



Universidad
Zaragoza

1542

Trabajo Fin de Grado

Viabilidad para la instalación de una caja negra
eyectable

Deployable Flight Data Recorder

Autor

David López Fernández

Directora

Marian Peligero Domeque

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia
2019



**Escuela Universitaria
Politécnica** - La Almunia
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

MEMORIA

**Viabilidad para la instalación de una
caja negra eyectable**

Deployable Flight Data Recorder

425.19.16

Autor: David López Fernández

Directora: Marian Peligero Domeque

Fecha: 25 de junio de 2019

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN	1
1.1. PALABRAS CLAVE	1
2. ABSTRACT	2
2.1. KEYWORDS	2
3. INTRODUCCIÓN	3
3.1. HISTORIA DE LAS CAJAS NEGRAS	4
3.2. COMPONENTES DE GRABACIÓN	9
3.2.1. <i>Grabador de datos de vuelo (FDR)</i>	9
3.2.2. <i>Grabadora de voz en cabina (CVR)</i>	11
3.2.1. <i>Unidades combinadas y equipo adicional</i>	13
3.2.2. <i>Como funciona una caja negra</i>	13
3.3. DESCRIPCIÓN DE LA NECESIDAD	17
3.3.1. <i>Vuelo AF447 de Air France</i>	18
3.3.2. <i>Vuelo MH370 de Malaysia Airlines</i>	19
3.3.3. <i>Vuelo QZ8501 de Indonesia AirAsia</i>	21
3.3.4. <i>Otros accidentes relevantes</i>	22
3.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
3.5. ALCANCE DEL PROYECTO	23
3.6. PLATAFORMA DE IMPLEMENTACIÓN	25
3.7. METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL SISTEMA	27
4. CONCEPTO DEL SISTEMA	28
4.1. MODELO V&V	28
4.2. TRADE-OFF O SIMULACIÓN PARA ELECCIÓN DE TECNOLOGÍA	30
4.2.1. <i>Transmisión de los datos durante el vuelo</i>	30
4.2.2. <i>Refuerzo de las cajas negras actuales</i>	32
4.2.3. <i>Caja negra eyectable flotante</i>	33
4.2.4. <i>Matriz de decisión</i>	35
4.2.5. <i>Conclusiones</i>	37
4.3. CONCEPTO DE OPERACIONES	38
5. GESTIÓN DE REQUISITOS DEL SISTEMA	41

5.1.	DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS	42
5.2.	CASCADA DE REQUERIMIENTOS	43
5.3.	TOP LEVEL AIRCRAFT REQUIREMENTS (TLAR)	46
5.3.1.	<i>Top Level Aircraft Safety Requirements (TLASR)</i>	47
5.3.2.	<i>Top Level Aircraft Airworthiness and Certification Requirements (TLAACR)</i>	47
5.3.3.	<i>Top Level Aircraft Operations Requirements (TLAAOR)</i>	47
5.3.4.	<i>Top Level Aircraft Final Assembly Line Requirements (TLAFALR)</i>	47
5.3.5.	<i>Top Level Aircraft Functional Requirements (TLAFR)</i>	47
5.3.6.	<i>Top Level Aircraft System and Installation Requirements (TLASIR)</i>	48
5.4.	TOP LEVEL SYSTEM REQUIREMENTS (TLSR)	48
5.4.1.	<i>Top Level System General Equipment Requirements (TLSGER)</i>	49
5.5.	SYSTEM REQUIREMENTS (SR)	50
5.5.1.	<i>Top Level Flight Recorder Requirements (TLFRR)</i>	51
5.6.	EQUIPMENT REQUIREMENTS (ER)	52
5.6.1.	<i>Deployable Recorder Detailed Requirements (DRDR)</i>	53
6.	INTEGRACIÓN DEL SISTEMA	54
6.1.	ARQUITECTURA DEL SISTEMA	54
6.2.	ARQUITECTURAL FUNCIONAL ACTUAL	55
6.3.	TRADE-OFF O SIMULACIÓN PARA LA CONFIGURACIÓN DE UN DCVDR ADICIONAL	56
6.3.1.	<i>DCVDR adicional al actual sistema fijo de grabación FDR+CVR</i>	59
6.3.2.	<i>DCVDR y nuevo sistema fijo de grabación combinada FDR/CVR</i>	62
6.3.3.	<i>Matriz de decisión</i>	65
6.3.4.	<i>Conclusiones</i>	67
6.4.	ARQUITECTURA FUNCIONAL FUTURA	68
6.5.	INTERFACES DEL SISTEMA	69
6.5.1.	<i>Interfaces externas</i>	69
6.5.2.	<i>Interfaces internas</i>	72
6.5.2.1.	Unidad de eyeción del grabador (RRU)	73
6.5.2.2.	Sistema del ELT	74
6.5.2.3.	Sensores de eyeción	75
6.6.	TRADE-OFF O SIMULACIÓN DE LA UBICACIÓN DEL DCVDR DENTRO DEL AVIÓN	78
6.6.1.	<i>Sección 19 (lado derecho por debajo del HTP)</i>	82
6.6.2.	<i>Sección 19 (entre el HTP y la base del VTP)</i>	83
6.6.3.	<i>Sección 19.1 (puerta de mantenimiento del APU)</i>	84
6.6.4.	<i>Sección 19.1 (compartimento del APU)</i>	85
6.6.5.	<i>Sección 19.1 (compartimento tubo escape APU)</i>	86
6.6.6.	<i>Borde de ataque del VTP</i>	87

6.6.7. <i>Borde de salida del VTP (zona inferior)</i>	88
6.6.8. <i>Borde de salida del VTP (zona media)</i>	89
6.6.9. <i>Matriz de decisión</i>	90
6.6.10. <i>Conclusiones</i>	92
7. VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN DEL SISTEMA	93
7.1. ACTIVIDADES DE VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN	96
7.1.1. <i>Validación de requisitos</i>	97
7.1.2. <i>Verificación del diseño</i>	97
7.1.3. <i>Verificación del producto</i>	98
7.1.4. <i>Validación del sistema</i>	99
7.2. PLAN DE ENSAYOS	100
7.2.1. <i>Ensayos funcionales</i>	100
7.2.2. <i>Ensayos de Interferencias Electro Magnéticas (EMI)</i>	101
7.2.3. <i>Ensayo de supervivencia en caso de colisión</i>	102
7.2.4. <i>Avión 0 (a/c 0)</i>	103
7.2.5. <i>Ensayos en tierra y en vuelo</i>	104
8. GESTIÓN DE LA CONFIGURACIÓN	105
9. GESTIÓN DE PROYECTOS	107
9.1. HITOS EN EL DESARROLLO DEL SISTEMA	107
9.2. ESTRUCTURA DEL PROYECTO	108
9.3. GESTIÓN DE RECURSOS	110
9.4. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO	112
9.5. COSTE DEL PROYECTO	114
9.6. GESTIÓN DE RIESGOS	119
9.6.1. <i>Identificación de riesgos y su mitigación</i>	120
9.6.2. <i>Matriz de criticidad de los riesgos</i>	121
10. CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS	122
10.1. CONCLUSIONES	122
10.2. FUTUROS TRABAJOS	123
11. BIBLIOGRAFÍA	125

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Unidad de memoria ARL.....	6
Ilustración 2. Caja a prueba de incendios y golpes.....	6
Ilustración 3. Huevo rojo de S. Davall & Sons Ltd.	7
Ilustración 4. Zona de almacenamiento de grabadores.....	8
Ilustración 5. Protección de las cajas negras.	8
Ilustración 6. Grabador de datos de vuelo FDR.....	9
Ilustración 7. ULB.	10
Ilustración 8. Grabadora de voz en cabina CVR.....	12
Ilustración 9. Radiobaliza de emergencia ELT.	15
Ilustración 10. Despiece de una caja negra.	16
Ilustración 11. Cajas negras dañadas después de accidentes.....	17
Ilustración 12. Restos del vuelo AF447 de Air France.....	18
Ilustración 13. Cajas negras rescatadas del vuelo AF447 de Air France.....	19
Ilustración 14. Recorrido del vuelo MH370 de Malaysia Airlines.....	20
Ilustración 15. Restos del vuelo QZ8501 de Indonesia Air Asia.	21
Ilustración 16. Cajas negras rescatadas del vuelo QZ8501 de Air Asia.	22
Ilustración 17. Tecnología aplicada en el A350XWB.	26
Ilustración 18. Familia A350XWB.	26
Ilustración 19. Modelo V&V.	28
Ilustración 20. Botón de borrado del CVR	32
Ilustración 21. F/A 18 equipado con caja negra eyectable.	33
Ilustración 22. Sistema eyectable del Augusta Westland AW101.....	34
Ilustración 23. Transmisor de localización eyectable del Eurocopter EC155.	34
Ilustración 24. CONcepto de OPeracioneS.	39

Ilustración 25. Nueva solución de caja negra eyectable.	39
Ilustración 26. Motivación para la implantación de un DCVDR.	40
Ilustración 27. Modelo general de cascada de requerimientos.	41
Ilustración 28. Cascada de requerimientos del DCVDR.	43
Ilustración 29. Cascada de requerimientos objeto del TFG.	45
Ilustración 30. Top Level Aircraft Requirements (TLAR).	46
Ilustración 31. Top Level System Requirements (TLSR).	48
Ilustración 32. Top Level System Requirements (TLSR) del DCVDR.	49
Ilustración 33. System Requirements (SR).....	50
Ilustración 34. System Requirements (SR) del DCVDR.....	51
Ilustración 35. Equipment Requirements (ER).	52
Ilustración 36. Equipment Requirements (ER) del DCVDR	53
Ilustración 37. Arquitectura funcional de las actuales cajas negras.....	55
Ilustración 38. Diseño actual del sistema de grabación del A350XWB.	57
Ilustración 39. Ubicación actual del sistema de grabación.	58
Ilustración 40. Vista general de la solución alternativa 1.....	59
Ilustración 41. Arquitectura funcional de la solución alternativa 1.	61
Ilustración 42. Vista general de la solución alternativa 2.....	62
Ilustración 43. Arquitectura funcional de la solución alternativa 2.	64
Ilustración 44. Arquitectura funcional con la instalación del DCVDR.	68
Ilustración 45. Arquitectura funcional integrada con la instalación del DCVDR...69	69
Ilustración 46. Esquema funcional de las interfaces externas del DCVDR.	70
Ilustración 47. Esquema funcional de las interfaces internas del DCVDR.	72
Ilustración 48. Unidad de eyección del grabador RRU.	74
Ilustración 49. Unidad de Control del ELT.....	75
Ilustración 50. Ubicación de los sensores de eyección.....	75
Ilustración 51. Detectores de colisión con sensor de aceleración.	76
Ilustración 52. Líneas redundantes de detección de colisión CDL.....	77

Ilustración 53. Sensor hidrostático de presión.	77
Ilustración 54. Comutador frangible.	78
Ilustración 55. Ubicación de la instalación: S19 (RHS por debajo del HTP).	82
Ilustración 56. Ubicación de la instalación: S19 (entre el HTP y el VTP).	83
Ilustración 57. Ubicación de la instalación: S19.1 (puerta de mto. del APU).	84
Ilustración 58. Ubicación de la instalación: S19.1 (compartimento del APU).	85
Ilustración 59. Ubicación de la instalación: S19.1 (compart. tubo de escape). ..	86
Ilustración 60. Ubicación de la instalación: Borde de ataque VTP.	87
Ilustración 61. Ubicación de la instalación: Borde de salida VTP (zona inf.).	88
Ilustración 62. Ubicación de la instalación: Borde de salida VTP (zona med.)....	89
Ilustración 63. Actividades del modelo V&V.	94
Ilustración 64. Validación de requisitos.	97
Ilustración 65. Verificación del diseño.	98
Ilustración 66. Verificación del producto.	99
Ilustración 67. Validación del sistema.	99
Ilustración 68. Iron bird o a/c 0.	103
Ilustración 69. Hitos del desarrollo del DCVDR.	108
Ilustración 70. WBS del DCVDR.	109
Ilustración 71. Planificación del DCVDR.	113
Ilustración 72. Matrices de decisión sobre viabilidad económica.	118
Ilustración 73. Matriz de categorización de riesgos.	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de decisión para la elección de tecnología.	37
Tabla 2. Matriz de decisión para la configuración de un DCVDR adicional.	66
Tabla 3. Resumen de los impactos de las interfaces externas.	71

Tabla 4. Resumen de los impactos de las interfaces internas	73
Tabla 5. Matriz de decisión para la ubicación del DCVDR	91
Tabla 6. Metodología para Validación y Verificación de requisitos	95
Tabla 7. Hoja de repercusiones comerciales del DCVDR	116
Tabla 8. Gestión de riesgos y acciones de mitigación.....	120

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AAIB	Air Accidents Investigation Branch
A/C	Aircraft
ADCN	Aeronautical Data Communication Network
ADELT	Automatic Deployable Emergency Locator Transmitter
ADR	Accident Data Recorder
AESA	Agencia Europea de Seguridad Aérea
AFT	After
AMU	Audio Management Unit
APR	All Purpose Recorder
APU	Auxiliary Power Unit
ARINC	Aeronautical Radio INCorporated
ARL	Aeronautical Research Laboratory
ATA	Air Transport Association
ATC	Air Traffic Control
BEA	Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la Sécurité de l'Aviation Civile
BITE	Built-In Test Equipment
C	Cadre (cuaderna)
CAT	Category
CDAU	Centralized Data Acquisition Unit
CDC	Crash Detection Circuit
CDG	Centro De Gravedad
CDL	Crash Detection Lines
CDR	Critical Design Review
CM	Configuration Management

- CMS**.....Central Maintenance System
- CN**.....Change Note
- CNS/ATM**.....Communications, Navigation and Surveillance/Air Traffic Management
- CONOPS**.....CONcept of OPerationS
- COSPAS**.....COsmicheskaya Sistema PoiskA unvariynyh Sudov
- CR**.....Change Request
- cRDC**.....Common Remote Data Concentrator
- CRES**.....Corrosion Resistant Stainless Steel
- CS**.....Certification Specification
- CSMU**.....Crash Survivable Memory Unit
- CU**.....Control Unit
- CVDR**.....Cockpit Voice and Data Recorder
- CVFDR**.....Cockpit Voice and Flight Data Recorder (combination)
- CVR**.....Cockpit Voice Recorder
- DBD**.....Data Base Document
- DCVDR**.....Deployable Cockpit Voice Data Recorder
- DFIRS**.....Deployable Flight Incident Recording System
- DMU**.....Digital Mock Up
- DPA**.....Damage Prone Areas
- DDRR**.....Deployable Detailed Recorder Requirements
- DRR**.....Deployable Recorder Requirements
- DS**.....Design Solution
- DTS**.....DeskTop Simulator
- Dver**.....Design VERification
- EASA**.....European Aviation Safety Agency
- EEUU**.....Estados Unidos de América
- EGT**.....Exhaust Gas Temperature
- EIRD**.....Equipment Installation Requirement Dossier
- EIC**.....Entry Into Concept
- EIS**.....Entry Into Service
- ELT**.....Emergency Locator Transmitter
- EMI**.....Electro Magnetic Interferences
- EPR**.....Engine Pressure Ratio
- ER**.....Equipment Requirements
- ESN**.....Electrical Structure Network
- EUROCAE**.....EUROpean Organization for Civil Aviation Equipment

EVM	Earned Value Management
FAA	Federal Aviation Administration
FAI	First Article Inspection
FAL	Final Assembly Line
FDAU	Flight Data Acquisition Unit
FDIAF	Flight Data Interface Acquisition Functions
FDR	Flight Data Recorder
F&DT	Fatigue & Damage Tolerance
FIB	Functional Integration Benches
FIN	Functional Item Number
FLIRECP	FLight REcorder Panel
FR	Frame (cuaderna)
FRR	Flight Recorder Requirements
FTE	Full Time Equivalent
FWD	Forward
FWS	Flight Warning System
G	G-Force
GND	Ground
GPS	Global Positioning System
HB	Hussenot-Beaudouin
HF	High Frequency
HIRF	High Intensity Radiated Fields
HPS	Hydrostatic Pressure Sensor
HTP	Horizontal Tail Plane
H/W	HardWare
IATA	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organization
ID	Identificación
IFALPA	International Federation of Air Line Pilot's Associations
INCOSE	INternational Council On Systems Engineering
ISRP	International Standards and Recommended Practices
JIT	Just In Time
KTA	Kepner Tregoe Analysis
LDR	Lightweight Data Recorder
L/H	Left Hand
LHS	Left Hand Side

- LSP** Lightning Strike Protection
- MADRAS** Modular Airborne Data Reading/Acquisition System
- μQAR** Micro Quick Access Recorder
- MAP** Mise Au Point
- MBN** Main Bonding Network
- M&P** Materials & Processes
- MG** Maturity Gate
- MOPS** Minimum Operational Performance Specification
- MSL** Medium Sea Level
- MVV** Means of Methods of Validation & Verification
- N/A** No aplica
- NRC** Non-Recurring Cost
- NRP** Non-Recurring Price
- NTSB** National Transportation Safety Board
- OACI** Organización de Aviación Civil Internacional
- PDP** Product Development Process
- PDR** Preliminary Design Review
- PoC** Proof of Compliance
- PSE** Principal Structural Element
- Pver** Product VERification
- QAR** Quick Access Recorder
- RAG** Red Amber Green
- R/H** Right Hand
- R&T** Research & Technology
- RC** Recurring Cost
- RFE** Rear Fuselage Empennage
- RHS** Right Hand Side
- RP** Recurring Price
- ROI** Return On Investment
- RRU** Recorder Release Unit
- RTCA** Radio Technical Commision for Aeronautics
- S19** Sección 19
- S19.1** Sección 19.1
- SAM** Space Allocation Model
- SAR** Search And Rescue
- SARSAT** Search And Rescue Satellite-Aided Tracking

SATCOM	SATélite de COMunicaciones
SB	Service Bulletin
SCI	Secure Communication Interface
SE	System Engineering
SIB	Systems Integration Benches
SIRD	System Installation Requirement Dossier
SFIM	Société Française des Instruments de Mesure
SR	System Requirements
SSCVR	Solid State Cockpit Voice Recorder
SSD	Solid State Drive
SSFDR	Solid State Flight Data Recorder
SSL	Standard Selection List
S/W	SoftWare
TCAS	Traffic alert and Collision Avoidance System
TDD	Technical Design Directives
TFG	Trabajo Fin de Grado
Ti	Titanium
TLAACR	Top Level Aircraft Airworthiness and Certification Requirements
TLAAOR	Top Level Aircraft Airline Operation Requirements
TLACSR	Top Level Aircraft Crash Survival Requirements
TLAEIR	Top Level Equipment Installation Requirements
TLAELR	Top Level Equipment Location Requirements
TLAFALR	Top Level Aircraft Final Assembly Line Requirements
TLAFR	Top Level Aircraft Functional Requirements
TLAR	Top Level Aircraft Requirements
TLASIR	Top Level Aircraft System and Installation Requirements
TLASR	Top Level Aircraft Safety Requirements
TLFRR	Top Level Flight Recorder Requirements
TLSACR	Top Level System Airworthiness and Certification Requirements
TLSAOR	Top Level System Airline Operation Requirements
TLSFALR	Top Level System Final Assembly Line Requirements
TLSGER	Top Level System General Equipment Requirements
TLGSR	Top Level System General System Requirements
TLSR	Top Level System Requirements
TLSSR	Top Level System Safety Requirements
UK	United Kingdom

ULB	Underwater Locator Beacon
UTC	Coordinated Universal Time
VFDRS	Deployable Voice and Flight Data Recorder System
V&V	Validation & Verification (Validación & Verificación)
VTP	Vertical Tail Plane
XWB	Extra Wide Body
WBS	Work Breakdown Structure
ZSA	Zonal Safety Analysis

ÍNDICE DE UNIDADES DE MEDIDAS

\$	dólares
€	euro
ft	feet (pies)
°C	grados centígrados o Celsius
h	horas
kB	kilobyte
kHz	kilohercios
Kg	kilogramos
Km	kilómetros
MPa	megapascales
m	metros
ms	milisegundos
%	porcentaje
s	segundos

1. RESUMEN

La recuperación de las cajas negras tras un accidente ha sido siempre un objetivo primordial para comprender y analizar las causas de las catástrofes, así como para prevenir accidentes que puedan producirse en condiciones similares.

Cuando los accidentes conllevan destrucción, imposibilidad de recuperación o recuperación tardía de las cajas negras, surge el problema del alto coste financiero para la recuperación de datos e incluso su pérdida definitiva.

El objetivo de este TFG es determinar la viabilidad para la integración de un dispositivo eyectable y flotante de grabación de datos de vuelo o caja negra eyectable en una aeronave comercial, con el fin de asegurar su recuperación en caso de accidente. Como plataforma de implementación se ha elegido el modelo Airbus A350XWB (fuselaje extra ancho).

Una de las principales tareas de este proyecto es encontrar una ubicación y configuración adecuada para instalar el grabador eyectable. Para ello, se ha utilizado un modelo de desarrollo de operaciones, simulaciones y actividades de validación y verificación (V&V).

El resultado de los análisis de requerimientos, configuración, ubicación, financieros y necesidades del cliente, llevan a la instalación de un dispositivo de grabación eyectable y flotante adicional a las ya existentes cajas negras de las aeronaves y que debe convivir con el nuevo dispositivo por reglamentación aeronáutica.

1.1. PALABRAS CLAVE

Caja negra eyectable, Grabadora de datos de vuelo, Grabadora de voz en cabina, Radio baliza de emergencia, V&V, Requerimientos.

2. ABSTRACT

The recovery of black boxes after an accident has always been a primary objective for understanding and analyzing the causes of catastrophes, as well as for preventing accidents that may occur under similar conditions.

When accidents lead to destruction, no possible recovery or even late recovery of black boxes, the problem arises of the high financial cost for data recovery and even its ultimate loss.

The objective of this TFG is to determine the feasibility of integrating a deployable and floating flight data recording device or deployable black box in a commercial aircraft, in order to ensure its recovery in the event of an accident. The Airbus A350XWB (eXtra Wide Body) model has been chosen as the implementation platform.

One of the main tasks of this project is to find a suitable location and configuration to install the deployable recorder. For this purpose, operations development, simulations/trade-offs and the use of a validation and verification (V&V) model have been used.

The result of the requirements analysis, configuration, location, financial and customer needs, lead to the installation of a deployable and floating recording device additional to the current black boxes carried by aircrafts and must coexist with the new device by aeronautical regulations.

2.1. KEYWORDS

Deployable Flight Data Recorder, Flight Data Recorder, Cockpit Voice Recorder, Emergency Locator Transmitter, V&V, Requirements.

3. INTRODUCCIÓN

Durante la historia de la aeronavegación, la recuperación de los registradores, grabadores de vuelo o cajas negras ha sido siempre un objetivo primordial después de cualquier accidente debido a su vital importancia a la hora de comprender y analizar las causas de la catástrofe. Además, esta información es fundamental para prevenir accidentes que puedan producirse en condiciones similares.

A veces, los accidentes ocurren en lugares de difícil acceso para el rescate de las cajas negras o incluso las condiciones del accidente de la aeronave son tan catastróficas que las cajas negras no son capaces de sobrevivir y resultan destruidas. Otras situaciones que se pueden dar son las de un rescate tardío, que implica una pérdida de datos definitiva o incluso un alto costo financiero para la recuperación de esos datos.

El objetivo de este proyecto es determinar la viabilidad para la integración de un dispositivo eyectable y flotante de grabación de datos de vuelo o caja negra eyectable en una aeronave comercial con el fin de asegurar su recuperación en caso de accidente. Como plataforma de implementación se ha elegido uno de los más recientes desarrollos de la empresa Airbus y más concretamente su modelo Airbus A350XWB (eXtra Wide Body o fuselaje extra ancho).

Una de las principales tareas de este proyecto es encontrar una ubicación y una configuración adecuada para instalar el grabador eyectable. Esto requiere un profundo análisis de los diferentes tipos de requerimientos necesarios para cumplir con las necesidades del cliente. Todos estos estudios y decisiones se plantean utilizando los procesos del consejo internacional de ingeniería de sistemas INCOSE (INternational Council On Systems Engineering), especialmente el modelo de validación & verificación V&V (Validation & Verification). Se presenta un concepto de operaciones CONOPS (CONcept of OPERATIONS) del sistema y se lanzan varias simulaciones o trade-offs para evaluar diferentes soluciones de diseño y obtener la arquitectura óptima final del sistema.

El resultado final de los análisis de requerimientos, configuración, ubicación, financieros y necesidades del cliente llevan a la instalación de un dispositivo de grabación eyectable y flotante adicional a las ya existentes cajas negras que llevan todas las aeronaves y que deben convivir con el nuevo dispositivo por reglamentación aeronáutica.

La primera aproximación para el desarrollo de este proyecto es conocer brevemente el propósito y la utilidad de una grabadora de datos de vuelo (FDR o Flight Data Recorder) y una grabadora de voz en cabina (CVR o Cockpit Voice Recorder), ambos dispositivos también conocidos coloquialmente como cajas negras (véase ANEXO 1 – 1.1.1. Ni es una caja ni es negra para obtener información adicional).

Los grabadores de vuelo son dispositivos electrónicos que se usan para registrar diferentes tipos de parámetros a bordo que son posteriormente analizados en caso de accidente de la aeronave. Son útiles para saber qué sucedió antes del incidente y para poder determinar las causas del mismo y evitar futuros accidentes similares. Los dos grabadores almacenan el historial de vuelo con precisión e imparcialidad, por lo que son una herramienta esencial para ayudar a los investigadores de accidentes.

El FDR es un dispositivo independiente que recopila datos de vuelo recientes a través de la grabación de ciertos parámetros pre-determinados. El CVR es un dispositivo también independiente que conserva los sonidos recientes de la cabina del piloto, incluidas las conversaciones entre los pilotos en la propia cabina o entre los pilotos y el control de tráfico aéreo ATC (Air Traffic Control).

