia de trayectorias (Andrade, et al, 2017), evaluación de inundaciones (Sumalan, et al, 2016).

A nivel nacional también existen varios trabajos realizados y probados en plataformas aéreas. En lo referentes a tareas de adquisición de datos (Loya and Burbano, 2010), realizan tareas de control sobre un dirigible mediante la obtención de datos de algunas variables físicas. Por otra parte (David et al., 2015) realizan pruebas experimentales de un algoritmo de micro piloto sobre una aeronave no tripulada.

La tecnología de UAV es una tendencia experimental en la que se debe tener parámetros mínimos de seguridad sobre las pruebas que se realizan con los prototipos desarrollados como lo menciona (Jara-Olmedo et al., 2018). En el campo de servicios varios en condiciones de emergencias también es posible explotar el recurso de plataformas aéreas es así que (Jara-Olmedo et al., 2018) explica la posibilidad de extender servicios de comunicaciones en casos desastres naturales.

Para el desarrollo e implementación de un sistema de adquisición de datos se deben tener en cuenta preguntas como ¿qué son sistemas determinísticos? , ¿qué es la actualización de datos en tiempo real? (Xia et al., 2015), ¿qué implica el procesamiento y tratamiento de las señales? y finalmente, ¿cómo gestionar la información disponible en una la base de datos? (Keleshis et al., 2014). Las interrogantes mencionados son factores determinantes que influyen en la selección del dispositivo que realizará las funciones del sistema ETL (Sabtu et al., 2017).

Estudios realizados sobre diseño e implementación de sistemas de adquisición de datos en plataformas de código abierto para UAV (Choi et al., 2016), orientan sus esfuerzos a realizar el desarrollo en dispositivos embebidos de alta prestación y variedad de servicios con características de hardware y software robustas que brinden confianza y calidad (Salazar et al., 2014) en la ejecución de las tareas encomendadas, además administren altas cantidades de información.

En (Choi et al. 2016) se menciona al MAVProxy como mecanismo de intercambiar información a bordo de un UAV. También es necesario tener en cuenta que, para el desarrollo de una tarjeta de adquisición de datos (DAQ), se debe considerar la fuente de alimentación del dispositivo (Chen, 2014).

2.2. Fundamentación filosófica

La presente investigación se realizará con una fundamentación filosófica crítico propositivo; es crítico ya que se realizará un análisis objetivo en el CID-FAE , con la finalidad de intercambiar información entre dispositivos a bordo de un UAV; y es propositivo porque partiendo de resultados alcanzados por otros investigadores se plantea una propuesta a lo investigado.

2.3. Fundamentación Legal

El Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE) fue creado el 5 de Mayo de 1998, teniendo como predecesor al Departamento de Ingeniería Aeronáutica. Este centro de investigación está bajo el mando de la Dirección Aeroespacial de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, al momento el Centro sigue trabajando en las instalaciones del aeropuerto Chachoán en la ciudad de Ambato, con el nombre de “Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana” (CIDFAE) pues continúan ejecutando proyectos aeronáuticos y aeroespaciales. Por este motivo, la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT) ha encargado al Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE), la investigación científica aplicada al diseño, implementación y puesta en vuelo de un prototipo de Plataforma de Gran Altitud. En el desarrollo de los UAV el ente promotor es el Ministerio de Defensa

Nacional. Además está regido al reglamento de graduación de tercer nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

Además se relaciona con el siguiente Ley detallada a continuación.

“Ley de Software Libre” N° 1014

RAFAEL CORREA DELGADO PRESIDENTE

CONSTITUCIONAL DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

“Que en el apartado g) del numeral 6 de la Carta Iberoamericana de Gobierno Electrónico, aprobado por el IX Conferencia Iberoamericana de Ministros de Administración Pública y Reforma del Estado, realizada en Chile el 1 de Junio de 2007, se recomienda el uso de estándares abiertos y software libre, con herramientas informáticas;

Que es el interés del Gobierno alcanzar soberanía y autonomía tecnológica, así como un significativo ahorro de recursos públicos y que el Software Libre es en muchas instancias un instrumento para alcanzar estos objetivos;

Que el 18 de julio de 2007 se creó e incorporó a la estructura orgánica de la Presidencia de la República la Subsecretaria de Informática, dependiente de la Secretaria General de Administración, mediante acuerdo N° 119 publicado en el Registro Oficial N° 139 de 1 de agosto del 2007;

Que el numeral 1 del artículo 6 del Acuerdo N°119, faculta a la Subsecretaria de Informática a elaborar y ejecutar planes, programas, proyectos, estrategias, políticas, proyectos de leyes y reglamentos para el uso de Software libre en las dependencias del gobierno central; y, En ejercicio de la atribución que le confiere el numeral 9 del Artículo 171 de la Constitución Política de la República;”

DECRETA:

Artículo 1.- “Establecer como política pública para las Entidades de la Administración Pública Central la utilización de Software Libre en sus Sistemas y equipamientos informáticos.”

Artículo 2.- “Se entiende por Software Libre, a los programas de computación que se pueden utilizar y distribuir sin restricción alguna, que permitan su acceso a los códigos fuentes y que sus aplicaciones pueden ser mejoradas.”

Estos programas de computación tienen las siguientes libertades:

- a) “Utilización del programa con cualquier propósito de uso común”.
- b) “Distribución de copias sin restricción alguna”.
- c) “Estudio y modificación del programa (Requisito: código fuente disponible)”
- d) “Publicación del programa mejorado (Requisito: código fuente disponible)”.

Artículo 3.- “Las entidades de la Administración Pública Central previa a la instalación de Software Libre en sus equipos, deberán verificar la existencia de capacidad técnica que brinde el soporte necesario para el uso de este tipo de software.”

Artículo 4.- “Se faculta la utilización de Software Propietario (no libre) únicamente cuando no exista una solución de Software Libre que supla las necesidades requeridas, o cuando esté en riesgo la seguridad nacional, o cuando el proyecto informático se encuentre en un punto de no retorno.

Para efectos de este decreto se comprende cómo seguridad nacional, las garantías para la supervivencia de la colectividad.

2.4. Categorías fundamentales

La Figura 2.1 relaciona las variables dependientes e independientes del presente trabajo.

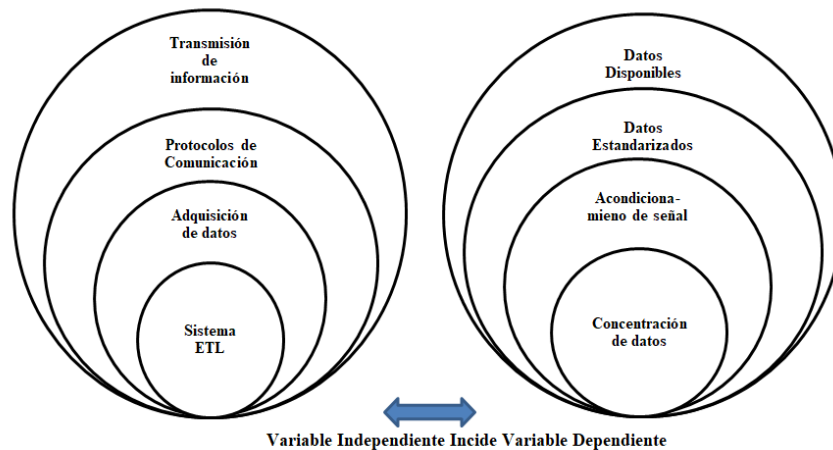


Fig. 2.1 Variables dependiente e independiente Inclusiones Conceptuales
Elaborado por: Wilson Medina

2.4.1. Categorías de la variable Independiente

2.4.1.1. ETL Sistema de Extracción Transformación y Carga.

Extracción

“La extracción implica adquirir información de diferentes fuentes que pueden ser análogas o digitales (Gomes and Belo, 2016). Se debe tener presente que los datos pueden variar con gran velocidad y que se debe poder capturar la información en tiempo real sin sobrecargar ningún proceso ni detener o interrumpir las actividades normales” (Sabtu et al., 2017).

Transformación

“En este contexto, el proceso de transformación se refiere a la estandarización de los datos extraídos de las diferentes fuentes de información para poder ser compartida en diferentes plataformas. Los datos requeridos por otros

dispositivos son conocidos como datos transaccionales (Wibowo, 2015) y su frecuencia de actualización es alta”.

Carga

“La carga de los datos consiste en entregar al destinatario la información sin errores, de forma determinística. Para acelerar este proceso los datos deben estar previamente estandarizados”. En (Chen, 2014) se pueden ver los desafíos para mantener el intercambio de información en tiempo real.

2.4.1.2. Acondicionamiento de señales

“La mayoría de las aplicaciones implican medir señales variantes en el tiempo como temperatura, presión, velocidad, nivel... para lo cual se utilizan sensores. Los sensores para poder interpretar variables físicas y convertirlas a señales eléctricas emplean acondicionadores de señal” (Sawhney, 2013) con la finalidad de dar confianza y exactitud en las medidas adquiridas. En el acondicionamiento de señal intervienen varias etapas (Boyes, 2010) como se detallan a continuación.

Amplificación

“Consiste en elevar los niveles de tensión aumentando la resolución y la sensibilidad. Con ello se logra también entrar en el rango del convertidor análogo-digital (ADC). Con la etapa de amplificación se consigue mejorar la relación de la señal con respecto al ruido SNR que es la que se produce por efectos de ruido ambiental” (Boyes, 2010).

Un ejemplo es el acondicionamiento señal de un termopar. El termopar entrega señales en el orden de mili-voltios [mv] por cada grado de temperatura medido. En este caso es necesario amplificar el valor de la lectura al orden de los voltios con la finalidad de que el conversor analógico digital (ADC) interprete correctamente el dato adquirido.

Atenuación

“Se aplica a señales que entregan valores que están fuera del rango de los ADC. Más concretamente, la atenuación disminuye la amplitud de la señal física que se adquiere. La atenuación se aplica a señales que miden tensiones de más de 10 V”

(Boyes, 2010). Un ejemplo de atenuación es la lectura del voltaje de la red eléctrica. La red eléctrica tiene un amplitud de 110 Voltios de corriente alterna para que un dispositivo electrónico pueda leer esa señal se debe bajar a un rango de 0 a 10 voltios.

Filtrado

“La etapa de filtrado se utiliza para rechazar el ruido emitido en diferentes rangos de frecuencia. Los filtros utilizados en procesos de adquisición de datos son el filtro pasa-bajo, filtro pasa-alto y filtros pasa banda.

Los filtros pasa-bajos pueden ser utilizados para bloquear el ruido generado por la red eléctrica que está en el rango de frecuencia de 60/50 Hz. Los filtros pasa-altos atenúan las señales de frecuencia baja, permitiendo pasar las señales de frecuencia alta. Por su parte, el filtro pasa-banda permite pasar un determinado rango de frecuencias” (Boyes, 2010).

Aislamiento

“Es el proceso que se utiliza para proteger los equipos y operadores es empleado conjuntamente con la atenuación. Se aplica cuando el plano de tierra del sistema de adquisición de datos es diferente al del sensor un ejemplo es la medición de la temperatura del cilindro de un motor” (Singh et al., 2017).

Excitación

“Consiste en entregar energía a los transductores mediante la aplicación de tensiones o corrientes de excitación. Los sensores resistivos como los RTDs, termistores o celdas de carga son ejemplos en los que se requiere una fuente de excitación con el propósito de medir la variación de la resistencia” (Boyes, 2010).

Linealización

“Consiste en relacionar la señal transmitida por el sensor con la señal de la variable física. En ocasiones es necesario utilizar calculo matemáticos mediante

software para poder relacionar linealmente la señal de entrada con la señal de salida” (Boyes, 2010).

2.4.1.3. Protocolos de comunicación

“Los dispositivos electrónicos utilizan protocolos de comunicación (Zhao Jue and Yang Shun, 2012) para poder pedir o entregar información. Los protocolos de comunicación son las reglas establecidas entre los dispositivos electrónicos en aspectos como la semántica, sincronización y sintaxis para transmitir y recibir información con la menor cantidad de errores y el menor tiempo posible” (Forero Saboya, 2012).

2.4.1.4. Transmisión de información

“Consiste en transportar datos de un lugar a otro a través de un medio de comunicación, la comunicación puede ser punto-punto o punto multi-punto. Los medios de comunicación pueden ser inalámbricos o cableados. En el caso de usar el medio inalámbrico puede ser mediante la tecnología: infrarrojo, radio frecuencia, comunicación satelital... Por otra parte, los medios que usan cables pueden ser para trazados, fibra óptica” (Forero Saboya, 2012).

2.4.2. Categorías de la variable Dependiente

2.4.2.1. Concentración de datos

Los equipos que forman parte de un sistema integral como un UAV, requieren información de forma periódica o de forma eventual. La información que se produce en un UAV es grande y su concentración debe ser analizada y tratada con el cuidado necesario para no perderla (Luo et al., 2017). El procedimiento consiste en establecer comunicación entre dos dispositivos, considerando que se pueden presentar demoras en la solicitud, demoras en la respuesta o inconvenientes en el formato de información. Por esa razón, tener la información disponible se refiere a

conocer los datos que son solicitados por los equipos y disponer de esa información con anterioridad”.

2.4.2.2. Datos Estandarizados.

“La estandarización de datos consiste en tener la información en un mismo formato para poder realizar con facilidad el intercambio de información entre dispositivos. La coherencia de los datos es importante es decir cada dato ocupe la misma cantidad de espacio en memoria y que pueda ser sometido al mismo algoritmo de descryptación”. (Rezaei-Zare, 2017).

2.4.2.3. Interfaces de comunicación

“Las interfaces de comunicación son el medio físico por el cual se transporta la información en el caso de utilizar cobre el intercambio de información puede ser mediante comunicación paralela y serial, para alcanzar mayores distancias se utiliza comunicación serie las siguientes interfaces son las frecuentemente utilizadas” (Forero Saboya, 2012).

2.4.2.4. Estándar de comunicación RS232

“RS232 es un estándar de comunicación punto-punto simplex que fue desarrollado en 1969 por la Electronic Industries Association (EIA). Eléctricamente reconoce valores inferiores a -3 voltios como un 1 binario y voltajes superiores a +4 voltios es un 0 binario.”

“La velocidad de comunicación de la interfaz RS232 puede alcanzar tasas de transferencia de hasta 20 Kbps, utiliza par trenzado con malla para prevenir pérdidas de información por ruido electromagnético, alcanza un máximo de 15 metros de longitud” (Forero Saboya, 2012).

2.4.2.5. TTY (Lazo de corriente de 20 mA)

“Esta interfaz surge como alternativa al estándar RS232 con el propósito de extender la distancia de cobertura entre los puntos de comunicación, ser más robusta a efectos de la interferencia electromagnética. Realiza conmutación de corriente entre estados on-off según el requerimiento de información. Cada terminal tiene dos lazos de corriente uno para recibir y otro para transmitir información. Los niveles lógicos corresponden a un “1” lógico un valor comprendido de 4 o 20 [mA] a un “0” lógico valores inferiores a 4 [mA]. La máxima distancia que se puede alcanzar es de 450 metros con una velocidad de transferencia de 9600 [bps]. El número de receptores que se pueden conectar al lazo de corriente depende de la potencia disponible en el transmisor, recordando que la mínima corriente de transmisión es de 4 [mA]”. (Forero Saboya, 2012).

2.4.2.6. Estándar de comunicación RS4-22

“Esta interfaz transmite datos de forma diferencial balanceada es decir el voltaje producido por el transmisor se transporta en un par de cables que transmite solo una señal. Gracias a las líneas diferenciales, esta interfaz es aplicable para cubrir longitudes de hasta 1200 metros pudiendo formar buses de campo de hasta 16 dispositivos alcanzando velocidades de transmisión de 10 Mbits/s”. (Forero Saboya, 2012). La Figura 2.2 muestra el diagrama de comunicación mediante cuatro hilos el mismo que puede ser utilizado para comunicación punto-punto o punto-multipunto.

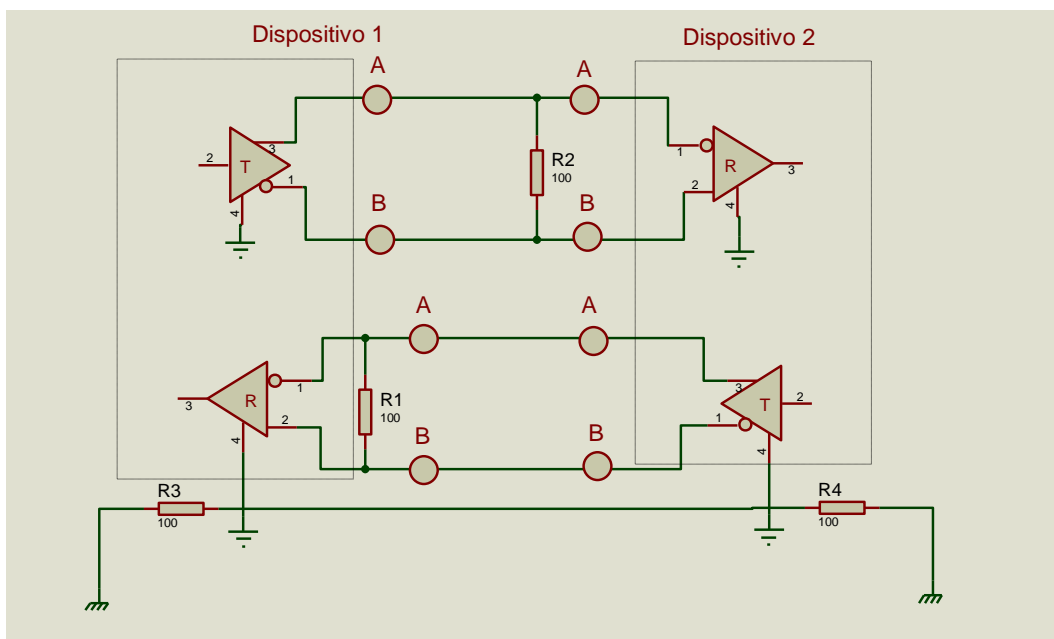


Fig. 2.2 Comunicación Diferencial Balanceada
Fuente: (EIA estándar RS-422 de transmisión de datos, 2018)

2.4.2.7. Estándar de comunicación RS-485

“Es conocido como sistema diferencial balanceado la transmisión de cada señal se realiza a través de un circuito exclusivo de dos hilos. Permite la conexión de buses de campo de hasta 32 emisores con 32 receptores en transmisión full dúplex”. (Cajo et al., 2018). Los niveles de operación lógicos están comprendidos de la siguiente manera “1” lógico corresponde a valores de -1.5 a -5 Voltios, “0” lógico comprende un valor de tensión de +0.2 voltios a 12 voltios”.

La longitud máxima de cobertura es de 1200 metros a una velocidad de transferencia de 93.73 Kbit/s, el cable debe ser par trenzado y apantallado. (Forero Saboya, 2012).

2.4.2.8. Toma de decisiones

“La disponibilidad de la información en cualquier sistema en el momento oportuno es relevante al momento de tomar decisiones sobre seguir o suspender las actividades que se están realizando”.

En el caso de los UAV la toma de decisiones no son la excepción, disponer de la mayor cantidad de información del estado en el que se encuentra el sistema de propulsión, el nivel de combustible, la autonomía del sistema de energía, permiten tomar decisiones acertadas en casos eventuales en los que se pudiesen presentar riesgos a terceros. Habrán ocasiones en las el personal que se encuentre a cargo de la misión decida suspender la misión y ordenar el retorno del UAV, o un caso extremo en el que se decida perder la aeronave con el propósito de preservar la integridad humana.

2.5. Hipótesis

La migración de un sistema ETL desarrollado en una plataforma de código abierto mantendrá el nivel de confianza en las tareas de intercambio de información de los equipos a bordo del UAV y reducirá el coste de operación.

2.6. Señalamiento de variables de la hipótesis

Variable independiente:

Intercambio de información entre interfaces de comunicación.

Variable dependiente

Nivel de confianza y optimización de recursos en las tareas de intercambio de información en el UAV.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Enfoque de la Investigación

El presente proyecto tiene un enfoque cuantitativo porque se desarrolló los objetivos planteados y las decisiones se tomaron desde un ámbito técnico realizando comparaciones con otros proyectos similares, se realizaron pruebas funcionales, se tomaron decisiones y sugirió la solución más adecuada.

3.2. Modalidad de la Investigación

3.2.1. Investigación Bibliográfica

El proyecto contiene estudios bibliográficos, la explicación científica de la necesidad del intercambio de información a bordo de un UAV se realiza mediante el análisis de resultados obtenidos en investigaciones publicadas previamente realizadas en el CIDFAE. Se revisó el estado del arte en revistas, publicaciones y bases de datos, se contrastó resultados obtenidos en lo referente a sistemas de adquisición de datos aplicados a UAV.

3.2.2. Investigación de Campo

La investigación fue realizada mediante pruebas reales con los dispositivos que van a bordo del UAV y la EMCT en principio pruebas de laboratorio y posteriormente pruebas de campo en puntos fijos. Se valoraron algoritmos y procedimientos implementados para la extracción de información provenientes de fuentes analógicos y digitales. Se establecieron procedimientos de operación alcances y limitantes del sistema. Con los procedimientos planteados se entró en contacto de forma directa con la realidad, teniendo información y resultados reales acordes con los objetivos del proyecto.

3.2.3. Investigación Causal

Se manipuló parámetros que intervienen en el proceso de intercambio de información como velocidad de comunicación, frecuencia de actualización de datos, con la finalidad de verificar como se ve la actualización de las variables físicas durante el proceso de intercambio de información.

3.3. Nivel de la Investigación

La investigación fue de tipo crítico propositivo ya que se exploró el problema en forma particular. El nivel descriptivo permitió demostrar las variables, el nivel correlacional permitió realizar predicciones, ajustes e interpretaciones que controlan la causa y el efecto, y el nivel explicativo establece la relación entre las variables y posteriormente la investigación obtuvo solución al problema.

3.4. Población y Muestra

3.4.1. Población.

La población universo con la que inicialmente se trabajo fue el personal de aerotécnicos del CIDFAE. La población se formó por diez expertos aerotécnicos y operadores de cabina los mismos que se encuentran a cargo de las operaciones de la aeronave UAV. El personal de aerotécnicos y operadores de cabina fueron entrevistados mediante una encuesta cuya estructura se encuentra en el Anexo 1 para valorar la importancia, eficiencia, problemas y posibles mejoras que se puede realizar al sistema ETL implementado por el CIDFAE, principalmente se busca determinar si es o no prudente y conveniente migrar las tareas del sistema ETL implementado por el CIDFAE con el que actualmente trabajan a un sistema alternativo de menor costo menor peso y menor volumen el mismo que será desarrollado bajo una plataforma de código abierto.

3.4.2. Muestra.

Las muestras para validar la hipótesis son cantidad de paquetes de información buenos en relación al total de paquetes de información enviados conseguidos en pruebas de campo en las tareas de intercambio de información mediante el sistema ELT implementado en la plataforma de código abierto. La información obtenida es contrastada con la cantidad de paquetes de información buenos en relación al total de paquetes de información enviados obtenidos en pruebas de campo con el sistema ETL implementado por el CIDFAE.

Se realizaron pruebas de intercambio de información entre el sistema implementado a bordo del UAV y el HMI con la finalidad de estimar el nivel de confianza del sistema. El intercambio de información se realizó variando la frecuencia de adquisición de información en periodos de muestreo comprendidos entre 50, 100 y 200 milisegundos. La cantidad de información que se intercambiaba por unidad de tiempo [bps] también fue variada con valores de 19200 [bps], 38400 [bps] y 57600 [bps].

3.5. Operacionalización de variables

Tabla 3-1: Variable Independiente: Sistema ETL.

Conceptualización o Descripción	Dimensión	Indicador	Ítems Básicos	Técnicas/ Instrumentos
<p>La implementación de un sistema ETL se refiere a disponer de un dispositivo electrónico que tenga la capacidad de adquirir datos de otros equipos con diferentes protocolos de comunicaciones que se encuentran a bordo de un UAV. La finalidad del sistema ETL es compartir información necesaria entre los equipos a bordo del UAV. Es así, el sistema de propulsión toma información del sistema de guiado navegación y control, la EMCT combina datos del GPS con el video del sensor Electro Óptico.</p>	<p>-Protocolos de comunicación</p> <p>-Interfaces de comunicación</p> <p>-Toma de decisiones</p>	<p>Disponibilidad de información</p> <p>Reducción de peso en el UAV</p> <p>Nivel de confianza en el intercambio de información</p>	<p>¿Cómo se mide el nivel de confianza un sistema ETL?</p> <p>¿Qué tan seguro es el intercambio de información?</p> <p>¿Con qué frecuencia se debe intercambiar información entre equipos a bordo del UAV?</p>	<p>Revisión de fuentes bibliográficas.</p> <p>Comparación entre con otros sistemas similares</p>

Elaborado por: Wilson Medina

Tabla 3-2: Variable Dependiente Intercambio de datos a bordo de un UAV

Conceptualización o Descripción	Dimensión	Indicadores	Ítems Básicos	Técnica e Instrumento
El intercambio de información se obtiene después de adquirir datos y estandarizarlos con el objeto de poder compartir esta información entre distintos usuarios.	-Sistemas de adquisición de datos -Nivel de confianza del sistema	-Circuitos acondicionadores de señal. -Número máximo de dispositivos que se pueden conectar.	¿Cómo se obtienen los datos de los diferentes equipos que están a bordo del UAV? ¿Con qué frecuencia se actualizan los datos en el sistema ETL?	Encuesta con un cuestionario dirigida a Aerotécnicos y Operadores de cabina del UAV del CIDFAE. Análisis comparativo del porcentaje de paquetes correctos obtenido en pruebas reales.

Elaborado por: Wilson Medina

3.6. Recolección de información

3.6.1. Técnica e instrumentos para la recolección de la información

Bibliográfica.

Se utilizó manuales de funcionamiento e informes técnicos del sistema ETL implementado por el CIDFAE además se realizó la revisión en artículos científicos libros, manuales, y blogs especializados..., de los estudios realizados anteriormente que se relacionan con el presente tema.

Encuesta.

La técnica fue dirigida al personal de Aerotécnicos y Operadores de cabina del CIDFAE, elaborado con preguntas cerradas que permitirán obtener información de los especialistas sobre las variables de estudio.

Log de Datos

Mediante el uso del HMI instalado en la EMC se almacenan los datos de las pruebas de campo realizadas con los dos sistemas ETL, el sistema implementado por el CIDFAE y el sistema desarrollado bajo la plataforma de código abierto. Con los datos almacenados se realiza un análisis de tipo comparativo entre los valores de la cantidad de paquetes de información buenos obtenidos de los dos sistemas.

Cuestionario

Este instrumento contiene una serie de preguntas cerradas, con el objetivo de recolectar información al personal de Aerotécnicos y Operadores de cabina del CIDFAE, que ayudará a sacar adelante la investigación planteada. Para concretar el plan de recolección de información, conviene contestar las siguientes preguntas mostradas en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3: Plan de recolección de la información.

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
1. ¿Para qué?	Para alcanzar los objetivos de la investigación
2. ¿De qué persona?	Personal Aerotécnicos y Operadores de cabina del CIDFAE
3. ¿Sobre qué aspecto?	Indicadores (matriz de operacionalización de variables)
4. ¿Quién, quienes?	Investigador: Ing. Wilson Medina Pazmiño
5. ¿Cuándo?	Segundo semestre del 2018
6. ¿Dónde?	Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana
7. ¿Cuántas veces?	Las veces necesarias hasta lograr el objetivo
8. ¿Qué técnicas de recolección?	Entrevista, Observación. Log de datos
9. ¿Con que?	Cuestionario y Log de Datos
10. ¿En qué situación?	Durante jornadas de pre vuelos (pruebas en tierra)

Elaborado por: Wilson Medina

3.6.2. Procesamiento y Análisis

3.6.3. Procesamiento

Inicialmente se tabulan las respuestas obtenidas de la encuesta aplicada al personal de aerotécnicos del CIDFAE con objeto de. Establecer si existe la necesidad de realizar la migración del sistema ETL implementado por el CIDFAE a una plataforma de código abierto.

Una vez obtenida la información apropiada de la investigación, para validar el sistema ETL desarrollado bajo código abierto se realizó la implementación grafica de los porcentajes de paquetes buenos obtenidos en el intercambio de datos entre dispositivos a bordo del UAV y el HMI, pudiendo realizar las siguientes tareas.

- Analizar la información recopilada, relacionándolo con los objetivos planteados.
- Comparar la información recopilada de los dos sistemas ETL, tanto el implementado por el CIDFAE y el desarrollado bajo código abierto.
- Repetición en la recolección de información en caso de ser necesario y responder dudas que aún no estén claras.
- Establecer los niveles de confianza del sistema ETL desarrollado bajo código abierto en relación al sistema ETL implementado por el CIDFAE
- Establecer conclusiones y recomendaciones.

3.6.4. Análisis e interpretación de resultados

- Análisis de los resultados estadísticos obtenidos, destacando tendencias o relaciones fundamentales de acuerdo con los objetivos e hipótesis planteados.
- Interpretación de los resultados, con el sustento del marco teórico si así se lo requiere.
- Comprobación de hipótesis planteada.
- Definición de conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis e interpretación de resultados

El presente capítulo consiste en realizar una encuesta a un grupo de expertos en el área de UAVs, la finalidad de realizar la encuesta es determinar o estimar la necesidad de realizar la migración del sistema ETL implementado por el CIDFAE. Con la obtención de los resultados y aplicando la prueba estadística del Ji Cuadrado se estima la validez de la hipótesis planteada al realizar la migración del sistema ETL desarrollado bajo código abierto.

4.1.1. Resultados de la encuesta

Es importante recalcar que para establecer si existe la necesidad de realizar la migración del sistema ETL implementado por el CIDFAE se encuestó a una población de 10 personas formadas por aerotécnicos y personal encargado de cabina (EMCT) este personal está directamente involucrado con las tareas de pruebas, operaciones y misiones de la aeronave UAV.

Encuesta.

1. ¿Cree usted que el sistema ETL implementado por el CIDFAE actualmente entrega información confiable?

Objetivo: Conocer el nivel de confianza que brinda el sistema ETL implementado por el CIDFAE a los aerotécnicos y personal de cabina EMCT.

Tabla 4-1: Cuadro porcentual respuestas a la pregunta 1.

Opción de Respuesta	Número de Respuestas	Porcentaje %
Si	8	80%
Parcialmente	2	20%
No	0	0%
Total	10	100%

Elaborado por: Wilson Medina

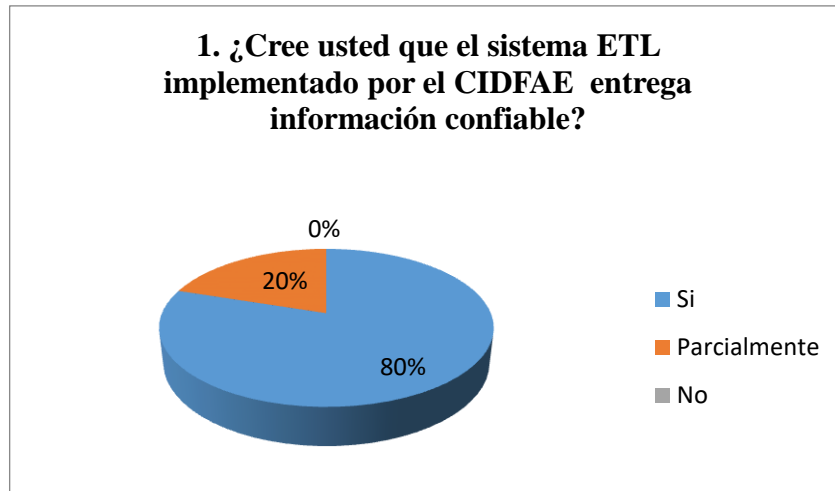


Fig. 4.1 Representación gráfica de los resultados de la pregunta 1.
Elaborado por: Wilson Medina

Interpretación: El nivel de confiabilidad del sistema ETL implementado por el CIDFAE a bordo de la aeronave UAV alcanza el 80%, por otra parte el 20% de los encuestados dice que es confiable parcialmente. Sin embargo ninguna persona encuestada dice que el sistema ETL implementado por el CIDFAE haya dado muestras de desconfianza en las tareas que realiza.

Análisis: Con la aceptación del 80% de la confiabilidad del sistema ETL implementado por el CIDFAE se puede afirmar que el sistema en mención realiza trabajos confiables en las tareas de intercambio de información entre los distintos equipos a bordo de la aeronave y con el HMI.

2. ¿Los datos compartidos por el sistema ETL implementado por el CIDFAE son suficientes para poder tomar decisiones desde la EMCT en las misiones del UAV?

Objetivo: Conocer si la cantidad de información con la que disponen los operadores y aerotécnicos es suficiente para asegurar operaciones confiables con la aeronave.

Tabla 4-2: Cuadro porcentual respuestas a la pregunta 2.

Opción de Respuesta	Número de Respuestas	Porcentaje %
Si	10	100%
Parcialmente	0	0%
No	0	0%
Total	10	100%

Elaborado por: Wilson Medina.