Actualmente, sólo ciertas aeronaves militares, cazas o aeronaves de combate incluyen dispositivos eyectables para salvaguardar la información de las cajas negras en caso de accidente (véase capítulo 4.2.3.Caja negra eyectable flotante). De ahí surge el propósito de este TFG, que no es otro que la implantación de estos dispositivos en aeronaves civiles lo que lleva a un extenso y dedicado estudio de los diferentes requerimientos, normativas y características que diferencian una aeronave militar de una civil.

3.1. HISTORIA DE LAS CAJAS NEGRAS

Hoy en día, según las normas internacionales de aviación, las cajas negras son obligatorias en todos los vuelos comerciales, pero no siempre fue así, como se describe a continuación.

Las cajas negras, como otros grandes dispositivos exitosos de la historia, no tienen un único inventor, datando alguno de los primeros prototipos de 1939. Fue diseñado por primera vez por un ingeniero francés llamado François Hussonot junto con Paul Beaudouin en el centro de pruebas de vuelo Marignane en Francia. El

dispositivo, llamado grabador de vuelo "tipo HB" (Hussenot-Beaudouin), se montó en una caja rudimentaria hecha con película fotográfica y calibrada con espejos. Algunos sensores a bordo del avión lanzaban flashes en la película fotográfica y, de ese modo, se almacenaba o registraba el historial de vuelo (véase ANEXO 1 – 1.1.2.1. Registrador de vuelo tipo HB y ANEXO 1 – 1.1.2.2. Otros registradores de vuelo de la 2^a Guerra Mundial para obtener más información).

Después de la Segunda Guerra Mundial, algunos dispositivos utilizaban la fotografía y otros imprimían los resultados en bobinas de aluminio. Pero ninguno de ellos grababa audio. Por esa razón, el concepto de caja negra que se conoce hoy es un invento del australiano David Warren. En 1954 se encargó a este químico, especializado en combustibles de aviación e ingeniero aeronáutico, que ayudara a encontrar las causas de los dos accidentes ocurridos en el primer avión de pasajeros Havilland Comet. Los expertos intentaron entender por qué el 10 de enero de 1954 el Comet G-ALYP y el 8 de abril de 1954 el Comet G-ALYY explotaron en pleno vuelo, sin ninguna explicación obvia, cuestionando el futuro de los vuelos comerciales. Como las causas no pudieron explicarse, toda la flota de De Havilland Comet fue retirada del servicio a la espera de una investigación que aclarase las causas de tales accidentes. El hecho puso en duda a la opinión pública sobre la seguridad de los aviones de pasajeros.

Como en la mayoría de los accidentes aéreos no había testigos ni supervivientes, solo se disponía de restos de la aeronave para su posterior investigación. La falta de disponibilidad de esa información hacía muy difícil determinar la causa raíz del accidente. La idea inicial de David Warren fue preguntarse qué pasaría si los expertos tuvieran disponibles los últimos segundos de datos y parámetros de a bordo antes del choque. En 1954, Warren, que trabajaba para el laboratorio de investigación aeronáutica ARL (Aeronautical Research Laboratory) en Melbourne (Australia), publicó un informe titulado "*Un dispositivo para la investigación de accidentes en aeronaves (A Device for Assiting Investigation into Aircraft Accidents)*" y construyó en 1957 el primer prototipo de grabador de datos de vuelo llamado "*La unidad de memoria ARL*". Un año más tarde, Warren propuso instalar un dispositivo FDR/CVR acoplado en la cabina del piloto y en 1958 produjo el primer prototipo.

Esa primera versión era algo más grande que la mano de un adulto, pero capaz de registrar aproximadamente cuatro horas de conversaciones en cabina y datos de control básicos de vuelo como la altitud y la dirección (Ilustración 1). La versión de Warren grababa el sonido en una bobina de acero magnetizado.

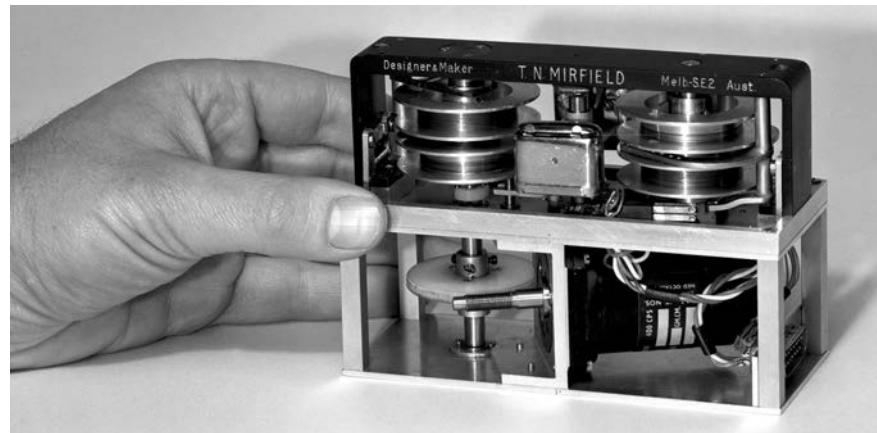


Ilustración 1. Unidad de memoria ARL.

Fuente: John Faulkner (2014) [20]

Warren y su equipo siguieron trabajando para mejorar su dispositivo incorporando una caja a prueba de incendios y golpes (*Ilustración 2*), un sistema seguro para codificar y registrar los parámetros de vuelo y de voz de los instrumentos del avión y un sistema de decodificación en tierra.

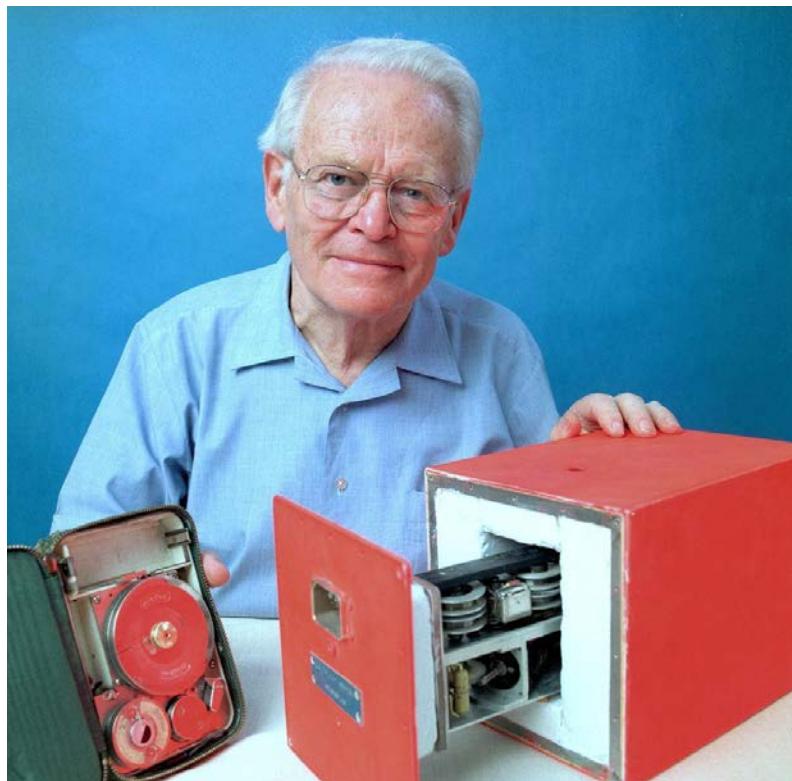


Ilustración 2. Caja a prueba de incendios y golpes.

Fuente: John Faulkner (2014) [20]

En 1960, la "Unidad de Memoria ARL" se convirtió en el "Huevo Rojo" (*Ilustración 3*) desarrollado por la compañía británica S. Davall & Sons Ltd. de Greenford, Middlesex (UK). El "Huevo Rojo" obtuvo su nombre por la forma peculiar y el color rojo brillante.



Ilustración 3. Huevo rojo de S. Davall & Sons Ltd.

Fuente: Jeremy Sear (2001) [21]

A mediados de los años sesenta, los datos de vuelo y las grabadoras de voz eran obligatorios en todos los aviones comerciales. Con la primera generación de los FDR, solo se registraban cinco parámetros analógicos (rumbo, velocidad del aire, altitud, aceleración vertical y tiempo) en una lámina metálica, y se incrementó desde la especificación de aceleración original con un impacto de 100G (fuerza G) a 1000G en 1965. En ese momento, el CVR de segunda generación registraba ya 30 minutos de comunicación de la tripulación de vuelo y el ruido del entorno de la cabina, utilizando una cinta de grabación de audio magnética.

En 1965, los dispositivos FDR y CVR se rediseñaron y se trasladaron a la parte trasera de las aeronaves para aumentar la probabilidad de recuperación exitosa de datos después de un accidente aéreo (*Ilustración 4*). La ubicación seleccionada es sin duda mejor para estos dispositivos, ya que, en caso de un accidente de avión, se espera que todo el frontal del avión actúe como una "zona de aplastamiento" para reducir el impacto que llega a las grabadoras situada en la parte posterior.

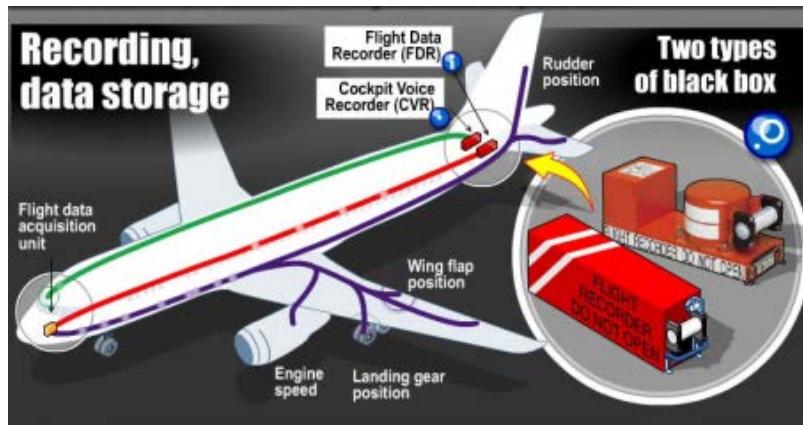


Ilustración 4. Zona de almacenamiento de grabadores.

Fuente: Melody Oei (2014) [22]

Los grabadores de vuelo actuales están formados por microcircuitos con memoria flash capaces de almacenar datos durante ciertos años sin ningún tipo de alimentación energética. El CVR actualmente almacena digitalmente las últimas dos horas o los últimos treinta minutos (según el modelo) de todas las conversaciones realizadas en cabina. Las conversaciones del piloto, las conversaciones ambientales y las advertencias de la aeronave se registran mediante un micrófono instalado en el panel superior de la cabina del piloto. Esos micro-circuitos de memoria se guardan en un habitáculo anti-choque dentro del grabador de vuelo. Ese habitáculo está cubierto y protegido por un grueso blindaje de acero que resiste los impactos por aplastamiento (véase [ANEXO 1 – 1.1.2.3. Registradores de vuelo actuales](#) para obtener información adicional). Debajo del acero hay una capa de aislamiento térmico diseñada para proteger el micro-circuito de memoria flash del fuego que suele ocurrir durante los accidentes aéreos ([Ilustración 5](#)), especialmente con los aviones equipados con motores a reacción.

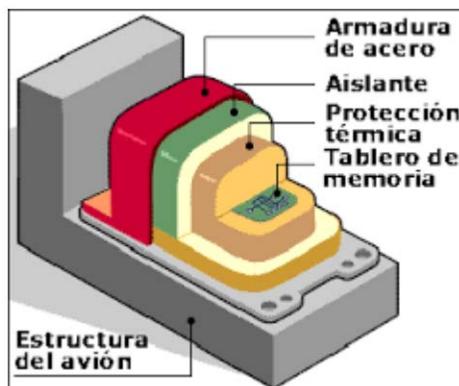


Ilustración 5. Protección de las cajas negras.

Fuente: AIR-HOSTESS.NET (2019) [23]

3.2. COMPONENTES DE GRABACIÓN

3.2.1. Grabador de datos de vuelo (FDR)

El grabador de datos de vuelo (FDR) que también es conocido dentro del entorno de investigación como grabador de datos de accidentes ADR (Accident Data Recorder), es un dispositivo electrónico diseñado específicamente para registrar los parámetros de rendimiento de una aeronave. El objetivo de un FDR es recopilar y registrar datos de una gran variedad de sensores de las aeronaves y debe estar diseñado y protegido para sobrevivir a cualquier accidente. El FDR utiliza una unidad de memoria de supervivencia a choques CSMU (Crash Survivable Memory Unit) para proteger la memoria de grabación de voz de estado sólido SSD (Solid State Drive) o memoria flash tal y como se muestra en la *Ilustración 6*.

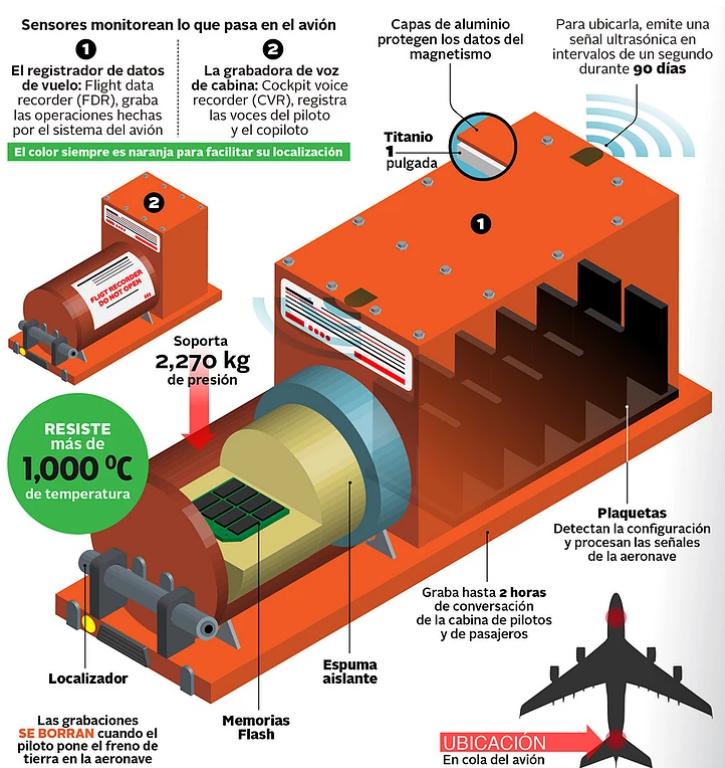


Ilustración 6. Grabador de datos de vuelo FDR.

Fuente: TI-KMS (2018) [24]

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) o International Civil Aviation Organization (ICAO) regula este tipo de dispositivos debido a la importante información que queda guardada en ellos tras un accidente. Los FDR actuales

normalmente se fabrican en acero resistente a la corrosión CRES (Corrosion REsistant Steel) o en titanio (Ti), con un aislamiento de alta temperatura en su interior (véase ANEXO 1 – 1.2.1. Registrador de datos de vuelo (FDR) para obtener información adicional).

Los FDR están diseñados para emitir un pulso ultrasónico desde una baliza de localización subacuática ULB (Underwater Locator Beacon), tal y como se muestra en la Ilustración 7. Ese pulso ultrasónico puede ser detectado en un radio de hasta cinco kilómetros teniendo en cuenta buenas condiciones climatológicas. Debido a estrictas reglamentaciones, el dispositivo debe ser capaz de aguantar un mes sumergido a seis mil metros de profundidad emitiendo una señal, por lo que suele llevar acoplado una batería. El ULB llamado "pinger" se activa una vez que el grabador se sumerge en el agua y emite una señal acústica a 37,5 KHz cada 30 segundos.



Ilustración 7. ULB.

Fuente: Lito Sousa (2014) [25]

Los FDR actuales reciben señales de datos específicos a través de las unidades de adquisición de datos de vuelo FDAU (Flight Data Acquisition Unit). Registran parámetros de vuelo significativos, incluidas las posiciones de las superficies de control y de los actuadores, información del motor y hora del día, como se muestra en la Ilustración 4.

Hay 88 parámetros que se requieren como mínimos por las regulaciones federales actuales de los EEUU (solo se requerían 29 hasta 2002), pero algunos sistemas monitorean muchas más variables. Algunos de los parámetros registrados por la mayoría de los FDR son:

- ✓ Hora
- ✓ Altitud de presión
- ✓ Velocidad aerodinámica
- ✓ Aceleración vertical
- ✓ Rumbo magnético
- ✓ Posición de la columna de control
- ✓ Posición del pedal del timón
- ✓ Posición de la rueda de control
- ✓ Estabilizador horizontal
- ✓ Flujo de combustible

En general, cada parámetro se registra varias veces por segundo, aunque algunas unidades almacenan "ráfagas" de datos a una frecuencia mucho mayor si los datos comienzan a cambiar rápidamente. La mayoría de los FDR registran aproximadamente de 17 a 25 horas de datos en un ciclo continuo. Las regulaciones suelen requerir alguna revisión anual de verificación de los FDR para asegurar que todos los parámetros obligatorios quedan registrados.

Esto también ha dado lugar a programas de monitorización de datos de vuelo, donde se analizan las operaciones de los aviones para conseguir un consumo óptimo de combustible y evitar hábitos peligrosos de los tripulantes. Los datos del FDR se transfieren, *in situ*, a un dispositivo de registro y luego se analizan periódicamente con la misma tecnología utilizada para la investigación de accidentes. En otros casos, los datos se descargan desde la grabadora de acceso rápido QAR (Quick Access Recorder) de la aeronave, ya sea mediante transferencia a un dispositivo de grabación portátil o mediante carga directa a la sede del operador a través de radio o satélite.

En el *ANEXO 1 – 1.2.3. Modelos comerciales de FDR & CVR* se puede consultar una lista de los diferentes tipos de FDR, junto con sus características técnicas, de algunos fabricantes como Honeywell, L-3 Communications y Universal Avionics.

3.2.2. Grabadora de voz en cabina (CVR)

La grabadora de voz de cabina (CVR) es un dispositivo electrónico (*Ilustración 8*) diseñado para grabar el entorno de audio en la cabina de vuelo de una aeronave con el fin de investigar accidentes e incidencias. El CVR graba y almacena

las señales de los micrófonos y audífonos de los auriculares de los pilotos y de un micrófono instalado en el techo de la cabina.



Ilustración 8. Grabadora de voz en cabina CVR.

Fuente: Wikipedia (2019) [26]

Un CVR estándar es capaz de grabar 4 canales de datos de audio durante un período de 2 horas. El requisito original para un CVR es que grabara durante un total de 30 minutos, pero en muchos casos se encontró que esto era insuficiente, ya que partes significativas de los datos de audio necesarios para una investigación posterior ocurrían fuera de los 30 minutos antes del final de la grabación. Esa fue la principal razón por la que desde 2008 es un requisito de la estadounidense administración federal de aviación FAA (Federal Aviation Administration) que la duración de la grabación sea de un mínimo de 2 horas.

El CVR más antiguo utilizaba una grabación analógica por cable, que luego fue reemplazada por una cinta magnética analógica. Algunas de las unidades de cinta utilizaban dos carretes con una cinta que retrocedía automáticamente al llegar a cada uno de los extremos. Otras unidades utilizaban un solo carrete, con la cinta unida en un bucle continuo, como en un cartucho de 8 pistas. La cinta iba de un lado hacia el otro y la información de audio antigua se sobrescribiría cada 30 minutos. La recuperación del sonido de la cinta magnética a menudo resulta complicada si la grabadora se recupera del agua y su alojamiento se ha roto. Por lo tanto, los últimos diseños emplean unidades de estado sólido o memorias flash y técnicas de grabación digital, lo que los hace mucho más resistentes al impacto, la vibración y la humedad.

Gracias al uso de estas memorias con requerimientos tan bajos de consumo energético, ahora es posible incorporar baterías en estas unidades, para que la grabación pueda continuar hasta la terminación del vuelo, incluso si falla el sistema eléctrico de la aeronave. (Véase el ANEXO 1 – 1.2.2. Registrador de voz de cabina (FDR) para obtener información adicional)

En el ANEXO 1 – 1.2.3. Modelos comerciales de FDR & CVR se puede consultar una lista de los diferentes tipos de CVR, junto con sus características técnicas, de algunos fabricantes como Honeywell, L-3 Communications y Universal Avionics.

3.2.1. Unidades combinadas y equipo adicional

Aprovechando las ventajas de los grabadores digitales, el FDR y el CVR se pueden fabricar ahora en un mismo pack resistente al fuego, a golpes y a prueba de líquidos obteniendo un grabador combinado de datos de vuelo y voz de cabina digital CVFDR (Cockpit Voice and Flight Data Recorder). Los grabadores de estado sólido o memorias flash se volvieron comercialmente prácticos en 1990, teniendo la ventaja de no requerir un mantenimiento programado y haciendo que los datos fueran más fáciles de recuperar. Para información adicional sobre estos equipos, véase el ANEXO 1 – 1.2.4. Equipos adicionales.

En el ANEXO 1 – 1.2.3. Modelos comerciales de FDR & CVR se puede consultar una lista de los diferentes tipos de CVFDR, junto con sus características técnicas, de algunos fabricantes como Honeywell, L-3 Communications y Universal Avionics.

3.2.2. Como funciona una caja negra

El sistema FDR cobra especial atención cuando un avión se ve envuelto en un accidente. Después de las labores de búsqueda y rescate SAR (Search And Rescue) de los supervivientes, una de las primeras actuaciones nada más ocurrir un accidente aéreo es la de buscar las cajas negras. Cada organización nacional encargada de investigar las causas de los accidentes, como son la estadounidense junta nacional de seguridad en el transporte NTSB (National Transportation Safety Board), la francesa oficina de investigación y análisis de seguridad de la aviación civil BEA (Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la Sécurité de l'Aviation Civile), la británica oficina de investigación de accidentes aéreos AAIB (Air Accidents Investigation Branch), etc... suelen usar los datos almacenados en los grabadores para analizar las fases de vuelo. Después de la investigación, se deciden qué medidas deben tomarse para evitar que

vuelvan a ocurrir accidentes similares (objetivos compartidos por todos los afectados: fabricantes, autoridades de aeronavegación y los organismos de investigación).

El sistema de grabación de datos de vuelo recopila los parámetros obligatorios requeridos por las autoridades de aeronavegación y los parámetros adicionales requeridos por el fabricante para registrar estos datos en el grabador de datos de vuelo de estado sólido SSFDR (Solid State Flight Data Recorder). Una señal a tiempo real transmite estos datos al CVR para su sincronización.

Las fuentes para la obtención de estos parámetros provienen de muchas aeronaves que están conectadas a un sistema general de registro de datos de vuelo. Los datos registrados son, por ejemplo, datos del motor como la temperatura de los gases de escape EGT (Exhaust Gas Temperature), la relación de presión del motor EPR (Engine Pressure Ratio) y combustible, datos del aire como son la temperatura, altitud y velocidad, datos de control de vuelo, datos de navegación, datos hidráulicos, etc.

Alrededor de 1000 parámetros diferentes se registran y almacenan durante un período requerido. Para registrar los datos durante todo el perfil de vuelo, la grabadora se enciende automáticamente tan pronto como uno de los motores se pone en funcionamiento y se detiene justo cinco minutos después de que se apague el último motor.

Todos los aviones comerciales están equipados con una radiobaliza de emergencia ELT (Emergency Locator Transmitter) como puede verse en la [Ilustración 2](#). Esta radiobaliza con una antena fija externa se conecta con un sistema de satélite no geoestacionario COSPAS-SARSAT (COsmicheskaya Sistema PoiskA unvariynyh Sudov-Search And Rescue Satellite-Aided Tracking).



Ilustración 9. Radiobaliza de emergencia ELT.

Fuente: Pascal ANDREI, Uwe BARTELS & Volkmar NEEB (2011) [27]

Una vez activadas las balizas, tan sólo 50 segundos después de cualquier incidencia, se emite una señal de socorro monitoreada en todo el mundo a una frecuencia de 406MHz que puede ser detectada por triangulación o por una señal del sistema de posicionamiento global GPS (Global Positioning System). El ELT puede ser:

- Un kit automático fijo: Va instalado dentro del fuselaje de la aeronave y se activa automáticamente por un sensor de fuerzas G cuando se sale de ciertos valores de vuelo o bien activado manualmente desde la cabina del piloto (no se puede enviar ninguna señal al satélite una vez dentro del agua).
- Un kit de supervivencia portátil (como complemento al kit automático fijo): Normalmente va en la cabina de pasajeros o se ubica dentro de las balsas/toboganes del avión. Flota y se puede activar manualmente, automáticamente por contacto con el agua o ambos tipos de activación, según el modelo. La tripulación de cabina generalmente es la encargada de activar estas balizas al evacuar la aeronave o cualquiera de los

supervivientes del incidente si es que el modelo no se activa automáticamente por contacto con el agua.

Una vez recibida la señal del ELT correctamente, queda posicionada la ocurrencia del accidente y su localización exacta en tierra. Como no funciona bajo el agua, la única forma de localizar restos hundidos es usando un ULB. El ULB está conectado a la unidad de memoria de la grabadora y emite, al sumergirse, una señal acústica.

Después de la completa recuperación de las cajas negras, la CSMU se extrae del alojamiento protector anti choque para proceder a la recuperación de los datos (Ilustración 10). Es entonces cuando la investigación comienza.

El FDR y el CVR han aportado una gran contribución a la seguridad aérea al permitir la retroalimentación de la experiencia de los accidentes para mejorar los futuros diseños de aeronaves, la gestión del tránsito aéreo, la mejora de los procedimientos operativos y la formación. Sin embargo, todavía hay muchas posibilidades de mejora. Las grabaciones de datos y de voz a veces no permiten un análisis completo de la causa raíz de un accidente. Se están estudiando implementar grabadores adicionales para mejorar el proceso de investigación. Más allá del simple salto tecnológico, se presta especial atención a los aspectos no técnicos como pueden ser la privacidad, la confidencialidad, temas legales, etc. para la definición de sistemas futuros.

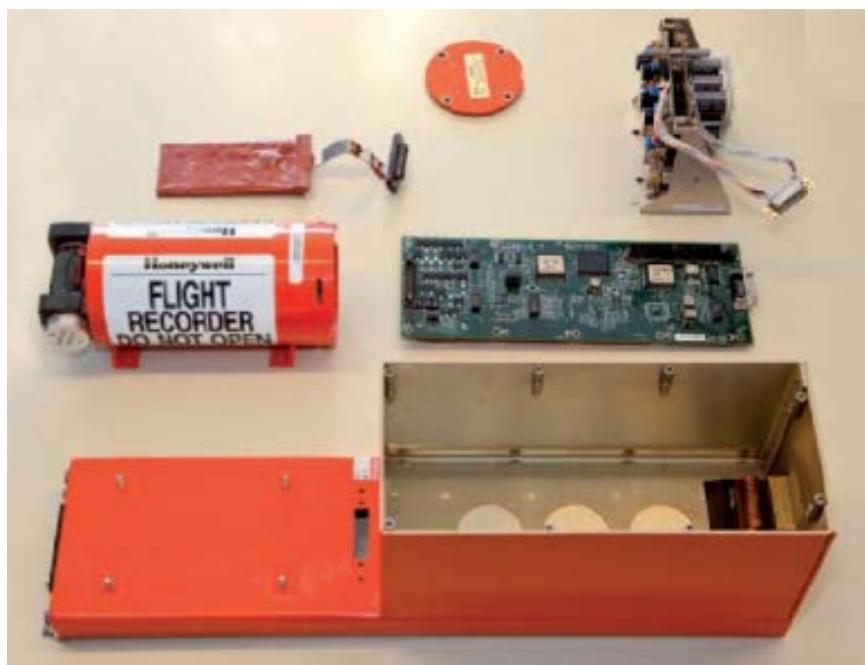


Ilustración 10. Despiece de una caja negra.

Fuente: Pascal ANDREI, Uwe BARTELS & Volkmar NEEB (2011) [27]

3.3. DESCRIPCIÓN DE LA NECESIDAD

La recuperación de las cajas negras se ha convertido en un objetivo primordial después de cualquier accidente de aviación debido a su vital importancia de cara a determinar las razones de la catástrofe. Los investigadores necesitan la información contenida en estos grabadores para analizarla y encontrar las causas del accidente de modo que se puedan prevenir otros incidentes en condiciones similares.

A veces, los accidentes ocurren en lugares de difícil acceso para la recuperación de las cajas negras o incluso la severidad del accidente de la aeronave es tal que las cajas negras no pueden sobrevivir a las condiciones de supervivencia contra incendios y/o choque y resultan lo suficientemente dañadas para extraer la información necesaria o incluso totalmente destruidas (*Ilustración 11*).



Ilustración 11. Cajas negras dañadas después de accidentes.

Fuentes: Kevin Bonsor (2019), Francisco J. Lastra (2015), Robert Wessel (2019), ATSB (2013), Agencia Reuters Moscú (2016) & Anthony Brianx (2017) [28] [29] [30] [31] [32] [33]

En otras situaciones, se da el caso de un rescate tardío de las cajas negras, lo que implica una pérdida de los parámetros de vuelo necesarios e implica un alto desembolso financiero para su recuperación.

Algunos de los incidentes más recientes de aeronaves que ayudan a comprender la importancia de recuperar los registradores de vuelo son los ocurridos con el "vuelo AF447 de Air France", el "vuelo MH370 de Malaysia Airlines" y el "vuelo QZ8501 de Indonesia Air Asia".

3.3.1. Vuelo AF447 de Air France

El vuelo AF447/AFR447 de Air France fue un vuelo internacional de pasajeros programado desde Río de Janeiro (Brasil) a París (Francia), que se estrelló el 1 de junio de 2009. La aeronave, un Airbus A330-200 con matrícula F-GZCP y operado por Air France, entró en pérdida de sustentación aerodinámica de la que no se recuperó estrellándose en el océano Atlántico a las 02:14 UTC (Coordinated Universal Time). En el incidente fallecieron 228 personas: 216 pasajeros y 12 tripulantes a bordo del avión incluyendo a 3 pilotos.

La Marina brasileña logró rescatar los primeros restos importantes de la aeronave y dos cuerpos del mar a los cinco días del accidente (*Ilustración 12*).

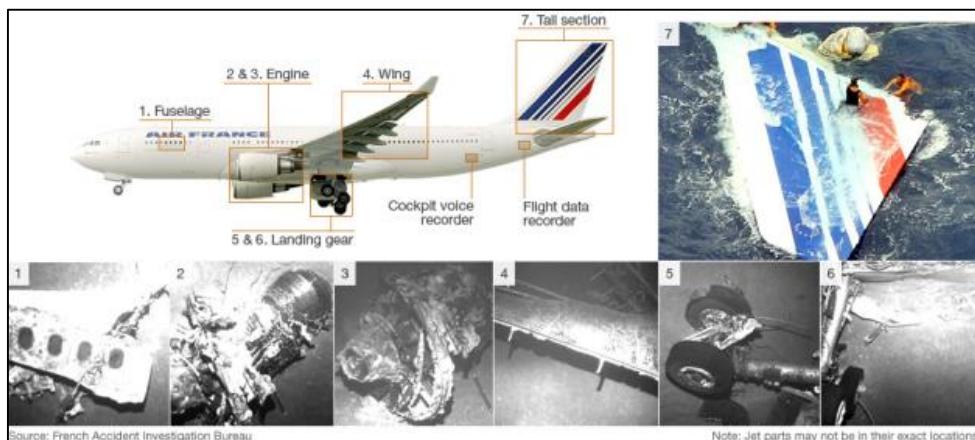


Ilustración 12. Restos del vuelo AF447 de Air France.

Fuente: BEA (Oficina francesa de investigación de accidentes)

No obstante, la investigación inicial realizada por la BEA de Francia se vio obstaculizada porque las cajas negras de la aeronave no se lograron recuperar del fondo oceánico hasta mayo de 2011, casi dos años después de la fatalidad (*Ilustración 13*).



Ilustración 13. Cajas negras rescatadas del vuelo AF447 de Air France.

Fuente: BEA (Oficina francesa de investigación de accidentes)

El informe final de la BEA, publicado el 5 de julio de 2012, concluyó que la aeronave se estrelló después de lecturas temporales contradictorias entre las mediciones de velocidad del aire debido a que los tubos de pitot de la aeronave estaban obstruidos por cristales de hielo que causaron la desconexión del piloto automático y una posterior reacción incorrecta de la tripulación que en última instancia, llevó a la aeronave a una pérdida de sustentación aerodinámica de la cual no pudo recuperarse. El accidente, hasta la fecha, ha sido el más mortífero en la historia de Air France. También fue el segundo y peor accidente ocurrido a bordo de un Airbus A330 y el primero en servicios comerciales de pasajeros con esta aeronave (véase el [ANEXO 1 – 1.3.1. Vuelo AF447 de Air France](#) para obtener información adicional).

3.3.2. Vuelo MH370 de Malaysia Airlines

El vuelo MH370/MAS370 de Malaysia Airlines fue un vuelo internacional de pasajeros programado que desapareció el 8 de marzo de 2014, mientras volaba desde el Aeropuerto Internacional de Kuala Lumpur (Malasia) al Aeropuerto Internacional de Beijing (China).

El último contacto por voz del vuelo MH370 con el control de tráfico aéreo fue sobrevolando el Mar de la China Meridional, a menos de una hora del despegue de la aeronave. El avión simplemente desapareció de las pantallas de radar de los controladores aéreos. El radar militar de Malasia continuó rastreando el vuelo MH370 cuando se desvió de su ruta aérea planeada y cruzó la Península Malaya. La aeronave

abandonó el alcance del radar militar de Malasia mientras volaba sobre el mar de Andaman, a 200 millas náuticas (370 km) al noroeste de Penang, en el noroeste de Malasia (*Ilustración 14*). El avión, un Boeing 777-200ER con matrícula 9M-MRO, transportaba a 227 pasajeros de 15 nacionalidades distintas y a 12 tripulantes de la compañía (véase el *ANEXO 1 – 1.3.2. Vuelo MH370 de Malaysia Airlines* para obtener información adicional).



Ilustración 14. Recorrido del vuelo MH370 de Malaysia Airlines.

Fuente: Mónica Correa (2018) [34]

La desaparición del vuelo MH370 causó un alto impacto en la opinión pública en cuanto a los límites de la búsqueda de aeronaves y de sus cajas negras, incluyendo varios problemas ya reportados cuatro años antes, pero nunca resueltos, tras la pérdida del vuelo AF447 de Air France. Un grupo de trabajo liderado por la asociación internacional del transporte aéreo IATA (International Air Transport Association), con el apoyo de la Organización de Aviación Civil Internacional OACI, propuso una nueva normativa aplicable a partir de diciembre de 2015, para que todos los aviones comerciales informasen de su posición cada 15 minutos.

Tras el desastre del vuelo AF447 de Air France se intentó aumentar la duración de la batería del ULB tras la búsqueda inicial fallida de las cajas negras durante el año 2009, que no lograron encontrar hasta el año 2011. La OACI no lanzó oficialmente esa recomendación hasta el año 2014, con implementación obligatoria a partir del año 2018. La Agencia Europea de Seguridad Aérea (AES) o European Aviation Safety Agency (EASA) ha declarado recientemente que sus nuevas regulaciones requieren que el tiempo de transmisión del ULB instalado en las cajas negras de cualquier

aeronave comercial sea de 30 a 90 días. La agencia propuso un nuevo ULB con un rango de transmisión aun mayor para instalarlo en los aviones que atraviesan océanos.

3.3.3. *Vuelo QZ8501 de Indonesia AirAsia*

El vuelo QZ8501 (QZ8501/AWQ8501) fue un vuelo internacional de pasajeros operado por Indonesia Air Asia, una filial de la aerolínea de bajo coste Air Asia, desde Surabaya (Indonesia) a Singapur (Malasia). El 28 de diciembre de 2014, el avión que operaba la ruta, un Airbus A320-200 con matrícula PK-AXC, se estrelló en el mar de Java durante un temporal, acabando con la vida de los 155 pasajeros y 7 tripulantes a bordo. Dos días después del accidente, se encontraron restos de la aeronave y restos humanos flotando en el Mar de Java (*Ilustración 15*).



Ilustración 15. Restos del vuelo QZ8501 de Indonesia Air Asia.

Fuente: Associated Press (2015) [35]

Los servicios de rescate lograron encontrar los restos de la aeronave en el fondo del mar el 3 de enero de 2015, y el FDR y el CVR se recuperaron 10 días después, el 13 de enero (*Ilustración 16*).



Ilustración 16. Cajas negras rescatadas del vuelo QZ8501 de Air Asia.

Fuente: Perú.com (2015) [36]

El 20 de enero de 2015, tras el análisis de las cajas negras, el Comité Nacional de Seguridad en el Transporte de Indonesia publicó un informe concluyendo que la aeronave se había detenido durante un ascenso anormalmente pronunciado y no había podido recuperarse.

3.3.4. Otros accidentes relevantes

Hasta los ataques terroristas sucedidos el 11 de septiembre de 2001 contra el World Trade Center de Nueva York con los aviones secuestrados del vuelo 11 de American Airlines y del vuelo 175 de United Airlines, siempre se habían podido recuperar las cajas negras. Pero, tras el choque contra las Torres Gemelas, ambos aviones quedaron literalmente vaporizados por lo que jamás se pudieron recuperar los grabadores de vuelo. En cuanto al tercer avión secuestrado, el vuelo 77 de American Airlines, que fue intencionadamente estrellado contra el Pentágono, tan sólo se pudo rescatar el FDR porque el CVR quedó demasiado dañado, quemado y fundido por lo que no pudo recuperarse ningún tipo de información.

3.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Tras recopilar algunos de los accidentes más significativos ocurridos en el pasado, se tiene una clara visión de las limitaciones que conlleva la recuperación de las cajas negras, sobre todo cuando se produce el hundimiento de la aeronave en aguas profundas. Aunque el FDR y el CVR son extremadamente robustos, no son completamente indestructibles y, a veces, son difíciles de localizar, especialmente después de accidentes en áreas remotas como la sufrida por el vuelo AF447 de Air France o el vuelo QZ8501 de Indonesia AirAsia.

La desaparición de aeronaves como el vuelo MH370 de Malaysia Airlines ha demostrado las limitaciones de la tecnología de las actuales cajas negras, ya que la posesión física del dispositivo de grabación de vuelo es mandatorio para ayudar a investigar y resolver las causas de los accidentes aeronáuticos.

3.5. ALCANCE DEL PROYECTO

La recuperación de las cajas negras es una de las tareas más importantes tras cualquier accidente aéreo y, especialmente, cuando los grabadores han estado expuestos durante semanas o meses a soluciones salinas bajo cierta presión de agua, es decir, cuando se produce un hundimiento marítimo de la aeronave.

"En octubre de 2009, debido a las dificultades experimentadas en la recuperación del FDR del vuelo AF447 de Air France durante las operaciones marítimas, la BEA francesa decide crear un grupo de trabajo internacional llamado <<Recuperación de datos de vuelo>>. Este grupo, compuesto por 120 miembros de numerosos países, representa a un amplio sector de los diversos actores implicados en la industria aeronáutica como son los organismos de investigación, las autoridades reguladoras, los fabricantes de aeronaves, los fabricantes de cajas negras, los fabricantes de balizas submarinas, los proveedores de servicios de satélite, las compañías de búsqueda y rescate submarino y asociaciones internacionales como la IATA e IFALPA (Federación Internacional de Asociaciones de Pilotos de Líneas Aéreas o International Federation of Air Pilot's Associations).

El objetivo del equipo fue investigar y hallar nuevas tecnologías para salvaguardar los datos de vuelo y/o facilitar la localización y recuperación de los grabadores de a bordo. Este grupo de trabajo ha estado investigando diferentes áreas, como las transmisiones de datos de vuelo por satélite, los nuevos grabadores de vuelo e incluso evaluando el uso de las balizas de emergencia y las más recientes tecnologías de transmisión de señales." [27 pág.21-27].

Tras un informe provisional publicado por OACI (*Mettrop, John & Osinga, Gerlof (2015) [13]*), la BEA hizo las siguientes recomendaciones a la EASA:

- *"Extender lo más rápidamente posible a 90 días el tiempo de transmisión de la baliza ULB instalada en los grabadores de vuelo en aviones de transporte comercial que realicen vuelos sobre áreas marítimas.*
- *Hacer obligatorio, tan rápido como sea posible, que los aviones que realizan vuelos de transporte comercial sobre áreas marítimas estén equipados con una*

baliza adicional ULB, capaz de transmitir en una frecuencia y duración compatible con una localización previa de los restos de cualquier hundimiento.

- *Estudiar la posibilidad de hacer obligatorio que los aviones que realizan vuelos de transporte comercial sean capaces de transmitir regularmente los parámetros básicos de vuelo.*
- *Solicitar al grupo de expertos sobre registradores de vuelo FLIRECP (FLight RECorder Panel) que establezca propuestas para la inmediata implementación de cajas negras eyectables homologadas por la normativa de EUROCAE (Organización Europea de Equipos de Aviación Civil o EUROpean Organization for Civil Aviation Equipment) ED-112 (véase el ANEXO 2 – 2.1. EUROCAE ED-112 para aviones que realicen vuelos de transporte comercial" [13 pág.2].*

"El FLIRECP de la OACI se reunió en junio de 2010 y propuso las siguientes enmiendas a las Partes 1 y 3 del Anexo 6 (véase el ANEXO 2 – 2.2.1. ICAO ISRP ANNEX 6 - ANEXO 6 de las Normas Internacionales y Prácticas Recomendadas para aviones y helicópteros (ISRP o International Standards and Recommended Practices for airplanes and helicopters) de la ISRP de la OACI):

- *Implementación de una fuente de alimentación alternativa para el CVR a partir del 1 de enero de 2018.*
- *Prolongación de la vida útil de la batería del ULB de 30 a 90 días para implementarse no más tarde del 1 de enero de 2018.*
- *Instalación de un ULB adicional en el avión trabajando a una frecuencia de 8,8 kHz con una duración de batería de 30 días a implementar a partir del 1 de enero de 2018.*

En marzo de 2011, un segundo grupo de trabajo liderado por la BEA concluyó que sería técnicamente factible reducir significativamente el área de búsqueda de restos de accidentes implementando las siguientes medidas:

- *Activación automática de la transmisión de datos clave (posicionamiento, coordenadas, etc) a través de SATCOM (SATélite de COMunicaciones) antes del impacto y/o,*
- *activación automática de los ELT de futura generación antes del impacto y/o,*
- *aumentar la frecuencia de los informes de posicionamiento de la aeronave.*

La BEA publicó el informe del grupo de trabajo en su sitio web y también se puede consultar en el ANEXO 2 – 2.2.2 – ICAO/BEA REPORT (INFORME ICAO/BEA). Junto a este grupo de trabajo, el FLIRECP discutió acerca de los siguientes temas:

- *Transmisión regular o automática de datos de vuelo.*
- *Cajas negras eyectables.” [27 pág.21-27].*

En línea con todos estos grupos de estudio y organizaciones y teniendo en cuenta los últimos accidentes descritos en el capítulo 3.3.Descripción de la necesidad, la forma elegida para llegar a una solución que responda a los requerimientos del cliente es analizar las siguientes soluciones técnicas que se tratan en el capítulo 4.2.Trade-off o simulación para elección de tecnología:

- Transmisión de datos durante el vuelo.
- Refuerzo de las cajas negras actuales.
- Caja negra eyectable flotante.

3.6. PLATAFORMA DE IMPLEMENTACIÓN

Como plataforma de implementación de este TFG se ha elegido una de las últimas creaciones del fabricante europeo Airbus, el A350XWB, un avión comercial a reacción de fuselaje extra ancho siendo la primera aeronave que incorpora una mayor cantidad de materiales compuestos en su fuselaje y alas (53% del total) consiguiendo un aligeramiento general junto a unas buenas propiedades frente a fatiga y corrosión (Ilustración 17).

Está capacitado para transportar entre 280 y 350 pasajeros en configuración de tres clases dependiendo de la elección de la compañía.

A 31 de diciembre de 2017, Airbus ha acumulado pedidos por un total de 854 aparatos y entre sus principales clientes figuran aerolíneas como Cathay Pacific, China Airlines, Delta Airlines, Ethipian Airlines, Finnair, Iberia, Lufthansa, Malaysia Airlines, Quatar Airways, Vietnam Airlines, ... Entre las ventas más recientes se encuentran las tres unidades de la versión -900 a la compañía española Iberia que se han ido entregando desde el pasado mes de junio del año 2018.



Ilustración 17. Tecnología aplicada en el A350XWB.

Fuente: Airbus (2014) [37]

El primer vuelo de prueba de esta nueva aeronave se produjo en junio de 2013 entrando en servicio en enero de 2015 con la compañía de lanzamiento Qatar Airways que realizó un pedido inicial de 80 aeronaves.

La familia del A350 la forman dos versiones: A350-900 y A350-1000, ofreciendo un alcance de 15.000 km y 14.800 km respectivamente y con una capacidad de transporte de pasajeros de 314 pasajeros y de 350 pasajeros en una cabina de tres clases. El ancho del fuselaje mide 5,96 m, tiene una longitud total de 66,8 m (versión -900) y de 73,8 m (versión -1000) y una envergadura para ambas versiones de 66,89 m (Ilustración 18).

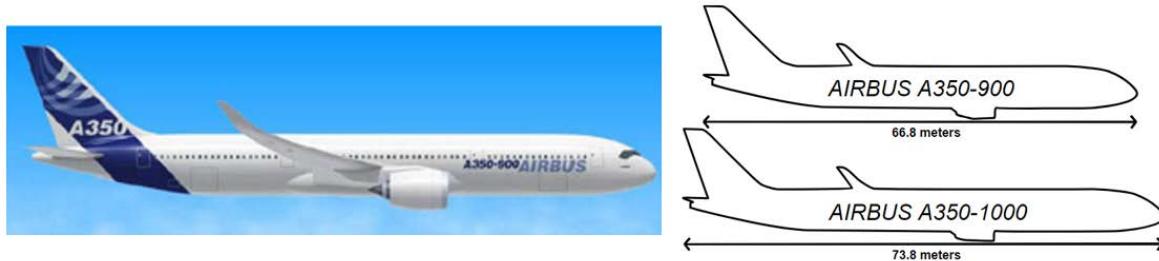


Ilustración 18. Familia A350XWB.

Fuente: Wikipedia (2019) [38]

3.7. METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL SISTEMA

En la definición del proyecto y de acuerdo a las necesidades del cliente, se deben cumplir los requisitos y especificaciones dados, de modo que el enfoque que se utilice para definir este proyecto debe contener lo siguiente:

- Simulación o trade-off para la elección de la tecnología a usar.
- Concepto de Operaciones del Sistema (ConOps).
- Requisitos del sistema (desde el nivel superior hasta el inferior).
- Simulaciones o trade-offs necesarias para seleccionar la configuración y ubicación del dispositivo.
- Validación del sistema y proceso de verificación (V&V).
- Gestión de la configuración.
- Planificación del proyecto y gestión de recursos.
- Presupuesto del proyecto, incluidos los costes recurrentes y no recurrentes.
- Gestión de riesgos.

4. CONCEPTO DEL SISTEMA

4.1. MODELO V&V

Como queda recogido en el capítulo *2. Abstract* de este TFG, todos los estudios y decisiones planteados en este proyecto se realizan utilizando la metodología de procesos INCOSE como parte de ingeniería de sistemas o Systems Engineering (SE).

La razón es bastante simple, gracias a la disciplina y los procedimientos de SE, se pueden plantear diferentes soluciones al proyecto y compararlas con las necesidades del cliente. Por lo tanto, esta es una forma efectiva de tratar cualquier cambio de diseño reduciendo el riesgo asociado de nuevas modificaciones. También es muy efectivo por razones presupuestarias y de programación de tiempos.

El ciclo de vida de cualquier sistema se puede representar con una buena diversidad de modelos, pero como se ha dicho anteriormente, este proyecto ha elegido el modelo clásico de V&V porque es muy fácil diferenciar la fase de concepto y la fase de desarrollo y la relación entre las actividades de validación y verificación como se ve en la *Ilustración 19*.

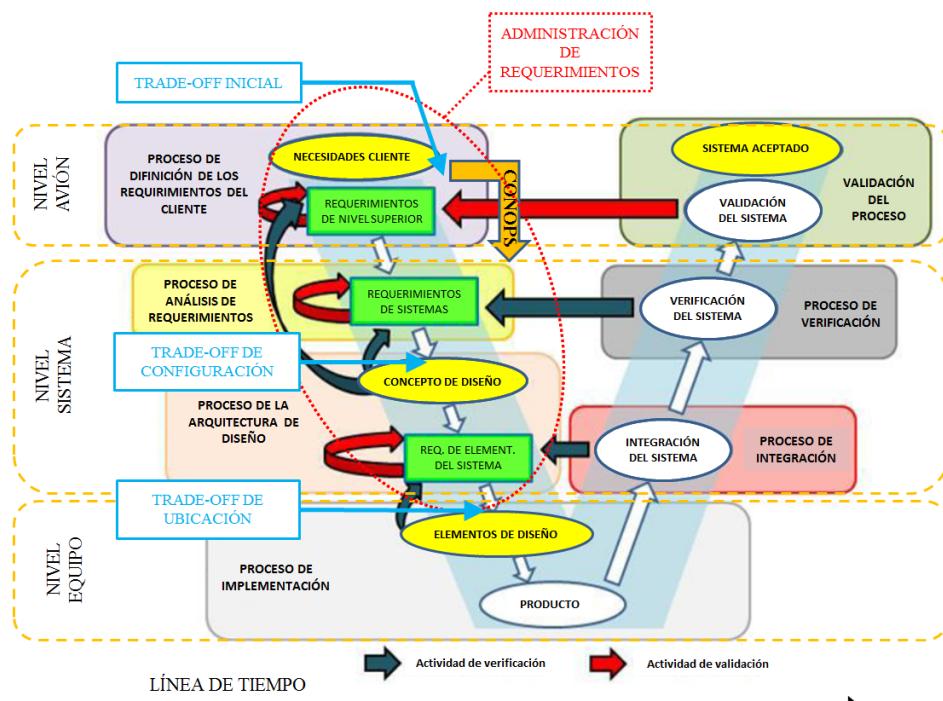


Ilustración 19. *Modelo V&V*.

Fuente: Elaboración propia (2019). Basada en: Knowledge Valley (2019) [39]

Observando el modelo de la V&V anteriormente expuesto, la "línea de tiempo" muestra el progreso de las actividades de izquierda a derecha. El lado izquierdo del modelo, de arriba abajo, muestra la evolución desde las necesidades del cliente hasta el desarrollo final del diseño que se lleva a cabo en el capítulo 5. Gestión de requisitos del sistema. El lado derecho del modelo, de abajo a arriba, muestra la fabricación del producto, sus actividades de integración, validación y verificación que se desarrollan en el capítulo 7.1. Actividades de validación y verificación.

Este modelo V&V muestra claramente la necesidad de definir las actividades de validación y verificación durante la definición y aplicación de los requisitos. Esto se logra mediante la "aprobación de documentos" después de cada actividad. Con estos documentos, todas las partes afectadas acuerdan pasar a la siguiente fase del proyecto. El objetivo de estos acuerdos es detectar el incumplimiento de los requerimientos del cliente en las primeras etapas del proyecto, que siempre es más barato que detectarlas una vez que el proyecto está avanzado.

El proyecto se desarrolla sobre tres simulaciones o trade-offs para evaluar la mejor solución requerida respecto a las necesidades del cliente:

- La primera simulación o trade-off inicial se lleva a cabo a nivel avión una vez se analizan las necesidades de nuestro cliente para encontrar la posible solución a la recuperación actual de las cajas negras y se desarrolla en el capítulo 4.2. Trade-off o simulación para elección de tecnología.
- La segunda simulación se lleva a cabo a nivel del sistema justo antes de que comience el diseño de concepto para evaluar la configuración final del dispositivo que se desarrolla en el capítulo 6.3. Trade-off o simulación para la configuración de un dcvdr adicional.
- La tercera simulación se lleva a cabo a nivel de equipo para encontrar la mejor ubicación para el dispositivo en el avión y se desarrolla en el capítulo 6.6. Trade-off o simulación de la ubicación del dcvdr dentro del avión.