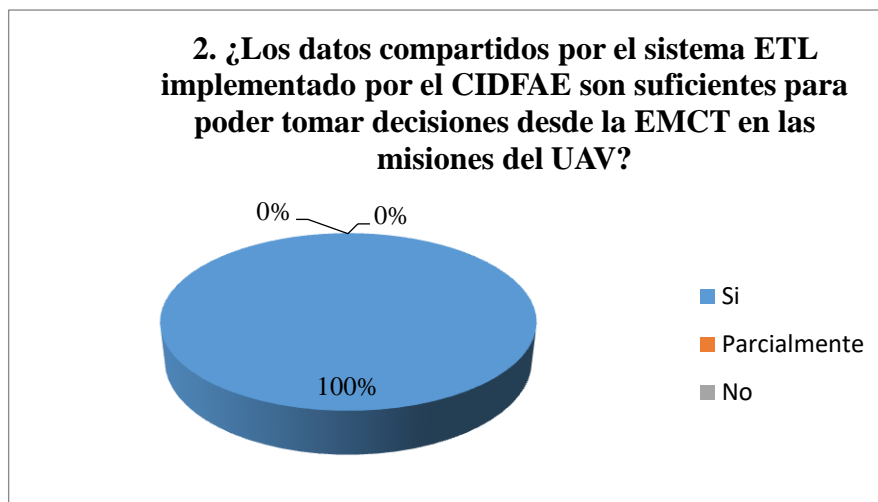


Fig. 4.2 Representación gráfica de los resultados de la pregunta 2.

Elaborado por: Wilson Medina

Interpretación: El 100 % de los encuestados aseguran que la cantidad de información, que adquiere y comparte el sistema ETL implementado por el CIDFAE es suficiente para trabajar de forma segura en las misiones que realiza la aeronave UAV.

Análisis: El número de datos extraídos y compartidos actualmente es suficiente para poder tomar decisiones durante las actividades de liberación del UAV.

3. ¿Existe algún tipo de dificultad para operar el sistema ETL implementado por el CIDFAE en el UAV?

Objetivo: Estimar lo complejo o dificultoso que puede resultar poner en marcha u operar el sistema ETL implementado por el CIDFAE a bordo de la aeronave UAV.

Tabla 4-3: Cuadro porcentual respuestas a la pregunta 3.

Opción de Respuesta	Número de Respuestas	Porcentaje %
Si	5	50%
Parcialmente	3	30%
No	2	20%
Total	10	100%

Elaborado por: Wilson Medina

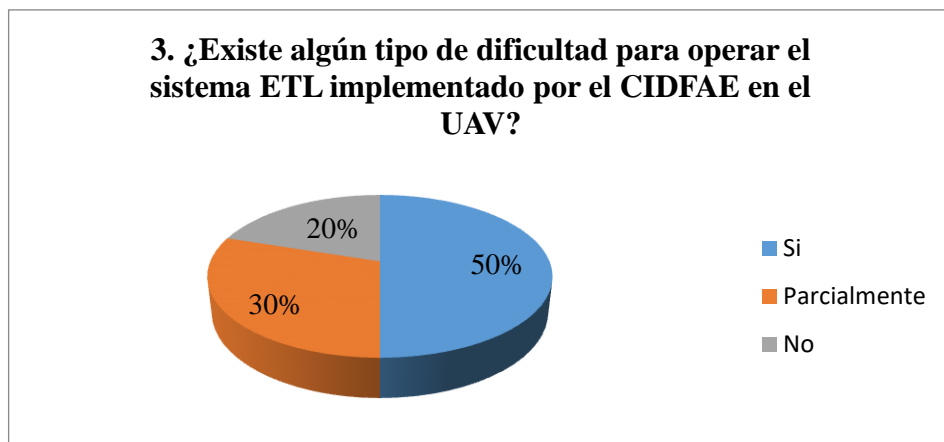


Fig. 4.3 Representación gráfica de los resultados de la pregunta 3.
Elaborado por: Wilson Medina

Interpretación: El 50 % de los encuestados dice tener algún tipo de inconveniente para poner en marcha el sistema ETL implementado por el CIDFAE, el 30% tiene algún tipo de dificultad mientras que solo 20% no encuentra ningún problema al momento de trabajar con el sistema ETL implementado por el CIDFAE.

Análisis: Se concluye que el sistema ETL implementado por el CIDFAE tiene alguna dificultad en el método utilizado para ponerlo en marcha o para la operación.

4. ¿Cree usted que el sistema ETL implementado por el CIDFAE es Eficiente?

Objetivo: Estimar la calidad del sistema ETL implementado por el CIDFAE en las tareas de intercambio de información en la aeronave UAV.

Tabla 4-4: Cuadro porcentual respuestas a la pregunta 4.

Opción de Respuesta	Número de Respuestas	Porcentaje %
Si	9	90%
Parcialmente	1	10%
No	0	0%
Total	10	100%

Elaborado por: Wilson Medina

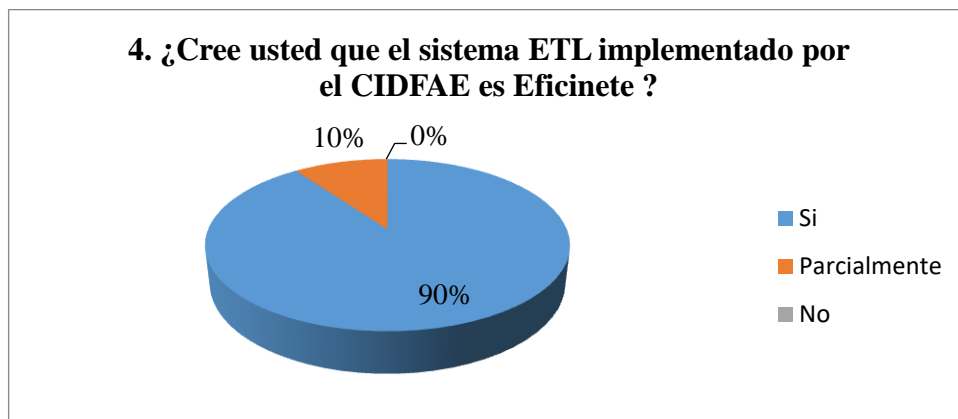


Fig. 4.4 Representación gráfica de los resultados de la pregunta 4.

Elaborado por: Wilson Medina

Interpretación: En la Figura 4.4 el 90% de los encuestados respondió que el sistema ETL implementado por el CIDFAE es eficiente en los trabajos que realiza, mientras que apenas el 10% dice que el sistema tiene o muestra alguna deficiencia en las tareas de intercambio de información.

Análisis: Se concluye que el sistema ETL implementado por el CIDFAE realiza las tareas de manera eficiente sin embargo es necesario establecer la deficiencia manifestada por una mínima cantidad de encuestados en el caso de existir dicha deficiencia es necesario solventarla.

5. ¿Cree usted que es adecuado utilizar una herramienta como el sistema ETL implementado por el CIDFAE para ayudar en la toma de decisiones al personal operador de cabina del UAV?

Objetivo: Estimar la necesidad de utilizar el sistema ETL como el implementado por el CIDFAE con el fin de ocuparlo en tareas de liberación y vuelos de la aeronave UAV.

Tabla 4-5: Cuadro porcentual respuestas a la pregunta 5.

Opción de Respuesta	Número de Respuestas	Porcentaje %
Si	10	100%
Parcialmente	0	0%
No	0	0%
Total	10	100%

Elaborado por: Wilson Medina

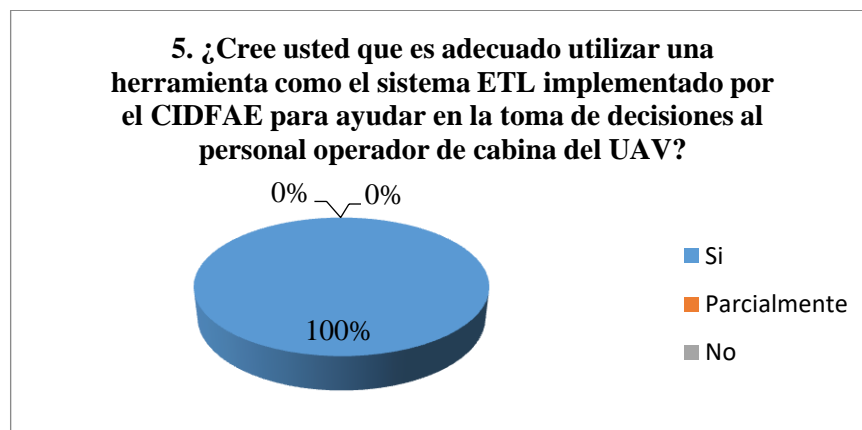


Fig. 4.5 Representación gráfica de los resultados de la pregunta 5.

Elaborado por: Wilson Medina

Interpretación: En la Figura 4.5 el 100% de los encuestados respondió que el sistema ETL implementado por el CID-FAE es una herramienta necesaria para el personal que opera con el UAV en tareas de liberación y misiones

Análisis: se concluye que el sistema ETL es una herramienta de apoyo para el personal de aerotécnicos que opera con el UAV.

6. ¿El sistema ETL implementado por el CIDFAE reduce espacio y disminuye la capacidad de llevar mayor carga útil bordo del UAV?

Objetivo: Estimar las características físicas del sistema ETL implementado por el CIDFAE a bordo del UAV.

Tabla 4-6: Cuadro porcentual respuestas a la pregunta 6.

Opción de Respuesta	Número de Respuestas	Porcentaje %
Si	10	100%
Parcialmente	0	0%
No	0	0%
Total	10	100%

Elaborado por: Wilson Medina

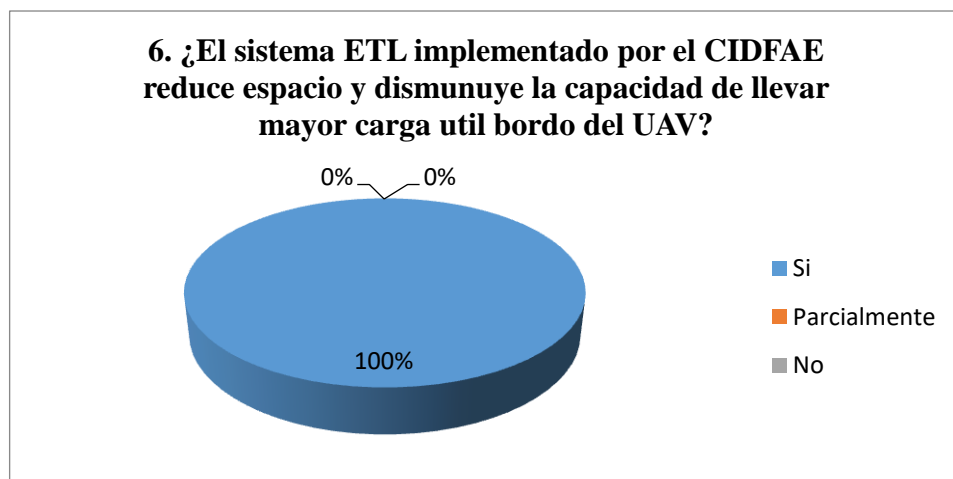


Fig. 4.6 Grafico de resultados de la pregunta 6.
Elaborado por: Wilson Medina

Interpretación: En la Figura 4.6 el 100% del personal encuestado respondió que el sistema ETL implementado por el CIDFAE reduce el espacio disponible en el UAV.

Análisis: Es necesario optimizar las características físicas del sistema ETL implementado por el CIDFAE en lo referente a espacio y peso.

7. ¿Cree usted que el sistema ETL implementado por el CIDFAE agiliza las acciones de liberación de la aeronave UAV en las pruebas realizadas en tierra?

Objetivo. Valorar la importancia del sistema ETL en las tareas de liberación de la aeronave UAV.

Tabla 4-7: Cuadro porcentual respuestas a la pregunta 7.

Opción de Respuesta	Número de Respuestas	Porcentaje %
Si	9	90%
Parcialmente	0	0%
No	1	10%
Total	10	100%

Elaborado por: Wilson Medina

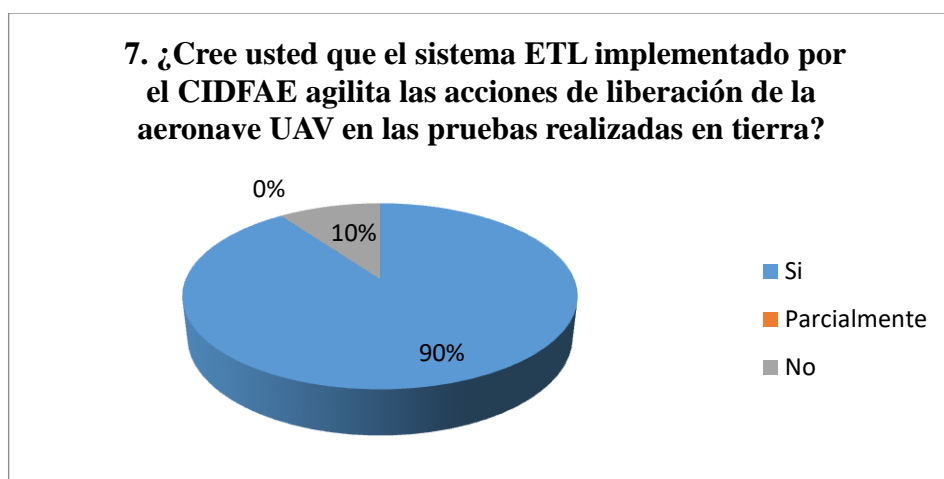


Fig. 4.7 Grafico de resultados de la pregunta 7.
Elaborado por: Wilson Medina

Interpretación: En la Figura 4.7. El 90% de los encuestado dice que el sistema ETL implementado por el CIDFAE agiliza las tareas de liberación de la aeronave, mientras que el 10 % dice que el sistema no ayuda en las tareas de liberación.

Análisis: Se concluye que el 90% es decir la mayoría del personal de aerotécnicos requiere del sistema ETL implementado por el CIDFAE para realizar tareas de liberación de la aeronave UAV de manera ágil, sin embargo existe una mínima cantidad de operadores que tiene algún problema con el sistema.

8. ¿Cree usted que disminuyendo peso y volumen del sistema ETL implementado por el CIDFAE la aeronave UAV aumentaría en su eficiencia?

Objetivo: Estimar la posibilidad de optimizar las características físicas del sistema ETL que se pretende implementar bajo código abierto.

Tabla 4-8: Cuadro porcentual respuestas a la pregunta 8.

Opción de Respuesta	Número de Respuestas	Porcentaje %
Si	10	100%
Parcialmente	0	0%
No	0	0%
Total	10	100%

Elaborado por: Wilson Medina

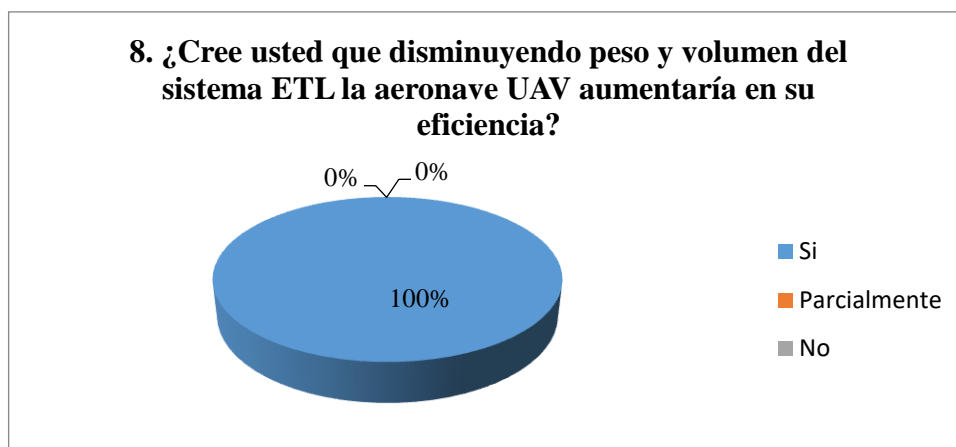


Fig. 4.8 Grafico de resultados de la pregunta 8.

Elaborado por: Wilson Medina

Interpretación. En la Figura 4.8 el 100% de los encuestados dice que al reducir el peso y el tamaño del sistema ETL se aumentará la eficiencia de la aeronave UAV.

Análisis. Con la interpretación del Figura 4.8. Se concluye que es necesario disminuir peso y dimensiones del sistema ETL implementado por el CIDFAE, con eso se aumentará la eficiencia de la aeronave.

9. ¿Cree usted tener más comodidad y confianza al trabajar con sistemas no muy costosos en tareas de liberación de la aeronave UAV?

Objetivo. Estimar el grado de rechazo que genera los trabajos con equipos cotosos y las consecuencias que pueden cuásar en el caso de daños.

Tabla 4-9: Cuadro porcentual respuestas a la pregunta 9

Opción de Respuesta	Número de Respuestas	Porcentaje %
Si	10	100%
Parcialmente	0	0%
No	0	0%
Total	10	100%

Elaborado por: Wilson Medina

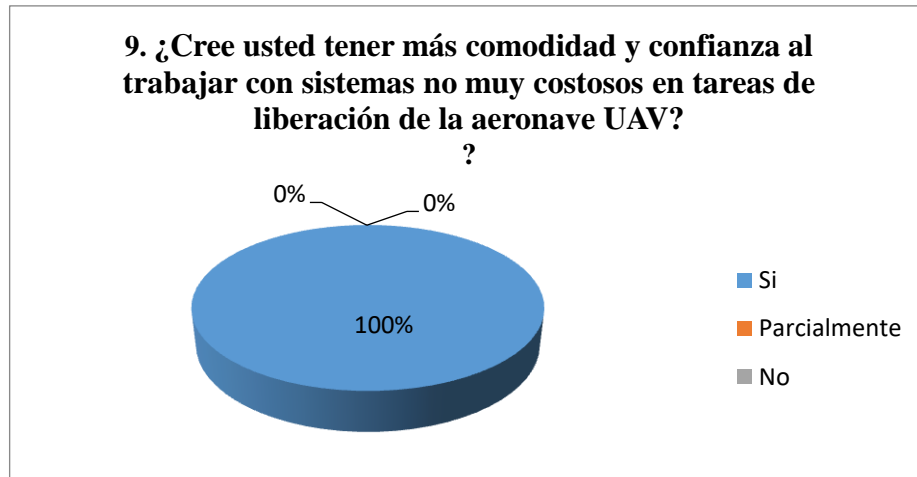


Fig. 4.9 Grafico de resultados de la pregunta 9.
Elaborado por: Wilson Medina

Interpretación: En la Figura 4.9. El 100% de los encuestados manifiestan tener incomodidad al trabajar con equipos de costo elevado. Esto es justificado ya que en las tareas de liberación pueden existir daños parciales o pérdidas totales de los equipos.

Análisis: Es un requerimiento necesario bajar los costos de los equipos que intervienen en las taras de liberación de la aeronave UAV.

10. ¿Cree conveniente contar con una herramienta alternativa al sistema ETL implementado por el CIDFAE para mejorar las tareas de liberación de aeronave UAV?

Objetivo: Estimar la necesidad de desarrollar un sistema alternativo al sistema ETL implementado por el CIDFAE que en la actualidad opera a bordo del UAV.

Tabla 4-10: Cuadro porcentual respuestas a la pregunta 10.

Opción de Respuesta	Número de Respuestas	Porcentaje %
Si	7	70%
Parcialmente	1	10%
No	2	20%
Total	10	100%

Elaborado por: Wilson Medina

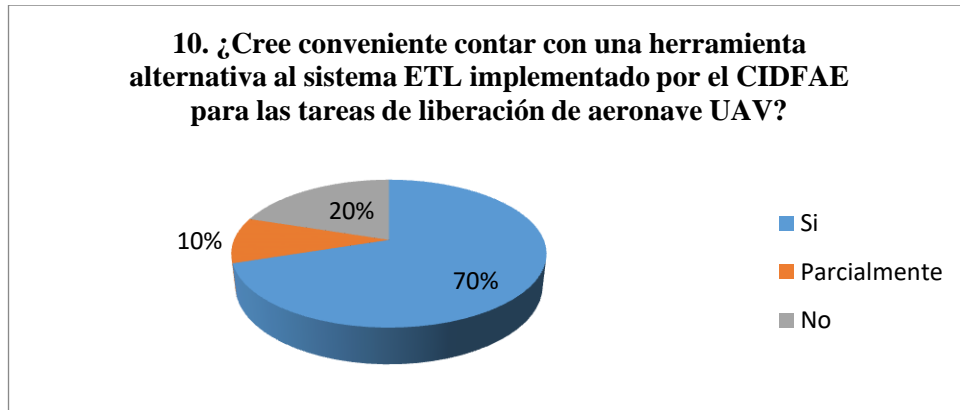


Fig. 4.10 Grafico de resultados de la pregunta 10.

Elaborado por: Wilson Medina

Interpretación: En la Figura 4.10. El 70% de las personas encuestadas manifiestan que sería conveniente disponer de un sistema alternativo para realizar las tareas de liberación de la aeronave, el 10% dice que parcialmente sería conveniente tener una herramienta alternativa, mientras que el 20% creen que no es necesario contar con un sistema alternativo.

Análisis: La mayoría de los encuestados requieren un sistema alternativo para realizar las tareas de liberación de la aeronave UAV.

4.2. Verificación de la Hipótesis

4.2.1. Modelo Lógico

Hipótesis nula (H0) = La migración de un sistema ETL desarrollado en una plataforma de código abierto **NO** mantendrá el nivel de confianza en las tareas de intercambio de información de los equipos a bordo del UAV y reducir el coste de operación.

Hipótesis Alternativa (H1) = La migración de un sistema ETL desarrollado en una plataforma de código abierto **SI** mantendrá el nivel de confianza en las tareas

de intercambio de información de los equipos a bordo del UAV y reducirá el coste de operación.

4.2.2. Modelo Estadístico

Para evaluar la relación entre variables categóricas se utiliza la prueba estadística de Ji Cuadrada.

4.2.3. Elección de la prueba estadística

La fórmula aplicada para calcular la distribución probabilística es la siguiente.

$$X^2 = \sum \left(\frac{(f_0 - f_e)^2}{f_e} \right)$$

Simbología:

X^2 = Ji Cuadrada.

Σ = Sumatoria.

f_0 = frecuencia observada.

f_e = Frecuencia esperada.

Las preguntas seleccionadas para realizar la matriz de tabulación cruzada para el presente caso son dos. Estas preguntas fueron tomadas del Anexo 1 de la encuesta realizada al personal de aerotécnicos del CIDFAE.

Las preguntas seleccionadas para el cálculo estadístico son la número 8 y la número 10.

La pregunta 8 es seleccionada en base a realizar mejoras en relación al peso y volumen que el Sistema ETL implementado por el CIDFAE ocupa dentro de la aeronave, al reducir peso y espacio dentro del UAV se aumentará autonomía en la aeronave.

La pregunta 10 es tomada como referencia para establecer la necesidad del personal de aerotécnicos y operadores de cabina de requerir un sistema alternativo económicamente menor y que realice las mismas tareas a bordo del UAV.

Pregunta N. 8 ¿Cree usted que disminuyendo peso y volumen del sistema ETL implementado por el CIDFAE la aeronave UAV aumentaría en su eficiencia?

Tabla 4-11: Comprobación de hipótesis: Eficiencia.

Opción de Respuesta	Número de Respuestas	Porcentaje %
Si	10	100%
Parcialmente	0	0%
No	0	0%
Total	10	100%

Elaborado por: Wilson Medina

Pregunta N. 10 ¿Cree conveniente contar con una herramienta alternativa al sistema ETL implementado por el CIDFAE para mejorar las tareas de liberación de aeronave UAV?

Tabla 4-12: Comprobación de hipótesis: Mejoramiento en las tareas de liberación de la aeronave UAV.

Opción de Respuesta	Número de Respuestas	Porcentaje %
Si	10	100%
Parcialmente	0	0%
No	0	0%
Total	10	100%

Elaborado por: Wilson Medina

4.2.4. Definición del nivel de significación.

El nivel de significación es el porcentaje de error admitido para rechazar la hipótesis nula, usualmente se utiliza el parámetro de significancia de 0.05 que es conocido como el margen de error el mismo que indica que existe la probabilidad del 0.95 de que la hipótesis nula sea aceptada como verdad el parámetro es representado mediante la letra griega alpha ($\alpha = 0.05$).

4.2.5. Grados de libertad.

El grado de libertad (G^l) es calculado relacionando el número de filas con decremento en una unidad, de la misma manera con el número de columnas con decremento en una unidad. Para determinar el grado de libertad se analiza la Tabla 4-13.

Tabla 4-13: Grados de libertad.

Parámetros	ALTERNATIVA			TOTAL
	SI	PARCIALMENTE	NO	
Eficiencia del Sistema ETL	10	0	0	10
Mejoramiento en las tareas de liberación de la aeronave UAV	7	1	2	10
Total	17	1	2	20

Elaborado por: Wilson Medina

Número de filas = 2 (Eficiencia del sistema ETL y Mejoramiento en las tareas de liberación de la aeronave UAV)

Número de columnas = 3 (SI, Parcialmente, NO).

Grado de libertad G^l

$$G^l = (f - 1)(c - 1)$$

$$G^l = (2 - 1)(3 - 1)$$

$$G^l = 2$$

Frecuencias Teórica Esperadas

La siguiente relación permite determinar la frecuencia esperada

$$f_e = \frac{(Total\ marginal\ de\ region) * (Total\ marginal\ de\ columna)}{N}$$

A continuación se calcula las frecuencias esperadas las mismas que se muestran en la Tabla 4-14.

Frecuencia esperada para Eficiencia del Sistema ETL alternativa SI.

$$f_e = \frac{17 * 10}{20} = 8.5$$

Tabla 4-14: Frecuencias Esperadas

Parámetros	Si	Parcialmente	NO
Eficiencia del Sistema ETL	8,5	0,5	1
Mejoramiento en las tareas de liberación de la aeronave UAV	3,5	0,5	1

Elaborado por: Wilson Medina

4.2.6. Cálculo de Chi Cuadrada.

Tabla 4-15: Cálculo de Ji Cuadrada.

$\chi^2 = \sum \left(\frac{(fo - fe)^2}{fe} \right)$	<i>fo</i>	<i>fe</i>	<i>fo - fe</i>	$(fo - fe)^2$	$\frac{(fo - fe)^2}{fe}$
¿Cree usted que disminuyendo el peso y volumen del sistema ETL la aeronave UAV aumentaría en su eficiencia? (opción SI)	10	8,5	1,5	2,25	0,26
¿Cree usted que disminuyendo peso y volumen del sistema ETL la aeronave UAV aumentaría en su eficiencia? (opción Parcialmente)	0	0,5	-0,5	0,25	0,5
¿Cree usted que disminuyendo peso y volumen del sistema ETL la aeronave UAV aumentaría en su eficiencia? (opción NO)	0	1	-1	1	1
¿Cree conveniente contar con una herramienta alternativa al sistema ETL para mejorar las tareas de liberación de aeronave UAV? (opción SI)	7	3,5	3,5	12,25	3,5
¿Cree conveniente contar con una herramienta alternativa al sistema ETL para mejorar las tareas de liberación de aeronave UAV? (opción Parcialmente)	1	0,5	0,5	0,25	0,5
¿Cree conveniente contar con una herramienta alternativa al sistema ETL para mejorar las tareas de liberación de aeronave UAV? (opción NO)	2	1	1	1	1
χ^2_c	6,76				

Elaborado por: Wilson Medina

4.2.7. Valores de Ji Cuadrado.

La Figura 4.11 muestra parte de los valores de la tabla de Ji Cuadrado con los que se procede a realizar el cálculo de Ji Cuadrado el valor de interés para el presente calculo esta de color rojo.

GL	0,001	0,005	0,01	0,020	0,025	0,03	0,04	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
1	10,828	7,879	6,635	5,412	5,024	4,709	4,218	3,841	2,706	2,072	1,642	1,323	1,074	0,873	0,708
2	13,816	10,597	9,210	7,824	7,378	7,013	6,438	5,991	4,605	3,794	3,219	2,773	2,408	2,100	1,833
3	16,266	12,838	11,345	9,837	9,348	8,947	8,311	7,815	6,251	5,317	4,642	4,108	3,665	3,283	2,946
4	18,467	14,860	13,277	11,668	11,143	10,712	10,026	9,488	7,779	6,754	5,989	5,385	4,878	4,438	4,045
5	20,515	16,750	15,086	13,388	12,833	12,375	11,644	11,070	9,236	8,115	7,289	6,626	6,064	5,573	5,132

Fig. 4.11: Valores críticos de Ji-Cuadrada

Fuente (Facultad Regional Mendoza UTN).

En la Figura 4.12 se muestran las zonas en las que el Ji Cuadrado es aceptado o rechazado.

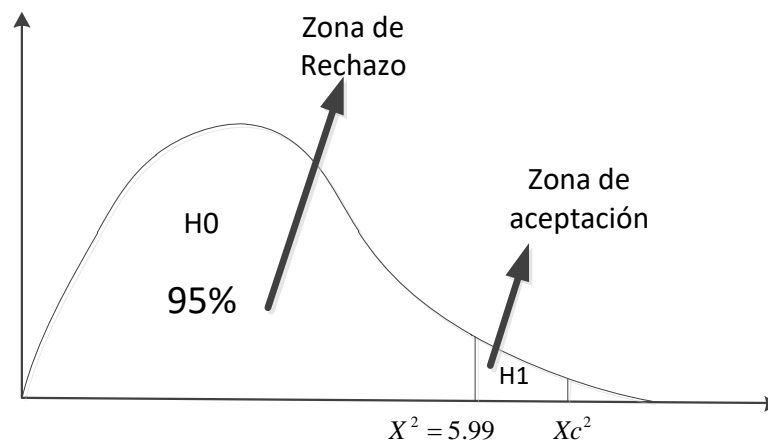


Fig. 4.1213 Curva de Ji Cuadrado

Elaborado por: Wilson Medina

4.2.8. Comprobación de la Hipótesis

$$Xc^2 = Ji \text{ Cuadrado calculado}$$

$$Xt^2 = Ji \text{ Cuadrado de la tabla}$$

El valor área de la bajo de la curva para aceptar la hipótesis alternativa se encuentra entre los valores $Xc^2= 6.76$ (valor de la Tabla 4-15) y $Xt^2= 5.991$

(valor de la Figura 4.11) para la toma de decisión se lo realiza mediante las siguientes reglas lógicas.

Si $Xc^2 < Xt^2 \Rightarrow$ Se acepta la hipótesis nula H_0 .

Si $Xc^2 > Xt^2 \Rightarrow$ Se rechaza la hipótesis nula H_0 .

Decisión.

Condición lógica de decisión

$Xc^2 = 6.76$ referencia Tabla 4-15.

$Xt^2 = 5.991$ Este valor ha sido tomado de la Figura 4.11 valor marcado de rojo

$6.79 > 5.991 \Rightarrow H_0$ es rechazada y H_1 es aceptada.

H_1 = La migración de un sistema ETL desarrollado en una plataforma de código abierto SI mantendrá el nivel de confianza en las tareas de intercambio de información de los equipos a bordo del UAV y reducir el coste de operación.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.CONCLUSIONES

De la investigación realizada se concluye que:

- Para realizar las tareas de liberación de la aeronave UAV en el Centro de investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana se requiere de un sistema alternativo al ya existente. La implantación del nuevo sistema brindará flexibilidad y agilizará las tareas que realiza el personal de aerotécnicos del CIDFAE.
- Con la demostración de la hipótesis H1 se puede afirmar que el CIDFAE se beneficiaría al realizar la migración del sistema ETL, pues los operadores de la aeronave requieren una herramienta menos costosa, pero que brinde como mínimo la misma confianza en las tareas de intercambio de información a bordo del UAV.

5.2. RECOMENDACIONES

- Impulsar la migración del sistema ETL a una plataforma de código abierto con el condicionante de mejorar las características físicas de peso y espacio que ocupara a bordo de la aeronave UAV el sistema ETL actual.
- Estudiar las opciones existentes para la utilización de la plataforma de código abierto en la que se implementará la migración del sistema ETL.

CAPITULO VI

PROPUESTA

6.1.DATOS INFORMATIVOS

6.1.1. TITULO

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EXTRAER TRANSFORMAR Y COMPARTIR INFORMACIÓN DE EQUIPOS A BORDO DE UN UAV DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA”

6.1.2. INSTITUCIÓN EJECUTORA

Nombre de la institución: Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza aérea Ecuatoriana.

6.1.3. BENEFICIARIOS

Áreas técnica y operativa del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

6.1.4. UBICACIÓN

Provincia: Tungurahua

Cantón: Ambato

Dirección: Aeropuerto Chachoan - Alfredo Coloma 4-303 e Ignacio Vela

6.1.5. EQUIPO TÉCNICO RESPONSABLE

Investigador: Ing. Wilson Efraín Medina Pazmiño

Director de tesis: Lic. José María Lavín PhD

Operador: Cbo. Tec. Avc. Santiago Aguiar

6.2. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.

En la actualidad el CIDFAE es una entidad gubernamental que realiza tareas de investigación en lo referente al campo Aeroespacial. Aplicaciones como pilotos automáticos (David et al., 2015), tareas de vigilancia y reconocimiento (Jara-Olmedo et al., 2018), validación de sistemas de comunicaciones (Medina-Pazmiño and Jara-Olmedo, 2017) son algunas de las aplicaciones realizadas desde sus inicios en la década de los 90.