4.2. TRADE-OFF O SIMULACIÓN PARA ELECCIÓN DE TECNOLOGÍA

Tras el análisis de las soluciones actuales para la recuperación de las cajas negras, se han encontrado los siguientes problemas:

- Hay accidentes que, por sus condiciones de accesibilidad o severidad, nunca se encuentran las cajas negras o están tan dañadas que no es posible recuperar la información contenida.
- Se genera un alto costo financiero para la recuperación de datos cuando se hunden las cajas negras en accidentes marítimos.

En línea con las recomendaciones del Informe OACI/BEA explicadas en el capítulo 3.5. Alcance del proyecto y resumidas en el ANEXO 2 – 2.2.2 – ICAO/BEA REPORT, se propone una selección entre las diferentes soluciones disponibles de cara a satisfacer las necesidades de nuestro principal cliente que son las autoridades que necesitan asegurar el rescate de las cajas negras. Para seleccionar la mejor opción se presentan tres soluciones:

- Alternativa 1 → Transmisión de los datos durante el vuelo.
- Alternativa 2 → Refuerzo de las cajas negras actuales.
- Alternativa 3 → Caja negra eyectable flotante.

4.2.1. *Transmisión de los datos durante el vuelo*

La idea es transmitir los datos de los grabadores de vuelo en tiempo real (data streaming), ya sea directamente a una estación de tierra o por satélite cuando no existe una estación de tierra o se está muy alejado de ella. Actualmente, la información de la ubicación y velocidad de la aeronave solo se puede obtener utilizando un radar en tierra. El problema es que solo el 10% de la superficie de la Tierra está al alcance de los radares terrestres, por lo que grandes áreas permanecen fuera de cobertura. Subir datos de vuelo en tiempo real a almacenes de datos como "la nube" cuando se atraviesan áreas remotas podría evitar futuras desapariciones inexplicables de aviones como el vuelo MH370 de Malaysia Airlines. Hoy en día, se están desarrollando nuevos sistemas basados en satélites para proporcionar un seguimiento constante de las aeronaves que vuelan sobre los océanos donde no pueden instalarse radares terrestres.

Algunas de las ventajas más destacables de la transmisión de datos por telemetría son las siguientes:

- Permitiría a las aerolíneas tener una base de datos central instantánea y actualizada de información sobre todas las operaciones del avión y su rendimiento mecánico que podría ser útil tanto para realizar tareas rutinarias, como para programar tareas de mantenimiento cuando sea necesario o incluso ajustar y refinar la eficiencia del combustible según cada tipo de operación de vuelo.
- Otra ventaja de estas transmisiones es que comenzarían automáticamente cuando se excedieran ciertos parámetros de seguridad como la velocidad del aire, las tasas de descenso vertical, el balanceo o la inclinación. Obviamente, se seguiría queriendo que los grabadores de vuelo reconstruyeran todo el escenario después del accidente, pero ese es el matiz: la transmisión también proporcionaría la última ubicación del avión, por lo que sería más fácil saber dónde enviar a los servicios de búsqueda y rescate para localizar a supervivientes y cajas negras.

De igual manera, algunas de las desventajas de la transmisión de datos por telemetría son las siguientes:

- Desafortunadamente, el desarrollo de estos sistemas basados en satélites es bastante lento, ya que, por ejemplo: "*Iridium*", una nueva constelación de 66 satélites girando alrededor de la Tierra, no ha tenido su sistema totalmente operativo hasta el año 2018 pero los costes de operación son aún bastante altos y hay ciertos países que no permiten su uso (Corea del Norte y Sri Lanka).
- Por otra parte, son tantos los datos que se recogen hoy en día en las cajas negras y tantos los aviones que operan a la vez en el espacio aéreo que la misión de envío de todos esos datos a la red de satélites podría colapsar los propios servidores por lo que el ancho de banda necesario aún no está disponible con las tecnologías desarrolladas actualmente.
- Otro problema para los aviones en caso de usar este nuevo sistema sería el precio tan alto que tendrían que pagar a los operadores de satélites, un desafío económico de aproximadamente 0,8€ por kilobyte (kB).
- Por otra parte, hay un problema importante a la hora de transmitir datos desde aviones en vuelo, al menos en lo concerniente al audio de la cabina: es la certeza de que los pilotos nunca lo aceptarían. Por ley, solo los investigadores

pueden acceder a las grabaciones de voz de la cabina de los pilotos después de un accidente. Cuando un vuelo llega con seguridad a su destino, el piloto pulsa el botón de borrado (*Ilustración 20*) que no funciona en vuelo ni durante el rodaje por pista.



Ilustración 20. Botón de borrado del CVR

Fuente: Gables Engineering (2019) [42]

En caso de accidente, las transcripciones pueden publicarse como parte del informe pericial, pero, con las leyes actuales, la publicación de las grabaciones no estaría permitida. Esto es en parte una cuestión de profesionalidad, aparte de evitar sufrimientos a las familias de los pilotos si es que hay un accidente y fallecen. Es más un problema de ámbito laboral. Técnicamente, la transmisión de voz en cabina podría cifrarse para un tratamiento confidencial, pero todas las partes afectadas a día de hoy opinan que los pilotos insistirían en mantener las grabaciones de voz a bordo del avión, bajo su control físico. Es un gran cambio de mentalidad y de cesión de datos que podrían vulnerar la intimidad de personas físicas.

4.2.2. Refuerzo de las cajas negras actuales

El objetivo de esta idea es reforzar las actuales cajas negras que suelen usarse en los aviones añadiendo una capa adicional de protección contra golpes y fuego. La protección principal de las cajas se completaría a base de mantas térmicas adicionales para aumentar la protección que llevan a día de hoy.

Algunas ventajas de la idea de reforzar o mejorar la protección de las cajas negras actuales son las siguientes:

- Protección adicional contra incendios severos producidos durante accidentes.
- Protección adicional contra colisiones violentas.
- Solución técnica de diseño fácil de implementar.

- Impacto de bajo coste con implementación rápida

Algunas desventajas de la idea de reforzar o mejorar la protección de las cajas negras actuales son las siguientes:

- Penalización en peso debido a la instalación adicional de la manta térmica.
- La solución no es válida si el avión, tras estrellarse, se hunde en el mar (alto coste del rescate de las cajas negras).
- La solución no es válida si el avión se estrella en un área de difícil acceso (alto coste del rescate de las cajas negras).

4.2.3. Caja negra eyectable flotante

El concepto principal de esta solución es instalar un grabador de datos y de voz en cabina desplegable o eyectable DCVDR (Deployable Cockpit Voice Data Recorder) que además vaya equipado con un sistema de flotadores, airbags o similar para que pueda flotar en la superficie del agua y sobreviva a impactos severos y que adicionalmente tenga instalado un ELT que trasmite su posición.

Esta tecnología se lleva usando desde hace mucho tiempo en aviones militares como el McDonnell Douglas F/A-18 Hornet y Super-Hornet como se muestra en la Ilustración 21.

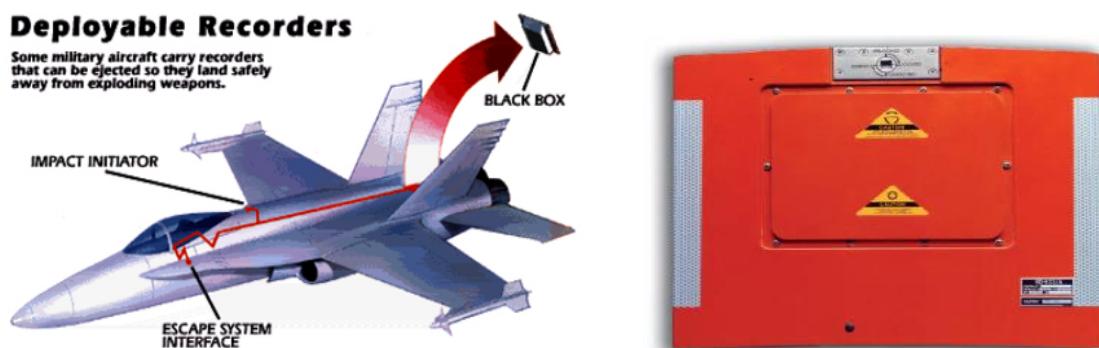


Ilustración 21. F/A 18 equipado con caja negra eyectable.

Fuente: Thermodyne (2019) [40]

Este avión militar cuenta con un sistema de grabación de incidentes de vuelo eyectable DFIRS (Deployable Flight Incident Recording System) que integra un FDR y un ELT, especialmente diseñado para las versiones de los modelos F/A-18C, D, E y F.

En caso de accidente, la eyeccción del DFIRS se produce automáticamente mediante un sensor de impacto o cuando se activa la expulsión del asiento lanzable del caza. La ocurrencia de cualquiera de estas dos condiciones activa el mecanismo de expulsión que eyecta el DFIRS automáticamente. El diseño tan resistente del dispositivo (*Ilustración 21*) permite resistir impactos severos contra el suelo o el agua y también flota para facilitar las tareas de recuperación. El ELT se activa tan pronto como se produce la eyeccción proporcionando una señal que alerta del avión caído y permite conocer rápidamente su ubicación para el rescate de la tripulación y la CSMU.

Incluso helicópteros como el Agusta Westland AW101 que lleva instalado un sistema eyectable de grabación de datos de voz y vuelo VFDRS (Voice and Flight Data Recorder System) como se ve en la *Ilustración 22* o el Eurocopter EC155 también equipado con un transmisor de localización de emergencia eyectable automático ADELT (Automatic Deployable Emergency Locator Transmitter) como se ve en la *Ilustración 23*.



Ilustración 22. Sistema eyectable del Augusta Westland AW101.

Fuente: Augusta Westland (2019)



Ilustración 23. Transmisor de localización eyectable del Eurocopter EC155.

Fuente: Eurocopter (2019)

Esta tecnología, vista anteriormente para aeronaves militares, no se ha utilizado aún en la aviación civil porque hasta hace unos años los accidentes aéreos se producían principalmente durante las operaciones de despegue o aterrizaje. Y en esos casos, las cajas negras se solían encontrar fácilmente entre los restos del avión.

Algunas de las ventajas de la caja negra eyectable son las siguientes:

- Se pueden combinar en un único dispositivo: el FDR, el CVR y el ELT.
- Gracias a su eyección y por tanto separación de la zona accidentada de la aeronave, la recuperación de la caja negra queda totalmente garantizada.
- Debido a la flotabilidad del dispositivo, se eliminan los altos costes de recuperación subacuática.
- Los costes operacionales de uso de la tecnología eyectable son mucho más bajos que la transmisión de datos en tiempo real (data streaming).

Algunas de las desventajas de la caja negra eyectable son las siguientes:

- Se haría necesaria una nueva calificación y certificación para aeronaves civiles.
- Habría que encontrar una localización apropiada para la instalación del dispositivo en la aeronave civil.

4.2.4. Matriz de decisión

La metodología elegida para buscar la mejor solución se basa en un análisis KTA (Kepner Tregoe Analysis). La toma de decisiones del KTA define los requisitos estratégicos como "MUST" o "DEBE" y los objetivos operacionales como "WANTS" o "QUIERE".

El "DEBE", en primer lugar, elimina cualquier solución alternativa que no se ajusta a los criterios iniciales del proyecto ("GO" o "PASA" / "NO-GO" o "NO-PASA"). Se ha identificado como principal o más representativo el siguiente requerimiento:

- Capacidad de certificación: el principal requisito a tener en cuenta es que el producto sea capaz de ser certificado para aeronaves civiles. Como cualquiera de las tres soluciones estudiadas cumplen con este criterio, todas han sido clasificadas como "GO" o "PASA".

Para la matriz de decisiones "WANTS" o "QUIERE", los objetivos operacionales se han seleccionado y calificado en una escala con un peso de entre 1 y 10, dependiendo

de la importancia de cada uno de ellos. Se han evaluado los siguientes más representativos:

- Rescate en tierra (8): El sistema seleccionado debe diseñarse para una recuperación en caso de choque en tierra.
- Recuperación en el agua (8): El sistema seleccionado debe diseñarse para recuperarse en caso de impacto y hundimiento en el agua.
- Madurez de la tecnología (9): Se mide el nivel de disponibilidad de la tecnología seleccionada o al menos una solución similar ya desarrollada. Cuanto más se conozca la tecnología, menos desarrollo, tiempo y coste lleva asociada.
- Coste (6): Costes Recurrentes RC (Recurring Cost) asociados a las actividades de fabricación y montaje y Costes No Recurrente NRC (Non Recurring Cost) asociados a las actividades de diseño y calificación para desarrollar una nueva solución de diseño DS (Design Solution).
- Peso (5): El dispositivo, sistema o tecnología elegida debe ser lo más ligero posible.
- Mantenimiento (4): El dispositivo, sistema o tecnología elegida debe ser fácil de mantener y/o tener un mantenimiento muy reducido.
- Instalación (7): El dispositivo, sistema o tecnología elegida debe ser fácil de instalar en aviones comerciales.

Toda esta información se puede consultar en la matriz de decisión cumplimentada mediante la Tabla 1.

Tabla 1. Matriz de decisión para la elección de tecnología.

Fuente: Elaboración propia (2019). Basada en: Charles Kepner & Benjamin Tregoe (1960) [52]

MATRIZ DE DECISIÓN:		ALTERNATIVA 1			ALTERNATIVA 2			ALTERNATIVA 3		
CRITERIOS DE EVALUACIÓN:		Transmisión de datos durante el vuelo			Refuerzo de las cajas negras actuales			Caja negra eyectable flotante		
MUST o DEBE (GO/NO-GO):										
Capacidad de certificación		GO			GO			GO		
WANTS o QUIERE:	PESO [W]	PUNTUACIÓN			PUNTUACIÓN			PUNTUACIÓN		
		COMENTARIOS	NOTA [R]	R*W	COMENTARIOS	NOTA [R]	R*W	COMENTARIOS	NOTA [R]	R*W
Rescate en tierra (Capacidad de rescate de datos de áreas con difícil acceso)	8	Transmisión de datos asegurada	10	80	Recuperación difícil en áreas poco accesibles	4	32	La integración del ELT+Airbag en el DCVDR mejora el rescate	7	56
Recuperación en el agua (Capacidad de rescate de datos de medios acuosos)	8	Transmisión de datos asegurada	10	80	Recuperación difícil bajo aguas marítimas	3	24	La integración del ELT+Airbag en el DCVDR mejora el rescate	10	80
Madurez de la tecnología (Nivel actual de desarrollo de la tecnología)	9	Primer desarrollo previsto para año 2018	3	27	Desarrollo de tecnología no necesario	10	90	Mismo tipo de dispositivo ya usado en aviones militares	9	81
Coste (RC + NRC del producto final vs retorno de la inversión)	6	Alto coste debido a costes operacionales (Certificación necesaria)	2	12	Bajo coste debido a la instalación de mantas protectoras (No necesaria Certificación)	10	60	Coste medio debido a tecnología ya conocida y desarrollada (Certificación necesaria)	7	42
Peso (Peso total del equipo instalado)	5	Oportunidad de ahorro de peso	10	50	Aumento de peso	4	20	Oportunidad de ahorro de peso por integrar el FDR, CVR y ELT en un único dispositivo	8	40
Mantenimiento (Facilidad en las labores de mantenimiento)	4	Bajo nivel de mantenimiento en el avión	8	32	Acceso a la caja negra tras desmontaje de mantas	6	24	Accesibilidad asegurada	7	28
Instalación (Impactos producidos por la instalación)	7	Sólo necesarios emisor de cabina + equipo de transmisión	10	70	Fácil instalación de mantas	9	63	Búsqueda de una localización óptima necesaria	7	49
Máxima Puntuación (10xW)				351			313			376
Puntuación Total:		470								

4.2.5. Conclusiones

Tal y como se muestra en la *Tabla 1*, teniendo en cuenta la matriz de decisión, la solución óptima para este proyecto es la alternativa 3: **Caja negra eyectable flotante** siendo la mejor solución para recuperar la información contenida en las cajas negras y que posteriormente necesitan las oficinas de investigación de accidentes.

Una de las mejores soluciones a corto plazo vendría dada por la alternativa 1: "Transmisión de datos durante el vuelo" vía satélite pero el desarrollo de esta tecnología no se ha asegurado hasta el año 2018 y tampoco se garantiza ningún despliegue de antenas de comunicación, por lo que esta opción no puede considerarse como inmediata.

La propuesta de la alternativa 2 para reforzar las actuales cajas negras no garantiza la supervivencia de las mismas con impactos muy severos o cuando hay que recuperarlas de áreas poco accesibles además de implicar un considerable aumento de peso del equipo.

Por lo tanto, la mejor solución de rápido desarrollo y alto cumplimiento de requerimientos de la misión y buena fiabilidad, integración, mantenimiento, peso e

impacto de costo medio, es la integración de una caja negra eyectable como buen medio de cumplimiento para demostrar la recuperación y localización de datos en todas las situaciones posibles.

Por esta razón, la caja negra eyectable flotante que incluye un FDR, un CVR y un ELT se decide como tecnología seleccionada para su integración en la plataforma elegida, el Airbus A350XWB.

4.3. CONCEPTO DE OPERACIONES

El propósito principal de este apartado es presentar un concepto de operaciones (ConOps) del sistema que ayude a entender mejor la problemática y proponga a todos los interesados, desde un punto de vista esquemático, una solución para este proyecto.

Para describir el ConOps de este proyecto, se deben incluir y explicar los siguientes puntos:

- Objetivo del sistema.
- Restricciones del sistema.
- Requisitos y especificaciones del sistema.
- Capacidades del sistema.

Como se indica en el título de este proyecto, el objetivo principal del sistema es determinar la viabilidad para la instalación de una caja negra eyectable siendo el Airbus A350XWB la plataforma de implementación elegida.

La restricción principal del sistema propuesto es encontrar una ubicación adecuada del dispositivo de eyección teniendo en cuenta el refuerzo de la zona elegida dentro del área de eyección. Al mismo tiempo que se elige la ubicación y se refuerza el área estructuralmente, es también importante cumplir con los estrictos requerimientos y especificaciones del sistema para alcanzar la certificación del producto ante diferentes autoridades mundiales de aeronavegabilidad.

La clave del éxito pasa por desarrollar un sistema que cumpla con al menos los mismos requisitos que las cajas negras clásicas, pero en el momento en que se eyecte el nuevo dispositivo DCVDR, se debe proveer un tipo de protección para los grabadores de datos de vuelo que permita recuperar la información de la mejor manera y con la mayor rapidez posible.

Toda esta información se presenta en la *Ilustración 24* como resumen del concepto de operaciones.

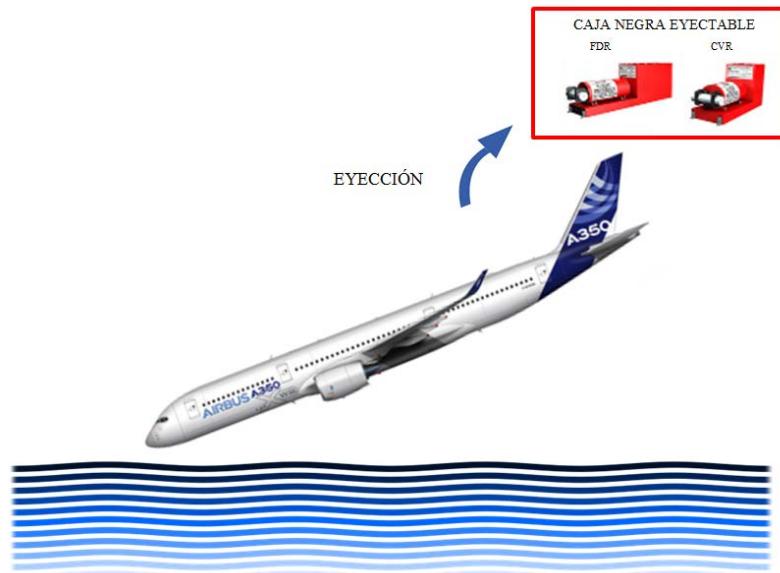


Ilustración 24. CONcepto de OPeracioneS.

Fuente: Elaboración propia (2019)

La idea no es la de descartar el diseño actual de las cajas negras tradicionales, sino desarrollar soluciones complementarias o evoluciones potenciales de los sistemas actuales, mejorando continuamente la fiabilidad y la seguridad (*Ilustración 25*).

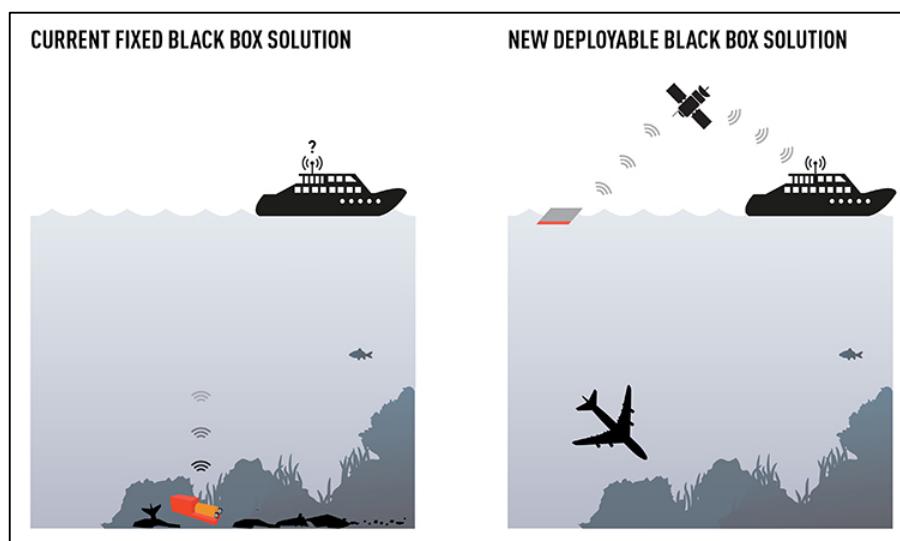
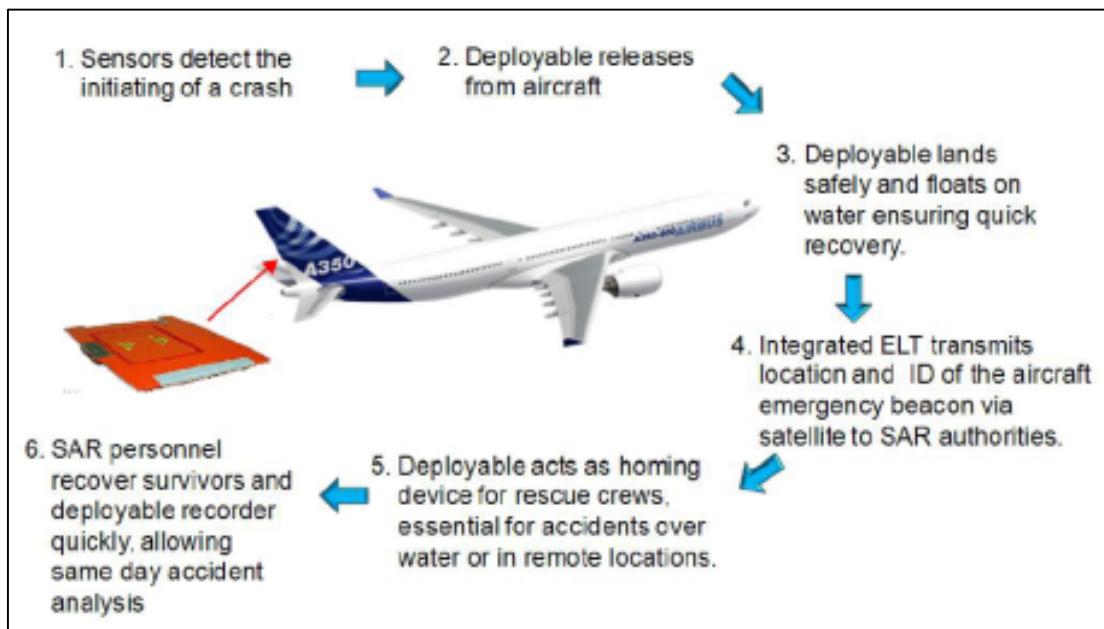


Ilustración 25. Nueva solución de caja negra eyectable.

Fuente: Cambodia Military Science (2015) [41]

Para una mejor aclaración de la propuesta y también como una forma de motivación para la implementación del DCVDR en una aeronave Airbus A350XWB, es importante seguir las 6 directrices de la *Ilustración 26* que resumen la idea del cambio. El mensaje clave es segregar los conceptos "Búsqueda y rescate". Con los modelos actuales, "Búsqueda y rescate" son tareas necesarias después de un accidente para encontrar y analizar la información contenida en los grabadores de vuelo. Con la nueva DCVDR propuesta, solo el "Rescate" es una tarea necesaria debido a que la "Búsqueda" la da inmediatamente el propio equipo DCVDR y el personal del SAR sólo tiene que rescatar a los sobrevivientes y el DCVDR permitiendo un análisis de los datos el mismo día del accidente.



1. Los sensores detectan una posible catástrofe.
2. El dispositivo eyectable se auto-expulsa automáticamente del avión.
3. El dispositivo eyectable aterriza o ameriza asegurando una rápida recuperación.
4. El ELT integrado transmite la localización e identificación de la baliza de emergencia de la aeronave vía satélite a los servicios de rescate.
5. El dispositivo eyectable permanece cerca del lugar de la catástrofe para el rescate de la tripulación y pasaje en accidentes marítimos o en áreas remotas.
6. Los servicios de rescate recuperan a supervivientes y cajas negras rápidamente permitiendo un análisis del accidente casi en el mismo día.

Ilustración 26. Motivación para la implantación de un DCVDR.