Cronológicamente el CIDFAE (Leon.260mb.net, 2018) ha creado y desarrollado prototipos de vehículos aéreos tele operados y autónomos como se muestra en la Figura 6.1. Es así que en el año 2002 se construye la primera aeronave tele operada llamada RPV Cotopaxi. Con la experiencia y el conocimiento adquirido por el personal técnico del CIDFAE en el año 2011 se plasma el proyecto Plataforma de Gran Altitud (PGA) el mismo que fue auspiciado por la Secretaria de Ciencia y Tecnología (Senescyt). A partir del año 2012 el Ministerio de Defensa Nacional (MIDENA) dispone la ejecución del proyecto Detección, Observación, Control y Reconocimiento DOCR con el propósito de garantizar la seguridad Nacional. El proyecto DOCR sería ejecutado por el CIDFAE dando como resultados en el año 2012 el prototipo UAV0 y FENIX, en el año 2013 se obtiene el prototipo Gavilán una aeronave completamente autónoma lo detallado se lo muestra en la Figura 6.1.

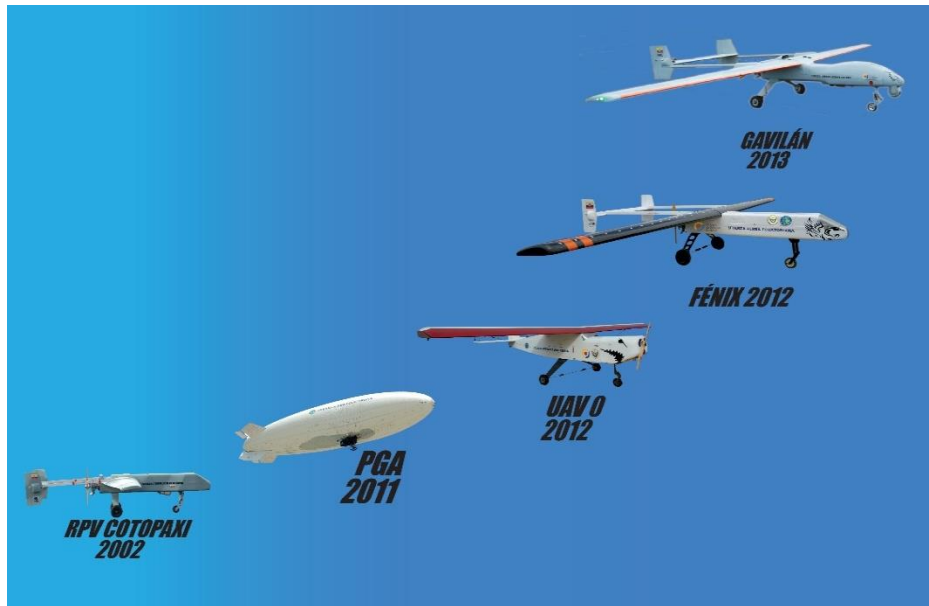


Fig. 6.1 Cronología de la Investigación de aeronaves no tripuladas en el CIDFAE.

Fuente: Galería CIDFAE, 2015.

Todas las aeronaves que se desarrollan en el CIDFAE cumplen varias etapas que van desde el diseño, construcción, pruebas en tierra, validación de partes, componentes, y finalmente pruebas en vuelos. El conjunto de las etapas mencionadas es conocido como liberación de la aeronave. En la actualidad el CIDFAE cuenta con equipos certificados y de costo alto para llevar a cabo estas tareas.

El proceso de liberación de la aeronave conlleva alto riesgo de daño o inclusive pérdida total o parcial de los componentes y equipos que se emplean en las tareas de liberación de las aeronaves. Cuando un componente o un equipo son afectados o reportados con daños, este reportaje produce demoras en los cronogramas de trabajo afectando el aérea técnica del CIDFAE.

6.3. JUSTIFICACIÓN

La crisis económica que atraviesa el estado Ecuatoriano afectó de manera directa a los sectores que realizan tareas de investigación con la disminución de recursos económicos. Razón por la cual en el CIDFAE las tareas de liberación de las aeronaves se han convertido en tareas lentas y que se rigen a estrictos parámetros

de control y responsabilidad de quienes las ejecutan. Esto ha provocado la demora en pruebas de validación de los diferentes prototipos que desarrolla el CIDFAE.

Una manera de optimizar recursos en las tareas de acondicionamiento de señales, adquisición de datos, transmisión de datos es mediante el uso de sistemas embebidos (Cherukuri 2014). Los sistemas embebidos en la actualidad han evolucionado notablemente tal es el caso que actualmente un sistema embebido tiene un núcleo de 32 e incluso de 64 bits de procesamiento (ARM Ltd, 2018), manejo de periféricos especiales como el I2C, SPI, UART, USB, Conversores ADC, Conversores DAC, protocolos y estándares de comunicación como el CANBUS, Ethernet. Los sistemas embebidos son herramientas en constante evolución que disponen de soporte técnico permanente. (Chtourou, Kharrat, Ben Amor, Jallouli & Abid, 2018)

La herramienta aquí propuesta plantea diseñar e implementar un sistema basado en un micro controlador de 32 bits, que se pueda programar y configurar en una plataforma de código abierto. Esto se lo hace teniendo en consideración la problemática del CIDFAE relacionada a los altos costos que conlleva realizar las tareas de liberación de aeronaves con equipos licenciados. También se ha tomado en cuenta el interés del estado ecuatoriano en realizar tareas de investigación usando software libre (Presidencia de la República del Ecuador, 2008).

6.4.OBJETIVOS

6.4.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un prototipo de sistema electrónico para extraer transformar y compartir información de equipos a bordo de un UAV del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana”

6.4.2. Objetivos específicos.

- Determinar las variables a compartir entre los equipos a bordo del UAV.
- Diseñar la tarjeta electrónica para realizar las tareas de extracción, transformación y carga de información entre los equipos a bordo del UAV.

- Establecer comunicación con el HMI del CIDFAE para comprobar el nivel de confianza del sistema desarrollado bajo código abierto.

6.5. Análisis de Factibilidad

El CIDFAE cuenta con las herramientas bibliográficas, técnicas, administrativas... necesarias para implementar el sistema de extracción, transformación y carga de información entre equipos a bordo de un UAV. Las herramientas disponibles se detallan a continuación.

6.5.1. Factibilidad técnica

Actualmente se cuenta con varias alternativas tecnológicas que permiten desarrollar sistemas de adquisición de datos de grandes prestaciones. Además el departamento de producción del CIDFAE ha sido el encargado de realizar las tareas de liberación de las aeronaves la experiencia y conocimientos adquiridos por el personal involucrado será un punto clave para el presente desarrollo.

6.5.2. Factibilidad organizacional

La estructura del CIDFAE en la que basa su funcionamiento es de orden militar, es decir de orden jerárquico. Razón por la cual es posible coordinar con los departamentos administrativo y técnico de la institución previa coordinación con los jefes departamentales.

6.5.3. Factibilidad económica

Económicamente el proyecto es factible el CIDFAE cuenta con los recursos tecnológicos, equipos, sensores, componente electrónicos que van a bordo del UAV y el personal técnico es parte del reparto militar en el que se va a efectuar la investigación.

Por otra parte el diseño y componentes que formarán parte del sistema a implementar son de costos accesibles para el investigador, por lo cual la presente propuesta es factible económicamente.

6.5.4. Factibilidad operativa

El recurso humano técnicos e investigador cuentan con experiencia en labores de investigación orientada a tareas de aviación, también cabe recalcar que se cuenta con manuales, memorias técnicas, órdenes de ingeniería, manuales de usuario, artículos indexados que servirán como línea base y punto de partida para la presente propuesta.

6.6. Fundamentación

El desarrollo del presente proyecto se realizará con fundamentación filosófica crítico propositivo; es crítico porque se realiza un cuestionamiento orientado al coste económico de los equipos que se utilizan para el sistema ETL implementado por el CID-FAE actual, y basados en esto se realiza una propuesta como solución al problema. Es propositivo ya que tiene como línea base investigaciones y resultados previos obtenidos en tareas de intercambio de información a bordo del UAV con otros equipos y sistemas ya probados.

6.7. Definiciones Generales

6.7.1. Sistemas de adquisición de datos

“Se considera sistema de adquisición de datos (DAQ) al conjunto de componentes tanto en hardware como software que tienen la capacidad de medir algún fenómeno físico o eléctrico. Para lo cual utilizan computadores, FPGA, PLC” (Dynatronic-tech.com, 2018).

El objeto de recopilar datos es realizar el análisis o documentar el comportamiento de algún fenómeno físico como humedad, temperatura, velocidad... (Es.omega.com, 2018).

Los DAQ están constituidos por convertidores analógicos digitales ADC, convertidores digitales analógicos D/A, Entradas y Salidas Digitales DIO, interfaz de bus de propósito general GPIO, resolución en el proceso de adquisición de datos, interfaz de comunicación RS-232, RS-485, frecuencia de muestreo. Los mismos que se explican a continuación.

Convertidor Analógico Digital ADC.- El modulo se encarga de adquirir señales variantes en el tiempo y entregarla en el mundo digital.

Convertidor Digital analógico D/A.- Toma valores de formato digital generados en la unidad central de proceso y los transporta a la salida como una señal variable en el tiempo.

Entradas y Salidas Digitales DIO.- Este periférico acepta valores discretos en el tiempo es decir pueden leer dos estados 0 o 1 lógicos, dependiendo de su configuración puede adquirir una señal o generar una señal.

Interfaz de bus de propósito general GPIO.- Sinónimo de GPIB (por Hewlett-Packard), el bus estándar que se utiliza para el control de instrumentos electrónicos con un ordenador. También llamado IEEE 488 en referencia a la definición de ANSI / IEEE... (Es.omega.com, 2018).

Resolución.- La señal de variación más pequeña que puede ser detectada por un sistema de adquisición de datos (Es.omega.com, 2018).

Interfaz de Comunicación.- Es el medio físico y el conjunto de reglas que son utilizados por los DAQ para compartir o intercambiar información con otros dispositivos como computadoras, PLC, FPG (Es.omega.com, 2018).

Frecuencia de Muestreo.- “Es la velocidad a la que un sistema de adquisición de datos recoge información. La frecuencia de actualización de información se expresa normalmente en muestras por segundo. Para los dispositivos multi-canal de adquisición de datos, la frecuencia de muestreo se da típicamente como la velocidad del convertidor analógico-a-digital (A / D). Para obtener una Frecuencia de muestreo individual del canal, es necesario dividir la velocidad de la A / D por el número de canales que se muestra” (Es.omega.com, 2018).

6.7.2. Sensor

“Es un dispositivo capaz de variar una propiedad ante magnitudes físicas, químicas, o eléctricas. Las magnitudes físicas o químicas pueden ser presión, cantidad de luz, temperatura, velocidad, niveles de PH, turbidez en el agua, humedad... mientras que las magnitudes eléctricas pueden ser resistencia (RTD)

eléctricas, tensión eléctrica (termopares), corrientes eléctricas, niveles de voltaje. (Boyes, 2010)”.

6.7.3. Transductor

Un transductor es un dispositivo capaz de convertir el valor de una magnitud física en una señal eléctrica codificada, ya sea en forma analógica o digital. (Es.omega.com, 2018).

6.8. Metodología

El levantamiento de información fue realizada con inspecciones visuales y en coordinación con el personal de aerotécnicos del CIDFAE. Se analizó el estado actual del proyecto y las necesidades que a la presente tiene el CIDFAE. Se revisó la biblioteca del CIDFAE en el que ese encuentra la memoria técnica del desarrollo del proyecto DOCR.

La Arquitectura del proyecto Detección Observación Control y Reconocimiento (DOCR) mostrado en la Figura 6.2 tiene cuatro componentes que garantizan operaciones seguras en plataformas aéreas no tripuladas. Los componentes son. El UAV (Unmanned aerial vehicle), el Datalink (Sistema de Comunicaciones), la EMCT (La Estación de Mando y Control en Tierra), que incluye los Operadores y finalmente los Grupos de apoyo, (Austin, 2010).

El UAV es el encargado de adquirir información mediante el uso de sensores en punto remotos. Una vez adquirida la información utiliza el componente Data Link para transportar la información a la EMCT en la que los operadores monitorean permanentemente el desarrollo de la misión. En el caso de suscitarse un evento inesperado se informa a los grupos de apoyo que realicen tareas de rescate o socorro tal sea el caso (Austin, 2010).

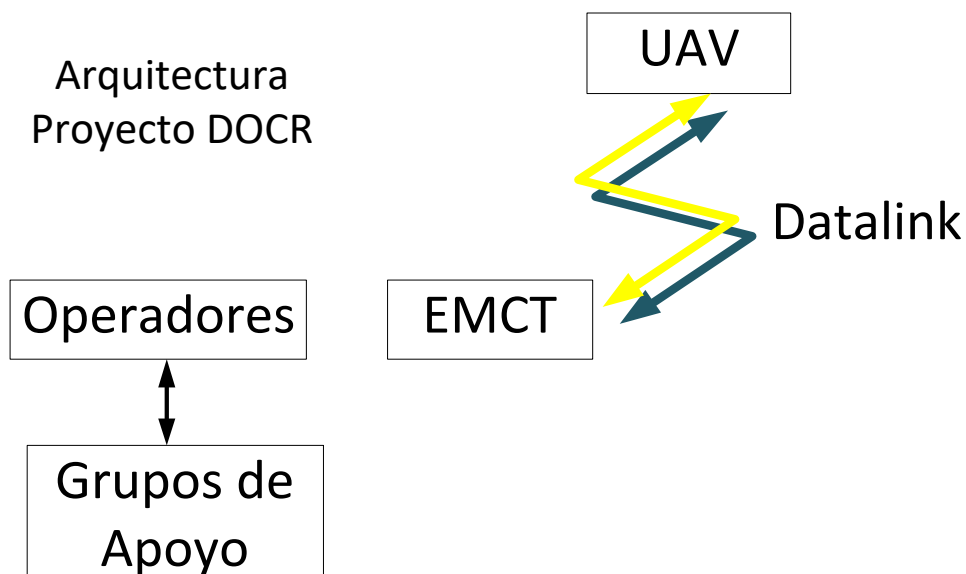


Fig. 6.2 Arquitectura del proyecto DOOCR
Elaborado por: Wilson Medina

El componente de interés de la presente investigación es el UAV. El UAV es el componente que lleva a bordo una gran cantidad de equipos para realizar de forma segura las misiones encomendadas en las tareas de detección, observación, control y reconocimiento.

6.9. Equipos a bordo del UAV

6.9.1. Descripción

A bordo del UAV se integran componentes y equipos de diferentes áreas los componentes son estructurales, mecánicos, instrumentos de medición (sensores), equipos electrónicos, sistemas de comunicaciones... El CIDFAE tiene clasificado por áreas los componentes y equipos utilizados para las tareas de vuelo los mismos que se muestran a continuación en la Tabla 6-1.

Tabla 6-1 Áreas y Equipos a bordo del UAV.

Área	Equipo	Descripción & Referencia Grafica
Guiado Navegación y Control (GNC)	Micropiloto	
Comunicaciones	Data Link	
	Sistema de Posicionamiento Global GPS	
Propulsión	Motor Meggitt MDS 342	
	Motor Zanzottera 498H	
Energía	Baterías	
	Alternador	

Elaborado por: Wilson Medina

6.9.2. Equipos del Área de Guiado Navegación y Control (GNC).

El equipo instalado a bordo del UAV es el micro piloto, dispositivo que ejecuta el algoritmo de control necesario para hacer vuelos autónomos del UAV.

6.9.3. Equipos del Área de Comunicaciones.

El área de comunicaciones integra los siguientes componentes.

- a) Datalink. El sistema Datalink es el encargado de establecer comunicación entre la aeronave UAV y la EMCT durante toda la misión.
- b) Sistema de Posicionamiento Global (GPS). El sistema de posicionamiento global es utilizado para saber la posición del UAV, los datos de latitud, longitud y altura son utilizados por en la EMCT para ubicar la aeronave en un punto referencial en el globo terráqueo.
- c) Sistema ETL es el encargado de obtener la información de los distintos equipos para compartirla entre ellos, además envía la información de todos los sistemas que están en el UAV a la EMCT utilizando un solo canal de comunicación optimizando los puertos de comunicación que tiene el Data Link.
- d) Instrumentación. Instalación y configuración de sensores para adquirir las señales físicas generadas en el UAV. Las señales que se instrumentan son. Niveles de voltaje, revoluciones por minuto, temperaturas, nivel de combustible, porcentaje de aceleración.
- e) Sensor Electro Óptico. Es el sensor que adquiere imágenes en tiempo real y mediante el uso del Data Link transmite imágenes a la EMCT.

6.9.4. Equipos del Área de Propulsión

El área de propulsión instala y calibra el motor de la aeronave. El UAV está diseñado para operar con dos tipos de motores diferentes. El motor Meggitt MDS 342 (Meggitt, 2018) y el motor Zanzottera 498H (Zanzottera Technologies Srl, 2018).

6.9.5. Equipos del Área de Energía.

El área de energía se encarga de dar autonomía a la aeronave UAV mediante el diseño, instalación y configuración de bancos de baterías, reguladores y protecciones para alimentar de energía los equipos que van a bordo del UAV.

En la Figura 6.3 se muestra el diagrama esquemático de la configuración de la aeronave UAV con el sistema de propulsión Medggitt MDS 342, mientras que en la Figura 6.4 se muestra la configuración dos de la aeronave UAV con el sistema de propulsión Zanzottera 498H.

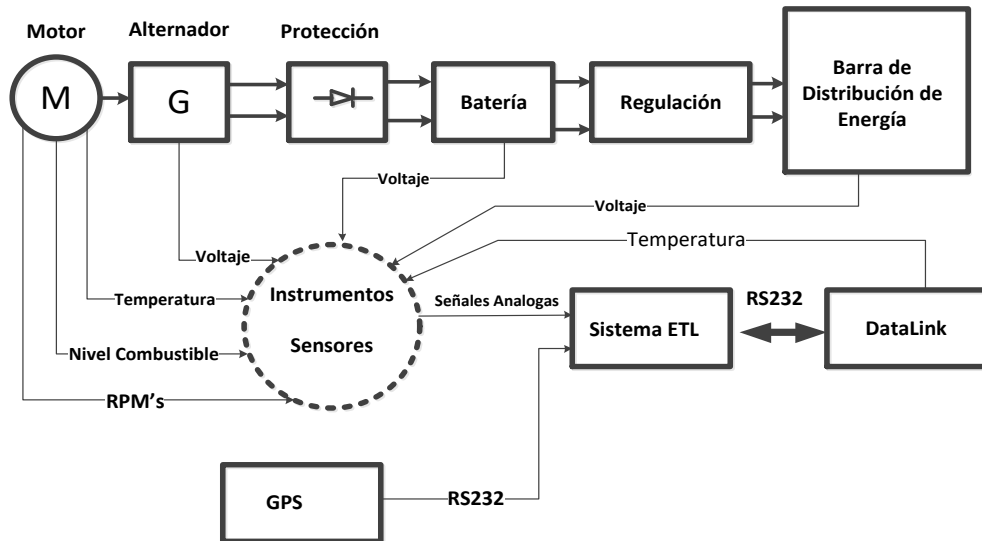


Fig. 6.3 Configuración de la aeronave UAV con el sistema de propulsión Meggitt MDS 342.

Elaborado por: Wilson Medina

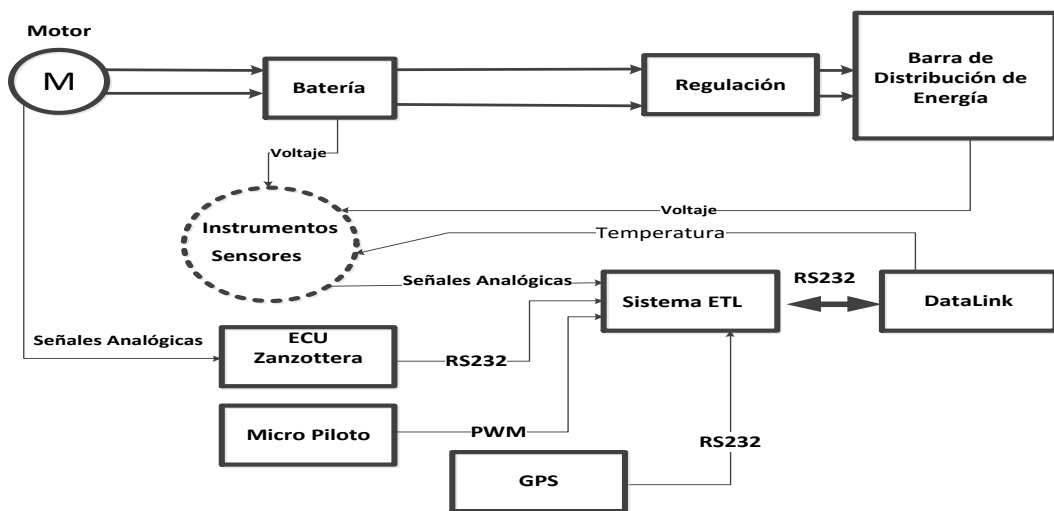


Fig. 6.4 Configuración de la Aeronave UAV con el sistema de propulsión Zanzottera 498H

Elaborado por: Wilson Medina

La información de los componentes físicos del sistema configurado con el motor Meggitt MDS342 mostrado en la Figura 6.3 es mediante protocolo analógico de comunicaciones, además es necesario instrumentar las señales como la lectura de RPMs, temperaturas y nivel de combustible.

En lo referente al Data Link, GPS el acceso a la información se lo realiza mediante el estándar de comunicaciones RS-232 (Forero Saboya, 2012).

La configuración dos de la Figura 6.4 corresponde al sistema de propulsión Zanzottera 498H el estado de funcionamiento es mediante el estándar de comunicaciones RS232. A diferencia de la configuración uno Figura 6.3 en la configuración dos Figura 6.4 es necesario adquirir una señal proveniente del Micro Piloto, la señal emitida por el Micro Piloto es una señal de tipo modulación por cuadratura de pulso (PWM). La señal PWM corresponde al valor de aceleración requerido por el micro piloto este valor es adquirido por el sistema ETL y es compartido con la Unidad de Control del Motor (ECU) del sistema Zanzottera 498H.

En la configuración uno y dos se adquieren las señales de niveles de voltaje del sistema de energía y también la señal de temperatura correspondiente al sistema Data Link. En las dos configuraciones en las que trabaja el UAV el nivel de combustible es monitoreado permanentemente.

Por su parte el sistema ETL debe tener la capacidad física y lógica para adaptarse a cualquiera de las dos configuraciones mostradas en la Figura 6.3 y Figura 6.4. Las configuraciones mostradas en las Figura 6.3 y Figura 6.4 son con las que el CIDFAE trabaja con el UAV actualmente.

El diagrama esquemático del sistema ETL implementado por el CIDFAE se muestra en la Figura 6.5 y Figura 6.6.

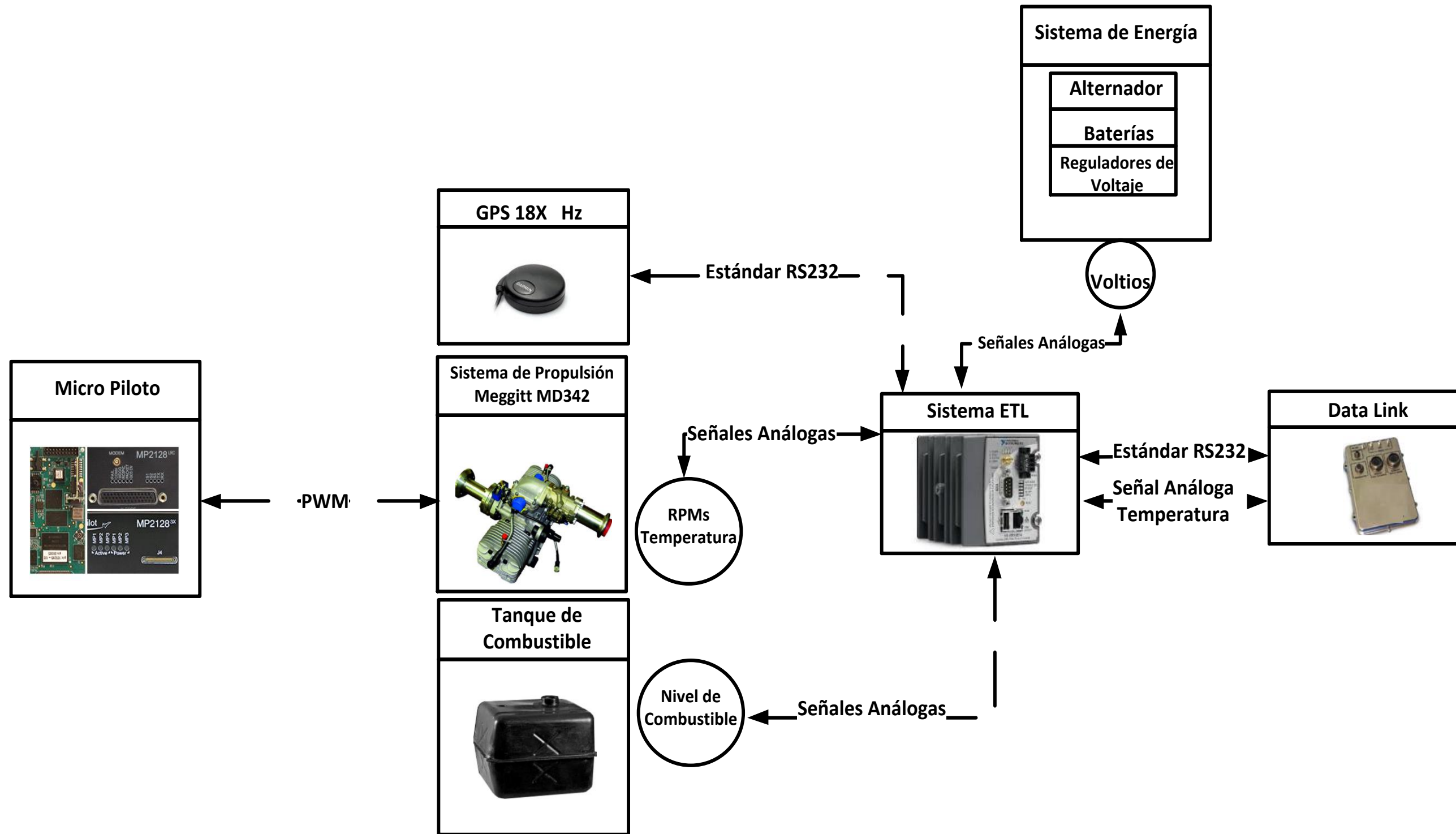


Fig. 6.5 Esquemático del sistema ETL con el sistema de propulsión Meggitt MD342.

Elaborado por: Wilson Medina

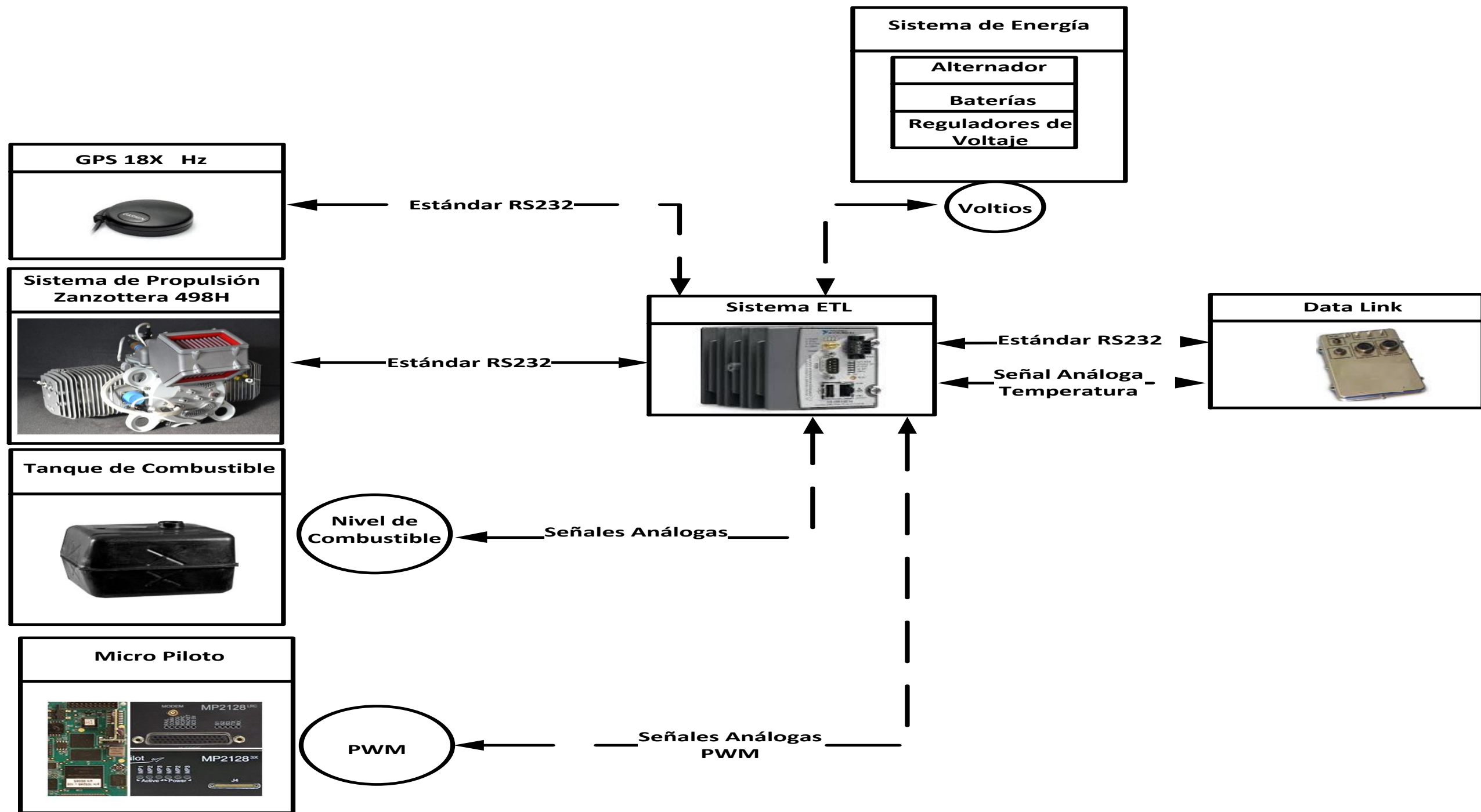


Fig. 6.6 Esquemático del sistema ETL con el sistema de propulsión Zanzottera 498H
 Elaborado por: Wilson Medina.

6.10. Características de los equipos a bordo del UAV.

En la sección 6.9. Equipos a Bordo del UAV se detalla los equipos que van a bordo del UAV realizando tareas específicas para garantizar operaciones y misiones seguras, en esta sección se describen las características de manera detallada de cada equipo y cada sensor que se utiliza para adquirir variables físicas, estado de sistemas para el intercambio de información.

6.10.1. Sistema de Posicionamiento Global GPS

El GPS emite la información de su posición mediante el estándar de comunicaciones RS232. El GPS que se utiliza en el UAV tiene la frecuencia de actualización de información de 5 Hz eso quiere decir que cada 200 milisegundos emite la trama de comunicaciones con la actualización de sus parámetros latitud, longitud, altura, velocidad...

6.10.2. Sistema de Propulsión

El sistema de propulsión del UAV pueden ser dos. El sistema de propulsión meggitt MD342 y el sistema de propulsión Zanzottera 498H, los dos sistema mencionados realizan la misma actividad en el UAV es decir los sistemas de propulsión dan la fuerza de empuje necesaria para poner la aeronave en el aire. Sin embargo, los sistemas de propulsión en lo referente a la instrumentación son muy diferentes.

El sistema Meggitt MD342 es instrumentado de forma analógica con la ubicación física de los sensores en las partes necesarias como cilindros, cabezotes... Por otra parte el sistema Zanzottera 498H tiene integrada una Unidad de Control del Motor ECU la misma que mediante el uso de la interface RS232 entrega información del estado de sus variables físicas como temperatura de cilindros, temperatura de tubos de escape, porcentajes de aceleración.

En la Tabla 6-2 y Tabla 6-3 se detallan los sensores que utiliza el CIDFAE para la obtención de los parámetros físicos de funcionamiento de los sistemas de propulsión Meggitt MD342 y Zanzottera 498H respectivamente.

Tabla 6-2: Especificaciones técnicas de los sensores del sistema de propulsión Medgitt MD342

Variable	Sensor	Rango	Referencia
Temperatura Cilindro Derecho	Termocupla tipo K	-50 a 200 °C	SA2F-K
Temperatura Cilindro Izquierdo	Termocupla tipo K	-50 a 200 °C	SA2F-K
Revoluciones por Minuto RPMs	Salida para tacómetro tipo pulso W	0 a 7000 RPM	Meggitt MD 342
Nivel de Combustible	Sensor de nivel capacitivo.	0 a 7 galones	Princeton Capacitive fuel level probes

Elaborado por: Wilson Medina

Tabla 6-3: Especificaciones técnicas de los sensores de sistema de propulsión Zanzottera 498H.