Fuente: Elaboración propia (2019)

5. GESTIÓN DE REQUISITOS DEL SISTEMA

En este capítulo se recopilan los diferentes requisitos del DCVDR necesarios para llevar a cabo el diseño arquitectónico del sistema desarrollado en el lado izquierdo de la V&V. Los requerimientos se capturan de los requisitos existentes de los FDR y CVR actuales más los nuevos específicamente creados para registradores eyectables combinados. Esos requisitos se definen desde el nivel 1: "Requisitos de aeronave de nivel superior TLAR (Top Level Aircraft Requirements)" hasta el nivel 2: "Requerimientos del sistema de nivel superior TLSR (Top Level System Requirements)". Desde el nivel 2, los requisitos se aplican en cascada al nivel 3: "Dossier de requerimientos de instalación del sistema SIRD (System Installation Requirements Dossier)" hasta el nivel 4: "Documento de requerimientos de instalación del equipo EIRD (Equipment Installation Requirements Document)" como se muestra en la Ilustración 27.

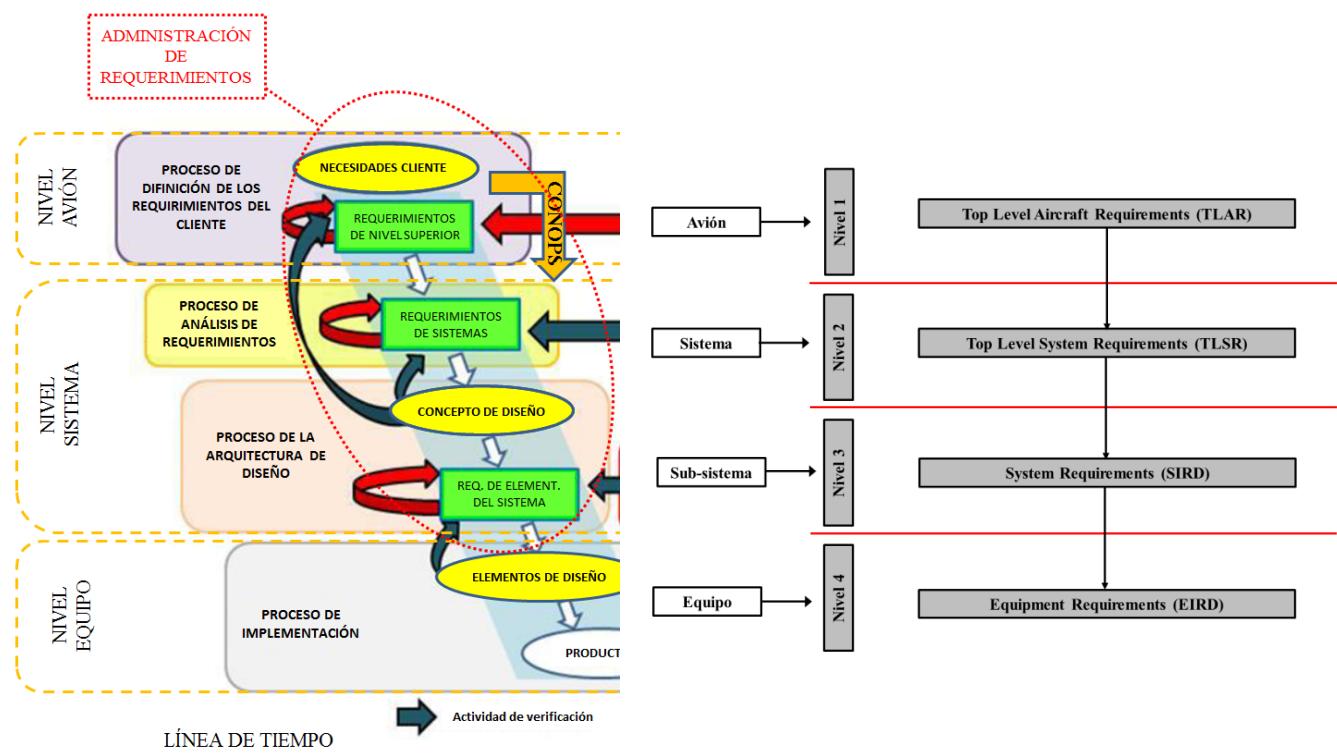


Ilustración 27. *Modelo general de cascada de requerimientos.*

Fuente: Elaboración propia (2019). Basada en: Knowledge Valley (2019) [39]

5.1. DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS

La definición de requerimientos o requisitos es un paso importante antes, durante y después de cualquier desarrollo de un proyecto. El producto final presentado al cliente debe cumplir con todos los requerimientos anteriormente establecidos, de modo que la definición y comprensión correctas de las necesidades del cliente sean clave para administrar el proyecto. Para ayudar a los equipos a diseñar y construir el producto final, los requisitos deben definirse adecuadamente y deben tener las siguientes características:

- Verificables → Por lo tanto, que se puedan demostrar mediante: inspección, análisis o demostración.
- Claros y concisos → Deben ser de fácil lectura y comprensión para personal no técnico.
- Completos → Tienen que contener toda la información que se necesita para definir la función del sistema.
- Consistentes → No deben entrar en conflicto con otros requisitos de la especificación.
- Rastreables → Deben tener una identidad única o número de requerimiento.
- Viables y alcanzables → Deben ser técnicamente alcanzables con la tecnología existente y deben estar dentro de las restricciones presupuestarias.
- Necesarios → Deben ser absolutamente críticos para el funcionamiento del sistema.
- Implementación independiente → Tienen que permitir al desarrollador del sistema decidir qué tecnología es la más adecuada para lograr la función esperada.

5.2. CASCADA DE REQUERIMIENTOS

En este capítulo se muestra la cascada de requerimientos específicos para el DCVDR. En la Ilustración 27 se puede ver la disposición general de los requerimientos desde los niveles superiores a los inferiores (desde el nivel 1 al nivel 4) y en la Ilustración 28 se presenta el árbol completo de cascada de requerimientos del DCVDR:

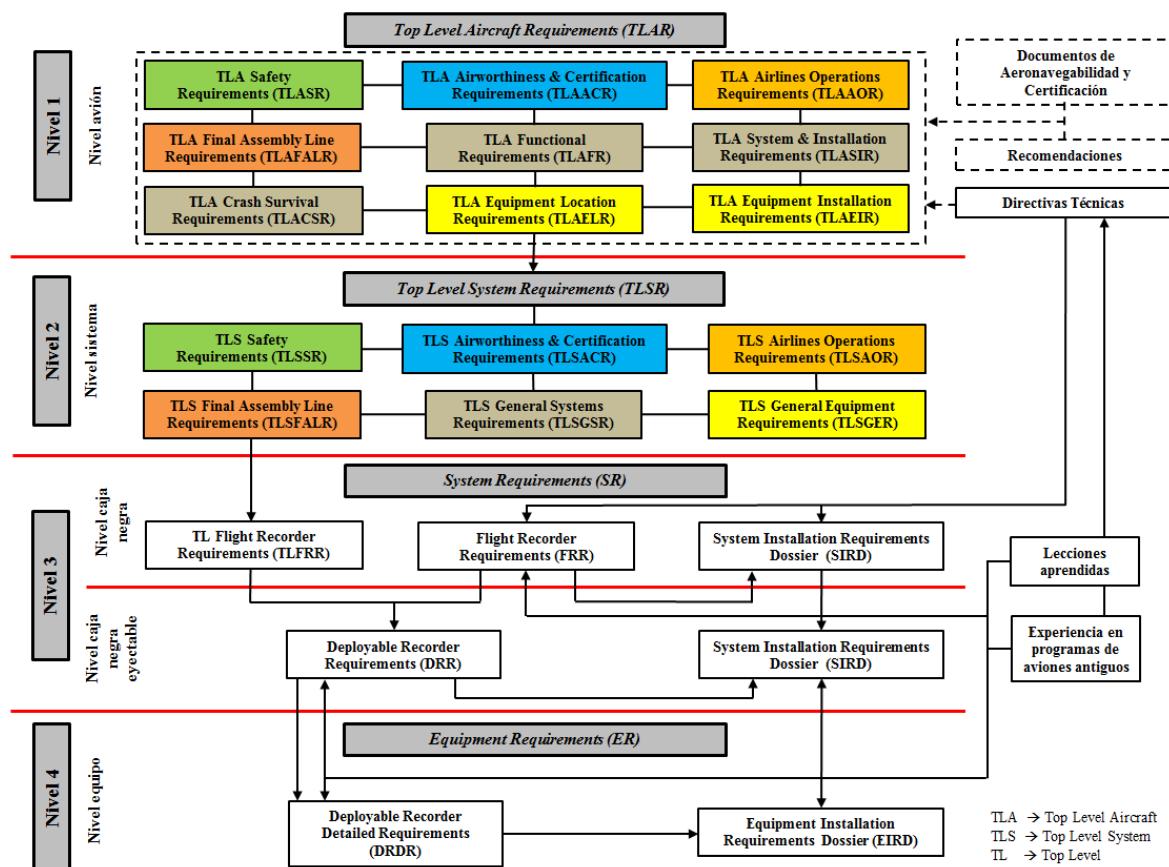


Ilustración 28. Cascada de requerimientos del DCVDR.

Fuente: Elaboración propia (2019)

A continuación, se describe un pequeño análisis de los requerimientos del DCVDR que se muestran en la Ilustración 28:

- **Nivel 1:** En este nivel se representan y agrupan los requisitos de aeronaves de nivel superior TLAR (Top Level Aircraft Requirements) tomados directamente de actores principales como son las Autoridades de Seguridad, Certificación y Aeronavegabilidad, los clientes, la línea final de montaje FAL (Final Assembly Line), etc.... Se dividen a su vez en

diferentes grupos de requerimientos para una mejor gestión. Se debe tener en cuenta que este nivel es alimentado directamente por directivas técnicas de diseño TDD (Technical Design Directives) y por los documentos y recomendaciones de Aeronavegabilidad y Certificación.

- Nivel 2: En este nivel también se agrupa un conjunto de requisitos de nivel superior, pero a diferencia del anterior, ahora lo hace a nivel de sistema TLSR (Top Level System Requirements). Todo el conjunto de requisitos representado en el nivel 1 tiene su conjunto equivalente de requisitos de nivel 2. Por ejemplo, el grupo de requerimientos representados en color azul a nivel TLAR tienen su correspondiente grupo de requerimientos de color azul a nivel TLSR.
- Nivel 3: En este nivel se representan los requisitos específicos para los registradores de vuelo o cajas negras. Todos los requisitos de nivel 2 están directamente relacionados en cascada con los requisitos de las cajas negras de nivel superior TLFRR (Top Level Flight Recorder Requirements) y requisitos adicionales como los requisitos de registradores de vuelo FRR (Flight Recorder Requirements) o dossier de requerimientos de instalación de sistemas SIRD (System Installation Requirements Dossier) también se tienen en cuenta debido al link directo a las Directivas Técnicas (TDD). Según se observa, este nivel 3 se ha dividido en 2 subniveles, uno para los requisitos generales a nivel de cajas negras y otro de requisitos específicos para cajas negras eyectables. En este nivel, también se tienen en cuenta las lecciones aprendidas y la experiencia en requerimientos de programas anteriores (ocurrencias en accidentes/incidentes) y por eso aparece una flecha de flujo específica.
- Nivel 4: En este nivel final o inferior se representan los requerimientos detallados de las cajas negras eyectables. En este nivel, también se tienen en cuenta las lecciones aprendidas y la experiencia de los requerimientos de los programas anteriores que también van ligados mediante flechas.

El objetivo principal de este proyecto es integrar un registrador o caja negra eyectable en una aeronave modelo A350XWB. La Ilustración 29 muestra cómo, en términos de ciertos requerimientos principales, se logra alcanzar el objetivo del proyecto (*). Esto significa que los requisitos de ubicación del equipo de nivel superior

TLAELR (Top Level Aircraft Equipment Location Requirements) y los requisitos de instalación de equipos de nivel superior TLAEIR (Top Level Aircraft Equipment Installation Requirements) asignados en el nivel 1 deben estar en la cascada de requisitos de equipo generales del sistema de nivel superior TLSGER (Top Level System General Equipment Requirements) asignados en el nivel 2 y luego en la cascada de requisitos de las cajas negras TLFRR en el sub-nivel 1 y en los requisitos de las caja negras eyectables DRR (Deployable Recorder Requirements) en el sub-nivel 2, ambos asignados en el nivel 3 y, finalmente, a los requisitos específicos de las cajas negras eyectables DRDR (Deployable Recorder Detailed Requirements) asignados en el nivel 4.

(*) NOTA: En este TFG sólo se muestran las cascadas de ciertos grupos de requerimientos ya que la integración del equipo completo habría que hacerla con todos y cada uno de ellos lo que llevaría a un trabajo demasiado extenso. Sólo algunos requisitos de nivel superior se mencionan durante este proyecto como medio de validación y actividades de verificación.

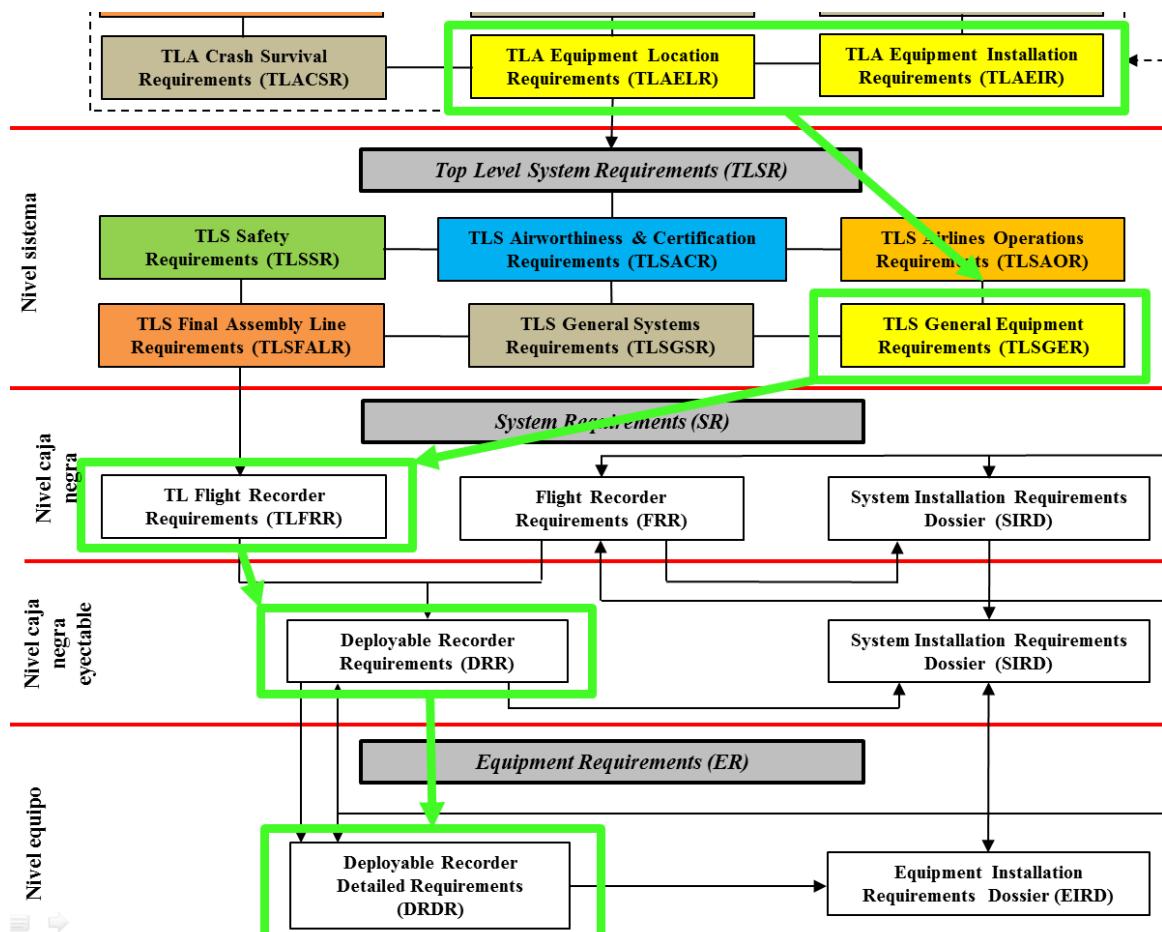


Ilustración 29. Cascada de requerimientos objeto del TFG.

Fuente: Elaboración propia (2019)

5.3. TOP LEVEL AIRCRAFT REQUIREMENTS (TLAR)

Los TLAR establecen los requisitos de las principales partes implicadas y se aplican en cascada a todos los niveles hacia abajo, incluidos los sistemas, subsistemas, conjuntos, componentes y equipos aplicables en cada elemento desarrollado para el A350XWB (*Ilustración 30*).

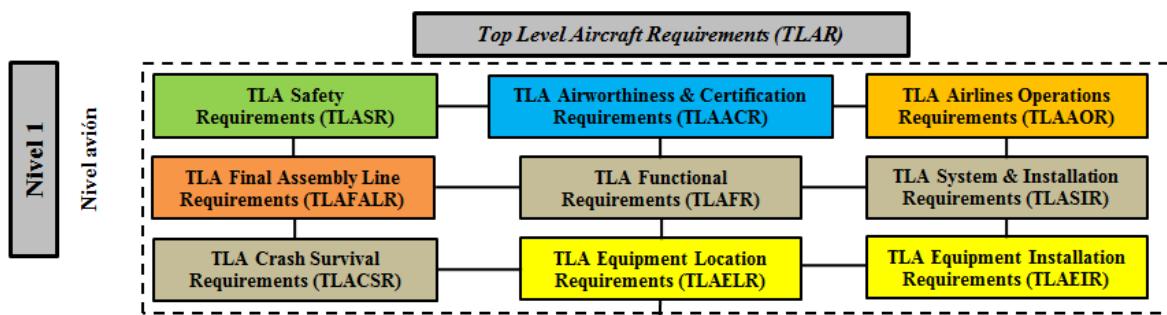


Ilustración 30. Top Level Aircraft Requirements (TLAR).

Fuente: Elaboración propia (2019)

Debido a la gran cantidad de requisitos que se pueden encontrar a este nivel 1 o nivel avión, se propone una clasificación por tipos de clientes según sigue:

- Top Level Aircraft Safety Requirements (TLASR) o requisitos de seguridad de la aeronave de nivel superior.
 - Top Level Aircraft Airworthiness and Certification Requirements (TLAACR) o requisitos de aeronavegabilidad y certificación de aeronaves de nivel superior.
 - Top Level Aircraft Airline Operation Requirements (TLAAOR) o requisitos de operabilidad en aerolíneas de nivel superior.
 - Top Level Aircraft Final Assembly Line Requirements (TLAFALR) o requisitos de la línea de ensamblaje final de nivel superior.
 - Top Level Aircraft Functional Requirements (TLAFR) o requisitos funcionales de la aeronave de nivel superior.
 - Top Level Aircraft System and Installation Requirements (TLASIR) o requisitos de instalaciones y sistemas de aeronaves de nivel superior.
 - Top Level Aircraft Crash Survival Requirements (TLACSR) o requisitos de supervivencia y colisión de aeronaves de nivel superior.
 - Top Level Aircraft Equipment Location Requirements (TLAELR) o requisitos de ubicación de equipos en aeronaves de nivel superior.
 - Top Level Aircraft Equipment Installation Requirements (TLAEIR) o requisitos de instalación de equipos de avión de nivel superior.

5.3.1. Top Level Aircraft Safety Requirements (TLASR)

En este capítulo se recopila el conjunto de requisitos relacionados con la seguridad de la aeronave que provienen directamente de las autoridades. Para consultar el detalle de requisitos de este listado véase el *ANEXO 3 – 3.1.1. Top Level Aircraft Safety Requirements (TLASR) - Tabla Anexos 1.*

5.3.2. Top Level Aircraft Airworthiness and Certification Requirements (TLAACR)

En este capítulo se recopila el conjunto de requisitos relacionados con la aeronavegabilidad y certificación de la aeronave que provienen directamente de las autoridades. Para consultar el detalle de requisitos de este listado véase el *ANEXO 3 – 3.1.2. Top Level Aircraft Airworthiness and Certification Requirements (TLAACR) - Tabla Anexos 2.*

5.3.3. Top Level Aircraft Operations Requirements (TLAAOR)

En este capítulo se recopila el conjunto de requisitos relacionados con la operabilidad de la aeronave en las aerolíneas que provienen directamente de los clientes. Para consultar el detalle de requisitos de este listado véase el *ANEXO 3 – 3.1.3. Top Level Aircraft Airlines Operations Requirements (TLAAOR) - Tabla Anexos 3.*

5.3.4. Top Level Aircraft Final Assembly Line Requirements (TLAFALR)

En este capítulo se recopila el conjunto de requisitos relacionados con la línea de ensamblaje final de la aeronave. Para consultar el detalle de requisitos de este listado véase el *ANEXO 3 – 3.1.4. Top Level Aircraft Final Assembly Line Requirements (TLAFALR) - Tabla Anexos 4.*

5.3.5. Top Level Aircraft Functional Requirements (TLAFR)

En este capítulo se recopila el conjunto de requisitos funcionales de la aeronave compilando las características generales de diseño con un enfoque funcional del

sistema. Para consultar el detalle de requisitos de este listado véase el [ANEXO 3 – 3.1.5. Top Level Aircraft Functional Requirements \(TLAFR\) - Tabla Anexos 5.](#)

5.3.6. Top Level Aircraft System and Installation Requirements (TLASIR)

En este capítulo se recopila el conjunto de requisitos relacionados con los sistemas de la aeronave y su instalación compilando las características generales de diseño para cumplir la aceptación final del producto. Para consultar el detalle de requisitos de este listado véase el [ANEXO 3 – 3.1.6. Top Level Aircraft System and Installation Requirements \(TLASIR\) - Tabla Anexos 6.](#)

5.4. TOP LEVEL SYSTEM REQUIREMENTS (TLSR)

Los TLSR se sitúan en el nivel 2 o nivel sistema del árbol de requerimientos y vienen dados por sus requisitos equivalentes de nivel 1 ([Ilustración 31](#)).

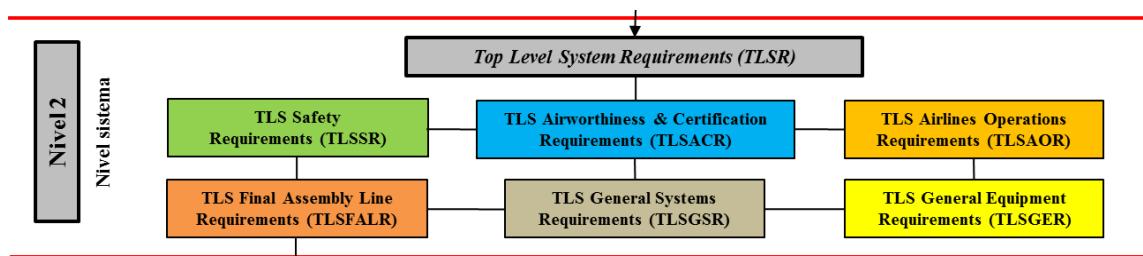


Ilustración 31. Top Level System Requirements (TLSR).

Fuente: Elaboración propia (2019)

La mayoría de los requisitos del nivel 1 bajan en cascada a sus grupos de correspondencia (identificados por colores como se ve en la [Ilustración 28](#)). Los grupos de requerimientos pertenecientes a los TLSR se han clasificado según sus correspondientes requisitos de nivel 1 en los siguientes grupos:

- Top Level System Safety Requirements (TLSSR) o requisitos de seguridad del sistema de nivel superior.
- Top Level System Airworthiness and Certification Requirements (TLSACR) o requisitos de aeronavegabilidad y certificación del sistema de nivel superior.
- Top Level System Airline Operation Requirements (TLSAOR) o requisitos de operabilidad en aerolíneas del sistema de nivel superior.
- Top Level System Final Assembly Line Requirements (TLSFALR) o requisitos de la línea de ensamblaje final del sistema de nivel superior.

- Top Level System General System Requirements (TLSGSR) o requisitos generales del sistema de nivel superior.
- Top Level System General Equipment Requirements (TLSGER) o requisitos generales de equipamiento del sistema de nivel superior.

Los requerimientos de este nivel se aplican a nivel general del sistema. Como el objetivo principal de este proyecto se centra en la integración del DCVDR en el avión, para este nivel 2, solo se analizan los TLSGER (provenientes de los TLAELR y de los TLAEIR) como puede verse en la *Ilustración 32*.

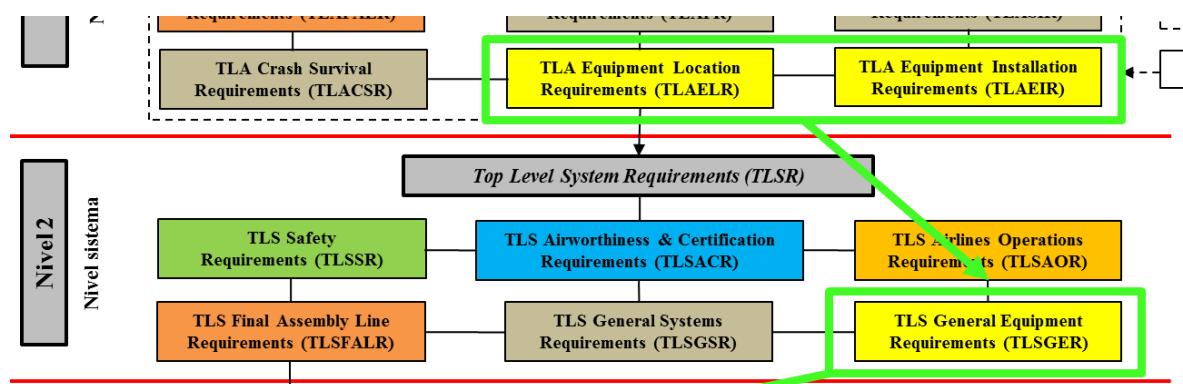


Ilustración 32. Top Level System Requirements (TLSR) del DCVDR.

Fuente: Elaboración propia (2019)

El resto de los grupos de requisitos de este nivel se deben analizar en cascada de la misma manera, teniendo en cuenta el grupo de origen y los actores implicados en cada uno de ellos (clasificados por colores en los niveles 1 y 2).

5.4.1. Top Level System General Equipment Requirements (TLSGER)

En este capítulo se recopila el conjunto de requisitos relativos al perímetro del equipo del sistema que provienen directamente de los grupos de requerimientos TLAELR y TLAEIR del nivel 1. Para consultar el detalle de requisitos de este listado véase el *ANEXO 3 – 3.2.1. Top Level System General Equipment Requirements (TLSGER) - Tabla Anexos 10*.

5.5. SYSTEM REQUIREMENTS (SR)

Los SR se sitúan en el nivel 3 del árbol de requerimientos y vienen dados por sus requisitos equivalentes de nivel 2. Este nivel se divide en dos sub-niveles, uno para los requisitos a nivel general de las cajas negras y otro para los requisitos específicos de las cajas negras eyectables (*Ilustración 33*). Los grupos de requerimientos pertenecientes a los SR se han clasificado según sus correspondientes requisitos de nivel 2 en los siguientes grupos:

Sub-nivel 3: Caja Negra

- Top Level Flight Recorder Requirements (TLFRR) o requisitos de cajas negras de nivel superior.
- Flight Recorder Requirements (FRR) o requisitos de cajas negras.
- System Installation Requirements Dossier (SIRD) o requisitos del dossier de instalación de sistemas para cajas negras.

Sub-nivel 3: Caja negra eyectable

- Deployable Recorder Requirements (DRR) o requisitos de cajas negras eyectables.
- System Installation Requirements Dossier (SIRD) o requisitos del dossier de instalación de sistemas para cajas negras eyectables.

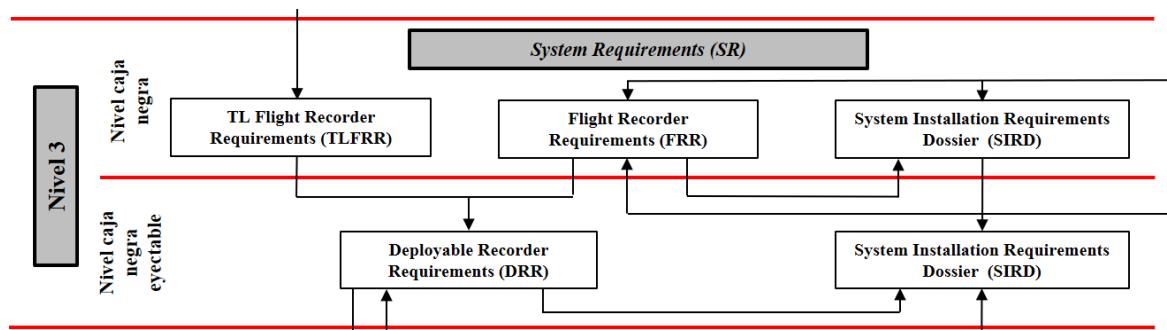


Ilustración 33. System Requirements (SR).

Fuente: Elaboración propia (2019)

El nivel 2 lo forman cierto grupo de requisitos: TLSSR, TLSACR, TLSAOR, TLSFALR, TLSGSR y TLSGER que se conectan directamente con los TLFRR del nivel 3 (*Ilustración 28*). Además, requisitos adicionales como los FRR y los SIRD también tienen una conexión directa con las directivas técnicas de diseño TDD. Los requisitos

de este nivel se aplican directamente a las cajas negras y dado que el objetivo principal de este proyecto está centrado en la integración de un DCVDR, para este nivel 3, solo se analizan los requisitos contenidos en los TLFRR y DRR como puede verse en la Ilustración 34.

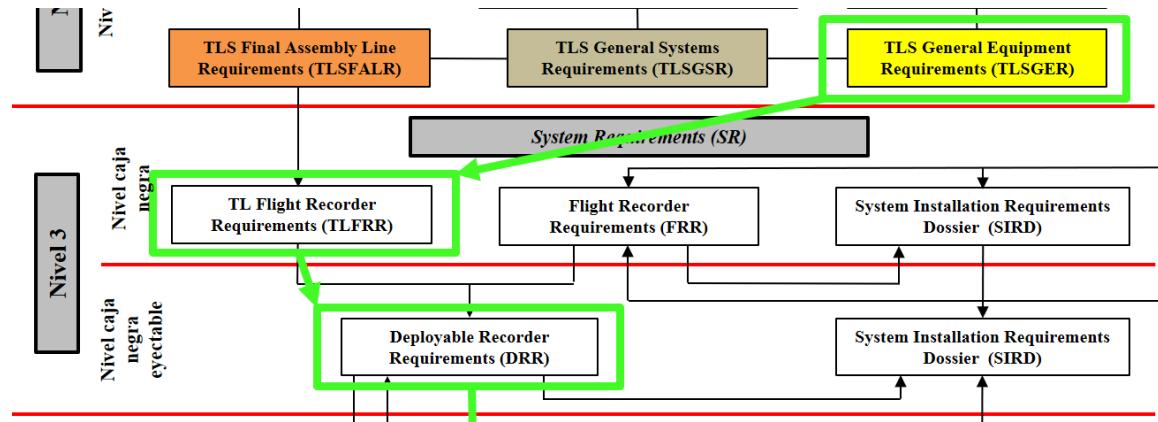


Ilustración 34. System Requirements (SR) del DCVDR.

Fuente: Elaboración propia (2019)

El resto de los grupos de requisitos de este nivel se deben realizar en cascada de la misma manera, teniendo en cuenta el grupo de origen y el flujograma correspondiente.

5.5.1. Top Level Flight Recorder Requirements (TLFRR)

En este capítulo se recopila el conjunto de requisitos relativos a las cajas negras que provienen directamente del grupo de requerimientos TLSGER del nivel 2. Para consultar el detalle de requisitos de este listado véase el ANEXO 3 – 3.3.1. Top Level Flight Recorder Requirements (TLFRR) - Tabla Anexos 11.

5.6. EQUIPMENT REQUIREMENTS (ER)

Los ER se sitúan en el nivel 4 o nivel de equipo del árbol de requerimientos y vienen dados por los requisitos de nivel 3 y por las lecciones aprendidas y experiencia en programas anteriores (*Ilustración 35*).

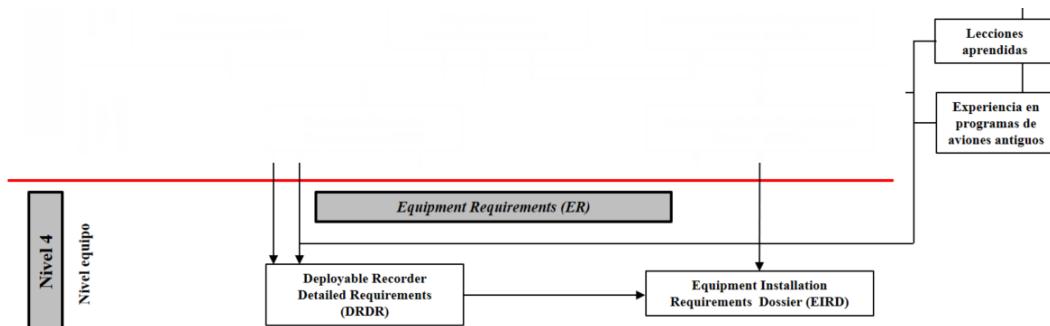


Ilustración 35. Equipment Requirements (ER).

Fuente: Elaboración propia (2019)

Los grupos de requerimientos pertenecientes a los ER se han clasificado según sus correspondientes requisitos de nivel 3 en los siguientes grupos:

- Deployable Recorder Detailed Requirements (DRDR) o requisitos detallados de cajas negras eyectables.
- Equipment Installation Requirements Dossier (EIRD) o requisitos del dossier de instalación del equipo.

El nivel 3 lo forman cierto grupo de requisitos: DRR y SIRD que se conectan directamente con los DRDR y EIRD respectivamente del nivel 4 (*Ilustración 28*). Además, los requisitos DRDR también tienen una conexión directa con las lecciones aprendidas y la experiencia en programas de aviones antiguos. Los requisitos de este nivel se aplican directamente a las cajas negras eyectables y dado que el objetivo principal de este proyecto está centrado en la integración de un DCVDR, para este nivel 4, solo se analizan los requisitos contenidos en los DRDR como puede verse en la *Ilustración 36*.

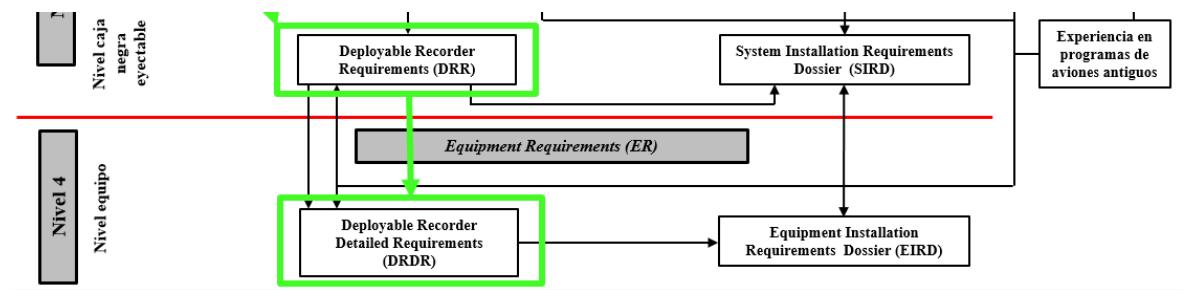


Ilustración 36. Equipment Requirements (ER) del DCVDR

Fuente: Elaboración propia (2019)

El resto de los grupos de requisitos de este nivel se deben realizar en cascada de la misma manera, teniendo en cuenta el grupo de origen y el flujo de correspondiente.

5.6.1. Deployable Recorder Detailed Requirements (DRDR)

En este capítulo se recopila el conjunto de requisitos relativos a las cajas negras eyectables que provienen directamente del grupo de requerimientos DRR del nivel 3. Para consultar el detalle de requisitos de este listado véase el [ANEXO 3 – 3.4.1. Deployable Recorder Detailed Requirements \(DRDR\) - Tabla Anexos 13.](#)

6. INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

6.1. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

En este capítulo se describen las diferentes configuraciones y elementos de todo el sistema desde un punto de vista arquitectónico utilizando diagramas funcionales. La estrategia de implementación parte desde el actual concepto de registrador de datos de vuelo instalado en todos los aviones hasta la futura integración de la caja negra eyectable que se desarrolla en una simulación o trade-off en el capítulo 6.3. Trade-off o simulación para la configuración de un dcvdr adicional, teniendo en cuenta los requerimientos aplicables dispuestos en el capítulo 5. Gestión de requisitos del sistema. Posteriormente es necesario realizar otra simulación o trade-off adicional para encontrar la ubicación óptima de instalación de la caja negra eyectable en la aeronave tratándose en el capítulo 6.6. Trade-off o simulación de la ubicación del dcvdr dentro del avión.

6.2. ARQUITECTURAL FUNCIONAL ACTUAL

Los actuales equipos de grabación montados sobre aviones estándar, incluido el Airbus A350XWB, están compuestos básicamente por un FDR y un CVR conectados a través de diferentes buses de datos, como puede verse en la Ilustración 37.

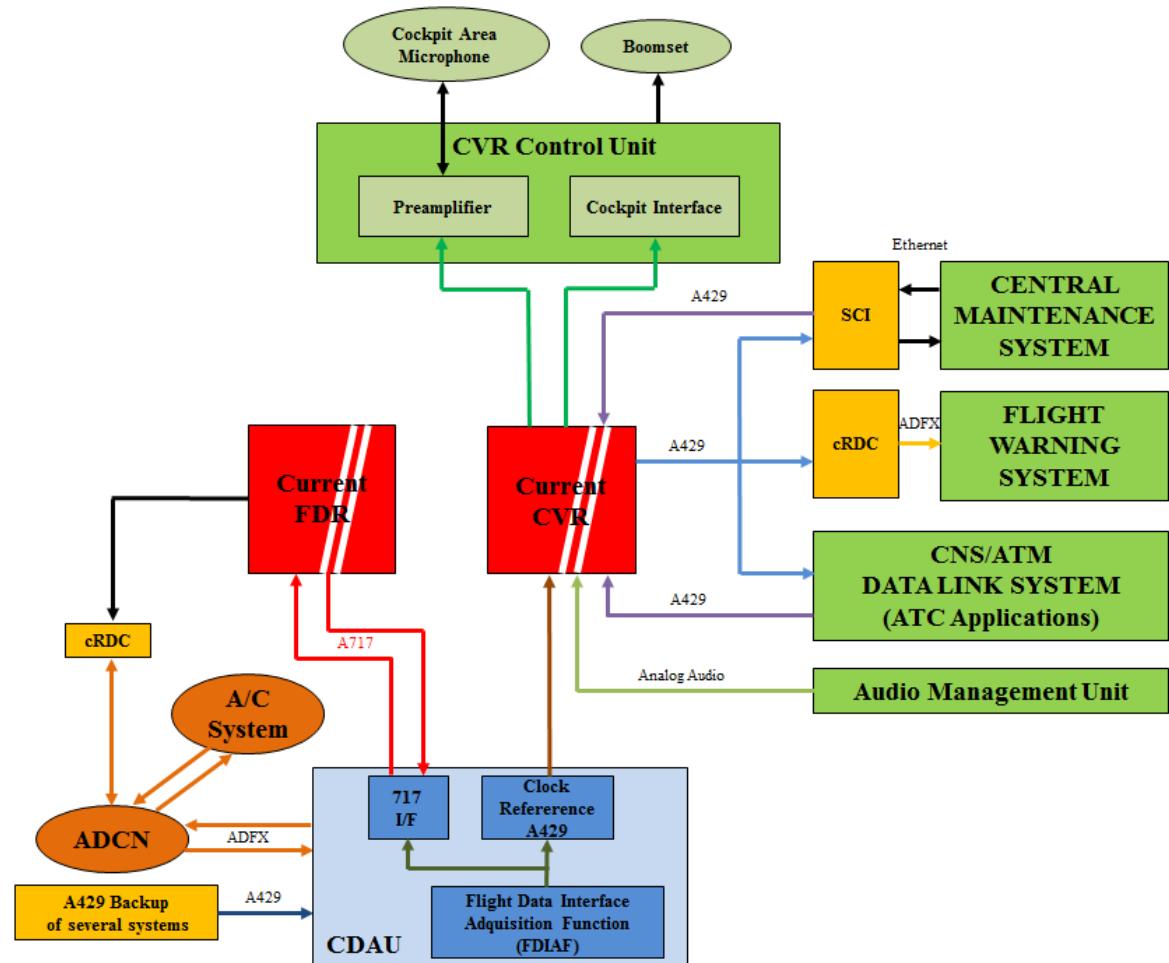


Ilustración 37. Arquitectura funcional de las actuales cajas negras.

Fuente: Elaboración propia (2019). Basado en manuales técnicos de Airbus.

Según esta Ilustración 37, los principales componentes y conexiones de la actual arquitectura funcional se describen como sigue:

- El actual FDR (Current FDR) se conecta bidireccionalmente a una unidad centralizada de adquisición de datos CDAU (Centralized Data Acquisition

Unit) a través de un bus de datos ARINC (Aeronautical Radio INCorporated) 717 → flecha roja.

- El actual FDR se conecta a la red de comunicación de datos de la aeronave ADCN (Aircraft Data Communication Network) a través del concentrador de datos remotos comunes cRDC (Common REmote Data Concentrator) → flecha naranja.
- Conexión de entrada del actual CVR (Current CVR) desde la CDAU a través del reloj de referencia de un bus de datos ARINC 429 → flecha marrón.
- Entrada al actual CVR de la unidad de gestión de audio (Audio Management Unit) → flecha verde claro.
- Entrada al actual CVR del sistema de enlace de datos con comunicaciones, navegación y vigilancia/gestión del tráfico aéreo CNS/ATM (Communications, Navigation and Surveillance/Air Traffic Management) → flecha morada.
- Salida del actual CVR al sistema de advertencia de vuelo FWS (Flight Warning System) a través del cRDC → flecha azul.
- Entrada/salida del actual CVR al sistema central de mantenimiento CMS (Central Maintenance System) a través de la interfaz de comunicación segura SCI (Secure Communication Interface) para transmitir información de fallos y recibir solicitudes de prueba/test y parámetros generales → flecha morada para la entrada y flecha azul para la salida.
- Salida del actual CVR a la unidad de control del CVR para conectar el micrófono de la cabina → flecha verde oscuro.

6.3. TRADE-OFF O SIMULACIÓN PARA LA CONFIGURACIÓN DE UN DCVDR ADICIONAL

Una vez seleccionado el DCVDR como tecnología a desarrollar en este proyecto (véanse conclusiones de la matriz de decisión en el capítulo 4.2.5. Conclusiones), se hace necesario decidir las condiciones de la futura configuración del registrador de vuelo eyectable, teniendo en cuenta los requerimientos y posibles problemas de instalación.

Atendiendo al requisito DRDR-DCVDR-09 (ANEXO 3 – 3.4.1. Tabla Anexos 13) que viene dado por la normativa EUROCAE ED-112 del capítulo 3-1.2 (ANEXO 2 – 2.1. EUROCAE ED-112), relacionado con el uso de registradores eyectables, es mandatorio que: *“For fixed wing aircrafts, deployable recorders may only be used as part of a redundant installation where the recording function(s) provided by the deployable recorder is (are) also provided by a fixed recorder... (Para aeronaves de ala fija como el A350XWB, los registradores eyectables solo se pueden utilizar como parte de una instalación redundante en la que las funciones de grabación proporcionadas por el registrador eyectable también deben ser proporcionadas por un registrador fijo...)”*. Si se utiliza una combinación de un grabador eyectable y un grabador fijo para tener una instalación de grabadores redundante, ambos grabadores proporcionan las mismas funciones de grabación.

El diseño actual del Airbus A350XWB incluye un FDR y un CVR directamente conectados a una CDAU como puede verse en la Ilustración 38. Ambos grabadores están fijados a la estructura del avión y por tanto completamente expuestos a cualquier accidente que sufra el mismo.

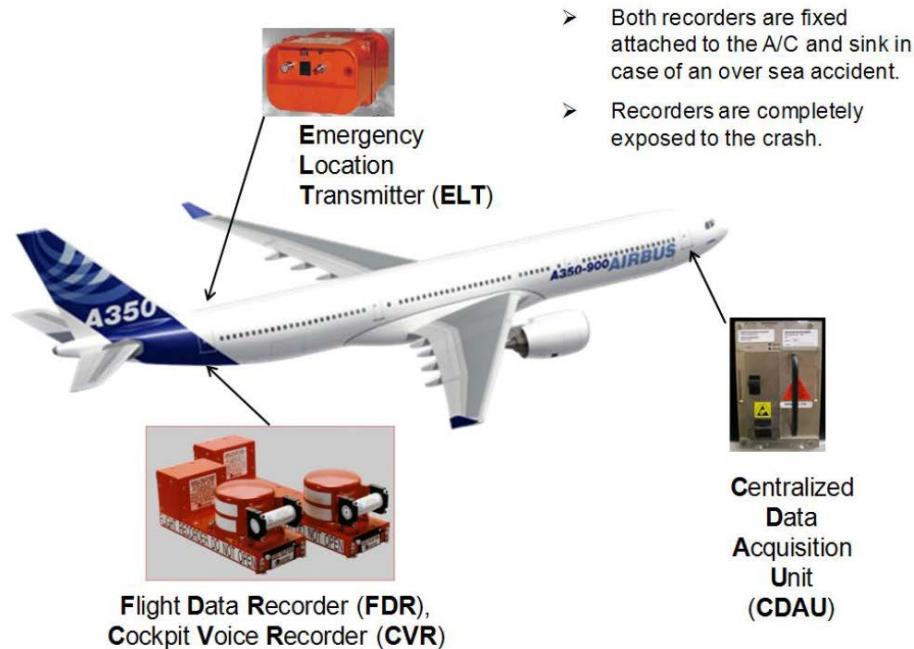


Ilustración 38. Diseño actual del sistema de grabación del A350XWB.

Fuente: Airbus (2019)

Tanto el FDR como el CVR se encuentran en parte posterior del fuselaje, entre la sección 18 y el cono de cola (*Ilustración 39*) según lo solicitado por los actuales requisitos a nivel del sistema que quedan resumidos en su correspondiente requerimiento interno de Airbus (véase el *ANEXO 3 – 3.5. VXXXXR0XXXXXXX ISSUE 4 – EIRD ATA 31-33 SSFDR*)



Ilustración 39. Ubicación actual del sistema de grabación.

Fuente: Airbus (2019)

Por lo tanto, después de considerar el requisito DRDR-DCVDR-09 (*ANEXO 3 – 3.4.1. Tabla Anexos 13*) aplicable al DCVDR, en esta segunda simulación o trade-off se debe discernir entre estas dos soluciones:

- Alternativa 1 → Una solución con un DCVDR (con ELT incorporado) adicional a la actual configuración de un FDR+CVR independientes.
- Alternativa 2 → Una solución que reemplace la actual configuración de un FDR+CVR por un diseño que por un lado agrupe un FDR+CVR fijo y por otro considere un DCVDR que además incluya la funcionalidad de un ELT.

6.3.1. DCVDR adicional al actual sistema fijo de grabación FDR+CVR

Esta solución considera instalar un DCVDR adicional sobre el diseño existente de CVR+FDR independientes, tal y como se muestra en la Ilustración 40.



Ilustración 40. Vista general de la solución alternativa 1.

Fuente: Airbus (2019)

El objetivo es instalar el equipo DCVDR adicional además de la instalación existente que debe permanecer independiente y con todos sus interfaces. Teniendo en cuenta la instalación actual de FDR+CVR en el A350XWB, la extra instalación del nuevo equipo DCVDR va a necesitar ciertas conexiones de los siguientes sistemas con sus respectivos interfaces tal y como se muestra en la arquitectura funcional (Ilustración 41) y se explica a continuación:

- Conexión bidireccional entre el actual CVR (Current CVR) y el nuevo DCVDR eyectable para sincronizar las grabaciones de voz de cabina por medio de una lógica de control de grabación (Recording Control Logic) → flecha azul claro.
- Conexión con altavoces o micrófonos de voz de audio ubicados en la unidad de control del CVR con conexión bidireccional entre el actual CVR y el DCVDR eyectable y enlace común de salida a la interfaz de la cabina → flecha verde oscuro.
- Conexión con amplificadores ubicados en la unidad de control del CVR con conexión bidireccional entre el actual CVR y el DCVDR eyectable y enlace común de salida al preamplificador → flecha verde oscuro.
- Conexión a una AMU de control adicional independiente de la AMU existente para actual CVR → flecha verde clara.
- Enlace de entrada al DCVDR eyectable mediante la instalación de una unidad de control del ELT para activar las transmisiones de emergencia una vez que se haya eyectado la caja negra → flecha rosa.
- Enlace de entrada al DCVDR eyectable mediante la instalación de algunos sensores de eyectado (interruptor hidrostático, interruptor G, sensores/cableado de continuidad/rotura) para activar la expulsión de la caja negra → flecha amarilla.
- Enlace bidireccional desde/hacia el DCVDR eyectable para acceder a las funciones de adquisición de la interfaz de datos de vuelo FDIAF (Flight Data Interface Acquisition Functions) dentro de la CDAU → flecha roja.
- Conexión entre DCVDR eyectable y el CMS con un enlace de entrada y también conectado al actual CVR → flecha morada.
- Conexión entre las aplicaciones del DCVDR eyectable y del ATC con un enlace de entrada y también conectado al actual CVR → flecha morada.
- Enlace de salida por conexión entre el DCVDR eyectable y las aplicaciones del CMS, FWS y ATC → blue azul oscuro.

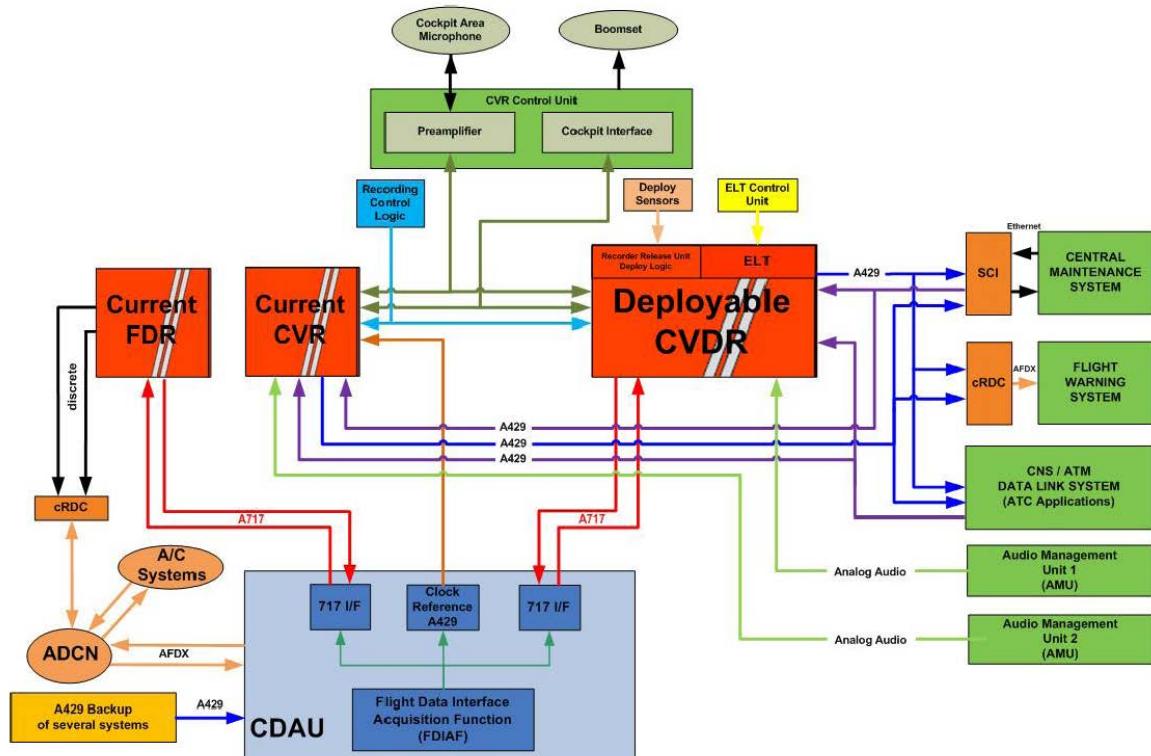


Ilustración 41. Arquitectura funcional de la solución alternativa 1.