Variable	Sensor	Rango	Referencia
Temperatura Cilindro Derecho	Incorporado en el Motor Zanzottera 498H	140 a 220 °C	http://www.zanzotteraeengines.com/en/engines/498h.html
Temperatura Cilindro Izquierdo	Incorporado en el Motor Zanzottera 498H	140 a 220 °C	http://www.zanzotteraeengines.com/en/engines/498h.html
Temperatura Tubo de escape derecho	Incorporado en el Motor Zanzottera 498H	Máximo 730 °C	http://www.zanzotteraeengines.com/en/engines/498h.html
Temperatura Tubo de Escape Izquierdo	Incorporado en el Motor Zanzottera 498H	Máximo 730 °C	http://www.zanzotteraeengines.com/en/engines/498h.html
Revoluciones por Minuto RPMs	Incorporado en el Motor Zanzottera 498H	1800 a 6700	http://www.zanzotteraeengines.com/en/engines/498h.html
Acelerómetro	Incorporado en el Motor Zanzottera 498H	0% a 100 %	http://www.zanzotteraeengines.com/en/engines/498h.html
Nivel de Combustible	Sensor de nivel capacitivo.	0 a 7 galones	Princeton Capacitive fuel level probes

Elaborado por: Wilson Medina

6.10.3. Micro Piloto

El micro Piloto es un sistema completamente autónomo sin embargo, requiere compartir información con el sistema de propulsión Zanzottera 498H el micro piloto emite una señal analógica de tipo PWM, la señal PWM emite un pulso en alto de una duración que va desde 0 mili segundos hasta 1 milisegundo, la Figura 6.7 muestra el porcentaje de aceleración, en la Figura 6.7 se puede apreciar que el porcentaje de aceleración es directamente proporcional al tiempo en alto es decir 0 milisegundos en alto 0% de aceleración, 1 milisegundo en alto 100 % de aceleración. Ese valor es transmitido a la ECU para posicionar el acelerómetro en el punto requerido por el micro piloto.

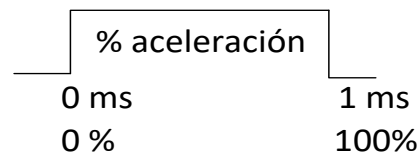


Fig. 6.7 Señal de aceleración del micro-piloto.

Elaborado por: Wilson Medina

6.10.4. Sistema de energía.

El sistema de energía adquiere, almacena, regula y entrega energía a los equipos a bordo del UAV. Las cargas a bordo del UAV consumen voltajes comprendidos entre 28 voltios, 12 voltios y 6 voltios. Estos voltajes son monitoreados periódicamente para tener seguridad de que las cargas están siendo alimentadas y no existe ninguna deficiencia en el funcionamiento.

6.10.5. Sistema Data Link

El sistema Data link del UAV (Medina-Pazmiño and Jara-Olmedo, 2017) tiene la capacidad de transportar información de manera remota y en tiempo real a grandes distancias incluso ha superado los 100 kilómetros de distancia. Puede transmitir 4 señales de video de forma simultánea además tiene 3 canales de comunicación seriales RS232.

Los canales de comunicación seriales del estándar RS232 resultan limitados en el caso de que cada sistema pretenda transmitir la información a tierra por cuenta propia, por esta razón es importante contar con un sistema que extraiga la información la transforme y la cargue (Sistema ETL) en los dispositivos que requieran y la comparta con la EMCT.

6.11. Algoritmo de funcionamiento

El sistema ETL instalado a bordo del UAV adquiere información proveniente de diferentes fuentes de información. La información que adquiere debe ser transformada a formatos estandarizados o parámetros requeridos por los otros equipos a bordo de la aeronave, o en su defecto debe ser transmitida a los operadores ubicados en la EMCT. Los operadores ubicados en tierra en la EMCT tienen un HMI con la que permanentemente están monitoreando el comportamiento de la aeronave UAV.

El algoritmo de funcionamiento del sistema ETL se lo detalla a continuación.

La Figura 6.8 muestra la lógica de funcionamiento que debe cumplir el sistema ETL a desarrollarse en código abierto el sistema debe atender varias eventos los mismos que se producen de manera asíncrona es decir no se sabe el momento que se produzcan razón por la cual la mejor opción es aguardar por la generación de dichos eventos.

La técnica aplicada para poder atender las diferentes solicitudes de todos los sistemas es mediante el manejo de eventos o como se conoce a nivel de micro controlador manejo de interrupciones para ello se asignan niveles de prioridad basados en la importancia que representa en la misión del UAV cada componente.

El nivel prioritario se asigna considerado el "0" la mayor jerarquía en prioridad. En el UAV el sistema de micro piloto es el que ejecuta el algoritmo de control para realizar el vuelo autónomo razón por la cual se asignan el nivel de mayor jerarquía nivel 0. El sistema de propulsión se liga directamente con el micro piloto, el motor toma los requerimientos del micro piloto y ejecuta lo solicitado por eso es asignado con nivel jerárquico 1.

Con la seguridad de mantener la aeronave UAV en aire mediante la operación del micro piloto y el motor el siguiente nivel “2” es el de comunicación con el Data Link. Los operadores ubicados en la EMCT pueden realizar requerimientos y modificaciones al plan de vuelo del UAV la comunicación enviada desde la EMCT utiliza un canal estandarizado RS232 para intercambiar información con los equipos a bordo del UAV.

La prioridad “3” se asignada a los datos analógicos como son niveles de voltaje, temperaturas, nivel de combustible. Los datos analógicos son de alta inercia es decir la modificación de su estado y de su valor es lento su variación no es instantánea.

Por último el nivel jerárquico “4” de eventos se asigna al GPS se considera muy importante la tarea o misión que sale a cumplir la aeronave sin embargo, las fallas que pueden ocasionar el GPS a bordo del UAV no ponen en riesgo la seguridad humana o de la aeronave, es la razón por la cual está valorada con el nivel menos jerárquico.

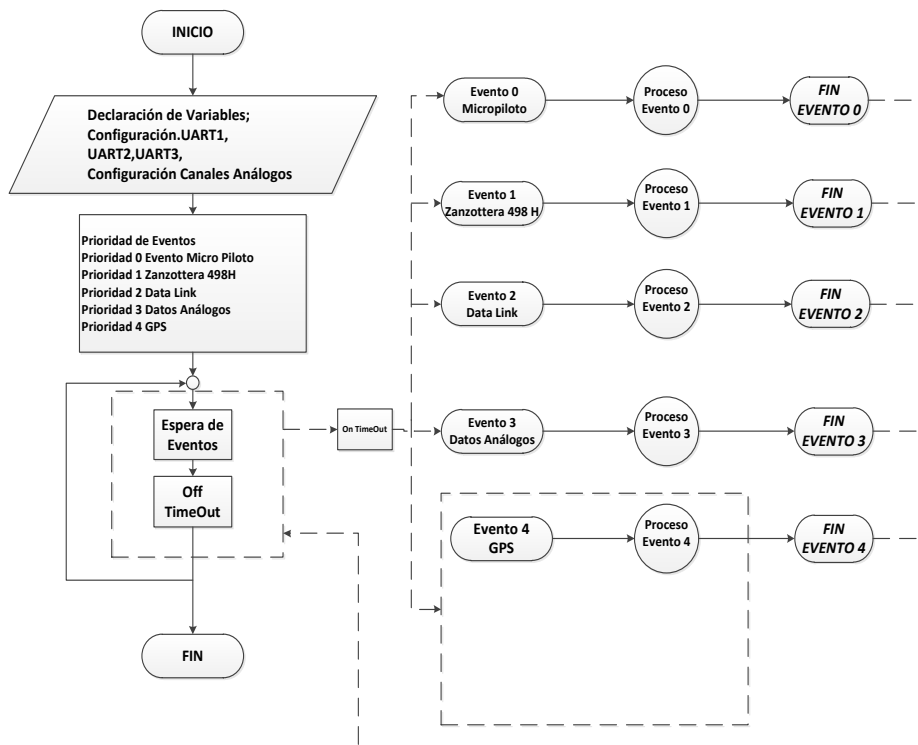


Fig. 6.8 Algoritmo lógico de funcionamiento del sistema ETL desarrollado bajo código abierto

Elaborado por: Wilson Medina

6.12. Diseño del Sistema ETL desarrollado bajo código abierto.

El diseño electrónico del sistema ETL contempla las siguientes etapas. *a)* Acondicionamiento de señales para el sistema ETL, *b)* Adquisición de datos por parte del sistema ETL *c)* Estandarización de los datos adquiridos datos por el sistema ETL y *d)* Intercambio de información mediante el sistema ETL. A continuación se detalla cada una de las etapas del diseño del sistema ETL implementado bajo código abierto.

6.12.1. Acondicionamiento de señales para el sistema ETL

El diseño de los circuitos de acondicionamiento de señal es establecido en relación al tipo de variable y sensor que se utiliza para la adquisición de las variables. A continuación en la Tabla 6-4 se detalla el tipo de sensor y las condiciones de operación basados en cada área que integra la aeronave UAV.

Tabla 6-4: Sensores y variables del sistema de Energía.

Variable	Sensor	Rango de Operación	Detalle
Voltaje	Divisor de tensión	0-40 [V]	Voltaje del alternador del sistema de energía.
Voltaje	Divisor de tensión	0-40 [V]	Voltaje de alimentación de la plata externa
Voltaje	Divisor de tensión	0-40 [V]	Voltaje de alimentación del banco de baterías
Voltaje	Divisor de tensión	0-40 [V]	Voltaje de alimentación cargas de 28 Voltios
Voltaje	Divisor de tensión	0-20 [V]	Voltaje de alimentación cargas de 12 Voltios
Voltaje	Divisor de tensión	0-20 [V]	Voltaje de alimentación cargas de 6 Voltios
Corriente	Sensor efecto hall HASS (Current Transducer HASS 50..600-S, 2018)	0-5 [V]	Corriente de alimentación de entregada por el alternador del sistema de energía.
Corriente	Sensor efecto hall HASS [(Current Transducer HASS 50..600-S, 2018)	0-5 [V]	Corriente de carga o entrega del banco de baterías.

Elaborado por: Wilson Medina

6.12.2. Acondicionamiento Señales de Voltaje

Para las variables del sistema de energía Tabla 6-4 se requiere acondicionamiento de señal que baje los niveles de tensión de 40 voltios a señales de 5 voltios o 3.3 voltios eso dependerá del sistema de adquisición de datos. Por otra parte las señales de corriente son entregadas por un sensor de efecto hall, los valores los entrega en el rango de 0 a 5 voltios.

Para acondicionar los niveles de voltaje se utiliza divisores de voltaje esquemáticamente representados en la Figura 6.9.

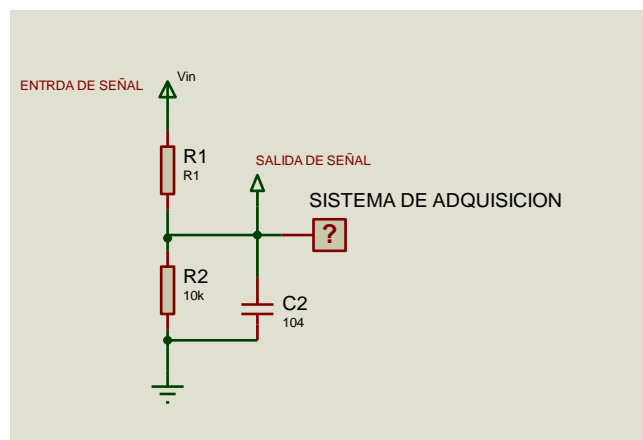


Fig. 6.9 Acondicionamiento de señales de voltaje.

Elaborado por: Wilson Medina

Para calcular el valor de tensión de salida se utiliza la siguiente relación

$$V_{out} = \frac{V_{int} * R2}{R1 + R2}$$
 la relación indicada obtiene el valor del voltaje de salida en función de la tensión de entrada y el valor de las resistencias.

6.12.3. Acondicionamiento Señales de Corriente

El sensor de corriente de efecto hall es mostrado en la Figura 6.10 el mismo que entrega la señal acondicionada, es decir tiene un transductor interno que realiza la tarea de acondicionamiento y transmisión de señal, la señal que entrega está en niveles de voltaje en el rango de 0 a 5 Voltios.



Fig. 6.10 Sensor de corriente de efecto Hall.

Fuente: (RS, 2018)

6.12.4. Acondicionamiento Señales del sistema de Propulsión Meggitt MDS342

La Tabla 6-5 contiene los sensores y variables que el sistema de propulsión Meggitt MDS 342 requiere que se monitoree.

Tabla 6-5: Sensores y variables del sistema de propulsión Meggitt MDS342.

Variable	Sensor	Rango de Operación	Detalle
Temperatura	Termocupla tipo K	0-200 [C]	Temperatura del cilindro derecho del motor Meggitt MDS 342
Temperatura	Termocupla tipo K	0-200 [C]	Temperatura del cilindro izquierdo del motor Meggitt MDS 342
Revoluciones por minuto	Detector de pulsos	0-1000 [rpm]	Revoluciones por minuto del motor.
Nivel de combustible	Princeton Capacitive fuel level probes	0-10 [Gal]	Mide el nivel del tanque de combustible
Nivel de combustible	Princeton Capacitive fuel level probes	0-10 [Gal]	Mide el nivel del tanque de combustible

Elaborado por: Wilson Medina

Temperatura

Las variables de temperatura del sistema de propulsión Meggitt MDS 342 son termopares de tipo K para acondicionar este tipo de señales existen varias

alternativas de las cuales para la presente implementación utilizaremos el circuito integrado AD595 como se muestra en la Figura 6.11.



Fig. 6.11 Circuito Integrado AD595
Fuente: (Sparkfun Start Something, 2018)

Revoluciones por Minuto (RPMs)

En lo referente a las revoluciones por minuto a medir se muestra la forma de onda de la señal que genera el motor a la salida de una boina de ignición del motor MDS 342 como se puede observar a continuación en la Figura 6.12.

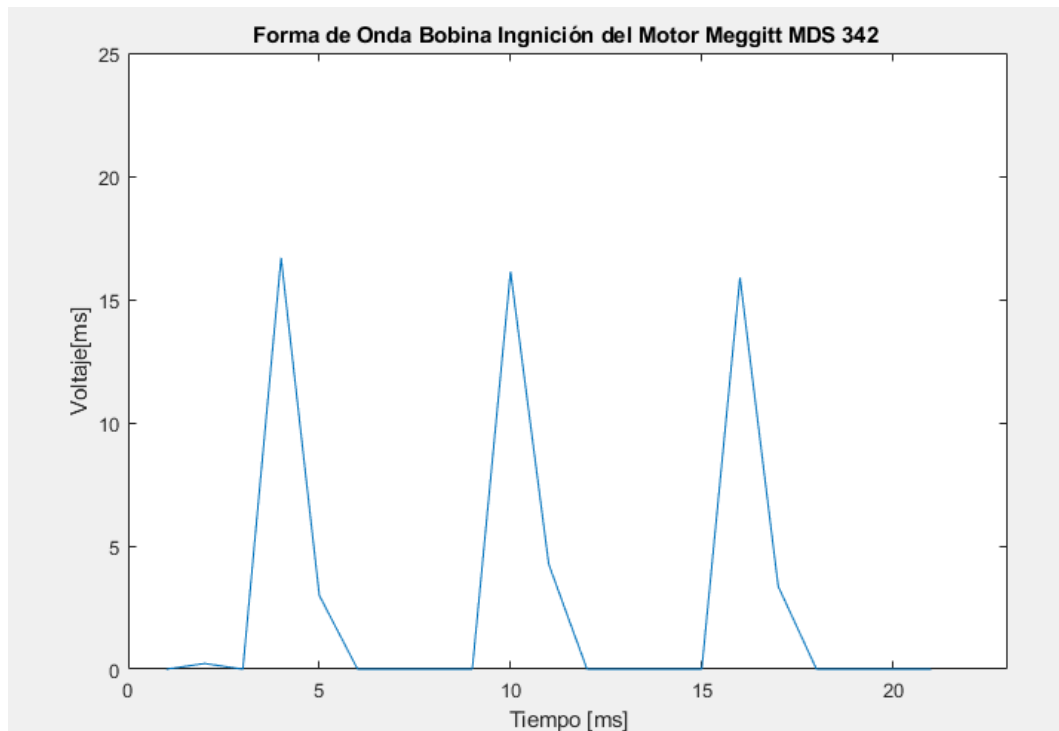


Fig. 6.12 Forma de onda de la Señal de la bobina de RPMs del motor Meggitt MDS 342.

Elaborado por: Wilson Medina

Para la implementación del acondicionador de señal de la bobina de ignición del motor se realiza el análisis mediante un circuito de aislamiento óptico con la finalidad de no estar referenciados eléctricamente la parte electrónica a la estructura del motor para evitar algún daño por descarga o sobrecarga del mismo. Entre las opciones analizadas se encuentra como opción el circuito integrado pc817 el circuito integrado opto acoplador es mostrado en la Figura 6.13.

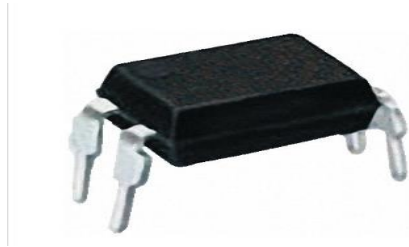


Fig. 6.13 Opto acoplador PC817.

Fuente: (I+D Electrónica, 2018)

Entre las principales características de este circuito integrado se puede mencionar. *a)* voltaje de aislamiento 5000 Vrms, *b)* entrada DC *c)* salida tipo transistor *d)* un canal de entrada.

Nivel de Combustible

Para la medición de Nivel de Combustible el CIDFAE tiene un sensor de aviación el Princeton Capacitance Fuel Probes mostrado en la Figura 6.14, el tipo de este sensor es capacitancia/admitancia el transmisor del sensor genera una señal analógica con cada giro de la turbina, esto es directamente proporcional al caudal que se genera.

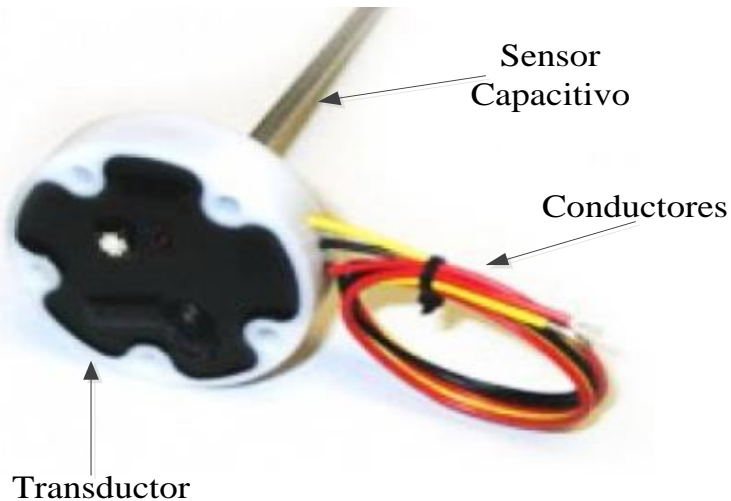


Fig. 6.14 Sensor de nivel de combustible Princeto Capacitance Fuel Probes
Fuente: (Princeton Electronics, Inc, 2018)

6.12.5. Sistema de propulsión Zanzottera 498H.

El sistema de propulsión Zanzottera 498H requiere monitorear las variables que se muestran en la Tabla 6-6.

Tabla 6-6 Sensores y variables del sistema de propulsión Zanzottera 498H

Variable	Rango de Operación	Detalle
Temperatura Cilindro Derecho	0 a 220 °C	Petición master esclavo RS232
Temperatura Cilindro Izquierdo	0 a 220 °C	Petición master esclavo RS232
Temperatura Tubo de escape derecho	Máximo 730 °C	Petición master esclavo RS232
Temperatura Tubo de Escape Izquierdo	Máximo 730 °C	Petición master esclavo RS232
Revoluciones por Minuto RPMs	1800 a 6700	Petición master esclavo RS232
Acelerómetro	0% a 100 %	Petición master esclavo RS232

Elaborado por: Wilson Medina

Las señales que entrega el sistema de propulsión Zanzottera 498H son mediante el estándar de comunicación RS-232.

La ECU del sistema de propulsión Zanzottera 498H trabaja en el modo maestro-esclavo, la ECU del Zanzottera 498H responde a las peticiones que le realiza un dispositivo con estándar RS-232.

Los comandos de comunicación que el sistema de propulsión Zanzottera 498H admite son cuatro *a) Reset, b) Read, c) Write d) Get ConFiguration*. El sistema de propulsión Zanzottera 498H por medio de la ECU responde al dispositivo cliente mediante interfaz RS232, en la trama de comunicación existe un registro para determinar si la trama contiene errores o no, el algoritmo que utiliza es el Checksum [Chks] este registro es la suma de todos los registros de la trama en modo 8 bits. La trama de comunicaciones de que acepta la ECU se indica a continuación en la Tabla 6-7.

Tabla 6-7 Estructura de la trama de comunicaciones sistema de propulsión Zanzottera 498H

Command	Client ask to ECU	Server (ecu) answer to Client
Reset	:##	:OK!chks Command received correct internal register reset. :NOTchks Unrecognized command
Read	:RDxxxxxxxxyyychks	:NOTchks Unrecognized command :DTaabb...zzchks Where aabb...zzchks are the number of data asked. Each couple is in hexadecimal format for each byte
Write	:WRxyyaabbcc...zzchks	:NOTchks Unrecognised command :OK!chks Command recived correct. Write the data
Get ConFfiguration	:CF000000000000chks	:NOTchks Unrecognised command :Ctaabb.....zzchks Command received corret. Where aabb..zz are the data about configiration of the ECU

Fuente: (Biblioteca CIDFAE, 2016)

En el presente desarrollo se utiliza las funciones de lectura y escritura.

Interpretación de la trama de comunicaciones.

Trama 1

Petición de lectura Cliente

:RD00FFF0800020

Respuesta sistema de propulsión Zanzottera 498H

:DT00000003BFE3BFE006600660066006605DC006502F8028B009A00B100CF0092V

Decodificación de la trama de datos.

Unsigned short erCounter → 0000
Unsigned short Rpm → 0000
//Engine rev. counter (1 eng. revol. per Bit)
Unsigned short Injection[0] → 3BFE
Unsigned short Injection[1] → 3BFE
//Rpm value (1 rpm per Bit)
Unsigned short Spark[0] → 0066
Unsigned short Spark[1] → 0066
Unsigned short Spark[2] → 0066
Unsigned short Spark[3] → 0066
//Spark advance (0.25 Degree per Bit)
Unsigned short Phase → 05DC
//Injection phase (0.1 Degree per Bit)
Unsigned short Throttle → 0065
//Throttle position (0.1% per Bit)
Unsigned short Barometric → 02F8
//Barometric (1 mBar per Bit)
Unsigned short Vbatt → 028B
//Battery voltage (0 is 0.65V – 1023 is 17.99 V) linear interpolation
Signed short Cht_L → 009A
//Cylinder Head temp. left (0.1 °C per bit)
Signed short Cht_R → 00B1
//Cylinder Head temp. right (0.1 °C per bit)
Signed short Egt_L → 0CF
//Exhaust gas temp. left (0.1 °C per bit)
Signed short Egt_R → 092
//Exhaust gas temp. right (0.1 °C per bit)

FRAME 2 :DT000000640064640100000000q

Unsigned short Fuel pressure → 0000
//Fuel pressure (1 mBar per bit)
Signed short AirTemp → 0064
//Air temperature (0.1 °C per bit)
Unsigned char Triax → 00
//Triax accelerometer alarm value
Unsigned char EngTemp → 64
//engine temperature (0 is -30 °C – 255 is 129.75 °C) linear interpolation
Unsigned char AltTemp → 64
//alternator temp. (0 is -30 °C – 255 is 129.75 °C) linear interpolation
Unsigned char FFTEnabled → 01
//FFT reading enable flag (0-disabled; 1-enabled)

```
Unsigned short DutyPump → 0000
// Fuel pump command Duty (0.1 % per bit).
```

6.12.6. Sistema de Data Link.

En la Tabla 6-8 se muestra los sensores que están en el sistema de comunicaciones Data link.

Tabla 6-8: Sensores y variables del sistema Data Link

Variable	Sensor	Rango de Operación	Detalle
Temperatura	Termocupla tipo K	0-50 [°C]	Temperatura del amplificador de señal

Elaborado por: Wilson Medina

El sistema de Data Link cuenta con un dispositivo de amplificación de señal el mismo que no debe sobrepasar los 50 °C en operación en el caso de existir un sobre calentamiento, el personal técnico podrá disminuir el nivel de potencia del amplificador.

6.13. Adquisición de datos para el sistema ETL.

En la actualidad existen varias alternativas que pueden ser utilizadas para realizar las tareas de adquisición de datos del mundo físico al mundo informático. Casas comerciales como Microchip, STMicroelectronics, National Instruments son algunas de las empresas que desarrollan sistemas embebidos multifunción con la finalidad de brindar versatilidad a la hora de utilizar sus equipos.

El CIDFAE requiere de un dispositivo que tenga la capacidad de configuración y programación mediante plataforma de código abierto. Las plataformas que entran en análisis son. a) Raspberry Pi, b) Arduino, c) STMicroelectronics los tres dispositivos citados tienen su respectiva plataforma de desarrollo bajo código abierto con esto se cumple el principal requerimiento del CIDFAE.

Características físicas y especificaciones técnicas de las plataformas disponibles para la implementación del sistema ETL a ser desarrollado bajo código abierto.

Raspberry Pi 3 Especificaciones

El Raspberry Pi 3 es un ordenador electrónico que consta de una placa base trae integrados periféricos de entrada y salidas, memoria y procesador.

Entre las características más importantes de este dispositivo se puede citar las siguientes.

El procesador pertenece a la familia ARM Cortex-A53 las tareas las ejecuta a una velocidad de 1,2 GHz. El dispositivo tiene integrada 1GB en memoria RAM.

La conectividad que soporta para transferir información con otros dispositivos es mediante Ethernet 10/100 BaseT, 802.11 b / g / n LAN inalámbrica y Bluetooth 4.1 (Classic Bluetooth y LE).

Los periféricos de salida del Raspberry Pi 3 son de audio, video, puertos USB y pines GPIO configurables a las necesidades del usuario. También trae incorporada una ranura para memoria Micro SDIO que es en donde se almacena el Sistema Operativo que usualmente es un Linux Código Abierto (Pccomponentes.com, 2018). En la Figura 6.15 se muestra el dispositivo Raspberry pi3.



Fig. 6.15 Dispositivo Raspberry pi3
Fuente: (PC Componentes, 2018).

Arduino Due

El dispositivo electrónico Arduino Due es una tarjeta de adquisición de datos que está construida por Microcontrolador de 32 bits de la familia CortexM3 ARM. El voltaje de operación está en el rango de 0 a 3.3 Voltios. Dispone de 54 pines configurables como entrada y salida para procesos de adquisición de datos y control de actuadores. Las interfaces de comunicación que tienes son: *a)* Interface UART 4, *b)* Interface CanBus 1, *c)* Interface SPI 1, *d)* Interface I2C 1 (Fecegypt.com, 2018). La tarjeta electrónica Arduino Due se indica en la figura 6.16.

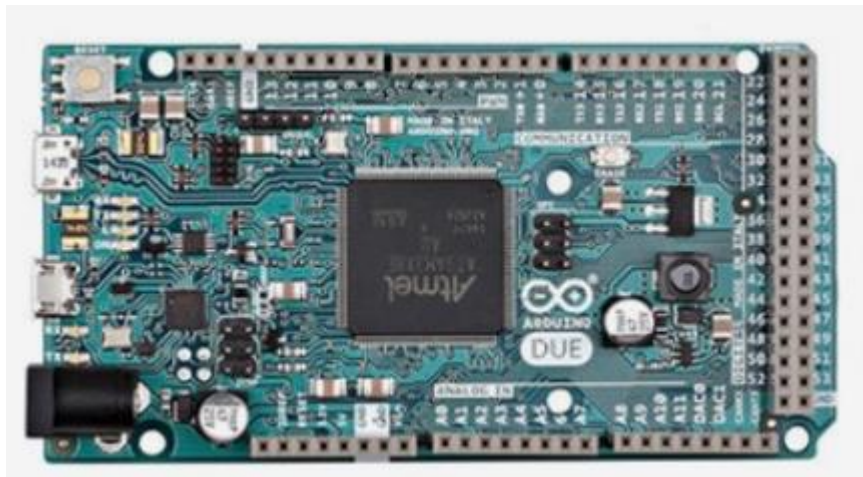


Fig. 6.16 Arduino DUE
Fuente: (Adriano Gandolfo, 2018)

STM32F334R8

Las placas de electrónicas de adquisición de datos de la serie STM32 Núcleo 64 proporcionan el usuario una forma flexible, fácil y sencilla de utilizar la nueva tecnología de Microcontroladores de núcleo de 32 bits en su interior consta de un microcontrolador Cortex-M4 32-bit, dispone de 51 Pines Digitales I/O (10 pueden ser salidas de tipo PWM), cuenta con 12 Pines de entrada analógicas y dos salidas analógicas de tipo DAC. Las interfaces de comunicaciones con las que cuenta son las siguientes Interface UART 4, Interface CanBus 1, Interface SPI

1, Interface I2C 1. Velocidad de ejecución 72 MHz (máximo). La placa STM32 Nucleo-64 no requiere ninguna sonda separada ya que integra la ST-LINK / V2-1 depurador y programador. En la Figura 6.17 se indica la placa de adquisición de datos STM32F334R8.



Fig. 6. 17 Núcleo 64 F334R8
Fuente: (ST life.augmented, 2018)

6.13.1. Decisión del dispositivo para el hardware del sistema ETL.

De la Figura 6.6 se tiene como requerimientos de hardware 3 puertos de comunicación serial UART los mismos que se utilizarían para el sistema de propulsión, el sistema data link y el dispositivo GPS. El referente a las Tablas 6-4, 6-5 y 6-8 el sistema requiere 12 entradas de señal analógica para adquirir las señales de voltaje, corriente, temperatura, nivel de combustible. Por otra parte se requieren dos señales de entrada digital una que cuente el valor de las RPMs del sistema de propulsión Medggitt MD342 y la segunda entrada para adquirir el valor de la señal del micro piloto Figura 6.7.

Por las necesidades descritas la opción de Raspberry Pi 3 no es la opción más adecuada pese a su gran capacidad de procesamiento y múltiples interfaces de

comunicación sumado a esto la posibilidad de ser programada mediante el uso de plataformas de open source.

La razón por la que no es la opción más adecuada es la manera de acondicionar las señales analógicas. Para adquirir las señales de tipo analógicas el Raspberry Pi 3 necesita cantidad de hardware extra debido a que el dispositivo en mención no maneja lectura de variables analógicas de manera directa. Para adquirir este tipo de variables utiliza interface I2C o SPI por este motivo se descarta la opción 1.

Mientras que la opción dos Arduino Due y la opción 3 STM32F334R8 se adaptan a los requerimientos de hardware del sistema ETL, de la misma manera la plataforma de programación está disponible en código abierto y respaldada por una comunidad de desarrolladores y colaboradores de aplicaciones y proyectos sobre estas plataformas (Os.mbed.com, 2018).

Una diferencia entre el Arruino Due y STM32F334R8 es la plataforma de programación. STM32F334R8 puede ser programado con la plataforma mbed de ARM y con el IDE de Arduino mientras que Arduino Due puede ser programado únicamente con el IDE de Arduino.

En el campo investigativo existen varias publicaciones que han sido desarrolladas con las dos plataformas en mención. Sin embargo en (Incicco, De Ferraris and Real, 2015) se menciona un proyecto orientado a UAVs con tareas de control y adquisición e datos muy parecido al planteado en la presente propuesta.

Guiados en los resultados obtenidos en (Incicco, De Ferraris and Real, 2015) además que se dispone de la suficiente bibliografía (St.com, 2018) y basados en el análisis descriptivo investigativo de características de las plataformas se decide migrara el sistema ETL a la arquitectura ARM Cortex M4.

6.14. Estandarización de datos del sistema ETL desarrollado bajo código abierto.

La etapa de estandarización de datos por parte de sistema ETL se llevará a cabo de manera individual. Es decir en el presente apartado se analiza cada uno de las

señales que el sétima ETL adquiere, cada uno de los equipos o sistemas que se conectan al sistema ETL.

6.14.1. Sistema de Energía

En la Tabla 6-4 referente a los sensores y variables del sistema de energía se detalló el valor de cada variable, en relación a la Tabla 9-4 se procede a detallar el diseño de la etapa de acondicionamiento de señales para el sistema de energía del UAV.

Entradas de voltaje.

Los niveles máximo de voltaje que el sistema de adquisición de datos admite es de 3.3 Vcc por su parte el sistema de energía entrega valores superiores a los 3.3 Vcc. Razón por la cual el diseño de la Figura 6.9 y la relación $V_{out} = \frac{V_{int} * R2}{R1 + R2}$ son utilizadas para encontrar el valor de las resistencias del divisor de voltaje.

$$V_{out} = \frac{V_{int} * R2}{R1 + R2}$$

$$V_{out} = 3.3V$$

$$V_{int} = 40V$$

El valor de $R1$ es un valor fijo basado en la disponibilidad en el mercado comercial, por su parte $R2$ se calcula hasta llegar a obtener un V_{out} lo más próximo al nivel máximo que soporta el sistema de adquisición de datos. Entre las técnicas y recomendaciones de diseño se debe considerar un margen de seguridad para la entrada del sistema de adquisición de datos. Este margen contempla dar seguridad si el valor de la entrada V_{int} sube del rango establecido

En el caso del sensor de corriente este tiene incorporado un transductor de 0 a 5 Voltios razón por la cual no existe el nivel de seguridad previo, sin embargo de forma similar se debe acondicionar el valor de entrada al sistema ETL a 3.3 Voltios. La Tabla 6-9 indica los valores de las resistencia utilizadas para el acondicionador de señal de los niveles de voltaje del sistema de energía con un rango de seguridad de 21%.

Tabla 6-9: Valores de la resistencia de los divisores de voltaje del sistema de energía

Vin [V]	R1 [Ω]	R2 [Ω]	Vout Micro [V]	Rango de Seguridad
40	4700	330	2,62	21,2%
20	3300	510	2,67	21,2%
5	820	1500	3,23	NA

Elaborado por: Wilson Medina

6.14.2. Sistema de propulsión Meggitt MDS 342

Las variables y condiciones para este sistema se muestran en la Tabla 6-5.

6.14.3. Diseño de los circuitos acondicionadores de temperatura.

El circuito integrado AD595 es el encargado de adquirir las señales del termopar acondicionarlas y entregarlas al Sistema implementado ETL de código abierto.

AD595 es un amplificador de instrumentación de termocuplas la relación de salida del CI AD595 es de 10mV/°C la Figura 6.18 muestra el diseño del acondicionamiento de señal conjuntamente con la recomendación de la hoja de técnica de datos del circuito integrado.

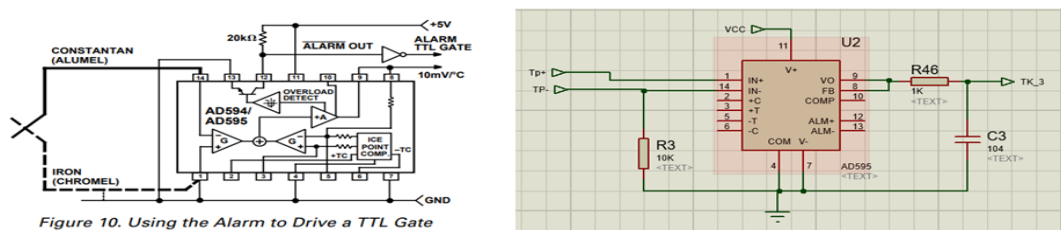


Figure 10. Using the Alarm to Drive a TTL Gate ("Grounded" Emitter Configuration)

Fig. . 6.18 Diseño del acondicionador de señal de termopar.

Elaborado por: Wilson Medina

El diseño de la Figura 6.18 es aplicado para las tres señales de termocuplas correspondientes a la temperatura cilindro derecho, temperatura cilindro izquierdo que están en la Tabla 6-5 y la temperatura del amplificador del Data Link mostrado en la Tabla 6-8.

El valor de salida que el CI AD595 puede entregar es de 5 voltios sin embargo el máximo nivel de temperatura que debe alcanzar los cilindros son de 200 °C, con 200 °C el valor de voltaje es de 2 Voltios es por esta razón que no es necesario realizar un divisor de voltaje para esta entrada. Al realizar el divisor de voltaje se perderá ancho de banda en la lectura de la señal de temperatura. Si el motor Meggitt MDS342 llega a sobrecalentamiento es decir sobrepasa el máximo nivel de temperatura el motor sufrirá daños irreparables y no tendría ningún sentido tratar de preservar el sistema de adquiredor de datos ETL.

6.14.4. Acondicionador de Revoluciones por minuto RPM.

La forma de onda de la señal de RPM que emite el motor mostrado en la Figura 6.12 debe ser acondicionada a señales de máximo 3.3 voltios, el monitoreo consiste en determinar los cambios de estado entre 0 voltios y 3.3 voltios, la señal es emitida por la bobina de ignición del motor. Para recibir esta señal por parte del sistema ETL de código abierto se lo realiza mediante el aislamiento óptico de la señal con el fin de preservar la entrada del sistema ETL la Figura 6.19 muestra el diseño implementado para la adquisición de la señal de RPMs

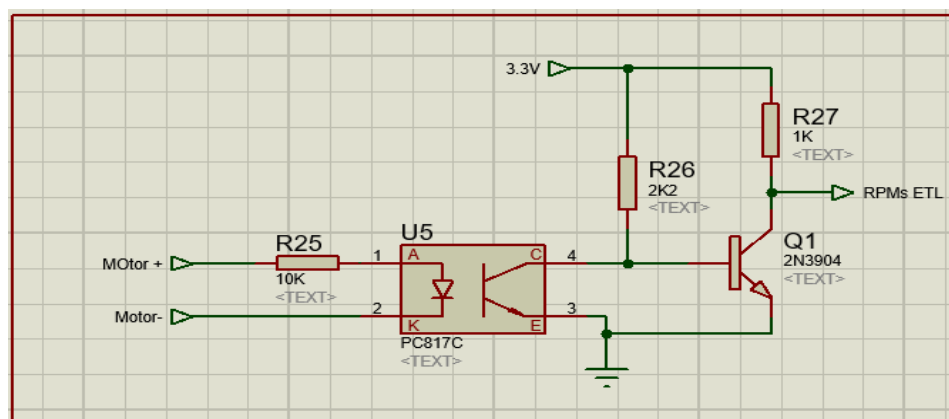


Fig. 6.19 Acondicionamiento óptico de la señal de RPM
Elaborado por: Wilson Medina

La señal de RMP ingresa al sistema ETL mediante un pin configurado como entrada digital, habilitada la interrupción de detección de flanco ascendente, mediante esa configuración se determina el periodo de la señal de entrada. Con el

valor del periodo (T) se procede a encontrar el valor de frecuencia con la relación $F=1/T$ el valor de T debe estar en segundos.

Para obtener el valor de RPM la frecuencia debe estar expresada en Hz para ello el valor del periodo debe ser multiplicado por 1000 debido a que la adquisición se realiza en el orden de los milisegundos, con el valor inverso del periodo obtenemos el valor de la frecuencia en Hz. Para saber la velocidad rotativa el valor de la frecuencia es multiplicada por 60 que es el valor de segundos que tiene un minuto relacionando así revoluciones por minuto.

6.14.5. Acondicionamiento Nivel de combustible.

El sensor de combustible trae incorporado un transductor de voltaje en base a la calibración explicada en el Anexo 2 referente a la Calibración Sensor de Nivel de Combustible. En la presente sección se explica que para adquirir la señal del tanque de combustible en condiciones de lleno es necesario acondicionar el valor de 5Vcc a 3.3 Voltios.

Para realizar el acondicionamiento lo hacemos mediante un divisor de voltaje de manera similar al realizado en la Tabla 6-9 fila 4 correspondiente al sensor de corriente hass que entrega señales de 0 a 5 Voltios.

6.14.6. Acondicionamiento Sistema de propulsión Zanzottera 498H

El sistema de propulsión Zanzottera 498H trabaja mediante la arquitectura cliente servidor en la cual el sistema de propulsión Zanzottera 498H es la unidad servidor la comunicación con el cliente la realiza mediante el estándar de comunicación RS-232.

Las variables físicas que el sistema de propulsión entrega al HMI ubicado en la EMCT se detallaron en la Tabla 6-6. En esta sección se describe el algoritmo en base a la estructura de la trama de comunicación que emplea el sistema Zanzottera 498H para informar del estado de operación y condiciones de funcionamiento. Las funciones de comunicación que la ECU admite son. *Reset, Read, Write, Get Configuration* como se talló en la Tabla 6-7.

Las direcciones de lectura y escritura comienza en la dirección 00FFF022 [hex]. Los datos requeridos por el personal de aerotécnicos y la dirección de memoria que ocupa en el servidor ECU se indica a continuación en la Tabla 6-10.

Tabla 6-10: Variables y direcciones de memoria del sistema de Propulsión Zanzottera 498H

Vin [V]	Dirección de Memoria [hex]
RPM	0X0082
Porcentaje de aceleración	0X0094
Temperatura cilindro izquierdo	0X009A
Temperatura del cilindro derecho	0X009C
Temperatura Tubo de Escape Izquierdo	0X009E
Temperatura Tubo de Escape Derecho	0X00A0

Elaborado por: Wilson Medina

Función de Reset.

La función de Reset limpia los registros internos que utiliza la ECU del sistema de propulsión Zanzottera 498H para enviar y recibir información. La estructura de la trama consta de 3 registros inicio de trama símbolo ASCII dos puntos (:) seguidos de dos símbolos numeral (##) de la siguiente manera.

:##

La respuesta de la ECU puede ser comando aceptado o comando rechazado.

Si el comando fue aceptado la respuesta es la siguiente.

:OK!chks

Si el comando fue de no reconocido la respuesta es la siguiente.

:NOTchks

En donde chks es el cálculo del checksum (suma de chequeo) en la estructura de la trama de comunicaciones ocupa un Byte y su cálculo se lo realiza mediante la

suma de todos los bytes que intervienen en la comunicación la Figura 6.20 muestra el algoritmo de cálculo del byte de checksum.

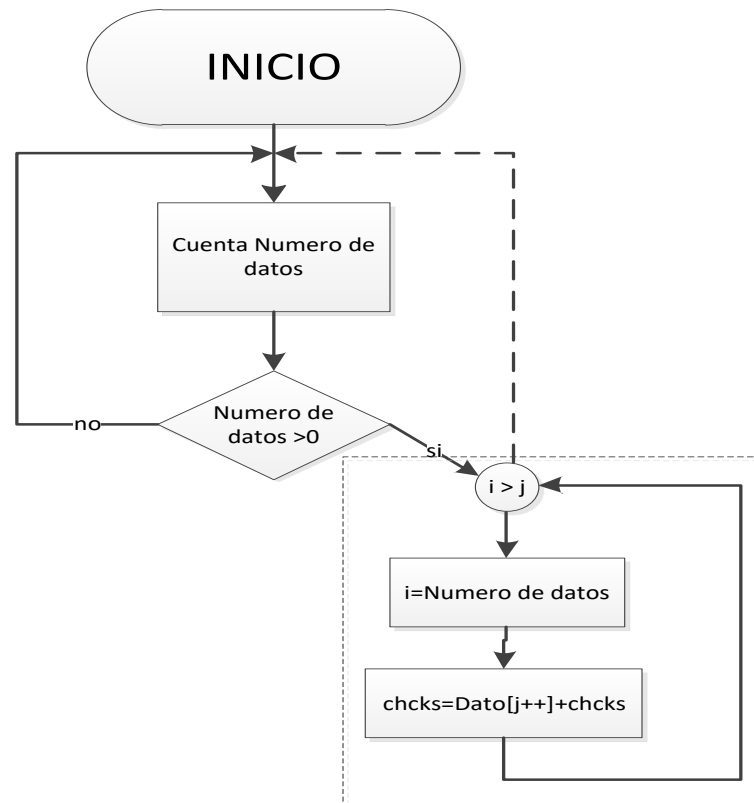


Fig. 6.20 Algoritmo cálculo de checksum
Elaborado por: Wilson Medina

Implementación de la Función Read Sistema de propulsión Zanzottera 498H

A continuación en la Tabla 6-11 se detalla la trama de petición de las variables del sistema Zanzottera.

Tabla 6-11: Estructura de la trama de lectura del sistema de propulsión Zanzottera 498H

Inicio de Trama	Petición de lectura	Dirección de Inicio de lectura								Número de Bytes a Leer				CHCKS
:	R D	0	0	F	F	F	0	8	0	0	0	2	2	~

Elaborado por: Wilson Medina

Petición del cliente Sistema ETL al servidor ECU.

:RD00FFF0800022~

Respuesta del servidor ECU

**:DT000000003BFE3BFE006600660066005DC006502F8028B009A00B100CF
0092v**

6.14.7. Decodificación de la trama de respuesta del servidor.

Para la decodificación y extracción de los valores requeridos en la EMCT se realiza en base al manual del sistema de propulsión en la Figura 6.21 se muestra el detalle de cada carácter enviado desde el servidor ECU del sistema de propulsión Zanzottera 498H.

Structure with real information Z24E.A.12

```
typedef struct arnRealTimePacket {
    Unsigned short erCounter;           //Engine rev. counter (1 eng. revol. per Bit)
    Unsigned short Rpm;                 //Rpm value (1 rpm per Bit)
    Unsigned short Injection(2);        //Injection time (1 microsec. per Bit)
    Unsigned short Spark(4);           //Spark time (0.25 Degree per Bit )
    Unsigned short Phase;               //Injection phase (0.1 Degree per Bit)
    Unsigned short Throttle;            //Throttle position ( 0.1% per Bit )
    Unsigned short Barometric;          //Barometric ( 1 mBar per Bit )
    Unsigned short Vbatt;               //Battery voltage ( 0 is 0.65V – 1023 is 17.99 V )
    Signed short Cht_L;                 //Cylinder Head temp. left (0.1 °C per bit)
    Signed short Cht_R;                 //Cylinder Head temp. right (0.1 °C per bit)
    Signed short Egt_L;                 //Exhaust gas temp. left (0.1 °C per bit)
    Signed short Egt_R;                 //Exhaust gas temp. right (0.1 °C per bit)
    Unsigned short Fuel pressure;        //Fuel pressure (1 mBar per bit)
    Signed short AirTemp;               //Air temperature (0.1 °C per bit)
    Unsigned char Reserved;             // Reserved for internal uses
    Unsigned char AltTPreW;             // 0 → Pre Warning Active; 100 → Pre Warning not active
    Unsigned char AltTW;                // 0 → Warning Active; 100 → Warning not active
    Unsigned char RESERVED;            // Internal use
    Unsigned short DutyPump;            // Fuel pump command Duty (0.1 % per bit)
    Unsigned short RESERVED;           // Internal use
} arnRealTimePacket_t
```

Fig. 6.21 Registros de variables del Sistema de propulsión Zanzottera 498H
Elaborado por: Wilson Medina

La longitud de cada variable está dada por la siguiente relación.

Unsigned short = 2 Byte

Unsigned Chart = 1 Byte

Unsigned short (2) = 4 Bytes

Unsigned short (4) = 8 Bytes

De la Figura 6.21 se obtiene la respectiva decodificación de los datos mostrada en la Tabla 6-12.

Tabla 6-12: Tabla de decodificación del comando Read.

Trama	Detalle
:DT	encabezado de respuesta
0000	contador de revoluciones del motor (1 eng. revol. per Bit)
0000	Valor de Rpms (1 rpm por Bit)
3BFE 3BFE	Tempos de inyección (1 microsec. per Bit)
0066006600660066	Tempos de chuspa (0.25 grado por Bit)
05DC	Fase de inyección (0.1 grad per Bit)
0065	Posición del acelerador (0.1% per Bit)
02F8	Presión (1 mBar per Bit)
028B	Voltaje de Batería (0 es 0.65V – 1023 es 17.99 V)
009A	Temperatura cilindro izquierdo. (0.1 °C per bit)
00B1	Temperatura cilindro derecho(0.1 °C per bit)
00CF	Temperatura gas de escape izquierdo. (0.1 °C per bit)
0092	Temperatura gas de escape derecho(0.1 °C per bit)
v	Suma de chequeo

Elaborado por: Wilson Medina

Implementación de la Función Write Sistema de propulsión Zanzottera 498H

La única variable que es controlada de forma externa es el porcentaje de aceleración. El valor de la aceleración es controlada por el dispositivo micro piloto. La Figura 6.22 muestra el proceso que se debe seguir por parte del cliente para modificar el porcentaje de aceleración.

Example 2 set the throttle position

Step 1 and step 2 are the same made before

Step3 **ThrottleSet address**
Throttle is in the arnRealTimeParams_t structure
The pointer of the structure is 00FFEC00
The offset for ThrottleSet position is 8 bytes
The address will be 00FFEC08

Step4 set the throttle position with the following string
:WR00FFEC08000201F2z
in detail
:WR write command
00FFEC08 throttle address
0002 numbers of bytes to write
01F2 value of the throttle
z checksum

the ecu will respond
:OK! 0

Fig. 6.22 Modificación del Porcentaje de aceleración sistema de propulsión Zanzottera 498H.

Elaborado por: Wilson Medina

6.14.8. Acondicionamiento de la señal del Micro Piloto.

El sistema micro-piloto entrega una señal con un tiempo de duración comprendido entre 0 y 1 milisegundo. Esta señal debe ser entregada al sistema de propulsión Zanzottera 498H en formato hexadecimal, el valor que se debe entregar al sistema de propulsión este comprendido ente 0% y 100%. La resolución del sistema de propulsión Zanzottera 498H es de 0.1% por cada bit como se indica en la Tabla 6-12. Para llevar el porcentaje de aceleración al 100% de su capacidad se necesita el valor hexadecimal de 0x3E8.

Para adquirir la señal del micro piloto se procede de manera similar que en caso de la adquisición de la variable de RPMs del sistema de propulsión Meggitt MDS 342. Es decir mediante la configuración de un pin de entrada digital con la habilitación de la interrupción de flanco ascendente se cuanta el tiempo que la señal está en alto mediante una relación directamente proporcional se establece el porcentaje de aceleración del motor Zanzottera 498H.

$$\% Aceleracion = \frac{TiempoAlto[ms]*1}{0,001}$$

6.14.9. Adquisición de datos del GPS.

El GPS es el encargado de indicar el punto referencial en el que la aeronave se encuentra y entregar la capa de datos o metadatos para la interfaz del sistema electro-óptico en la EMCT. Es decir la interfaz de visualización une el video del sensor electro-óptico con la ubicación de la aeronave UAV con los datos de latitud, longitud y altura.

El GPS utilizado es de la marca Garmin de la serie 18X5Hz. El dispositivo tiene un periodo de actualización de 200 ms entre trama y trama. La configuración del formato para la transmisión de datos del GPS es la que se muestra en la GPGGA que tiene la siguiente estructura de trama.

\$GPGGA,hhmmss.ss,llll.ll,a,yyyy.yy,a,x,xx,x.x,x.x,M,x.x,M,x.x,xxxx*hh.

La Tabla 6-13 muestra en detalle la estructura de la trama de datos GPGGA.

Tabla 6-13: Trama GPGGA del dispositivo GPS

Campo	Ítem	Descripción	Ejemplo
1	hhmmss.ss	UTC (Universal Time Coordinated) de posición	170834
2	llll.ll	Latitud	4124.8963
3	a	N o S	N
4	yyyy.yy	Longitud	08151.6838
5	a	E o W	W
6	x	Indicador de calidad GPS (0 = no enganchado; 1 = enganchado GPS)	1
7	xx	Número de satélites en uso [no los que están a la vista]	05
8	x.x	Dilución horizontal de la posición	1.5
9	x.x	Altitud de la antena por encima / por debajo del nivel medio del mar (geoide)	280.2
10	M	Unidad de medida de la altura de la antena.	M
11	x.x	Separación geoidal (Diferencia entre el elipsoide de tierra WGS-84 y nivel medio del mar.	-34.0
12	M	Unidades de medida de la separación geoidal	M
13	x.x	Tiempo en segundos desde la última actualización desde dif. estación de referencia.	blank
14	xxxx	Dif. ID de la estación de referencia	blank
15	*hh	Checksum	*75

Elaborado por: Wilson Medina

6.15. Intercambio de información mediante el sistema ETL.

Con los datos adquiridos de los distintos componentes y sistemas que van a bordo de la aeronave UAV se construye un array para el intercambio de información de entre los distintos equipos.

Cada una de las variables de los sistemas a bordo de la aeronave UAV utiliza una localidad de memoria en el array. La ubicación de las variables físicas en el array de comunicaciones se detalla en la Tabla 6-14.

Tabla 6-14: Distribución de las variables físicas para el intercambio de información

Sistema / Área	Variable	Canal Sistema ETL	Tipo de Dato	Posición Array	Número de Registros
Energía	Voltaje Alterador	PA_0	Float	0	4
	Voltaje Planta Externa	PB_12	Float	1	4
	Voltaje Baterías	PA_1	Float	2	4
	Voltaje Carga 6V	PB_0	Float	3	4
	Voltaje Cargas12V	PA_4	Float	4	4
	Voltaje Cargas28V	PB_14	Float	5	4
	Corriente Alternador	PC_1	Float	6	4
	Corriente Baterías	PC_0	Float	7	4
Propulsión	Temperatura Cilindro Derecho	PA_6	Float	8	6
	Temperatura Cilindro Izquierdo	PA_7	Float	9	6
	Nivel de Combustible	PB_2	Float	10	5
	RPMs	PB_1	Float	11	6
	Temperatura Tuvo Escape Derecho	UART2	Float	12	6
	Temperatura Tubo escape izquierdo	UART2	Float	13	6
	Porcentaje de Aceleración	UART2	Float	14	6
Data Link	Temperatura Amplificador	PB_15	Float	15	6
GPS	Latitud	UART3	Float	16	10
	Longitud	UART3	Float	17	10
	Altura	UART3	Float	18	5

Elaborado por: Wilson Medina

6.15.1. Análisis de la trama de comunicaciones con el HMI.

En la EMCT existe una interface hombre máquina que muestra en tiempo real el estado de las variables físicas de la aeronave UAV. Para disponer de los datos en la EMCT se utiliza un puerto estándar de comunicaciones RS232 del componente Data Link. La arquitectura que se utiliza para el intercambio de información entre la Aeronave UAV y la EMCT es la de cliente servido. La EMCT es la estación que hace las veces de cliente mientras que la aeronave por medio del sistema ETL de código abierto hace las veces de servidor.

El estándar de comunicación RS232 utiliza la siguiente estructura en la trama de comunicaciones.

- ✓ Encabezado de Trama
- ✓ Función
- ✓ Datos
- ✓ Control de errores
- ✓ Fin de Trama.

Encabezado de trama. Para el encabezado utilizan 4 registros con los caracteres CID+ o ZAN+ esto depende del sistema de propulsión que está a bordo de la aeronave.

Función. La función puede ser lectura o escritura de datos. Los valores se detallan a continuación.

- ✓ 001 Escritura de datos Digitales
- ✓ 002 Escritura de datos análogos
- ✓ 003 Lectura de datos digitales
- ✓ 004 Lectura de datos análogos.

Datos. La cantidad de datos que intercambian entre petición son de 104 registros [8 bits por registro].

Control de errores. El control de errores se lo realizan mediante el uso del algoritmo CRC16. Este algoritmo sirve para detectar si existe algún error en la comunicación, cabe aclarar que el algoritmo no está diseñado para corregir errores

Fin de Trama. La finalización de la trama de comunicaciones contiene 4 caracteres que son los siguientes -FAE

La Tabla 6-15 muestra la estructura de comunicaciones para la función 004 lecturas de datos análogos.

Tabla 6-15: Trama de comunicaciones EMCT-UAV

Pregunta desde la EMCT					Respuesta desde el Sistema ETL				
Inicio de Trama	Función	Datos	Control de Errores	Fin de trama	Inicio de Trama	Función	Datos	Control de Errores	Fin de trama
CID+ O ZAN+	004	104 [datos]	CRC16	-FAE	CID+ O ZAN+	004	104 [datos]	CRC16	-FAE

Fuente: (Biblioteca CIDFAE, 2016)

La trama de comunicaciones utiliza 104 registros para intercambiar la información de todas las variables físicas que están presentes en la aeronave. En la Tabla 6-14 en la columna número de registros se indica la dimensión que cada variable ocupa en la trama de comunicaciones. De esa manera se justifica la dimensión de la trama de comunicaciones utilizada para el intercambio de información.

En el apartado 6.9 se explica que la aeronave UAV puede implementarse con dos tipos de sistemas de propulsión para que el sistema ETL distinga que tipo de aeronave está operando se varia el encabezado de la trama el inicio de trama CID+ se cambia por ZAN+, con el cambio expuesto se puede utilizar un miso HMI para visualizar las variables de dos aeronaves distintas en la misma interfaz.

6.16. Diseño Eléctrico del sistema ETL desarrollado en código abierto.

6.16.1. Diseño Eléctrico del sistema ETL.

La aeronave UAV tiene en su interior el arnés eléctrico armado, etiquetado y funcional. El sistema ETL desarrollado en la plataforma de código abierto debe acoplarse de forma exacta y sin causar ninguna modificación a las instalaciones existentes. Se utilizará la nomenclatura, conectores, terminales, conductores y cualquier otro material ya existente a bordo de la aeronave UAV sin realizar

ninguna modificación al arnés eléctrico existente. Las Figuras 6.23, 6.24, 6.25 y 6.26 se muestran: el diagrama de conexión de la señal de RPMs, la conexión del sistema de energía, la conexión de las señales de temperatura y la conexión con los dispositivos de estándar RS-232 de comunicaciones respectivamente.

Detalle de las Figuras que representa el diagrama eléctrico a bordo de la aeronave UAV.

La Figura 6.24 muestra el diagrama de conexión a bordo de la Aeronave UAV del circuito de adquisición de RPM's del sistema Medggitt MD342.

La Figura 6.25 muestra el diagrama de conexión a bordo de la Aeronave UAV del sistema de Energía con el sistema ETL desarrollado bajo código abierto.

La Figura 6.26 muestra el diagrama de conexión a bordo de la Aeronave UAV de los sensores de temperatura del sistema de propulsión Medggitt MD342 y del sensor de temperatura del sistema Data Link con el sistema ETL desarrollado bajo código abierto.

La Figura 6.27 muestra el diagrama de conexión del estándar de comunicación RS-232 de los equipos GPS, Data Link y sistema de propulsión Zanzottera 498H con el sistema ETL desarrollado bajo código abierto a bordo de la aeronave UAV.

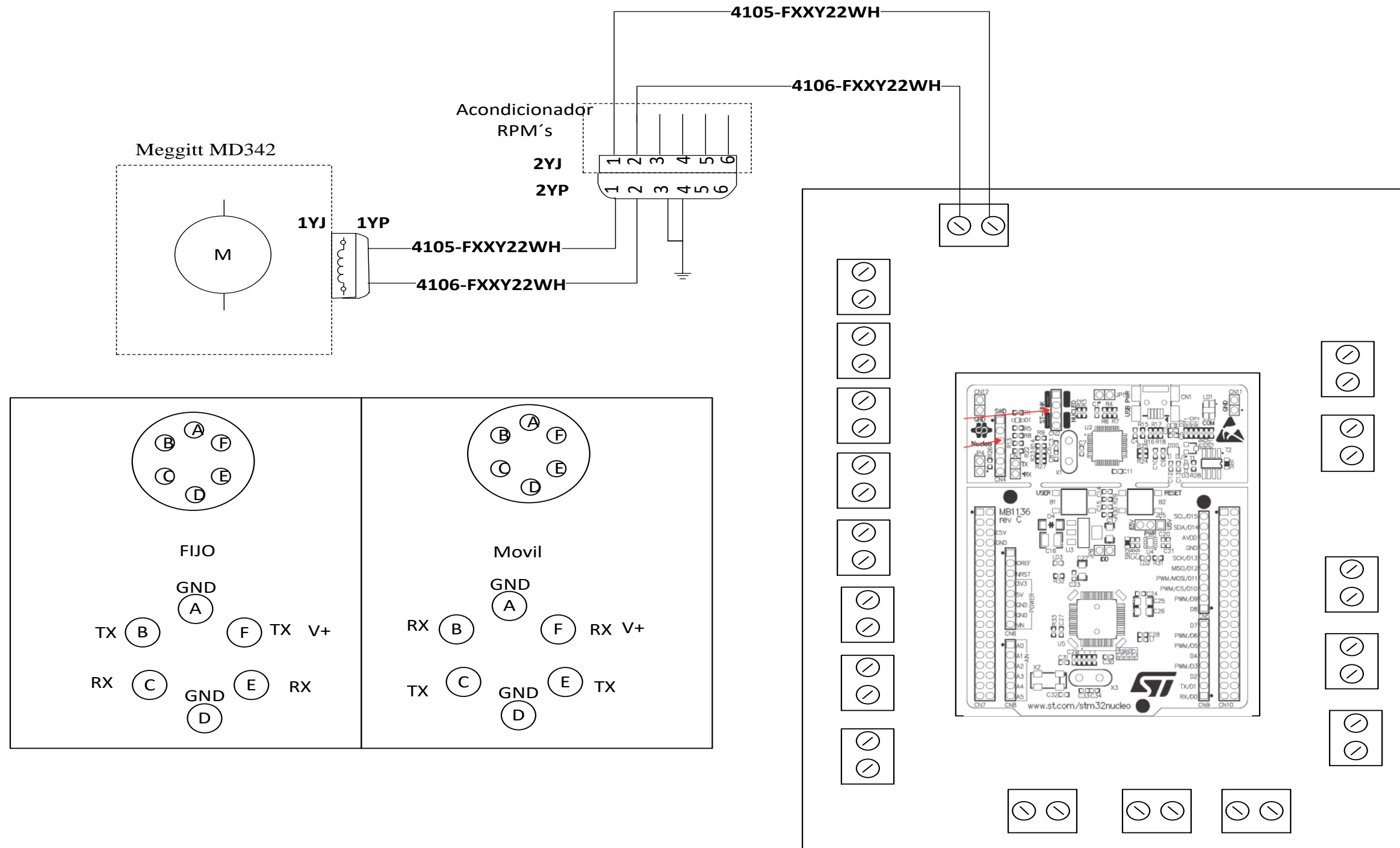


Fig. 6.23 Conexión RPM's Sistema Medgitt MD342
Elaborado por: Wilson Medina

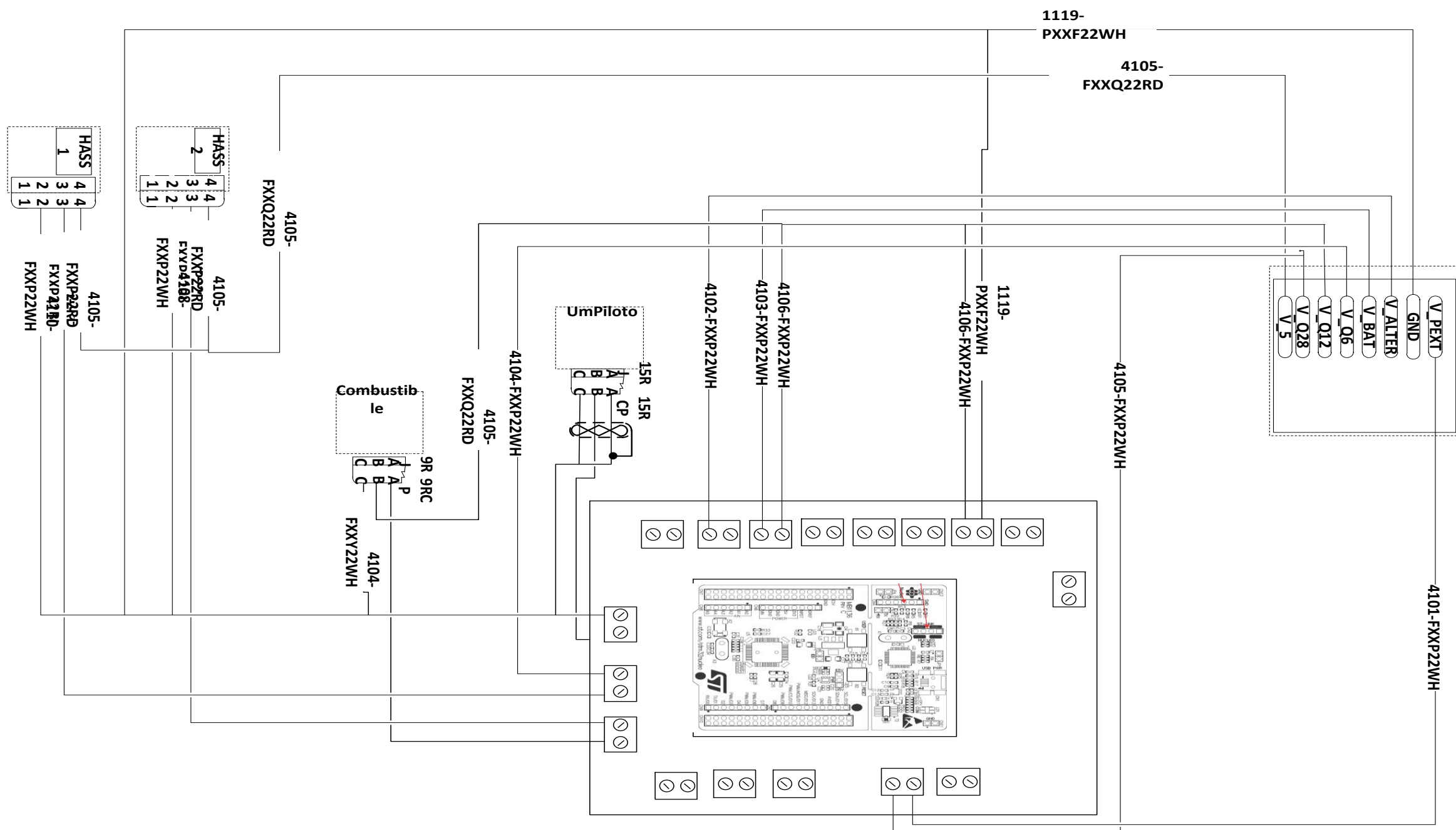


Fig. 6.24 Conexión de las variables del sistema de Energía con el sistema ETL
Elaborado por: Wilson Medina

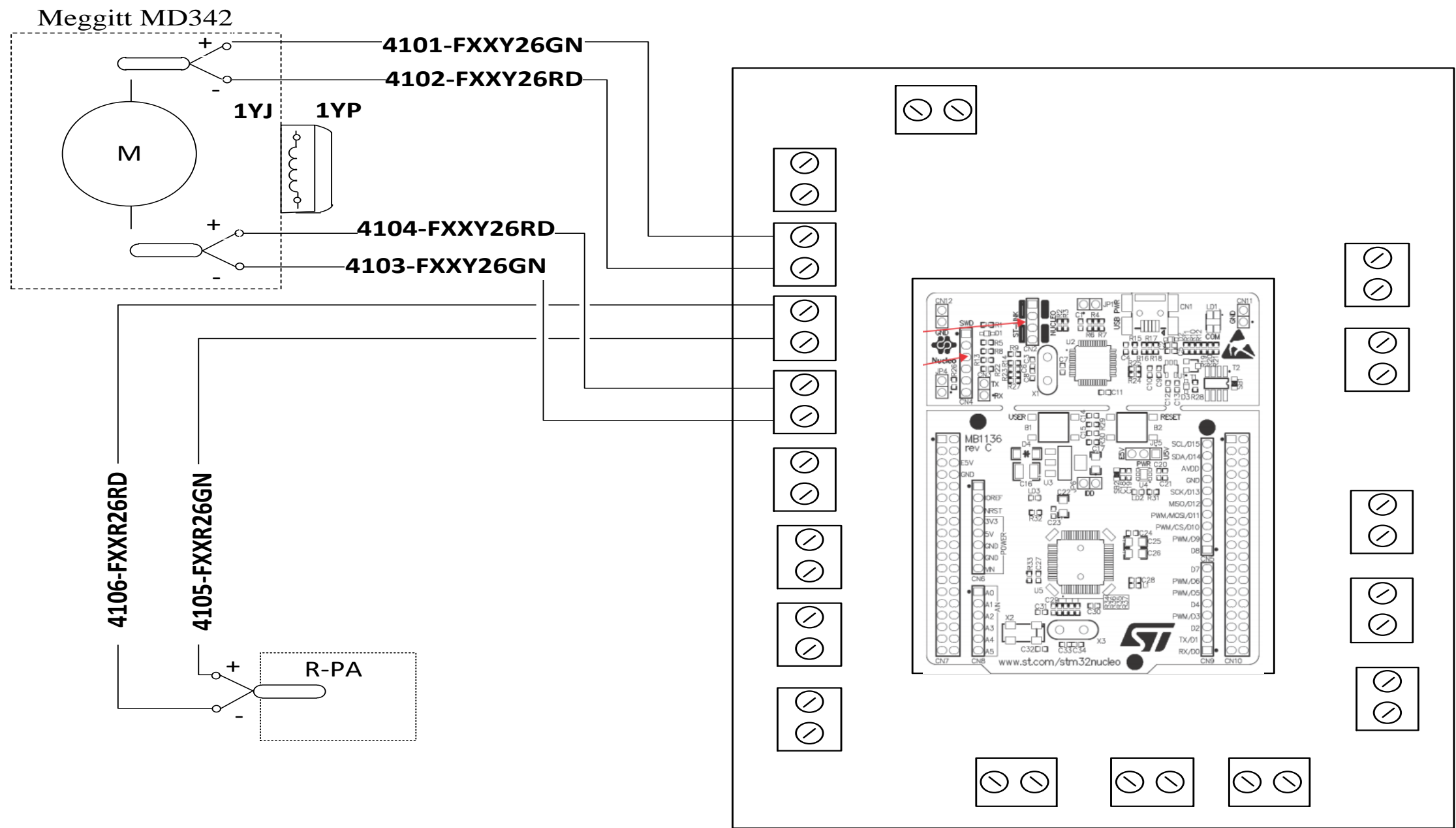


Fig. . 6.25 Diagrama de conexión de los sensores de temperatura a bordo de la aeronave UAV.
 Elaborado por: Wilson Medina

6.17. Codificación del algoritmo de Funcionamiento.

Cumpliendo con uno de los objetivos planteado en el presente trabajo de investigación se detalla la codificación del algoritmo de funcionamiento Figura 6.8 del sistema ETL desarrollado bajo una plataforma de desarrollo de código abierto. Se utiliza la plataforma de programación Arm Mbed OS.