Fuente: Elaboración propia (2019). Basado en manuales técnicos de Airbus.

Las ventajas de esta idea son las siguientes:

- Fácil instalación compatible con los aviones en serie o en servicio que se puede adaptar con un mínimo impacto.

Las desventajas de esta idea son las siguientes:

- Peso/coste adicional debido a una tercera instalación en el avión (equipo, conexión, cableado).
- Mayor consumo de energía debido a los equipos adicionales instalados.

6.3.2. DCVDR y nuevo sistema fijo de grabación combinada FDR/CVR

Esta solución considera la sustitución de la actual instalación de un FDR+CVR separados por una instalación fija y combinada de registradores de vuelo (FDR/CVR) más un DCVDR eyectable que incluya la función ELT tal y como se muestra en la Ilustración 42.



Ilustración 42. Vista general de la solución alternativa 2.

Fuente: Airbus (2019)

El objetivo es instalar dos equipos separados, uno con una instalación fija de diseño tradicional que combine el FDR y el CVR con una posible instalación en la parte delantera del avión y otro equipo con el DCVDR eyectable con una posible instalación en el empenaje trasero del fuselaje RFE (Rear Fuselage Empennage) tal y como se muestra en la Ilustración 42. Estas dos nuevas instalaciones de FDR/CVR y DCVDR en el A350XWB deben ser conectadas con sus respectivos sistemas/interfaces como se muestra en la arquitectura funcional (Ilustración 43) y se explica a continuación:

- Conexión bidireccional entre la instalación fija del FDR/CVR y el DCVDR eyectable para sincronizar las grabaciones de voz de cabina por medio de una lógica de control de grabación (Recording Control Logic) → flecha azul claro.

- Conexión con altavoces o micrófonos de voz de audio ubicados en la unidad de control del CVR con conexión bidireccional entre el actual CVR y el DCVDR eyectable y enlace común de salida a la interfaz de la cabina → flecha verde oscuro.
- Conexión con amplificadores ubicados en la unidad de control del CVR con conexión bidireccional entre la instalación fija del FDR/CVR y el DCVDR eyectable y enlace común de salida al preamplificador → flecha verde oscuro.
- Conexión a una AMU 1 de control para el DCVDR eyectable → flecha verde clara.
- Conexión a una AMU 2 de control para la instalación fija del FDR/CVR → flecha verde clara.
- Enlace de entrada al DCVDR eyectable mediante la instalación de una unidad de control del ELT para activar las transmisiones de emergencia una vez que se haya eyectado la caja negra → flecha amarilla.
- Enlace de entrada al DCVDR eyectable mediante la instalación de algunos sensores de eyectado (interruptor hidrostático, interruptor G, sensores/cableado de continuidad/rotura) para activar la expulsión de la caja negra → flecha rosa.
- Enlace bidireccional desde/hacia el DCVDR eyectable para acceder a las funciones de adquisición de la interfaz de datos de vuelo FDIAF dentro de la CDAU → flecha roja.
- Enlace bidireccional desde/hacia la instalación fija del FDR/CVR para acceder a las funciones de adquisición de la interfaz de datos de vuelo FDIAF dentro de la CDAU → flecha roja.
- Conexión entre DCVDR eyectable y el CMS con un enlace de entrada y también conectado a la instalación fija del FDR/CVR → flecha morada.
- Conexión entre las aplicaciones del DCVDR eyectable y del ATC con un enlace de entrada y también conectado a la instalación fija del FDR/CVR → flecha morada.
- Enlace de salida por conexión entre el DCVDR eyectable y las aplicaciones del CMS, FWS y ATC → blue azul oscuro.

- Enlace de salida por conexión entre la instalación fija del FDR/CVR y las aplicaciones del CMS, FWS y ATC → blue azul oscuro.
- Enlace bidireccional entre la instalación fija del FDR/CVR y el DCVDR eyectable para acceder a la FDIAF dentro de la CDAU → flecha naranja.

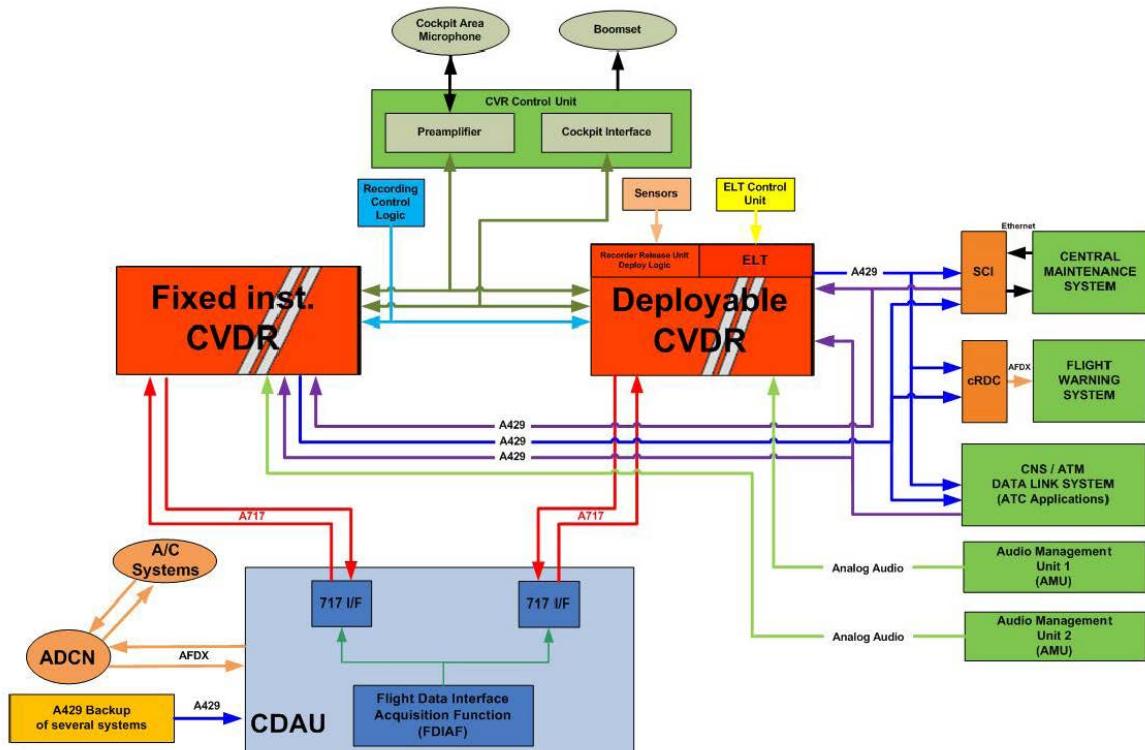


Ilustración 43. Arquitectura funcional de la solución alternativa 2.

Fuente: Elaboración propia (2019). Basado en manuales técnicos de Airbus.

Las ventajas de esta idea son las siguientes:

- Ahorro de peso/coste teniendo en cuenta la reducción por agrupamiento de las dos instalaciones independientes: FDR/CVR fijo combinado y DCVDR eyectable, la primera de ellas muy cerca de la cabina, por lo que se utiliza menos cableado.
- Poco consumo de energía debido a la reducción de equipos a solo dos (FDR/CVR fijo combinado y DCVDR eyectable).

Las desventajas de esta idea son las siguientes:

- La instalación no es compatible con los aviones en serie o en servicio por lo que tiene que considerarse un cierto coste en reequipamiento/adaptación.

6.3.3. *Matriz de decisión*

Tal y como ya se indica en el capítulo 4.2.4. Matriz de decisión, la metodología elegida para buscar la mejor solución en cuanto a la elección de tecnología, se basa en un análisis KTA donde los requerimientos estratégicos se marcan como "MUST" o "DEBE" y los objetivos operacionales como "WANTS" o "QUIERE".

La matriz de decisiones de "MUST" o "DEBE", en primer lugar, elimina cualquier solución alternativa que no se ajuste a los criterios iniciales del proyecto ("GO" o "PASA" / "NO-GO" o "NO-PASA"). Se ha identificado como principal o más representativo el siguiente requerimiento:

- Mejora en la recuperación de datos: la necesidad más prioritaria del usuario/cliente es: "Producto que mejore la recuperación de datos con respecto al sistema actual". Como cualquiera de las dos soluciones estudiadas en el capítulo 6.3.1. DCVDR adicional al actual sistema fijo de grabación FDR+CVR y en el capítulo 6.3.2. DCVDR y nuevo sistema fijo de grabación combinada FDR/CVR cumplen con el criterio añadiendo al menos un registrador eyectable, todos ellos han sido clasificados como "GO" o "PASA".

Para la matriz de decisiones "WANTS" o "QUIERE", los objetivos operacionales se han seleccionado y calificado en una escala con un peso de entre 1 y 10, dependiendo de su relevancia. Se han evaluado los siguientes más representativos:

- Consumo de energía (5): el sistema seleccionado debe consumir la menor cantidad posible de energía, aunque no esté considerado como un factor determinante.
- Cableado (7): El sistema seleccionado debe requerir la menor longitud posible de cables para minimizar las tareas de instalación y mantenimiento.
- Compatibilidad con los aviones en serie/en servicio (10): El sistema debe ser compatible a nivel de instalación con los aviones en proceso de fabricación y por lo tanto aún no entregados a clientes (en serie) y con

los aviones que actualmente están en funcionamiento (en servicio). La instalación existente o actual lleva 2 cajas negras independientes (FDR & CVR).

- Coste (6): El coste recurrente RC asociado a las actividades de fabricación y ensamblaje y el coste no recurrente NRC asociado al proceso de diseño.
- Peso (5): El sistema debe ser lo más ligero posible.
- Mantenimiento (4): Para esta instalación, es deseable que el sistema tenga un bajo nivel de mantenimiento.
- Instalación (7): El sistema debe ser fácil de instalar en aviones comerciales y teniendo en cuenta las provisiones existentes.

Toda esta información se puede consultar en la matriz de decisión cumplimentada mediante la *Tabla 2*.

Tabla 2. Matriz de decisión para la configuración de un DCVDR adicional.

Fuente: Elaboración propia (2019). Basada en: Charles Kepner & Benjamin Tregoe (1960) [52]

MATRIZ DE DECISIÓN:		ALTERNATIVA 1			ALTERNATIVA 2			
CRITERIOS DE EVALUACIÓN:		Existente FDR&CVR + Nuevo DCVDR			Nuevo FDR/CVR + Nuevo DCVDR			
MUST o DEBE (GO/NO-GO):								
Mejora en la recuperación de datos		GO			GO			
WANTS o QUIERE:		PUNTUACIÓN			PUNTUACIÓN			
CRITERIO		COMENTARIOS	NOTA [R]	R*W	COMENTARIOS	NOTA [R]	R*W	
Consumo de energía (Energía consumida por el equipo instalado)		5	Equipo adicional instalado (3 en total)	5	25	Mismo número de equipos que la solución actual (2 en total)	8	40
Cableado (Longitud de cableado necesario para llevar a cabo la instalación)		7	Longitud de cable incrementado debido al equipo DCVDR adicional	5	35	Solución óptima debido a la reducción de la distancia al mover el FDR/CVR a la cabina	8	56
Compatibilidad aviones en serie/servicio (Carga de trabajo para adaptar el nuevo concepto)		10	Solución óptima compatible con todos los aviones	10	100	Alto impacto en coste para la re-adaptación en aviones en servicio	3	30
Coste (RC + NRC del producto final)		6	Bajo coste debido a un único diseño e instalación de un DCVDR	8	48	Alto coste debido a diseño y montaje de 2 nuevos equipos (DCVDR + FDR/CVR fijo y combinado)	5	30
Peso (Peso de la instalación del equipo)		5	Opción más pesada debido a la instalación adicional del DCVDR	4	20	Oportunidad de ahorro en peso debido a una mejor distribución de las cajas negras	8	40
Mantenimiento (Facilidad en las tareas de mantenimiento)		4	Alto mantenimiento debido a la instalación adicional del DCVDR	4	16	Mismo nivel de mantenimiento que en los actuales aviones	6	24
Instalación (Impacto de la nueva instalación en el avión)		7	Sólo es necesaria una instalación adicional de un DCVDR en los actuales aviones	6	42	Necesaria una nueva ubicación para la instalación del FDR/CVR y del DCVDR	4	28
Máxima Puntuación (10xW)				286				248
Puntuación Total:		440						

6.3.4. Conclusiones

Tal y como se muestra en la Tabla 2, la solución óptima para este trade-off es la elección de la alternativa 1: "Existente FDR&CVR + Nuevo DCVDR" de cara a la decisión sobre la instalación de una caja negra eyectable.

Aunque la alternativa 2 tiene muchos beneficios en términos de eficiencia de energía, reducción de peso y cableado, menor impacto en las tareas de mantenimiento y es la mejor solución para cumplir con las regulaciones sobre un equipamiento mínimo a bordo, tiene una desventaja importante con respecto a la alternativa 1 y ésta es la compatibilidad de la nueva instalación con los aviones ya entregados. Si bien la alternativa 1 es totalmente compatible con los aviones entregados y se necesita un bajo nivel de adaptación en el diseño del sistema, la alternativa 2 no es compatible en absoluto y para proceder con la implementación, los aviones afectados tienen un alto impacto en coste para modernizar la solución actualmente instalada.

Por lo tanto, se decide la instalación de un DCVDR eyectable adicional, aparte de los registradores de vuelo existentes (FDR/CVR) en el A350XWB.

6.4. ARQUITECTURA FUNCIONAL FUTURA

Dado que la simulación o trade-off anterior ha determinado la instalación adicional de un registrador de vuelo eyectable (DCVDR), la arquitectura funcional debe modificarse para incluir este nuevo equipo, de modo que el diagrama se convierta en el que se muestra en la Ilustración 44.

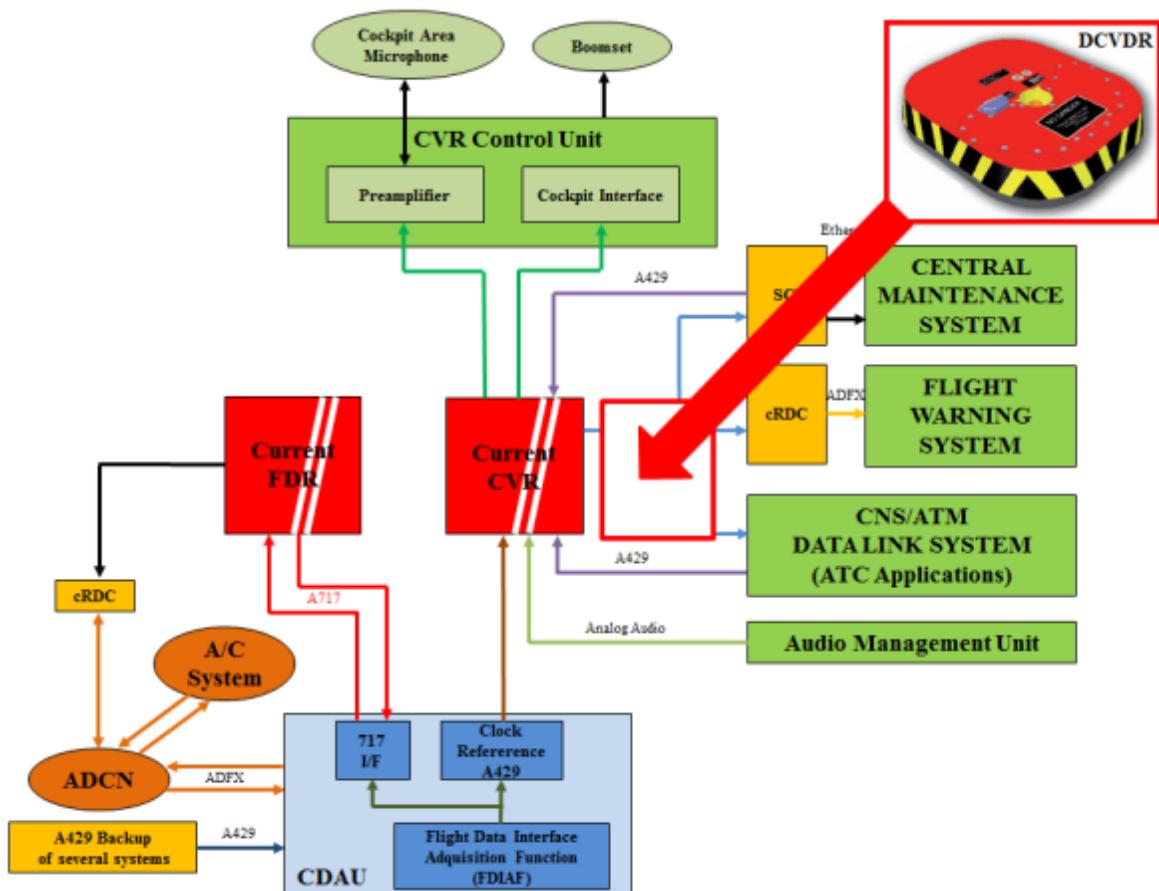


Ilustración 44. Arquitectura funcional con la instalación del DCVDR.

Fuente: Elaboración propia (2019). Basado en manuales técnicos de Airbus.

Cuando se conecta el nuevo DCVDR a los sistemas, equipos e interfaces existentes, la arquitectura queda tal y como se muestra en la Ilustración 45 y que ya ha sido ampliamente descrita en el capítulo 6.3.1.DCVDR adicional al actual sistema fijo de grabación FDR+CVR.

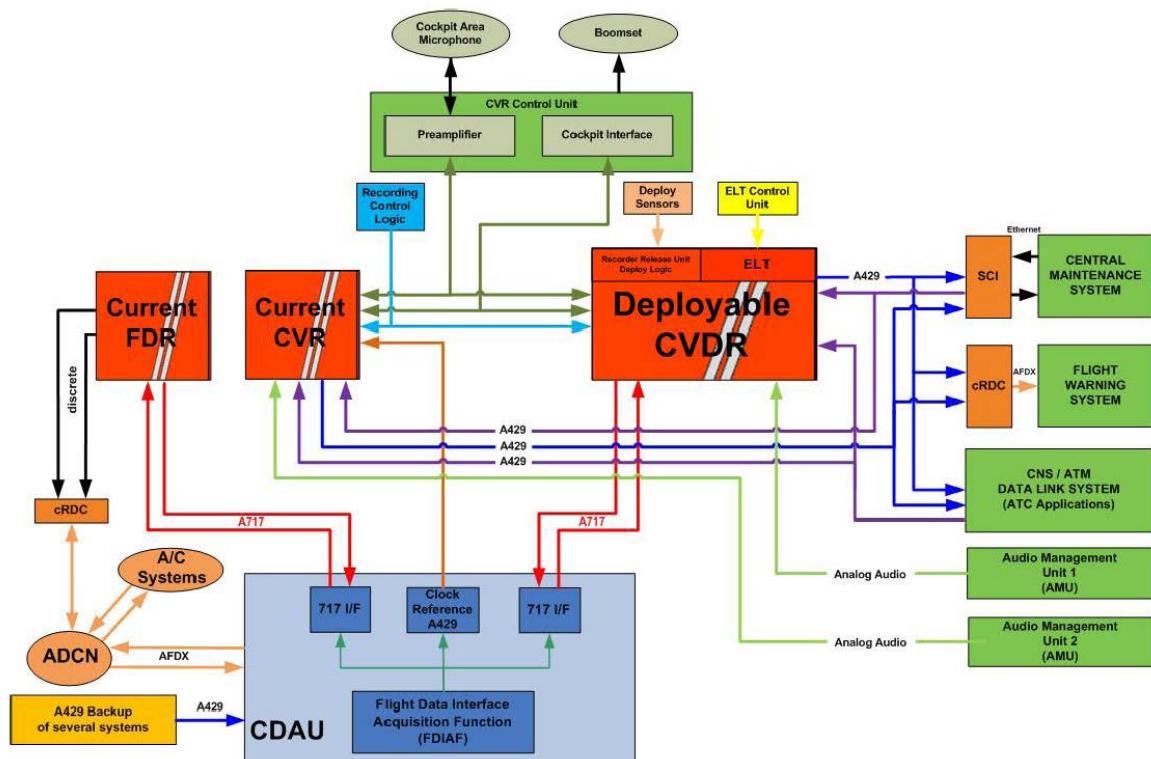


Ilustración 45. Arquitectura funcional integrada con la instalación del DCVDR.

Fuente: Elaboración propia (2019). Basado en manuales técnicos de Airbus.

6.5. INTERFACES DEL SISTEMA

Una vez integrado el DCVDR en el sistema de registro de vuelo, se identifican algunas de las interfaces que deben quedar conectadas a través de diferentes tipos de señales, tanto de software (S/W) como de hardware (H/W). Estas interfaces se pueden clasificar en dos grupos de interfaces: externas e internas.

6.5.1. Interfaces externas

En este grupo de interfaces quedan identificadas aquellas que tienen que estar conectadas debido a la introducción del DCVDR eyectable en el sistema de grabación. Por lo tanto, pueden considerarse como interfaces de subsistema y son las siguientes:

- Señales de interconexión entre el CVR actual y el nuevo DCVDR.
- Conexiones adicionales entre las nuevas aplicaciones de los DCVDR y CMS, FWS y ATC a través de señales ARINC 429.

- Conexiones entre el nuevo DCVDR y la unidad de gestión de audio 1 (AMU 1) a través de señales de audio.
- Conexión de la señal de audio entre el CVR actual, el nuevo DCVDR y la unidad de control del CVR.
- Conexión adicional entre el nuevo DCVDR y CDAU a través de una señal ARINC 717.

Este tipo de interfaces identificadas como "Interfaces externas" al sistema se muestran en la Ilustración 46.

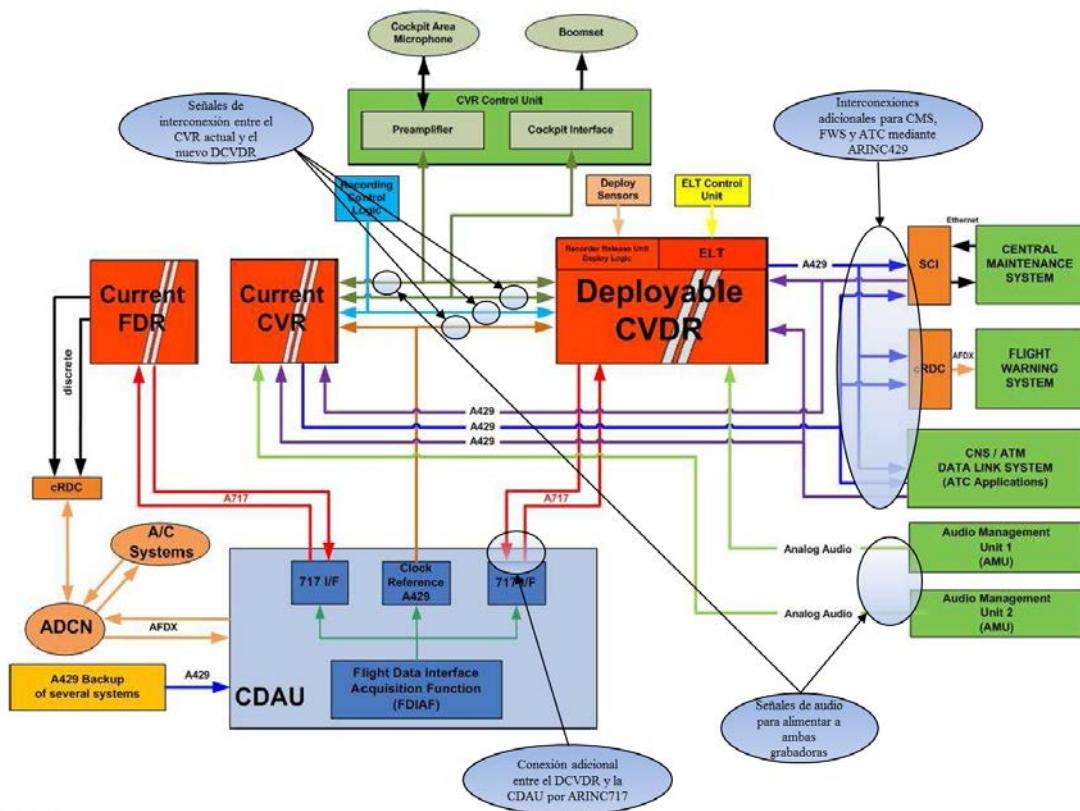


Ilustración 46. Esquema funcional de las interfaces externas del DCVDR.

Fuente: Elaboración propia (2019). Basado en manuales técnicos de Airbus.

Agrupando las "interfaces externas" impactadas pueden quedar resumidas en la siguiente Tabla 3.

Tabla 3. Resumen de los impactos de las interfaces externas.

Fuente: Elaboración propia (2019)

Interface con:	Impacto en:	Ánálisis del impacto
AMU	Cableado	Conexión de salidas analógicas adicionales
ATC	S/W	Implementación de entrada adicional Modificación del software actual del sistema operativo
	Cableado	Implementación de entrada adicional Re-rutado de la salida actual
CDAU	S/W	Activación de los buses de entradas/salidas adicionales A717
	Cableado	Conexión de entradas/salidas adicionales Re-rutado de salidas actuales de hora UTC
CMS	S/W	Procesamiento de información adicional de fallos y pruebas
cRDC	S/W	Modificación de las tablas de configuración
	Cableado	Conexión de entradas/salidas adicionales Re-rutado por cambio de posición
Unidad de Control del CVR	S/W	Modificación de las tablas de configuración
	Cableado	Conexión de entradas/salidas adicionales Re-rutado por cambio de posición
FWS	S/W	Procesamiento de los principales fallos adicionales
SCI	S/W	Modificación de las tablas de configuración
	Cableado	Conexión de entradas/salidas adicionales Re-rutado de las actuales entradas/salidas

6.5.2. Interfaces internas

El nuevo DCVDR también ha introducido otro tipo de conexiones identificadas como "interfaces internas". Estas interfaces están estrechamente relacionadas con el alcance de este proyecto, por lo que se explican con más detalle en los próximos capítulos. Las "interfaces internas" se detallan a continuación y se muestran en la *Ilustración 47*.