La plataforma de programación **Arm Mbed OS** es un sistema operativo integrado de código abierto y libre, diseñado con proyección a las aplicaciones de internet de las cosas” (Arm Mbed, 2018).

“Incluye todas las funciones necesarias para desarrollar un sistema bajo la arquitectura de un micro-controlador Arm Cortex-M, también dispone de seguridades, conectividad, sistema operativo en tiempo real (RTOS), controladores para sensores y periféricos de entrada/salida” (Arm Mbed, 2018).

El compilador mbed proporciona un IDE C / C ++ en línea ligero que se puede reconfigurar para permitir escribir, compilar y descargar rápidamente programas para ejecutar en el micro-controlador ARM. De hecho, no tiene que instalar ni configurar nada para ejecutar mbed. Debido a que es una aplicación web, puede iniciar sesión desde cualquier lugar y continuar donde lo dejó, y puede trabajar en Windows, Mac, iOS, Android, Linux o todos ellos. (Arm Mbed, 2018).

Las librerías que usa el compilador Mbed OS se encuentran añadidas en el archivo mbed Figura 6.27 generado cuando se crea algún proyecto.

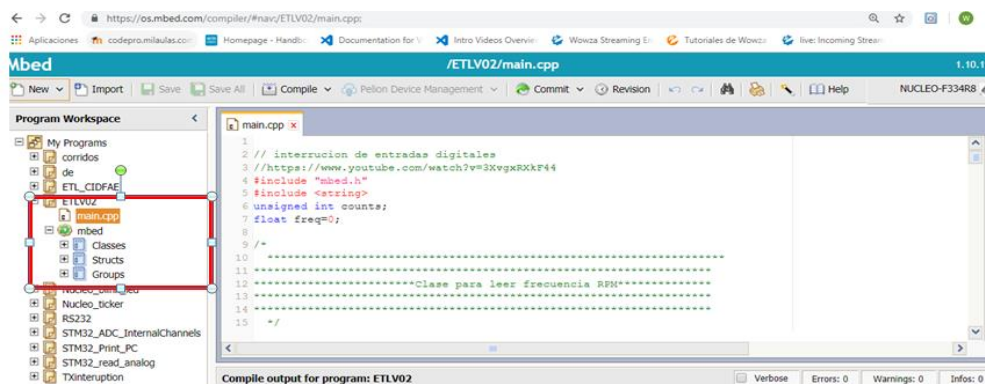


Fig. 6.27 Librerías clases y estructuras generadas por el compilador Mbed OS
Elaborado por: Wilson Medina

6.18. Análisis del nivel de confianza del sistema ETL desarrollado bajo código abierto.

Para valorar el nivel de confianza del sistema implementado se lo realizará mediante la técnica paquetes enviados versus paquetes recibidos, calculando la cantidad de paquetes recibidos buenos en relación al número total de paquetes transmitidos.

El HMI instalado en la EMCT guarda los datos de las pruebas realizadas con el UAV. El almacenamiento de las variables lo realiza el HMI en un motor de base de datos para analizar la cantidad de paquetes buenos que intercambia el sistema ETL desarrollado bajo la plataforma de código abierto Mbed,

Para realizar el análisis de confiabilidad se realizan las pruebas de la aeronave con los dos sistemas, el sistema ETL implementado por el CIDFAE y el sistema ETL desarrollado bajo código abierto, las pruebas se la realiza en escenarios similares es decir la configuración del puerto de comunicaciones para los dos sistemas es idéntico en capacidad de transferencia de bits por unidad de tiempo y la frecuencia con la que el HMI solicita información al UAV de la misma forma. La base de datos del HMI entrega un reporte de formato csv con la información generada en cada prueba.

6.19. Pruebas de funcionamiento del sistema ETL desarrollado bajo código abierto

Las pruebas de carácter comparativo entre los sistemas ETL implementado por el CIDFAE y el sistema ETL desarrollado bajo código abierto. En la Figura 6.28 se muestra el HMI utilizado en la EMCT y como está seccionado por áreas con el cual se monitorean los equipos a bordo de la aeronave UAV por parte del personal de aerotécnicos.

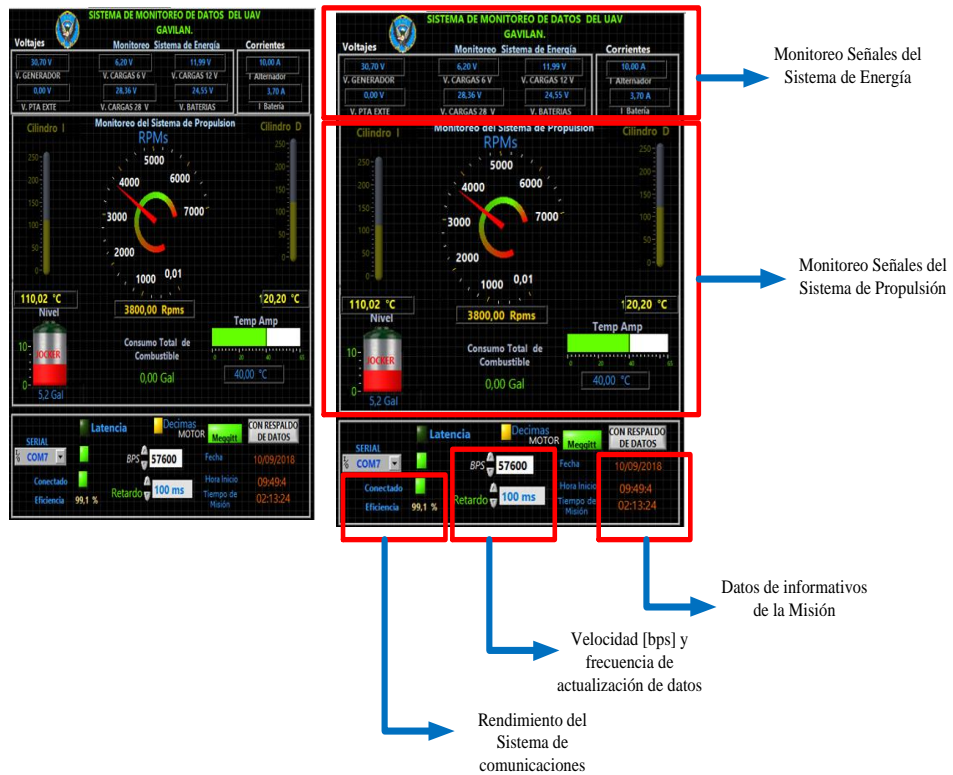


Fig. 6.28 HMI instalado en la EMCT
Elaborado por: Wilson Medina

En la Figura 6.29 y Figura 6.30 se muestra el preámbulo realizado previo las pruebas de funcionamiento del sistema ETL desarrollado bajo código abierto.



Fig. 6.29 Levantamiento de reportajes y lista de chequeos personal de aerotécnicos CIDFAE

Elaborado por: Wilson Medina



Fig. 6.30 Monitoreo de los sistemas del UAV

Elaborado por: Wilson Medina

La Figura 6.31 muestra una de las aeronaves UAV del CIDFAE.



Fig. 6.31 Aeronave UAV en Punto Fijo en pruebas del Sistema ETL desarrollado bajo código abierto

Elaborado por: Wilson Medina

Para efectos de comparación estadística se define al sistema ETL implementado por el CIDFAE como sistema ETL CIDFAE y al sistema ETL desarrollado con la arquitectura Cortex M4 se lo denomina sistema ETL Migrado.

A continuación se detalla el análisis de resultados obtenidos en las pruebas de intercambio de información en lo referente a la cantidad de paquetes buenos que intercambia el sistema ETL del CIDFAE versus el Sistema ETL Migrado.

6.20. Procedimiento de pruebas del sistema ETL CIDFAE y el sistema ETL Migrado.

Se conecta el sistema ETL CIDFAE a bordo de la aeronave UAV durante periodos comprendidos entre 20 y 30 minutos. Las pruebas se las realizó en puntos fijos probando todos los sistemas que intervienen el UAV como son *a)* sistema de propulsión, *b)* sistema de Guiado navegación y Control, *c)* sistema de energía, *d)* Data Link. Las pruebas son registradas en un motor de base de datos que se encuentra funcionando en el HMI instalado en la EMCT.

Los parámetros de funcionamiento son obtenidos mediante un archivo de extensión csv en el que se registran los siguientes parámetros. *a)* Fecha, *b)* Hora, *c)* Velocidad de comunicación [Bps], *d)* Frecuencia de actualización de datos, *e)*

Porcentaje de eficiencia [%Eficiencia] como se muestra en la Tabla 6-16 para probar el sistema ETL Migrado se procede de la misma manera claro que cambiando el sistema ETL CIDFAE por el Sistema Migrado.

Tabla 6-16: Muestra de los datos recolectados durante una prueba del sistema ETL

Fecha,Hora,Bps,Frec,%Eficiencia
25/08/2018,10:26:09.0,19900,200,0.0
25/08/2018,10:26:10.1,19900,200,100.0
25/08/2018,10:26:10.2,19900,200,100.0
25/08/2018,10:26:10.3,19900,200,100.0
25/08/2018,10:26:11.4,19900,200,100.0
25/08/2018,10:26:11.5,19900,200,100.0
25/08/2018,10:26:11.6,19900,200,100.0
25/08/2018,10:26:12.7,19900,200,100.0
25/08/2018,10:26:12.8,19900,200,100.0
25/08/2018,10:26:12.9,19900,200,100.0
25/08/2018,10:26:13.10,19900,200,100.0
25/08/2018,10:26:13.11,19900,200,100.0
25/08/2018,10:26:13.12,19900,200,100.0
25/08/2018,10:26:14.13,19900,200,100.0
25/08/2018,10:26:14.14,19900,200,100.0
25/08/2018,10:26:14.15,19900,200,100.0
25/08/2018,10:26:14.16,19900,200,100.0
25/08/2018,10:26:15.17,19900,200,100.0
25/08/2018,10:26:15.18,19900,200,100.0
25/08/2018,10:26:15.19,19900,200,100.0
25/08/2018,10:26:16.20,19900,200,100.0

Fuente: (HMI Proyecto DOCR CIDFAE, 2018)

6.20.1. Comparación de los sistemas ETL CIDFAE vs ETL MIGRADO en el intercambio de información.

El sistema ETL CIDFAE se configura con la velocidad de transmisión de 57600 [bps], con frecuencia de actualización de datos de 50 ms, 100 ms y 200 ms mostrados en las siguientes figuras Figura 6.32, Figura 6.33, Figura 6.34 respectivamente.

Los dos sistemas son probados bajo las mismas condiciones obteniendo los siguientes resultados presentados a continuación.

6.20.2. Pruebas de funcionamiento de los sistemas ETL a 57600 [bps]

Comparación del sistema ETL Migrado vs el sistema ETL CIDFAE 57600 [bps] con 50 [ms] de tiempo de actualización.

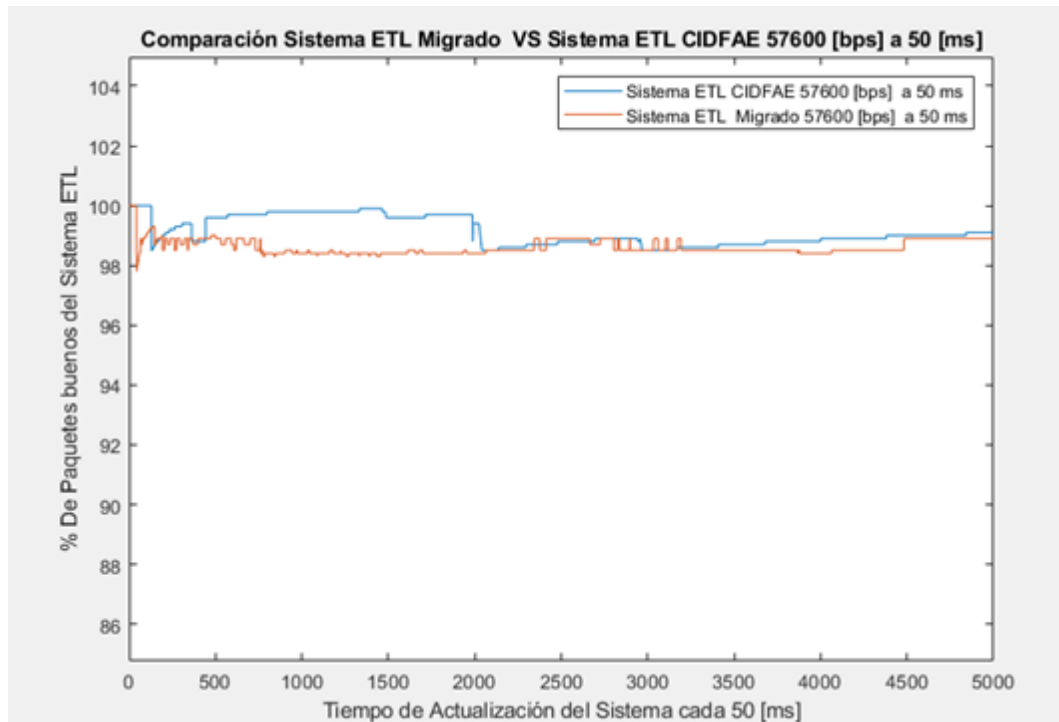


Fig. 6.32: Aeronave UAV en Punto Fijo en pruebas de los Sistemas ETL CIDFAE vs ETL Migrado configurado a 57600 [bps] y 50 [ms] de tiempo de actualización
Elaborado por: Wilson Medina

Con la configuración del sistema ETL CIDFAE a 57600 [bps] y solicitando información cada 50 [ms] el sistema ETL CIDFAE presenta como promedio la cantidad de paquetes buenos el valor de 99,2% los mismos que se representa en la

Figura 6.32 es decir que de cada 1000 peticiones de información se pierde ocho peticiones.

Por su parte el sistema ETL Migrado bajo las mismas condiciones presenta un promedio de la cantidad de paquetes buenos 98.7% es decir por cada 1000 peticiones realizadas se pierden trece peticiones. Sin embargo en ninguno de los casos se puede observar que existe estabilidad en las tareas de intercambio de información de datos.

Una de las causas por las que se aprecia variaciones marcadas en las pérdidas de paquetes es por el ruido que afecta a los equipos. En comunicación serial a mayor velocidad menor resistencia a efecto de distorsión.

Comparación del sistema ETL Migrado vs el sistema ETL CIDFAE 57600 [bps] con 100 [ms] de tiempo de actualización.

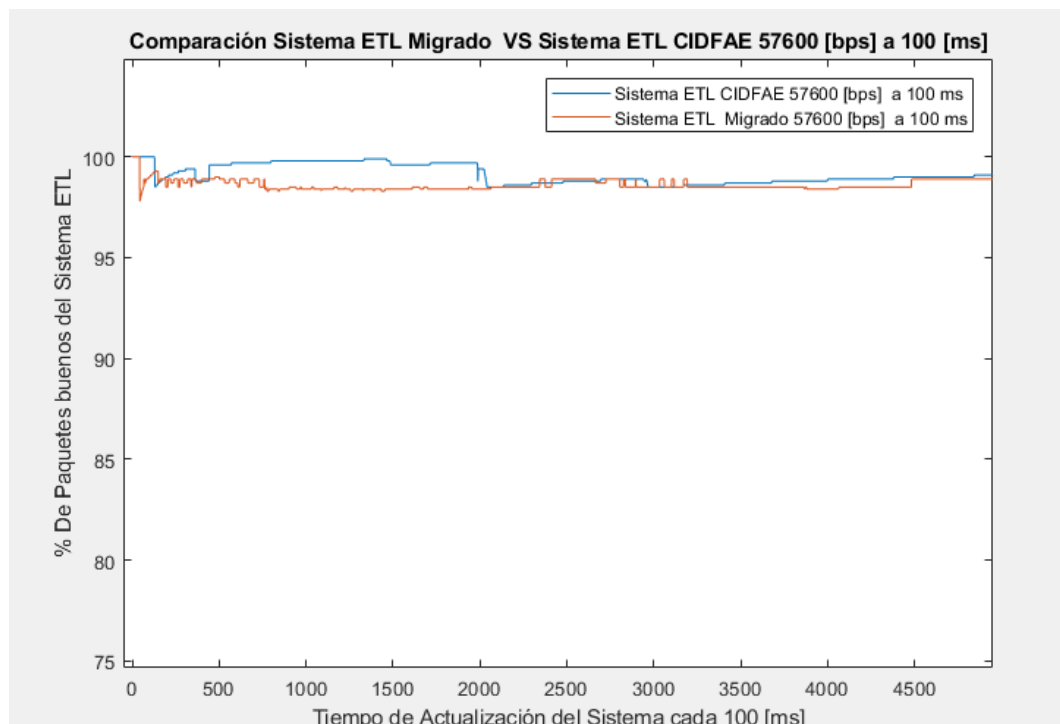


Fig. 6.33: Aeronave UAV en Punto Fijo en pruebas de los Sistemas ETL CIDFAE vs ETL Migrado configurado a 57600 [bps] y 100 [ms] de tiempo de actualización.
Elaborado por: Wilson Medina

Con la configuración del sistema ETL CID-FAE a 57600 [bps] y solicitando información cada 100 [ms] el sistema ETL CID-FAE presenta como promedio de

la cantidad de paquetes buenos el valor de 97,5% es decir que de cada 1000 peticiones de información se pierde veinte y cinco peticiones en este caso el sistema ETL CID-FAE baja el rendimiento en tres veces la cantidad de información perdida en análisis de la Figura 6.32 se pierden ocho peticiones por cada mil solicitudes mientras que en este presente caso Figura 6.33 se pierden veinte y cinco.

Por su parte el sistema ETL Migrado bajo las mismas condiciones presenta un promedio de la cantidad de paquetes buenos de 97.3% es decir por cada mil peticiones realizadas se pierden veinte y siete peticiones claramente su la cantidad de paquetes buenos es reducida notablemente. En estas condiciones los dos sistemas presentan parámetros de operación similares con una variación de 0.2 % de diferencia. De la misma manera no se puede decir que existe estabilidad en las tareas de intercambio de información de datos.

Comparación del sistema ETL Migrado vs el sistema ETL CIDFAE a 57600 [bps] con 200 [ms] de tiempo de actualización.

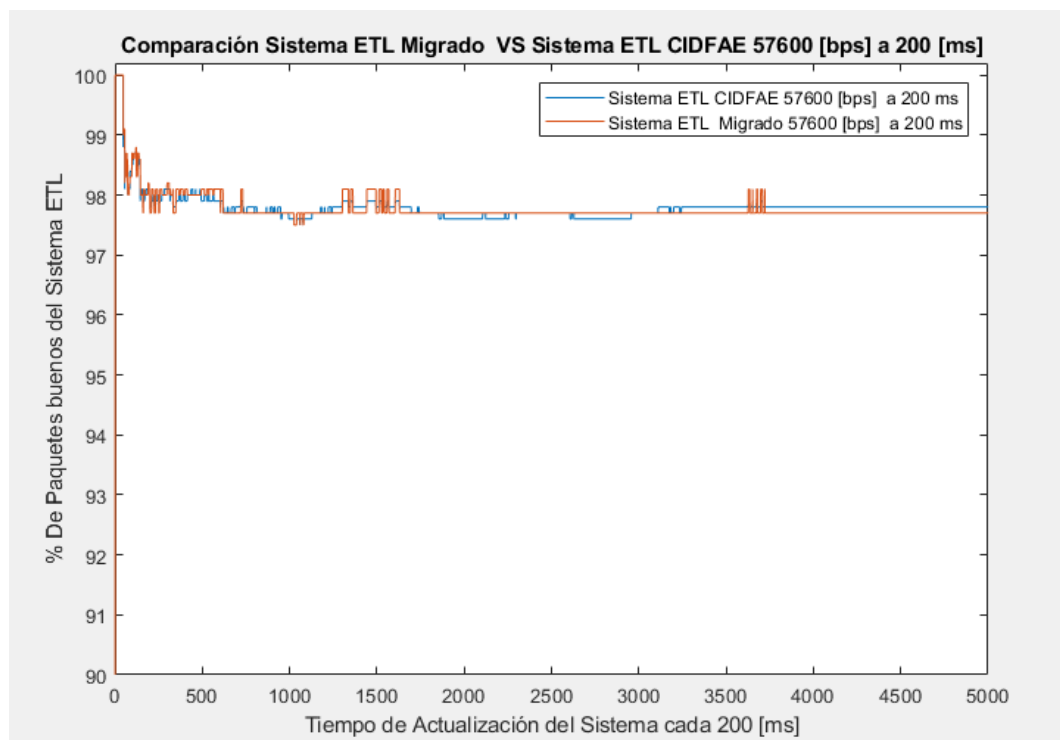


Fig. 6.34: Aeronave UAV en Punto Fijo en pruebas de los Sistemas ETL CIDFAE vs ETL Migrado configurado a 57600 [bps] y 100 [ms] de tiempo de actualización.

Elaborado por: Wilson Medina

Con la configuración del sistema ETL CIDFAE a 57600 [bps] y solicitando información cada 200 [ms] el sistema ETL CIDFAE presenta como promedio la cantidad de paquetes buenos el valor de 97,7% es decir que de cada 1000 peticiones de información se pierde veinte y tres peticiones en este caso el sistema ETL CIDFAE mantiene el rendimiento en relación a la cantidad de paquetes buenos en análisis de la Figura 6.34 se pierden veinte y cinco peticiones por cada mil solicitudes razón por la cual se afirma que el nivel de confianza se mantiene en los dos escenarios.

Por su parte el sistema ETL Migrado bajo las mismas condiciones presenta un promedio de eficiencia 97.7% es decir bajo estas condiciones los dos sistemas presentan las mismas ventajas y deficiencia en el intercambio de información.

6.20.3. Pruebas de funcionamiento de los sistemas ETL a 38400[bps]

Análisis de funcionamiento de los sistemas ETL CIDFAE y ETL Migrado configurado a 38400 [bps] con 50 [ms] de tiempo de actualización.

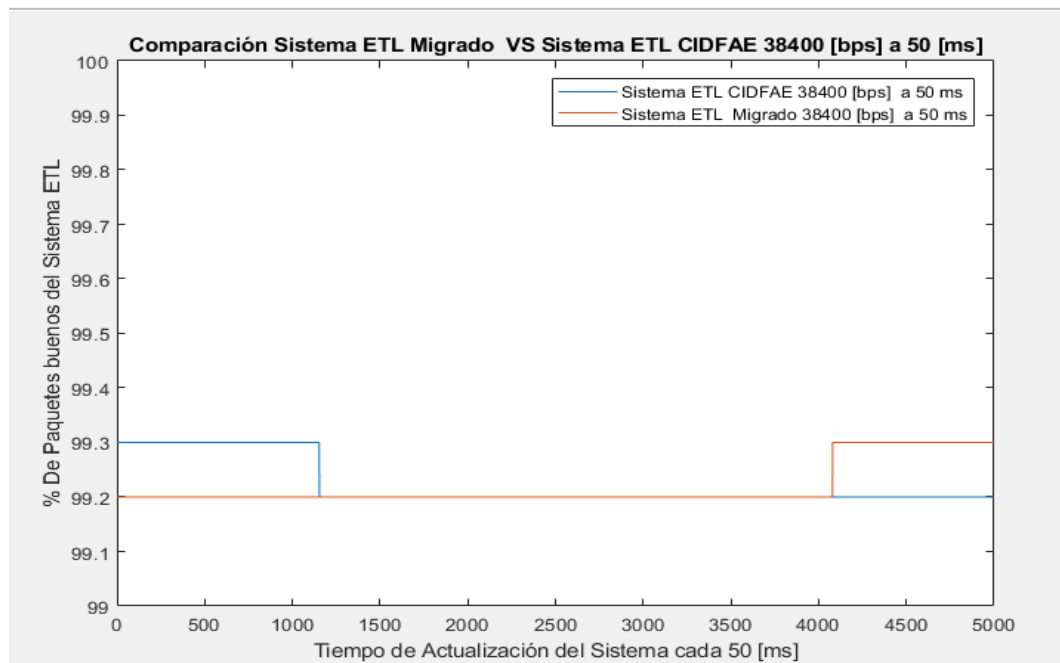


Fig. 6.35: Aeronave UAV en Punto Fijo en pruebas de los Sistemas ETL CIDFAE vs ETL Migrado configurado a 38400 [bps] y 50 [ms] de tiempo de actualización

Elaborado por: Wilson Medina

Con el análisis de los datos plasmados en la Figura 6.35 configurado de la siguiente manera. El sistema ETL CIDFAE a 38400 [bps] y solicitando información cada 50 [ms] el sistema ETL CIDFAE presenta como promedio de eficiencia el valor de 99,2% es decir que de cada 1000 peticiones de información se pierde ocho peticiones además se puede observar que el sistema se estabiliza en las tareas de intercambio de información.

Por su parte el sistema ETL Migrado en la Figura 6.35 bajo las mismas condiciones presenta un promedio de eficiencia 99.2% es decir bajo estas condiciones los dos sistemas presentan las mismas ventajas y deficiencia en el intercambio de información, de la misma manera el sistema ETL Migrado presenta estabilización en las tareas de intercambio de información. En esta configuración se ha mantenido la eficiencia del sistema migrado en relación al sistema ETL CID-FAE.

Análisis de funcionamiento de los sistemas ETL CIDFAE y ETL Migrado configurado a 38400 [bps] con 100 [ms] de tiempo de actualización.

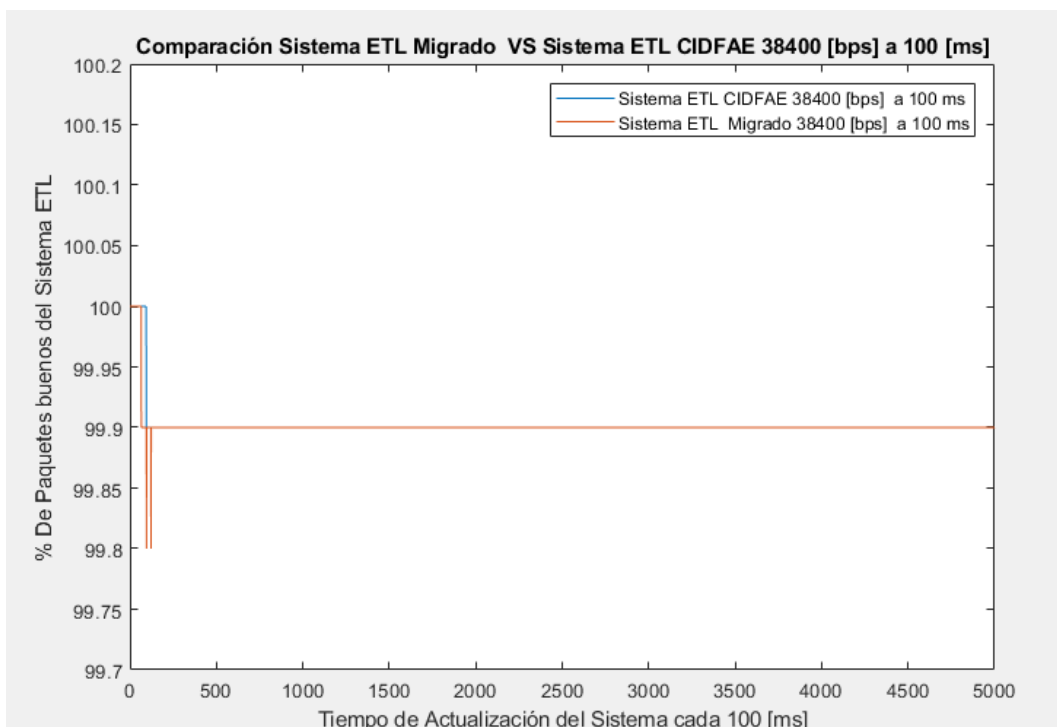


Fig. 6.36: Aeronave UAV en Punto Fijo en pruebas de los Sistemas ETL CIDFAE vs ETL Migrado configurado a 38400 [bps] y 100 [ms] de tiempo de actualización.

Elaborado por: Wilson Medina

Con la configuración del sistema ETL CID-FAE a 38400 [bps] y solicitando información cada 100 [ms] el sistema mostrados en la Figura 6.36 El sistema ETL CID-FAE presenta como promedio de eficiencia el valor de 99,9% es decir que de cada 1000 peticiones de información se pierde una peticiones además se pude observar que el sistema se estabiliza en las tareas de intercambio de información.

Por su parte el sistema ETL Migrado bajo las mismas condiciones presenta un promedio de eficiencia 99.9% es decir bajo estas condiciones los dos sistemas presentan un rendimiento apropiado y la estabilidad en los dos sistemas es notable en la gráfica 6.36 bajo estas condiciones el sistema ETL Migrado mantiene la eficiencia en las tareas de intercambio de información.

Análisis de funcionamiento de los sistemas ETL CIDFAE y ETL Migrado configurado a 38400 [bps] con 200 [ms] de tiempo de actualización.

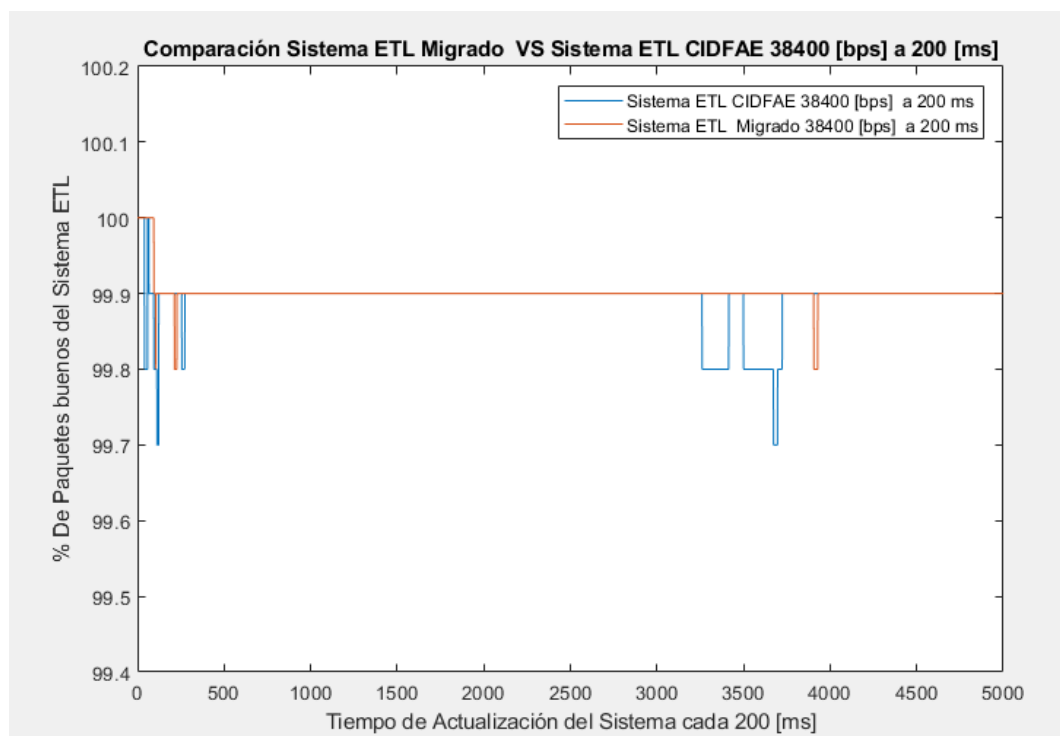


Fig. 6.37: Aeronave UAV en Punto Fijo en pruebas de los Sistemas ETL CIDFAE vs ETL Migrado configurado a 38400 [bps] y 200 [ms] de tiempo de actualización.
Elaborado por: Wilson Medina

Con la configuración del sistema ETL CIDFAE a 38400 [bps] y solicitando información cada 200 [ms] el sistema como se muestra en la Figura 6.37. El

sistema ETL CIDFAE presenta como promedio de eficiencia el valor de 99,9% es decir que de cada 1000 peticiones de información se pierde una peticiones sin embargo hay punto en los que el sistema presenta inestabilidad en el intercambio de información.

Por su parte el sistema ETL Migrado bajo las mismas condiciones presenta un promedio de eficiencia 99.9% es decir bajo estas condiciones los dos sistemas presentan un rendimiento apropiado sin embargo presenta puntos de inestabilidad durante el proceso de intercambio de información.

6.20.4. Pruebas de funcionamiento de los sistemas ETL a 19200 [bps]

Análisis de funcionamiento de los sistemas ETL CIDFAE y ETL Migrado configurado a 19200 [bps] con 50 [ms] de tiempo de actualización.

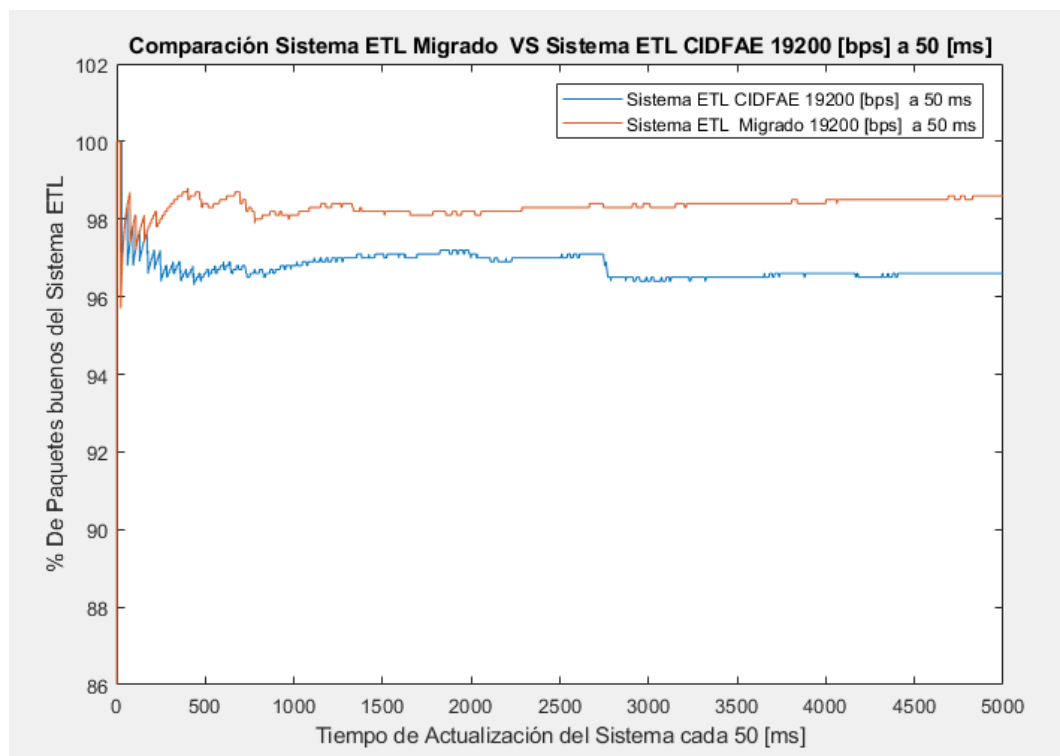


Fig. 6.38: Aeronave UAV en Punto Fijo en pruebas de los Sistemas ETL CIDFAE vs ETL Migrado configurado a 19200 [bps] y 50 [ms] de tiempo de actualización.

Elaborado por: Wilson Medina

Con la configuración del sistema ETL CID-FAE a 19200 [bps] y solicitando información cada 50 [ms] representado en la Figura 6.38 el sistema ETL CID-FAE presenta como promedio de eficiencia el valor de 96,7% es decir que de cada 1000 peticiones de información se pierde treinta y tres peticiones.

En lo referente al sistema ETL Migrado presenta un rendimiento de 98.5% es decir por cada 1000 peticiones de lectura se pierden quince peticiones.

Bajo la configuración de la Figura 6.38 el sistema ETL Migrado presenta un leve incremento de eficiencia en relación al sistema ETL CID-FAE. A pesar de lo expuesto se ve que la comunicación es inestable en periodos largos de intercambio de información.

Análisis de funcionamiento de los sistemas ETL CIDFAE y ETL Migrado configurado a 19200 [bps] con 100 [ms] de tiempo de actualización.

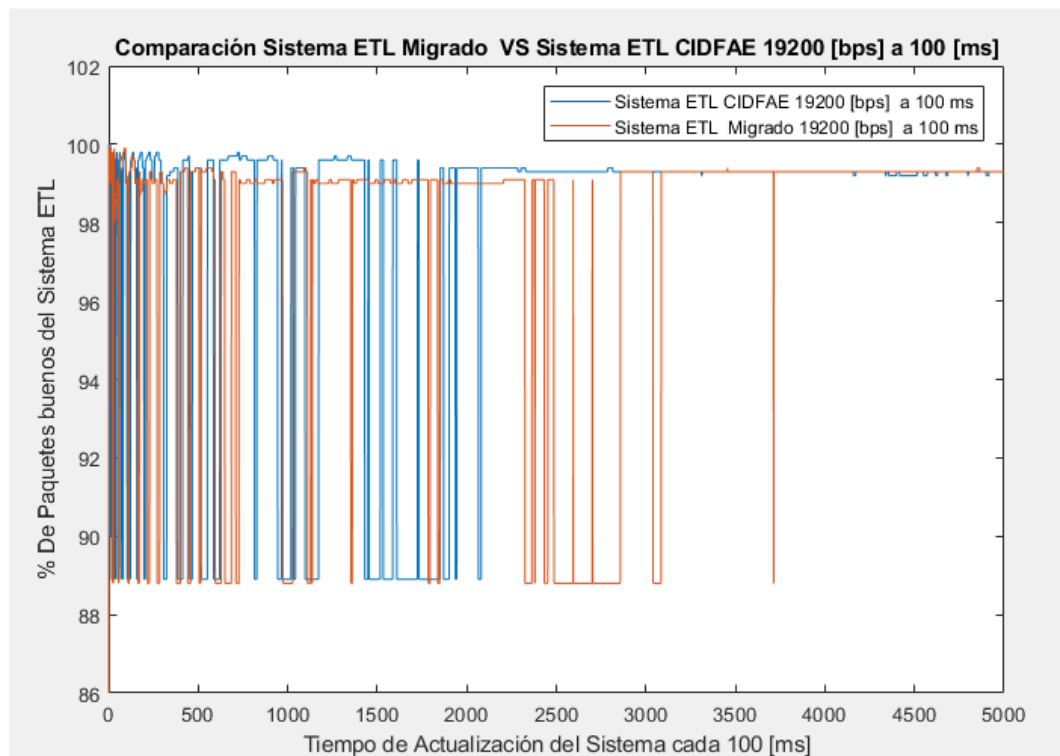


Fig.6.39: Aeronave UAV en Punto Fijo en pruebas de los Sistemas ETL CIDFAE vs ETL Migrado configurado a 19200 [bps] y 100 [ms] de tiempo de actualización
Elaborado por: Wilson Medina.

Con la configuración del sistema ETL CIDFAE a 19200 [bps] y solicitando información cada 100 [ms] representado gráficamente en la Figura 6.39 el sistema ETL CID-FAE presenta como promedio de eficiencia el valor de 95,6% es decir que de cada 1000 peticiones de información se pierde cuarenta y cuatro peticiones de información.

Por su parte el sistema ETL Migrado bajo las mismas condiciones presenta un promedio de eficiencia 97.8%. Bajo la configuración de la Figura 6.39 el sistema ETL Migrado mantiene un mejor rendimiento en el intercambio de información en comparación con el sistema ETL CIDFAE. Adicional el efecto de inestabilidad se mantiene en los dos sistemas en análisis.

Análisis de funcionamiento de los sistemas ETL CIDFAE y ETL Migrado configurado a 19200 [bps] con 200 [ms] de tiempo de actualización.

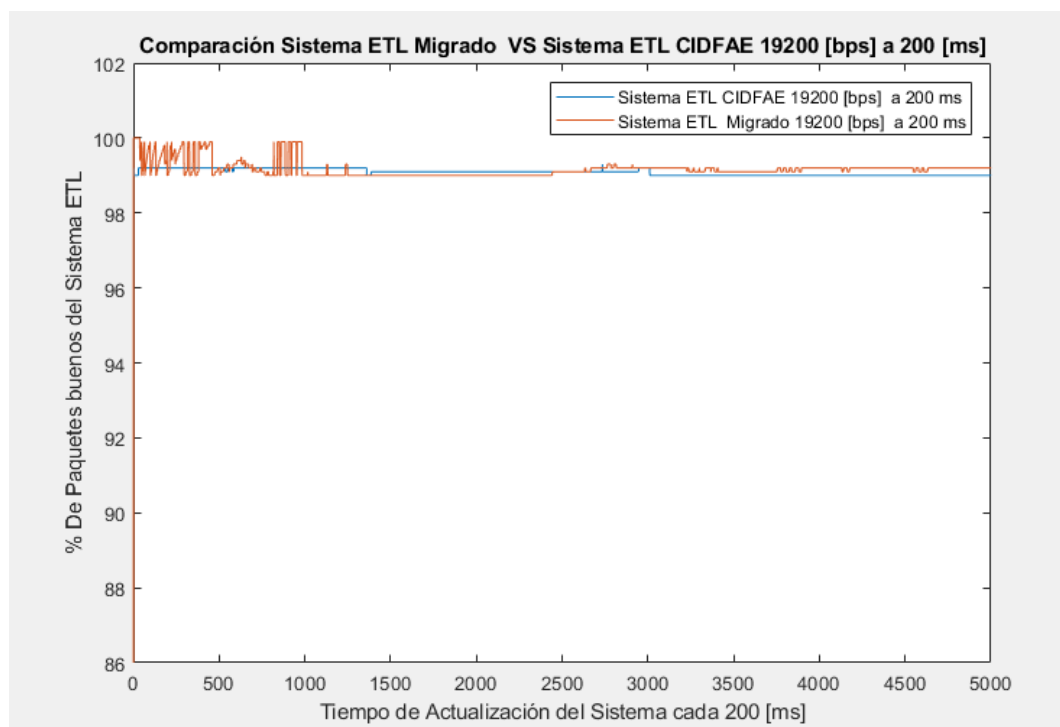


Fig.6.40: Aeronave UAV en Punto Fijo en pruebas de los Sistemas ETL CIDFAE vs ETL Migrado configurado a 19200 [bps] y 200 [ms] de tiempo de actualización
Elaborado por: Wilson Medina

Con la configuración del sistema ETL CIDFAE a 19200 [bps] y solicitando información cada 200 [ms] representado de manera gráfica en la Figura 6.40 el

sistema ETL CIDFAE presenta como promedio de eficiencia el valor de 99,1% es decir que de cada 1000 peticiones de información se pierde nueve peticiones de información.

Por su parte el sistema ETL Migrado bajo las mismas condiciones presenta un promedio de eficiencia 99.1%. Es decir bajo la configuración de la Figura 6.40 el rendimiento de los sistemas ETL CIDFAE y ETL Migrado tienen un comportamiento similar. Sin embargo el sistema ETL Migrado presenta un nivel de inestabilidad mayor al sistema ETL CIDFAE.

6.21. Comparación técnica y físicas de los sistemas ETL.

El sistema ETL Migrado está en la capacidad de adquirir las señales generadas a bordo del UAV de forma similar que el sistema ETL CIDFAE. La diferencia entre los dos sistemas radica en la resolución de las entradas analógicas.

El sistema ETL CIDFAE está compuesto por conversores ADC de 24 bits de precisión esto quiere decir que la lectura de una señal está en el rango comprendido de 0 a 16777215.

El sistema ETL Migrado tiene una resolución de 12 bits de precisión trabaja en el rango de 0 a 4095.

Para interpretar mejor este parámetro imaginemos una entrada variable en el tiempo con valores comprendidos entre 0 y 5 voltios. La entrada análoga del sistema ETL CIDFAE puede captar variaciones mínimas de 0.00029 [mV] mientras que el sistema ETL Migrado puede captar variaciones de 4.9 [mV].

El costo de un sistema de adquisición de datos se incrementa por la resolución de sus entradas analógicas. En base a las pruebas realizadas con la aeronave se ha podido determinar que para las tareas de liberación de la aeronave UAV no es necesario disponer de un sistema con alta resolución para la adquisición de datos análogos. Pues de todas las variables que intervienen en el UAV no existe ninguna que requiera ser medida en el rango de las cienmilésimas de variación.

6.22. Comprobación de la hipótesis del sistema ETL implementado bajo código abierto.

La hipótesis planteada para el presente trabajo de investigación manifiesta.

“La migración de un sistema ETL desarrollado en una plataforma de código abierto mantendrá el nivel de confianza en las tareas de intercambio de información de los equipos a bordo del UAV y reducirá el coste de operación”

Para la validación práctica de la hipótesis se realiza *a)* un análisis descriptivo de las gráficas obtenidas en el proceso de recolección de datos de las pruebas reales realizadas en campo con los sistemas ETL implementado por el CIDFAE y el sistema ETL desarrollado bajo código abierto, *b)* se aplicara la distribución de Ji cuadrada para validar el nivel de confianza del sistema ETL implementado bajo código abierto.

6.22.1. Análisis de los sistemas ETL a 57600 [bps].

La tabla 6-17 contiene los valores correspondientes a los porcentajes de datos recibidos y el porcentaje de datos perdidos en las pruebas realizadas a 57600 [bps]

Tabla 6-17: *Porcentajes de paquetes de datos buenos obtenidos del sistema ETL Migrado y sistema ETL CIDFAE a 57600 [bps].*

[bps] & frecuencia de Actualización [ms]	Porcentaje de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado [%]	Porcentaje de paquetes de datos buenos del Sistema ETL CIDFAE [%]
57600 [bps] & 50[ms]	98,7	99,2
57600 [bps] & 100[ms]	97,3	97,5
57600 [bps] & 200[ms]	97,7	97,7

Elaborado por: Wilson Medina.

En base a los resultados obtenidos en la Tabla 6-17 se puede afirmar que el sistema ETL implementado por el CIDFAE supera levemente en el porcentaje de recepción de paquetes de información buenos al sistema ETL desarrollado bajo código abierto, sobre todo cuando la frecuencia de actualización de datos es de 50 [ms]. Es oportuno recalcar que en el apartado 6.13 se manifiesta las características

del dispositivo ARM Cortex M4 en las que se indica que el dispositivo dispone de 12KB de memoria SRAM. Al llenar constantemente el Buffer de comunicaciones se consume el recurso limitado SRAM razón por la cual se tiende a perder paquetes de datos. El efecto descrito no ocurre en el sistema ETL implementado por el CIDFAE ya que el dispositivo en el que está desarrollada la aplicación es un cRIO 9014 el cual tiene 128 Mb de memoria RAM.

Sin embargo con la misma velocidad de intercambio de información y proporcionando más tiempo (200 [ms]) para el vaciado del buffer de comunicación y la liberación de las líneas de comunicación los dos sistemas presentan el mismo porcentaje de confianza en el intercambio de información de datos.

También es prudente tener en cuenta la característica del estándar de comunicaciones RS-232 que dice al incrementar la velocidad de transferencia de información se pierde robustez frente al ruido emitido o generado por fuentes externas como EMI o IRF (Forero Saboya, 2012).

6.22.2. Análisis de los sistemas ETL a 38400 [bps]

La tabla 6-18 contiene los valores correspondientes a los porcentajes de datos recibidos y el porcentaje de datos perdidos en las pruebas realizadas a 38400 [bps].

Tabla 6-18: Porcentajes de paquetes de datos buenos obtenidos del sistema ETL Migrado y sistema ETL CIDFAE a 38400 [bps].

[bps] & frecuencia de Actualización [ms]	Porcentaje de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado [%]	Porcentaje de paquetes de datos buenos del Sistema ETL CIDFAE [%]
38400 [bps] & 50[ms]	99,2	99,2
38400 [bps] & 100[ms]	99,9	99,9
38400 [bps] & 200[ms]	99,9	99,9

Elaborado por: Wilson Medina.

Los porcentajes de confianza de los sistemas ETL CIDFAE y el sistema ETL Migrado son idénticos, el comportamiento es similar y se puede afirmar que bajo estas condiciones se ha conseguido mantener la cantidad de paquetes de información buenos en relación al total de paquetes transmitidos demostrando de manera práctica la hipótesis planteada en la presente investigación.

Al disminuir la velocidad de intercambio de información se aumenta la robustez a los efectos del ruido en el estándar RS232 (Forero Saboya, 2012). Por otra parte al transmitir la información a 38400 [bps] se tiene más tiempo para realizar las tareas de lectura escritura en el buffer de comunicaciones.

6.22.3. Análisis de los sistemas ETL a 19200 [bps]

La tabla 6-19 contiene los valores correspondientes a los porcentajes de datos recibidos y el porcentaje de datos perdidos en las pruebas realizadas a 19200 [bps]

Tabla 6-19: Porcentajes de paquetes de datos buenos obtenidos del sistema ETL Migrado y sistema ETL CIDFAE a 19200 [bps].

[bps] & frecuencia de Actualización [ms]	Porcentaje de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado [%]	Porcentaje de paquetes de datos buenos del Sistema ETL CIDFAE [%]
19200 [bps] & 50[ms]	98,5	96,7
19200 [bps] & 100[ms]	97,8	95,6
19200 [bps] & 200[ms]	99,1	99,1

Elaborado por: Wilson Medina.

La Tabla 6-19 muestra niveles de eficiencia levemente superiores con el sistema ETL Migrado. Al disminuir la velocidad [bps] el estándar de comunicaciones RS232 es mucho más robusto a los efectos de ruido (Forero Saboya, 2012) que pueden causar las fuentes emisoras de Radio Frecuencia y de interferencia electromagnética.

Bajo estas condiciones en base a los datos obtenidos de las pruebas experimentales se puede afirmar que la hipótesis se cumple pues hay puntos en los

que el sistema ETM Migrado supera al sistema ETL CIDFAE en el porcentaje de paquetes buenos recibidos en el proceso de intercambio de información.

6.23. Aplicación de Ji cuadrada para la validación de la hipótesis mediante pruebas de campo

Para la aplicación de la distribución de Ji Cuadrada se lo realiza analizando las tres configuraciones *a)* 19200 [bps], *b)* 38400 [bps], *c)* 57600 [bps] y se aplica a los datos recolectados de los sistemas ETL CIDFAE y Migrado. Se toman los datos correspondientes al número de paquetes o de solicitudes totales y se contrasta con el número de paquetes recibidos correctamente.

6.23.1. Distribución Ji cuadrado para el sistema ETL Migrado a 19200 [bps].

Para realizar el cálculo de Ji cuadrado para los datos adquiridos a 19200[bps], 38400[bps] y 57600[bps] del sistema ETL Migrado se trabajan con los siguientes datos.

Datos.

Nivel de Significancia α

$\alpha = 0.05$

Grados de Libertad $G=2$

La relación estadística que se utiliza para calcular el valor de Ji Cuadrada es la siguiente.

$$X^2 = \sum \left(\frac{(f_o - f_e)^2}{f_e} \right)$$

Simbología:

X^2 = Ji Cuadrada.

Σ = Sumatoria.

f_0 = frecuencia observada.

f_e = Frecuencia esperada.

Para determinar el grado de libertad se hace referencia a la Tabla 6-20. El grado de libertad es 2 para todos los cálculos pues todas las Tablas de frecuencias observadas (f_o) tienen el mismo número de columnas y filas lo que cambia es el contenido.

La tabla 6-20 contiene los valores de la frecuencia de paquetes enviados, paquetes recibidos y paquetes perdidos, cuando el sistema y ETL Migrado está intercambiando información a 19200[bps].

Tabla 6-20: Frecuencias Observadas en la recolección de datos sistema ETL Migrado a 19200 [bps].

Parámetros	Calidad de Paquetes		Total de Paquetes
	Paquetes Buenos	Paquetes Malos	
Porcentaje de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 19200[bps] 50 [ms]	10602	120	10760
Porcentaje de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 19200[bps] 100 [ms]	5712	127	5839
Porcentaje de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 19200[bps] 200 [ms]	4797	42	4839
Total	21111	289	21438

Elaborado por: Wilson Medina

$$Gl = (filas - 1) * (columnas - 1).$$

$$filas = (3 - 1) = 2$$

$$columnas = (2 - 1) = 1$$

$$Gl = (2)$$

Frecuencias Teórica Esperadas f_e para el sistema ETL Migrado a 19200 [bps]

La siguiente relación permite determinar la frecuencia esperada

$$f_e = \frac{(Total\ marginal\ de\ reglon) * (Total\ marginal\ de\ columna)}{N}$$

La relación $f_e = \frac{(Total\ marginal\ de\ reglon) * (Total\ marginal\ de\ columna)}{N}$

se aplica a los cálculos de todas las Tablas de frecuencias esperadas.

A continuación se calcula las frecuencias esperadas las mismas que se muestran en la Tabla 6-21.

La Frecuencia esperada en la recepción de paquetes del Sistema ETL Migrado opción paquetes Buenos.

$$f_e = \frac{21111 * 10760}{21438} = 9478$$

La relación anterior se utiliza para calcular todas las frecuencias esperadas las mismas. En la Tabla 6-21 se muestran los valores de las frecuencias esperadas cuando el sistema ETL Migrado está configurado a 19200 [bps].

Tabla 6-21: Frecuencias Esperadas en la recolección de datos sistema ETL Migrado a 19200 [bps].

Parámetros	Calidad de Paquetes	
	Paquetes Buenos	Paquetes Malos
Porcentaje de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 19200[bps] 50 [ms]	10595,67	78,71
Porcentaje de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 19200[bps] 100 [ms]	5749,83	78,71
Porcentaje de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 19200[bps] 200 [ms]	4765,10	65,23

Elaborado por: Wilson Medina

En la Tabla 6-22 se procede a calcular el valor de Ji Cuadrada en base a los valores de las frecuencias observadas f_o y esperadas correspondientes a la configuración 19200[bps], este valor permitirá validar de forma estadística la hipótesis planteada del presente trabajo.

Tabla 6-22: Cálculo Ji Cuadrado sistema ETL Migrado a 19200 [bps].

$X^2 = \sum \left(\frac{(f_o - f_e)^2}{f_e} \right)$	f_o	f_e	$f_o - f_e$	$(f_o - f_e)^2$	$\frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$
Cantidad de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 19200[bps] 50 [ms] Buenos	1060 2	10595,67	5.93	35,13	0,003
Cantidad de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 19200[bps] 50 [ms] Malos	120	78,71	41,29	1704,53	21,65
Cantidad de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 19200[bps] 100 [ms] Buenos	5712	5749,83	-37.83	1430,92	0,25
Cantidad de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 19200[bps] 100 [ms] Malos	127	78,71	48,29	2331,54	29,60
Cantidad de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 19200[bps] 200 [ms] Buenos	4797	4765,10	31,90	1017,65	0,21
Cantidad de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 19200[bps] 200 [ms] Malos	42	65,23	-23,33	593,79	8,27
X^2_c	60,01				

Elaborado por: Wilson Medina

6.23.2. Distribución Ji cuadrado para el sistema ETL Migrado a 38400 [bps]

La tabla 6-23 contiene los valores de la frecuencia de paquetes enviados, paquetes recibidos y paquetes perdidos, cuando el sistema y ETL Migrado está intercambiando información a 38400[bps].

Tabla 6-23: Frecuencias Observadas en la recolección de datos sistema ETL Migrado a 38400 [bps]

Parámetros	Calidad de Paquetes		Total de Paquetes
	Paquetes Buenos	Paquetes Malos	
Porcentaje de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 38400 [bps] 50 [ms]	51744	416	52160
Porcentaje de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 38400 [bps] 100 [ms]	9152	9	9161
Porcentaje de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 38400 [bps] 200 [ms]	7022	4	7032
Total	67918	429	68353

Elaborado por: Wilson Medina

Frecuencias Teórica Esperadas para el sistema ETL Migrado a 38400 [bps] se puede observar en la Tabla 6-24.

Tabla 6-24: Frecuencias Esperadas en la recolección de datos sistema ETL Migrado a 38400 [bps].

Parámetros	Calidad de Paquetes	
	Paquetes Buenos	Paquetes Malos
Porcentaje de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 38400 [bps] 50 [ms]	51828,05	317,45
Porcentaje de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 38400 [bps] 100 [ms]	9102,70	57,50
Porcentaje de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 38400 [bps] 200 [ms]	6987,25	44,13

Elaborado por: Wilson Medina

En la Tabla 6-25 se procede a calcular el valor de Ji Cuadrada en base a los valores de las frecuencias observadas y esperadas correspondientes a la configuración 38400[bps], este valor permitirá validar de forma estadística la hipótesis planteada del presente trabajo.

Tabla 6-25: Cálculo Ji Cuadrado sistema ETL Migrado a 38400 [bps].

$\chi^2 = \sum \left(\frac{(fo - fe)^2}{fe} \right)$	fo	fe	$fo - fe$	$(fo - fe)^2$	$\frac{(fo - fe)^2}{fe}$
Cantidad de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 38400[bps] 50 [ms] Buenos	5174 4	51828,05	-84	7064,84	0,14
Cantidad de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 38400 [bps] 50 [ms] Malos	416	317,45	99	9712,39	30,60
Cantidad de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 38400 [bps] 100 [ms] Buenos	9152	9102,70	49	2430,57	0,27
Cantidad de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 38400 [bps] 100 [ms] Malos	9	57,50	-48	2351,92	40,91
Cantidad de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 38400 [bps] 200 [ms] Buenos	7022	6987,25	35	1207,69	0,17
Cantidad de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 38400 [bps] 200 [ms] Malos	4	44,14	-40	1610,78	36,50
χ^2_c	108,57				

Elaborado por: Wilson Medina

6.23.3. Distribución Ji cuadrado para el sistema ETL Migrado a 57600 [bps]

La tabla 6-26 contiene los valores de la frecuencia de paquetes enviados, paquetes recibidos y paquetes perdidos, cuando el sistema y ETL Migrado está intercambiando información a 57600[bps].

Tabla 6-26: Frecuencias Observadas en la recolección de datos sistema ETL Migrado a 57600 [bps].

Parámetros	Calidad de Paquetes		Total de Paquetes
	Paquetes Buenos	Paquetes Malos	
Porcentaje de paquetes de datos buenos del Sistema ETL C Migrado 57600[bps] 50 [ms]	18437	240	18677
Porcentaje de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 57600 [bps] 100 [ms]	44936	1228	46164
Porcentaje de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 57600 [bps] 200 [ms]	3646	82	3728
Total	67019	1550	68569

Elaborado por: Wilson Medina

En la Tabla 6-27 se calcula los valores correspondientes a la Frecuencias Teórica Esperadas para el sistema ETL Migrado a 57600 [bps].

Tabla 6-27: Frecuencias Esperadas en la recolección de datos sistema ETL Migrado a 57600 [bps].

Parámetros	Calidad de Paquetes	
	Paquetes Buenos	Paquetes Malos
Porcentaje de paquetes de datos buenos del Sistema ETL C Migrado 57600[bps] 50 [ms]	18254,81	422,19
Porcentaje de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 57600 [bps] 100 [ms]	4512,46	1043,54
Porcentaje de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 57600 [bps] 200 [ms]	3643,72	84,27

Elaborado por: Wilson Medina

En la Tabla 6-28 se procede a calcular el valor de Ji Cuadrada en base a los valores de las frecuencias observadas y esperadas correspondientes a la configuración 57600[bps], este valor permitirá validar de forma estadística la hipótesis planteada del presente trabajo.

Tabla 6-28: *Calculo Ji Cuadrado sistema ETL Migrado a 57600 [bps].*

$X^2 = \sum \left(\frac{(fo - fe)^2}{fe} \right)$	<i>fo</i>	<i>fe</i>	<i>fo - fe</i>	$(fo - fe)^2$	$\frac{(fo - fe)^2}{fe}$
Cantidad de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 57600 [bps] 50 [ms] Buenos	18437	18254,81	182,19	33194,28	1,82
Cantidad de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 57600 [bps] 50 [ms] Malos	240	422,19	-182,19	33194,28	78,62
Cantidad de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 57600 [bps] 100 [ms] Buenos	44936	45120,46	-184,46	34027,08	0,75
Cantidad de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 57600 [bps] 100 [ms] Malos	1228	1043,54	184,46	34027,08	32,61
Cantidad de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 57600 [bps] 200 [ms] Buenos	3646	3643,73	2,27	5,16	0,0014
Cantidad de paquetes de datos buenos del Sistema ETL Migrado 57600 [bps] 200 [ms] Malos	82	84,27	-2,27	5,16	0,06
X^2_c	113,87				

Elaborado por: Wilson Medina

El valor de la Tabla de distribución de Ji Cuadrado para $\alpha = 0.05$ y dos grados de libertad es 5,991 valor tomado de la Figura 4.11.

Los valores obtenidos de las Tablas de distribuciones Tabla 6-22, Tabla 6-25 y Tabla 6-28 correspondientes a 19200 [bps], 38400 [bps] y 57600 [bps] son. 60,01, 108,87 y 113,87 respectivamente. En los tres casos el valor calculado es superior al valor de referencia de la Figura 4.11. Eso quiere decir que en los tres casos $Xc^2 > Xt^2$ con esa condición se procede a tomar la decisión.

Decisión.

Condición lógica de decisión



Si $Xc^2 > Xt^2 \Rightarrow H_0$ es rechazada y H_1 es aceptada.

Se acepta H_1 que manifiesta

H_1 =La migración de un sistema ETL desarrollado en una plataforma de código abierto SI mantendrá el nivel de confianza en las tareas de intercambio de información de los equipos a bordo del UAV y reducir el coste de operación.

En base a los resultados obtenidos en el cálculo de Ji cuadrado Tablas 6-22, 6-25 y 6-28 más el contraste de las características físicas de los dos sistemas indicados en la Tabla 6-29, se puede afirmar que el sistema ETL Migrado mantiene el nivel de confianza en las tareas de intercambio de información a bordo del UAV comparado al sistema ETL implementado por el CIDFAE. Con la ventaja de que se ha podido optimizar los recursos en lo referente a espacio y peso a bordo de la aeronave UAV.

Tabla 6-29: Comparación Físicas sistemas ETL CIDFAE & sistema ETL Migrado

Sistema	Referencia Grafica	Valor Económico Referencial	Peso [g]	Dimensiones Wxhxd [mm]	Consumo de energía	Plataforma de desarrollo
ETL CIDFAE		18000 usd	3600	110x180x280	20 W	NI Licencia
ETL Migrado		1200 usd	250	120x40x120	5 W	Mbed OS Open source

Elaborado por: Wilson Medina.

6.24. Conclusiones

Objetivo 1:

- Las variables a compartir a bordo de la aeronave UAV son el porcentaje de aceleración requerido por Micro piloto mediante la lectura del valor análogo generado por este y transmitido a la ECU del sistema de propulsión Zanzottera 498H, el sistema ETL desarrollado bajo código abierto cumple satisfactoriamente este requerimiento.

Objetivo 2:

- El diseño de la tarjeta de adquisición de datos tiene la capacidad de extraer información de diferentes fuentes generadoras de datos. Adquiere información análoga y digital, la empaqueta y la transmite a la EMCT en la cual los operadores pueden tomar decisiones sobre las operaciones del UAV.

Objetivo 3:

- El sistema ETL desarrollado bajo una plataforma de código abierto mantiene el nivel de confianza en las tareas de intercambio de información con referencia al sistema ETL implementado por parte del CIDFAE. Al realizar el análisis comparativo entre los datos del porcentaje de paquetes buenos recibidos se concluye que la migración del sistema ETL es aplicable a la aeronave UAV del CIDFAE.
- El nivel de confianza de los sistemas ETL en las tareas de intercambio de información a bordo de la aeronave tienen comportamientos variables. Esto depende de la velocidad de intercambio de información y la frecuencia de actualización de datos. De las gráficas obtenidas en base a la recolección de datos capítulo 6 se concluye que. El sistema presenta un mejor rendimiento cuando la velocidad de transferencia es de 38400 [bps]. Las tareas de intercambio de información mantienen la misma relación en el porcentaje de paquetes buenos recibidos entre el sistema ETL CIDFAE y el sistema ETL Migrado.
- La plataforma en la que se realizó la migración del sistema ETL brinda alternativas eficientes para la adquisición transformación y transmisión de datos y es totalmente compatible con el HMI instalado en la EMCT.
- Con la migración de las tareas del sistema ETL a bordo de la aeronave UAV el CIDFAE en la actualidad cuenta con una herramienta alterna de menor costo, de menor volumen, de menor peso y de características técnicas acorde a las necesidades del proyecto DOCR en los procesos de intercambio de información entre dispositivos a bordo de la aeronave UAV.
- Con la implementación del sistema ETL sobre la arquitectura de código abierto se abre la posibilidad de realizar tareas investigativas orientadas a la aviación experimental en el CIDFAE bajo la arquitectura Cortex ARM.

6.25. RECOMENDACIONES.

- Se recomienda ruggedizar el sistema ETL desarrollado bajo código abierto con el fin de darle mayor robustez para la manipulación y pruebas que se realicen.
- Que el CIDFAE apoye en temas de investigación sobre adquisición de datos, programación, control y automatización de procesos mediante el uso de plataforma de desarrollo bajo código abierto buscando la optimización de los recursos.
- Mediante el uso del sistema aquí desarrollado se incrementa aplicativos como implementar funciones de log de datos con el propósito de poder realizar análisis de post vuelo.
- Realizar capacitaciones periódicas al personal de aerotécnicos del CIDFAE sobre el uso del sistema ETL implementado bajo código abierto, con la finalidad de familiarizar los procesos y técnicas a seguir para un buen funcionamiento del sistema en mención.

REFERENCIAS

- Andrade, F., Storvold, R. and Johansen, T. (2017). Autonomous UAV surveillance of a ship's path with MPC for maritime situational awareness. 2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS).
- Aircraftspruce. (2018). PRINCETON CAPACITANCE FUEL PROBES from Aircraft Spruce. [online] Available at: <https://www.aircraftspruce.com/catalog/inpages/princefuelprobes.php> [Accessed 31 Oct. 2018].
- ARM Ltd., A. (2018). Microprocessor Cores and Technology – Arm. [online] Arm | The Architecture for the Digital World. Available at: <https://www.arm.com/products/processors/cortex-m> [Accessed 31 Oct. 2018].
- Arm Mbed. (2018). *os.mbed.com* | Mbed. [online] Available at: <https://www.mbed.com/en/platform/mbed-os/> [Accessed 1 Nov. 2018].
- Austin, R. (2010). Unmanned aircraft systems. Chichester, U.K.: Wiley.
- Roldan, J., Garcia-Aunon, P., del Cerro, J. and Barrientos, A. (2016). Determining mission evolution through UAV telemetry by using decision trees. 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC).
- Bhatti, D., Saeed, N. and Nam, H. (2016). Fuzzy C-Means Clustering and Energy Efficient Cluster Head Selection for Cooperative Sensor Network. *Sensors*, 16(9), p.1459.
- Boyes, W. (2010). Instrumentation reference book. Boston: Butterworth-Heinemann/Elsevier.
- Chen, N. (2014). Design of Micro Inertial Navigation Computer and Data Real-Time Displaying System Based on FPGA. *Advanced Materials Research*, 919-921, pp.2123-2126.
- Cherukuri, R. (2014). Design and Development of a Project-Based Embedded System Laboratory Using PIC 18F25K20. *American Journal of Embedded Systems and Applications*, 2(3), p.21.
- Choi, H., Geeves, M., Alsalam, B. and Gonzalez, F. (2016). Open source computer-vision based guidance system for UAVs on-board decision making. 2016 IEEE Aerospace Conference.
- Chtourou, S., Kharrat, M., Ben Amor, N., Jallouli, M., & Abid, M. (2018). Using IOIOAI in introductory courses to embedded systems for engineering students: a case study. *International Journal Of Electrical Engineering Education*, 55(1), 62-78. doi: 10.1177/0020720917750959
- Cajo, I., Pucuna, S., Cajo, B., Andrade, P. and Cajo, D. (2018). Diseño, Programación E Implementación De Una Red De Plc Rs 485, Caso

Práctico: Laboratorio De Automatización Industrial En Una Institución De Educación Superior. *European Scientific Journal*, 14(9).

- Current Transducer HASS 50.600-S. (2018). . Available at: <https://docs-emea.rs-online.com/webdocs/146d/0900766b8146d061.pdf>, [Accessed 31 Oct. 2018].
- Dalamagkidis, K., Valavanis, K. and Piegl, L. (2012). *On Integrating Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace System*. Dordrecht: Springer Science+Business Media B.V.
- David, V., Octavio, G., David, B. and Victor, E. (2015). Analysis, Design, and Implementation of an Autopilot for Unmanned Aircraft - UAV's Based on Fuzzy Logic. 2015 Asia-Pacific Conference on Computer Aided System Engineering.
- Dynatronic-tech. (2018). Dynatronic-tech.com. [online] Available at: <http://www.dynatronic-tech.com/data-acquisition-system.html> [Accessed 31 Oct. 2018].
- Omega Engineering (2018). Es.omega.com. *Sistema de adquisición de Datos | Omega Engineering*. [online] Available at: <https://es.omega.com/prodinfo/adquisicion-de-datos.html> [Accessed 31 Oct. 2018].
- Fecegypt, (2018). Fecegypt.com. [online] Available at: http://www.fecegypt.com/uploads/dataSheet/1522331020_arduino%20due.pdf [Accessed 1 Nov. 2018].
- Forero Saboya, N. (2012). Serial Communication Standards: RS-232, RS-422 y RS-485. *Ingenio Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Libre*. [online] Available at: <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista-11/art13.pdf> [Accessed 10 Jan. 2018].
- Gevaert, C., Tang, J., Garcia-Haro, F., Suomalainen, J. and Kooistra, L. (2014). Combining hyperspectral UAV and multispectral Formosat-2 imagery for precision agriculture applications. 2014 6th Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (WHISPERS).
- Hayat, S., Yanmaz, E. and Muzaffar, R. (2016). Survey on Unmanned Aerial Vehicle Networks for Civil Applications: A Communications Viewpoint. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(4), pp.2624-2661.
- Incicco, S., De Ferraris, F. and Real, N. (2015). Embedded navigation and control system for UAVs ARM Cortex M4. 2015 XVI Workshop on Information Processing and Control (RPIC).
- Jara-Olmedo, A., Medina-Pazmiño, W., Mesías, R., Araujo-Villaroel, B., Aguilar, W. and Pardo, J. (2018). Interface of Optimal Electro-

Optical/Infrared for Unmanned Aerial Vehicles. Smart Innovation, Systems and Technologies, pp.372-380.

- Jara-Olmedo, A., Medina-Pazmino, W., Tozer, T., Aguilar, W. and Pardo, J. (2018). E-services from Emergency Communication Network: Aerial Platform Evaluation. 2018 International Conference on eDemocracy & eGovernment (ICEDEG).
- Jara-Olmedo, A., Medina-Pazmiño, W., Galarza, E., Silva, F., Galarza, E. and Naranjo, C. (2018). Data Link System Flight Tests for Unmanned Aerial Vehicles. Smart Innovation, Systems and Technologies, pp.151-161.
- Keleshis, C., Ioannou, S., Vrekoussis, M., Levin, Z. and Lange, M. (2014). Data Acquisition (DAQ) system dedicated for remote sensing applications on Unmanned Aerial Vehicles (UAV). Second International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2014).
- Leon.260mb.net. (2018). Pelicano UAV. [online] Available at: <http://leon.260mb.net/prototipos/pelicano-uav/> [Accessed 31 Oct. 2018].
- Loya, H. and Burbano, P. (2012). Diseño y construcción de un prototipo de sistema de control de gases para ballonets en un dirigible. Revista Politécnica, 31(1), pp.52-57.
- Medina-Pazmiño, W. and Jara-Olmedo, A. (2017). Determinación y Pruebas de los Requerimientos Mínimos Para Un Sistema De Data Link Para Aeronaves no Tripuladas. Revista Politécnica, 39(1).
- Meggitt, 2018, <https://www.meggitt.com>, 2018, Accessed 31 Oct. 2018. (http://targetsystems.qinetiq.com/static/media/files/MDS_342_2015.pdf).
- Micconi, G., Aleotti, J. and Caselli, S. (2016). Evaluation of a haptic interface for UAV teleoperation in detection of radiation sources. 2016 18th Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON).
- Pccomponentes. (2018). Raspberry Pi 3 Modelo B. [online] Available at: <https://www.pccomponentes.com/raspberry-pi-3-modelo-b> [Accessed 31 Oct. 2018].
- Presidencia de la República del Ecuador, 2008 “Utilización de Software libre en la Administración Pública”, Registro Oficial 322 de 23-abr.-2008, <http://www.controlhidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/MARCO-LEGAL-2016/Registro-Oficial-322-Decreto-Ejecutivo-1014.pdf>.
- Mbed, (2018). | Os.mbed.com. [online] Available at: <https://os.mbed.com/handbook/Homepage> <https://www.arduino.cc/> [Accessed 1 Nov. 2018].

- Rezaei-Zare, A. (2017). Equivalent Winding Capacitance Network for Transformer Transient Analysis Based on Standard Test Data. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 32(4), pp.1899-1906.
- Sabtu, A., Azmi, N., Sjarif, N., Ismail, S., Yusop, O., Sarkan, H. and Chuprat, S. (2017). The challenges of Extract, Transform and Loading (ETL) system implementation for near real-time environment. 2017 International Conference on Research and Innovation in Information Systems (ICRIIS).
- Sawhney, P. (2013). *A Course In Mechanical Measurements And Instrumentation & Control*. Dhanpat Rai & Co.
- Sumalan, A., Popescu, D. and Ichim, L. (2016). Flood evaluation in critical areas by UAV surveillance. 2016 8th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI).
- Wibowo, A. (2015). Problems and available solutions on the stage of Extract, Transform, and Loading in near real-time data warehousing (a literature study). 2015 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA).
- Wu, D., Chen, X., Yang, L., Fu, G. and Shi, X. (2017). Compact and Low-Profile Omnidirectional Circularly Polarized Antenna With Four Coupling Arcs for UAV Applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 16, pp.2919-2922.
- Xia, M., Gong, L., Lyu, Y., Qi, Z. and Liu, X. (2015). Effective Real-Time Android Application Auditing. 2015 IEEE Symposium on Security and Privacy.
- Zhao Jue and Yang Shun (2012). Design of Modbus-Profibus fieldbus bridge based on the STM32 and VPC3 + C. 2012 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering.
- Zhou, F., Hu, P., Feng, X. and Song, Y. (2017). Improved prim algorithm and its application in unmanned aerial vehicle cruise system. 2017 29th Chinese Control And Decision Conference (CCDC).
- Diouf, P., Boly, A. and Ndiaye, S. (2017). Performance of the ETL processes in terms of volume and velocity in the cloud: State of the art. 2017 4th IEEE International Conference on Engineering Technologies and Applied Sciences (ICETAS).
- Singh, R., Sankar, M., Bindu, S., Sincy, G. and Saroj, P. (2017). Issues and mitigation of high voltage isolation in solid state Marx generator. 2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT).
- St. (2018). NUCLEO-F334R8 - STM32 Nucleo-64 development board with STM32F334R8 MCU, supports Arduino and ST morpho connectivity - STMicroelectronics. [online] Available at:

<https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-f334r8.html> [Accessed 1 Nov. 2018].

- Gomes, N. and Belo, O. (2016). Modeling an opportunistic ETL agent based system using YAWL. 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC).
- Salazar, A., Fonseca, D., Martelli, A., Fontes, F. and de Oliveira Quintaes, F. (2014). Instrumentation to detect contamination of insulating oil in motors applied to electrical submersible pump. 2014 11th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications.
- Zanzottera Technologies Srl, 2018, <http://www.zanzotteraengines.com>, Accessed 31 Oct. 2018. (<http://www.zanzotteraengines.com/en/engines/498h.html>).

ANEXOS

ANEXO 1: Estructura del Cuestionario

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL**

MAESTRÍA EN AUTOMATIZACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL

NOTA: Cuestionario dirigido a personal Aerotécnico y operadores de cabina (EMCT) del CIDFAE.

OBJETIVO DE LA ENTREVISTA:

Obtener información para estimar la posibilidad de migrar las características del sistema ETL implementado por el CIDFAE a un sistema desarrollado bajo alguna plataforma de desarrollo libre.

La entrevista servirá de apoyo a la investigación planteada para solucionar un problema suscitado en la institución, la información es anónima y tendrá la reserva del caso, le solicito comedidamente conteste con veracidad el siguiente cuestionario.

INSTRUCCIONES:

Marque con una X la respuesta que considere conveniente.

1. **¿Cree usted que el sistema ETL implementado por el CIDFAE actualmente entrega información confiable?**
 Si
 Parcialmente
 No
Explique su respuesta
2. **¿ Los datos compartidos por el sistema ETL implementado por el CIDFAE son suficientes para poder tomar decisiones desde la EMCT en las misiones del UAV?**
 Si

Medianamente

No

Explique su respuesta

3. **¿ Existe algún tipo de dificultad para operar el sistema ETL implementado por el CIDFAE en el UAV?**

Si

Parcialmente

No

Explique su respuesta

4. **¿ Cree usted que el sistema ETL implementado por el CIDFAE es Eficiente?**

Si

Parcialmente

No

Explique su respuesta

5. **¿ Cree usted que es adecuado utilizar una herramienta como el sistema ETL implementado por el CIDFAE para ayudar en la toma de decisiones al personal operador de cabina del UAV?**

Si

Parcialmente

No

Explique su respuesta

6. **¿ El sistema ETL implementado por el CIDFAE reduce espacio y disminuye la capacidad de llevar mayor carga útil bordo del UA?**

Si

Parcialmente

No

Explique su respuesta.

7. **¿Cree usted que el sistema ETL implementado por el CIDFAE agiliza las acciones de liberación de la aeronave UAV en las pruebas realizadas en tierra?**

- Si
 Parcialmente
 No

Explique su respuesta.

8. **¿Cree usted que disminuyendo peso y volumen del sistema ETL implementado por el CIDFAE la aeronave UAV aumentaría en su eficiencia?**

- Si
 Parcialmente
 No

Explique su respuesta.

9. **¿ Cree usted tener más comodidad y confianza al trabajar con sistemas no muy costosos en tareas de liberación de la aeronave UAV?.**

- Si
 Parcialmente
 No

Explique su respuesta.

10. **¿ Cree conveniente contar con una herramienta alternativa al sistema ETL implementado por el CIDFAE para mejorar las tareas de liberación de aeronave UAV?**

- Si
 Parcialmente
 No

ANEXO 2: Calibración Sensor de Combustible

PRINCETON CAPACITIVE FUEL LEVEL PROBES

3133 MADISON AVE, WYOMING, MI 49548 (616) 243-8800 email support@princeton-electronics.com

Instructions

These instructions are for the bendable and non-bendable probes. The probes are mounted by a SAE 5 bolt hole pattern or press fit with supplied rubber grommet (for plastic tanks only). An optional backing plate kit can be used to adapt tanks without this bolt hole pattern. The rubber grommet is not used when mounting with the SAE 5 bolt pattern.

Theory of operation

The probe senses a change in fuel level using a capacitive sensor formed by two metal conductors. No current passes through the fuel. The aluminum outer tube is at ground potential through an isolation capacitor. The inner brass rod has a signal on it through a 1 Meg ohm resistor. There is a digital microprocessor that filters and conditions the signal providing a very stable fuel level reading.

The leads from the probe are protected from miss wiring of the probe. The supply voltage can be from 10 to 28 volts continuous.

Probe operation

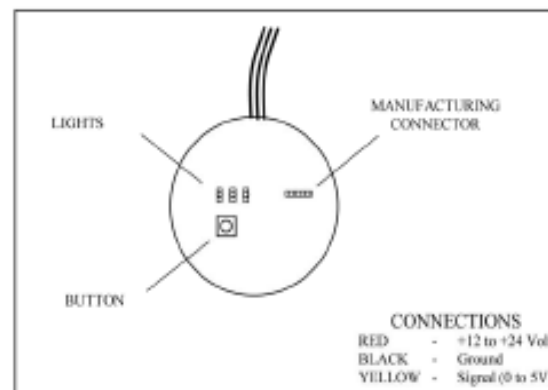
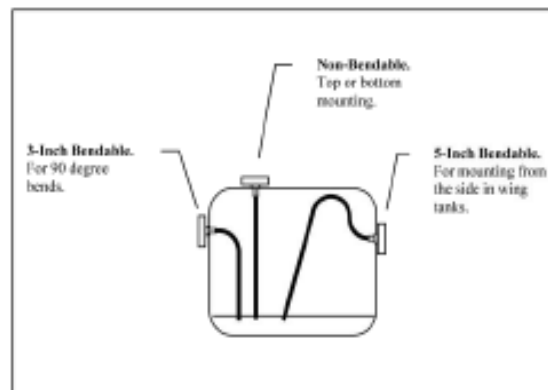
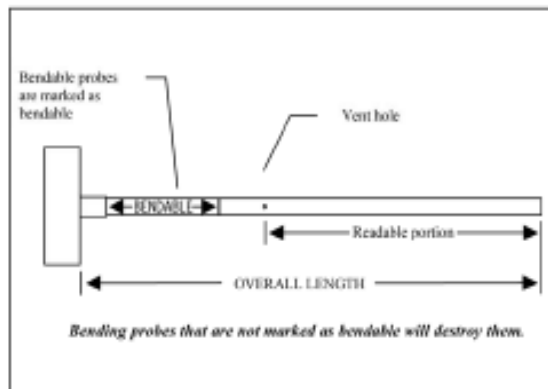
The probe has two modes of operation, calibration and run. The probe comes from the factory in the calibration mode. To calibrate the probe see the calibration instructions.

When power is applied and the probe has been calibrated the probe will perform a self-test sequence. The middle light flashes quickly while this process takes place. The output of the probe will go to full for 1 second and then empty for 1 second. This allows a visual test of both the gauge and the probe for proper operation. The output is filtered with a RC network and therefore does not change rapidly. The gauge will read full very briefly. After the self-test a heartbeat will flash every 2 seconds on the middle light. The current level is updated without averaging to get a reading quickly at power-up.

The output of the probe is digitally filtered by two methods. The first is an averaging function. Readings are averaged for 60 seconds before being passed to the second digital filter. This type of filtering works well with fuel because of low frequency sloshing. With float type probes this is seen in the indicator rocking back and fourth. The averaging method eliminates this.

The second digital filter is a low pass filter that behaves like a RC filter with a long time constant. The output will change slowly. The main benefit from this filter is the elimination of high frequency oscillations.

Because of the filtering used the fuel level reading will be very stable. It can take up to 120 seconds to update an actual change in fuel quantity. Even while filling the tank this is not a problem.



PRINCETON CAPACITIVE FUEL LEVEL PROBES

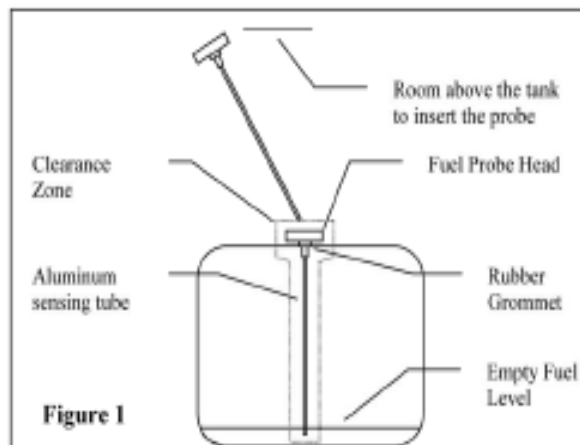
3133 MADISON AVE, WYOMING, MI 49548 (616) 243-8800 email support@princeton-electronics.com

1) Determine location

- ❑ Non-bendable probes mount on the top or bottom of the tank. Bendable probes mount from the sides.
- ❑ Must be clear of any interference of probe head and aluminum sensing tube. The probe will move a small amount from vibration. There must be clearance for this.
- ❑ Be sure you can get the probe in a $\frac{1}{2}$ inch hole with the length of probe above the tank. You must have sufficient room above the tank.
- ❑ Drill a $\frac{1}{2}$ inch hole for the probe.

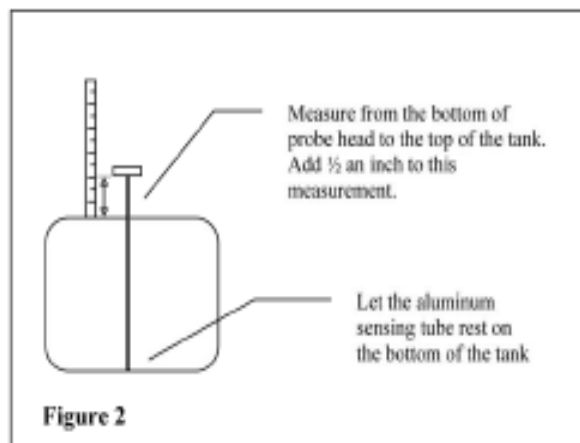
2) Determine length of probe

- ❑ Place the probe in the $\frac{1}{2}$ inch hole without the rubber grommet. Allow the aluminum sensing tube to rest on the bottom of the tank.
- ❑ Measure from the bottom of the probe head to the top of the tank. Add $\frac{1}{2}$ inch to the measurement. This is the amount to shorten the probe.



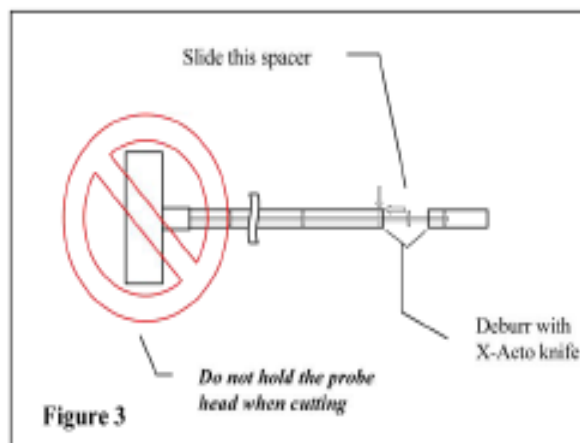
3) Cutting to length

- ❑ Measure from the tip of the probe the amount determined in step 2, and mark with a felt tip marker. **Double-check your measurements. Cut probes cannot be exchanged or returned for credit.**
- ❑ Probes can be shortened to 3 inches of length measured from the vent hole to the end of the probe. This is for probes of 24 inches or less. Probes over 24 inches can be shortened in $\frac{1}{2}$.
- ❑ Use a pipe cutter to cut the outer aluminum tube. **Do not hold the probe head while cutting. Hold the aluminum tube.** This will keep you from cutting too aggressively. The probe head is not designed to take a twisting force.
- ❑ Slide the separated part from the center brass rod. **Do not cut the brass rod at this time.** You may need to deburr both ends of the cut aluminum tube with a sharp x-acto knife. Do not forcefully remove the separated part. It should slide off easily when de-burred.
- ❑ There will be one or more exposed plastic spacers. Slide the closest one into the remaining aluminum tube about $\frac{1}{8}$ of an inch.
- ❑ Use side cutters to cut the brass rod even with the end of the aluminum tube. Leave the brass rod just as it is after using the side cutters. This will keep the spacer from falling out. The brass rod must not be in contact with the aluminum tube.



3) Installing with rubber grommet

- ❑ Place the rubber grommet in the $\frac{1}{2}$ inch hole. Slide the probe through the grommet. Be careful not to bend the probe.
- ❑ If there is not enough room above the tank to put the probe straight in, remove the grommet from the hole, leaving the aluminum tube still through. This will allow you to put the probe in at an angle. After the probe is mostly in the tank, put the grommet back in the $\frac{1}{2}$ inch hole and press the probe through the grommet until the head of the probe rests upon the face of the grommet.



PRINCETON CAPACITIVE FUEL LEVEL PROBES

3133 MADISON AVE, WYOMING, MI 49548 (616) 243-8800 email support@princeton-electronics.com

General Calibration Information 1,2 and 5 Set-point models

The probe reads fuel level linearly from 0 to 100%. Meaning if the fuel level is covering 25% of the probe the output will be 25% of the 5 volt output. If the tank is square then the level in the tank will match the output of the probe and a 2 set-point probe will read linearly. When the tank is not square, 25% on the probe may not match the actual fuel level. This is where a 5 set-point model will linearize the reading. The output is still continuous from empty to full, meaning the out does not just read at the calibration points. When using a more advanced gauge that has its own linearization a 1 set-point model can be used.

- ❑ The probe can be recalibrated an unlimited number of times.
- ❑ The calibration sequence is **empty first** for all models.
- ❑ **5 set point** models will continue with ¼, ½, ¾ and **full**.
- ❑ **2 set point** models will continue with **full**.
- ❑ **1 set point** models only the **empty** is calibrated.
- ❑ Calibration can be entered or restarted at any time.
- ❑ Probes are shipped with calibration activated. When power is applied the left light will be flashing.
- ❑ To enter calibration mode, hold the button down while turning on the power.
- ❑ Power can be removed during the calibration process after any set point (lights flashing). When power is returned the probe will continue.
- ❑ The empty set point can take as long as 16 seconds. All other set points are less than 2 seconds.
- ❑ Water affects the probe giving a reading of full. Water will not hurt the probe. The surface tension of water will make it hard to be removed from the probe. Gently tapping the probe will help.
- ❑ The likelihood of ever getting water in the probe other than deliberately exposing the probe to water is remote. There would have to be significant amount of water in the fuel tank (the unusable portion) to reach the bottom of the probe. The probe should be at least a ¼ of an inch above the bottom of the tank.

● Flashing		○ Off	
●○○○	EMPTY	SET POINT	
●●○○	¼	SET POINT	
○●○○	½	SET POINT	
○○●○	¾	SET POINT	
○○○●	FULL	SET POINT	
Table 1		Set point modes	

● ON		○ OFF	
●○○○/○○○○	DATA ERROR		
●●●○/○○○○	CAL ERROR		
●●○○/○○●○	UNSTABLE		
Table 2		Error codes	

Calibration

- ❑ Hold down the button while turning the power on. (If the left light is not already flashing.)
- ❑ Release the button. The left light will be flashing. Indicating **Empty** set point.
- ❑ Place the amount of fuel you want to read **Empty** in the tank.
- ❑ Press the button. The left light will stay on (stop flashing) while the initial calibration is performed. This can take as long as 16 seconds. The rest of the set points will take less than 2 seconds.
- ❑ Place the amount of fuel that you want to read for the next set point. Refer to table 1. Press the button. Continue until done.
- ❑ After the **last** set point has been entered the middle light will flash about every five seconds. This indicates the probe is functioning and outputting fuel level information.

Description of error codes

Data Error – The calibration is stored in non-volatile memory. The data has become corrupted or the memory is bad. Try recalibrating one time. If you still get this error then the probe is defective and return it for warranty repair.

CAL Error – The probe failed to calibrate. Possible causes. Water in the tank, inner brass rod is shorted to the outside aluminum tube. Alcohol in the fuel, trying to calibrate full first instead of empty, or the probe electronics have failed.

Unstable – The fuel level was not stable during calibration or the probe electronics have failed.

Limited Lifetime Warranty

Princeton Electronics, Inc. will repair or replace any probe found to have a manufacture defect. Probes that have been shortened, or the leads cut cannot be exchanged or returned for credit unless they are found to have a manufacturer defect.

Disclaimer

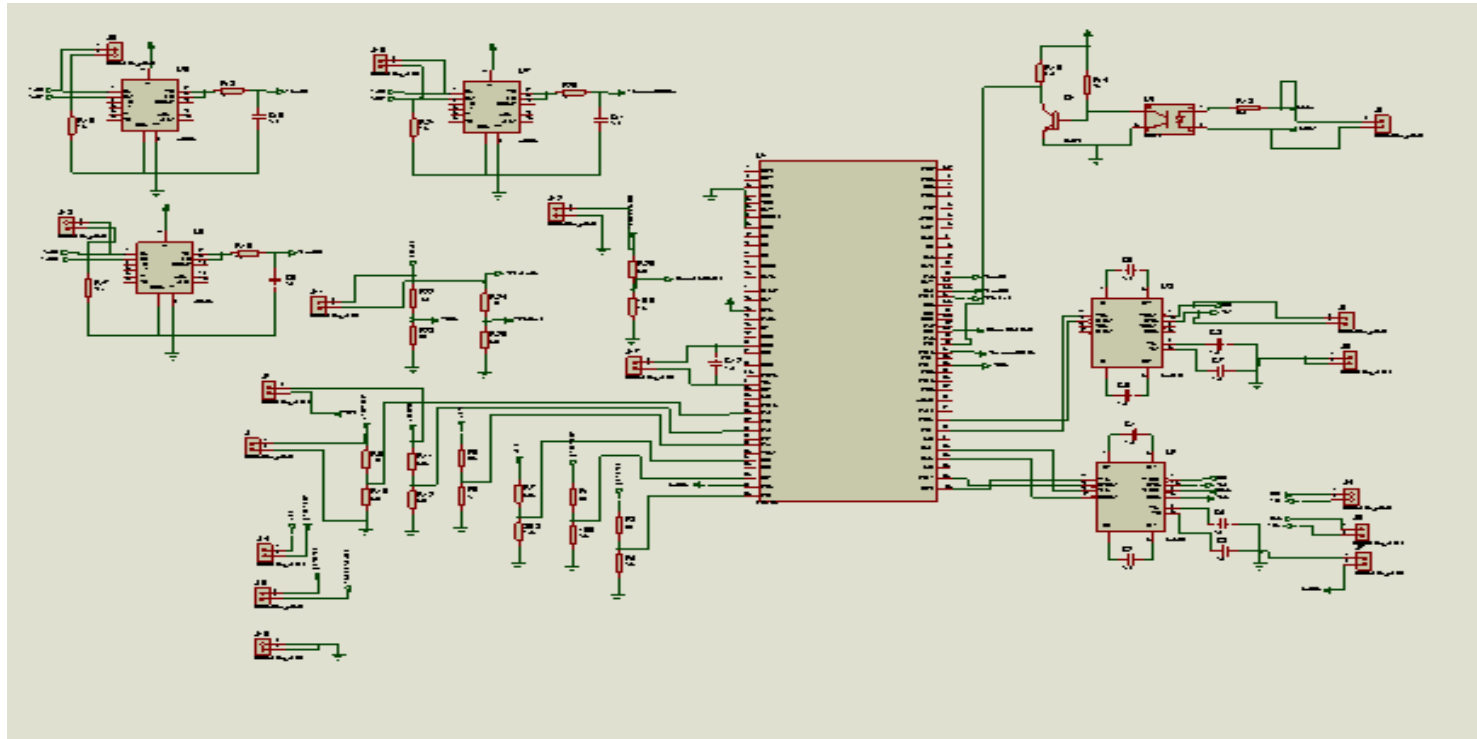
This fuel probe is for reference only, the operator is responsible to visually inspect fuel quantities prior to use. Relying solely on a fuel gage could result in unexpected engine stoppage.

Because Princeton Electronics, Inc. does not install the fuel monitoring system, we rely solely on the installer to insure proper installation.

V1.10 03/16/07

ANEXO 3: Diseño del circuito Esquemático y PCB

La siguiente figura muestra el diseño esquemático del sistema ETL Migrado



La siguiente Figura muestra el diseño del circuito impreso PCB del sistema ETL.