- Unidad de eyección del grabador RRU (Recorder Release Unit).
 - Sistema del ELT que incluye la unidad de control del ELT y la baliza del ELT en el DCVDR más las baterías para funcionamiento autónomo.
 - Sensores de eyección.

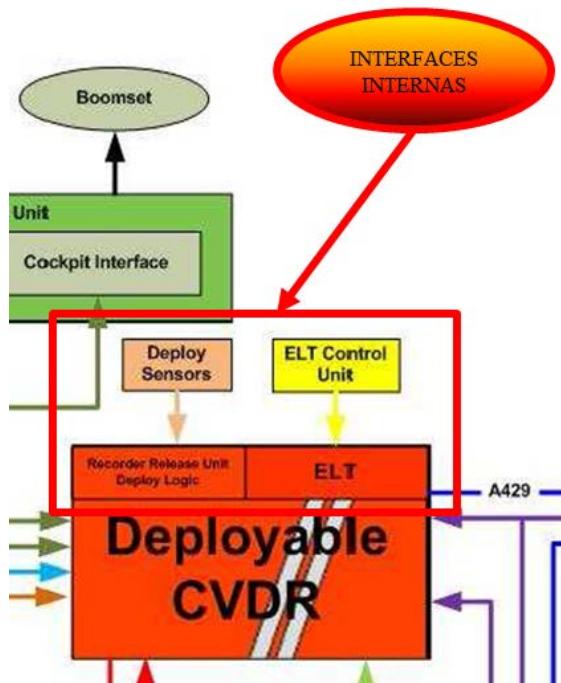


Ilustración 47. Esquema funcional de las interfaces internas del DCVDR.

Fuente: Elaboración propia (2019). Basado en manuales técnicos de Airbus.

Agrupando las "interfaces internas" impactadas pueden quedar resumidas en la siguiente Tabla 4.

Tabla 4. Resumen de los impactos de las interfaces internas.

Fuente: Elaboración propia (2019)

Interface con:	Impacto en:	Ánálisis del impacto
RRU	H/W	Sin impacto, integración en el DCVDR
ELT	H/W	Baliza del ELT, antena and baterías a añadir
	Cableado	Sin impacto, integración en el DCVDR
Unidad de Control ELT	Cableado	Re-rutado al DCVDR
Sensores de eyección: Rutado de detección de impactos	Cableado	Dos circuitos de detección de impactos CDC (Crash Detection Circuits) o líneas redundantes de detección de impactos CDL (Crash Detection Lines) para rutar dentro del avión y conectar al DCVDR
Resto de sensores de eyección	H/W & Cableado	Instalación de sensores en algunas posiciones del avión

6.5.2.1. Unidad de eyección del grabador (RRU)

La necesidad de una unidad de eyección del grabador RRU proviene del requisito TLASR-DCVDR-03 (ANEXO 3 – 3.1.1. Tabla Anexos 1) y tiene que integrarse en el DCVDR. En caso de que algunos sensores instalados en el avión detecten una situación de impacto, se envía una señal y la unidad de liberación se activa eyectando el perfil aerodinámico del DCVDR que no debe tener bordes afilados tal y como solicita el requisito TLAACR-DCVDR-06 (ANEXO 3 – 3.1.2. Tabla Anexos 2) y como se muestra en la Ilustración 48.

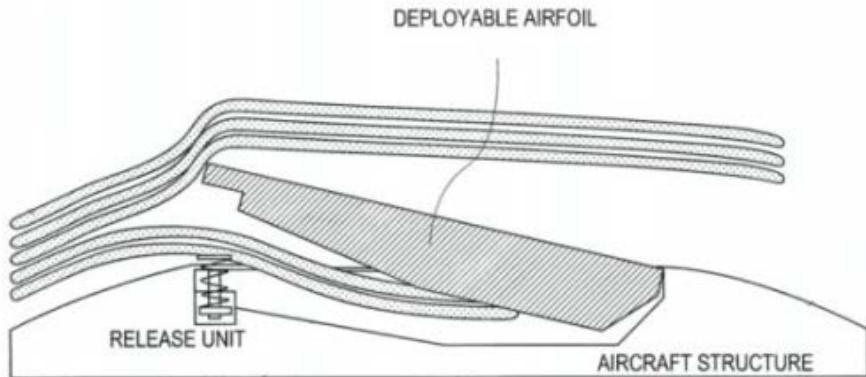


Ilustración 48. Unidad de eyección del grabador RRU.

Fuente: A. Kaufmann, B. Vandenheuel & M. Wozley (2014) [53]

6.5.2.2. Sistema del ELT

Según lo establecido en los requisitos TLACSR-DCVDR-05 (ANEXO 3 – 3.1.7. Tabla Anexos 7) y DRDR-DCVDR-03 (ANEXO 3 – 3.4.1. Tabla Anexos 13), en caso de uso de grabadores eyectables, se hace mandatorio el equipamiento de una radio baliza de emergencia o ELT adosada en el mismo equipo.

El sistema ELT transmite una señal de socorro digital al sistema de satélite COSPAS/SARSAT. El ELT también transmite señales de orientación para encontrar la aeronave en la última etapa de una operación de rescate y salvamento. La transmisión se puede iniciar de forma manual o automática según el equipo elegido, tal y como se explica en el capítulo 3.2.2. Como funciona una caja negra.

El sistema ELT del DCVDR lo forman dos instalaciones separadas físicamente en la propia aeronave:

- Unidad de control ELT instalada en el panel superior de la cabina tal y como se muestra en la Ilustración 49. Tal y como sucede en los aviones que operan actualmente, se requiere mantener la activación manual del ELT a la tripulación de vuelo en caso de emergencia, siendo este un requerimiento solicitado por el requisito DRDR-DCVDR-03 (ANEXO 3 – 3.4.1. Tabla Anexos 13).

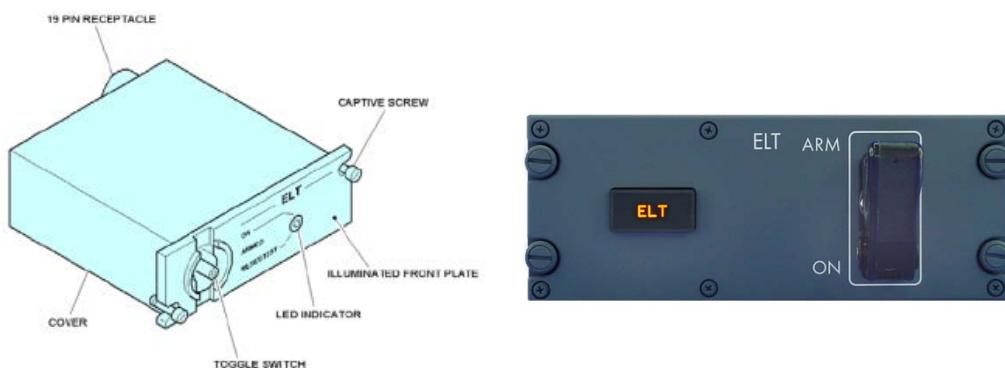


Ilustración 49. Unidad de Control del ELT.

Fuente: Gables Engineering (2019) [42]

- ELT conectado al DCVDR que es alimentado con una batería. En caso de accidente del avión, se activa automáticamente una vez se completa la eyeción del DCVDR tal y como solicita el requisito TLACSR-DCVDR-05 (ANEXO 3 – 3.1.7. Tabla Anexos 7).

6.5.2.3. Sensores de eyeción

La idea de este capítulo es enumerar las provisiones y capacidades del sistema DCVDR para detectar situaciones de fallo que activen el comando de eyeción mediante el envío de señales a la RRU. La necesidad de instalación de sensores proviene de los requisitos TLASR-DCVDR-04, TLASR-DCVDR-06 y TLASR-DCVDR-07 (ANEXO 3 – 3.1.1. Tabla Anexos 1). Esto se logra instalando ciertos sensores detectores de colisión, tal y como se muestra en la Ilustración 50.



Ilustración 50. Ubicación de los sensores de eyeción.

Fuente: Airbus (2019)

Estos sensores se detallan a continuación:

➤ Detector de colisión con sensores de gravedad:

Se puede usar un sensor interno de 3 ejes (solicitado además en el requisito TLASR-DCVDR-04 (*ANEXO 3 – 3.1.1. Tabla Anexos 1*)) para monitorear continuamente la aceleración de la gravedad y generar un comando de eyeción cuando se rebasan ciertos valores máximos (*Ilustración 51*).



Ilustración 51. Detectores de colisión con sensor de aceleración.

Fuente: Inertia Switch INC (2019) [43]

➤ Líneas redundantes de detección de colisión (CDL):

Las líneas redundantes de detección de colisión CDL se monitorean dentro del avión. Para ello, se instalan dos circuitos de detección de colisión CDC independientes, uno en el lado derecho y otro en el lado izquierdo del avión, como se muestra en la *Ilustración 52*. Sólo en caso de detección de una interrupción simultánea en ambas líneas, la RRU recibe la señal de activación para eyectar el DCVDR.

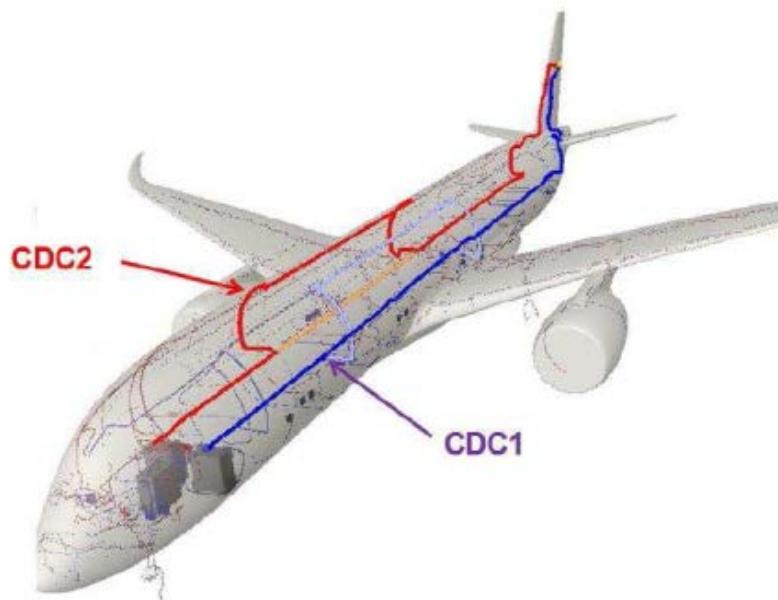


Ilustración 52. Líneas redundantes de detección de colisión CDL.

Fuente: Airbus (2019)

➤ Sensor de detección de colisión de presión hidrostática (HPS):

Según el requisito TLASR-DCVDR-07 (ANEXO 3 – 3.1.1. Tabla Anexos 1), para aeronaves de ala fija como el A350XWB, se requiere un sensor de presión hidrostática HPS (Hydrostatic Pressure Sensor) para detectar una situación en la que el avión quede sumergido. En caso de que la aeronave alcance una profundidad de 3 m o más, se debe activar el comando de eyeción automáticamente (Ilustración 53).



Ilustración 53. Sensor hidrostático de presión.

Fuente: BinMaster (2019)

➤ Detector de colisión con conmutador frangible:

Los conmutadores frangibles (*Ilustración 54*) van conectados y ubicados en diferentes posiciones dentro del avión y son necesarios según el requisito TLASR-DCVDR-06 (*ANEXO 3 – 3.1.1. Tabla Anexos 1*) además de estar monitoreados. Si se destruye una cantidad predefinida de conmutadores, la RRU recibirá la señal de activación para eyectar el DCVDR.

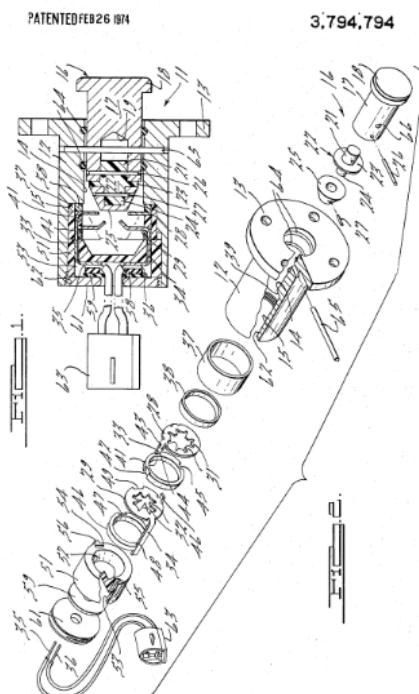


Ilustración 54. Conmutador frangible.

Fuente: R. Provancher (1974) [54]

6.6. TRADE-OFF O SIMULACIÓN DE LA UBICACIÓN DEL DCVDR DENTRO DEL AVIÓN

Después de haber realizado los dos primeros trade-off para determinar la elección de la tecnología (capítulo *4.2. Trade-off o simulación para elección de tecnología*) y la configuración del DCVDR (capítulo *6.3. Trade-off o simulación para la configuración de un dcvdr adicional*), se hace necesario encontrar la ubicación óptima para su instalación en el Airbus A350XWB. Es por ello que se deben analizar varias

localizaciones o áreas de instalación teniendo en cuenta los siguientes parámetros de evaluación:

- Cumplimiento con normativa EUROCAE ED-112 en relación a trayectoria de eyección seguras:
 - ✓ Liberación de la trayectoria con respecto al estabilizador vertical de cola VTP (Vertical Tail Plane) y al estabilizador horizontal de cola HTP (Horizontal Tail Plane) en caso de eyección controlada.
 - ✓ Liberación de trayectoria con respecto a las secciones del fuselaje en caso de eyección incontrolada o imprevista.
- Cumplimiento con normativa RTCA DO-160 (Comisión Técnica de Radiocomunicaciones para Aeronáutica o Radio Technical Commission for Aeronautics):
 - Impacto desde el exterior.
 - Restricciones mecánicas de instalación y vibraciones.
 - Visibilidad a los satélites para permitir la transmisión del ELT y la adquisición de señales de GPS.
 - Peso.
 - Mantenibilidad.

En relación a la normativa EUROCAE ED-112: *"Especificación para funcionamiento operativo mínimo de sistemas de grabadores aerotransportados protegidos (Minimum Operational Performance Specification (MOPS) for Crash Protected Airborne Recorder Systems)"* (véase el ANEXO 2 – 2.1. EUROCAE ED-112) debe cumplirse mediante los siguientes requisitos:

- TLASR-DCVDR-01 y TLASR-DCVDR-02 (ANEXO 3 – 3.1.1. Tabla Anexos 1), donde deben cumplirse ciertas características específicas del diseño en cuanto a los criterios de eyección,
- DRDR-DCVDR-01, DRDR-DCVDR-02 y DRDR-DCVDR-10 (ANEXO 3 – 3.4.1. Tabla Anexos 13) relacionadas con la ubicación del registrador de vuelo.

En relación a la normativa RTCA/DO-160: *"Condiciones ambientales y procedimientos de prueba para equipos aerotransportados"* (véase el ANEXO 2 - 2.3.1 RTCA DO-160-D) debe cumplirse mediante el siguiente requisito:

- DRDR-DCVDR-11 (ANEXO 3 – 3.4.1. Tabla Anexos 13), donde se deben respetar los siguientes parámetros para un funcionamiento adecuado de los equipos:
 - ✓ Temperatura: Rango entre -55°C y 85°C.
 - ✓ Humedad: No más del 95% de humedad relativa.

En relación con los criterios de mantenibilidad de la normativa EUROCAE ED-112: *"Especificación para funcionamiento operativo mínimo de sistemas de grabadores aerotransportados protegidos (Minimum Operational Performance Specification (MOPS) for Crash Protected Airborne Recorder Systems)"* (véase el ANEXO 2 – 2.1. EUROCAE ED-112) debe cumplirse mediante los siguientes requisitos:

- DRDR-DCVDR-03 (ANEXO 3 – 3.4.1. Tabla Anexos 13)
- DRDR-DCVDR-06 (ANEXO 3 – 3.4.1. Tabla Anexos 13)
- DRDR-DCVDR-08 (ANEXO 3 – 3.4.1. Tabla Anexos 13)
- TLAAOR-DCVDR-01 (ANEXO 3 – 3.1.3. Tabla Anexos 3)
- TLAAOR-DCVDR-02 (ANEXO 3 – 3.1.3. Tabla Anexos 3)
- TLAAOR-DCVDR-03 (ANEXO 3 – 3.1.3. Tabla Anexos 3)
- TLAAOR-DCVDR-04 (ANEXO 3 – 3.1.3. Tabla Anexos 3)
- TLAAOR-DCVDR-05 (ANEXO 3 – 3.1.3. Tabla Anexos 3)
- TLAAOR-DCVDR-06 (ANEXO 3 – 3.1.3. Tabla Anexos 3)

En lo que se refiere a las limitaciones mecánicas de la instalación y a las vibraciones, hay que tener en cuenta los siguientes requisitos:

- TLASIR-DCVDR-06 (ANEXO 3 – 3.1.6. Tabla Anexos 6)
- DRDR-DCVDR-08 (ANEXO 3 – 3.4.1. Tabla Anexos 13)

Por lo tanto, teniendo en cuenta los requisitos de localización e integración de un DCVDR y con el fin de encontrar el área óptima para su instalación, deben analizarse varias ubicaciones en términos de seguridad, peso, restricciones mecánicas,

condiciones ambientales y cuestiones de operatividad/operación de la aerolínea. Se plantea una simulación o trade-off para la evaluación de las siguientes ubicaciones posibles dentro del Airbus A350XWB:

- Alternativa 1 → Sección 19 (lado derecho por debajo del HTP).
- Alternativa 2 → Sección 19 (entre el HTP y la base del VTP).
- Alternativa 3 → Sección 19.1 (puerta de mantenimiento del APU).
- Alternativa 4 → Sección 19.1 (compartimento del APU).
- Alternativa 5 → Sección 19.1 (compartimiento del tubo de escape del APU).
- Alternativa 6 → Borde de ataque del VTP.
- Alternativa 7 → Borde de salida del VTP (zona inferior).
- Alternativa 8 → Borde de salida del VTP (zona media).

6.6.1. Sección 19 (lado derecho por debajo del HTP)

Esta solución considera la instalación de un DCVDR en la sección 19 (S19) del Airbus A350XWB, situándolo en la parte inferior derecha (RHS) del fuselaje trasero del avión y por delante del HTP. Véase la Ilustración 55 para una mejor comprensión.

Para consulta de la justificación y un mejor entendimiento de la elección de esta localización, véase el ANEXO 5 - 5.1. S19 (lado derecho por debajo del HTP).



Vista lateral izquierda del A350XW indicando la ubicación prevista para la instalación del DCVDR en la S19



Representación esquemática de la posición del DCVDR (en rojo) por debajo de la zona del HTP y con los aproximadamente 30° del ángulo de eyección hacia abajo

Ilustración 55. Ubicación de la instalación: S19 (RHS por debajo del HTP).

Fuentes: A350XWB News (2013) y Luis Calvo (2011) [44] [45]

6.6.2. Sección 19 (entre el HTP y la base del VTP)

Esta solución considera la instalación de un DCVDR en la sección 19 (S19) del Airbus A350XWB, situándolo entre el VTP y la base del HTP. Véase la Ilustración 56 para una mejor comprensión.

Para consulta de la justificación y un mejor entendimiento de la elección de esta localización, véase el ANEXO 5 - 5.2. S19 (entre el HTP y la base del VTP).



*Vista lateral izquierda del A350XW
indicando la ubicación prevista para la
instalación del DCVDR en la S19*



Representación esquemática de la posición del DCVDR (en rojo) en la S19 entre el VTP y el HTP con un ángulo de eyección intermedio para salvar ambas estructuras

Ilustración 56. Ubicación de la instalación: S19 (entre el HTP y el VTP).

Fuente: A350XWB News (2013) y José Manuel G. (2014) [44] [46]

6.6.3. Sección 19.1 (puerta de mantenimiento del APU)

Esta solución considera la instalación de un DCVDR en la sección 19.1 (S19.1) del Airbus A350XWB, situándolo en la puerta de mantenimiento derecha, debajo del APU. Véase la Ilustración 57 para una mejor comprensión.

Para consulta de la justificación y un mejor entendimiento de la elección de esta localización, véase el ANEXO 5 - 5.3. S19.1 (puerta de mantenimiento del APU).



Vista lateral izquierda del A350XW
indicando la ubicación prevista para la
instalación del DCVDR en la S19.1



Representación esquemática de la posición del DCVDR (en rojo) en
la S19.1 en la puerta de mantenimiento derecha de la S19.1

Ilustración 57. Ubicación de la instalación: S19.1 (puerta de mto. del APU).

Fuente: A350XWB News (2013) y P. Pigeyre (2014) [44] [47]

6.6.4. Sección 19.1 (compartimento del APU)

Esta solución considera la instalación de un DCVDR en la sección 19.1 (S19.1) del Airbus A350XWB, situándolo en el compartimento del APU, en la zona media de la sección. Véase la Ilustración 58 para una mejor comprensión.

Para consulta de la justificación y un mejor entendimiento de la elección de esta localización, véase el ANEXO 5 - 5.4. S19.1 (compartimento del APU).



Vista lateral izquierda del A350XWB
indicando la ubicación prevista para la
instalación del DCVDR en la S19.1

Representación
esquemática de la
posición del DCVDR (en
rojo) en la S19.1
dentro del
compartimento del APU



Ilustración 58. Ubicación de la instalación: S19.1 (compartimento del APU).

Fuente: A350XWB News (2013) y P. Pigeyre (2014) [44] [47]

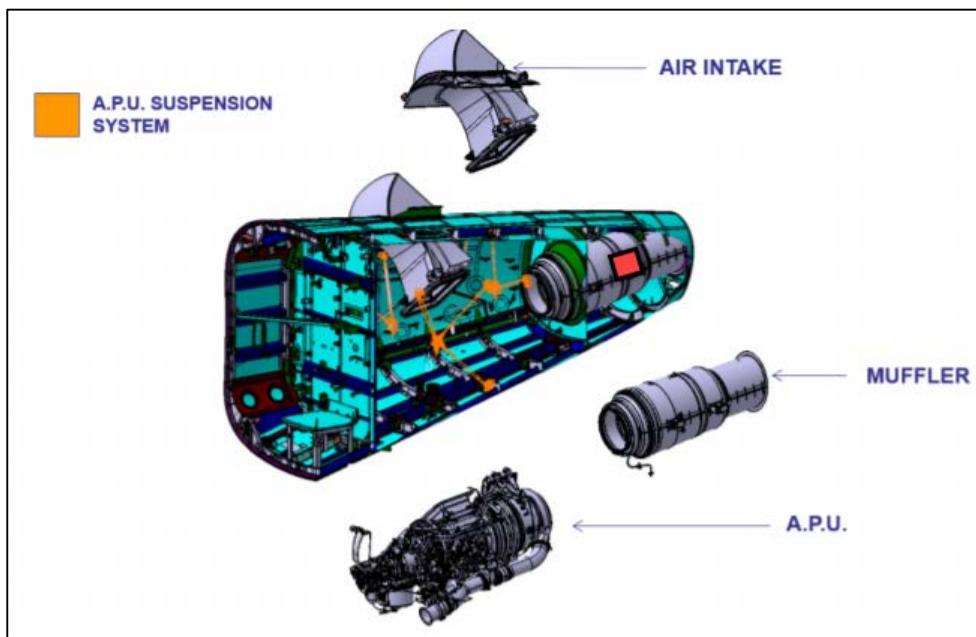
6.6.5. Sección 19.1 (compartimento tubo escape APU)

Esta solución considera la instalación de un DCVDR en la sección 19.1 (S19.1) del Airbus A350XWB, situándolo en el compartimento del tubo de escape del APU, en la zona final de la sección. Véase la Ilustración 59 para una mejor comprensión.

Para consulta de la justificación y un mejor entendimiento de la elección de esta localización, véase el ANEXO 5 - 5.5. S19.1 (compartimento tubo escape APU).



Vista lateral izquierda del A350XW
indicando la ubicación prevista para la
instalación del DCVDR en la S19.1



Representación esquemática de la posición del DCVDR (en rojo) en
la S19.1 en el compartimento del tubo de escape del APU

Ilustración 59. Ubicación de la instalación: S19.1 (compart. tubo de escape).

Fuente: A350XWB News (2013) y M.E. Gudiel et al. (2018) [44] [48]

6.6.6. *Borde de ataque del VTP*

Esta solución considera la instalación de un DCVDR en el borde de ataque del VTP, en una zona intermedia, del Airbus A350XWB. La curvatura del borde de ataque junto a los estrictos requerimientos de zona de impacto de aves y zona sensible a granizo son suficientes para dedicar un buen estudio para hallar la ubicación óptima. El equipo instalado del DCVDR no tiene que producir interferencias con la antena de HF y el mecanismo de eyeción no debe sufrir daños en caso de impacto de aves o granizo. Véase la *Ilustración 60* para una mejor comprensión.

Para consulta de la justificación y un mejor entendimiento de la elección de esta localización, véase el [ANEXO 5 - 5.6. Borte de ataque del VTP](#).



*Vista lateral izquierda del A350XWB
indicando la ubicación prevista para la
instalación del DCVDR en el VTP*



*Representación esquemática de la
posición del DCVDR (en rojo) en el
borde de ataque del VTP*

Ilustración 60. Ubicación de la instalación: Borte de ataque VTP.

Fuente: A350XWB News (2013), H. Goussé (2012) y M.E. Gudiel e. al. (2018) [44] [49] [50]

6.6.7. *Borde de salida del VTP (zona inferior)*

Esta solución considera la instalación de un DCVDR en el borde de salida del VTP, justo en la zona inferior desde donde parte el encastre del VTP al fuselaje del Airbus A350XWB. Véase la [Ilustración 61](#) para una mejor comprensión.

Para consulta de la justificación y un mejor entendimiento de la elección de esta localización, véase el [ANEXO 5 - 5.7. Borde de salida del VTP \(zona inferior\)](#).

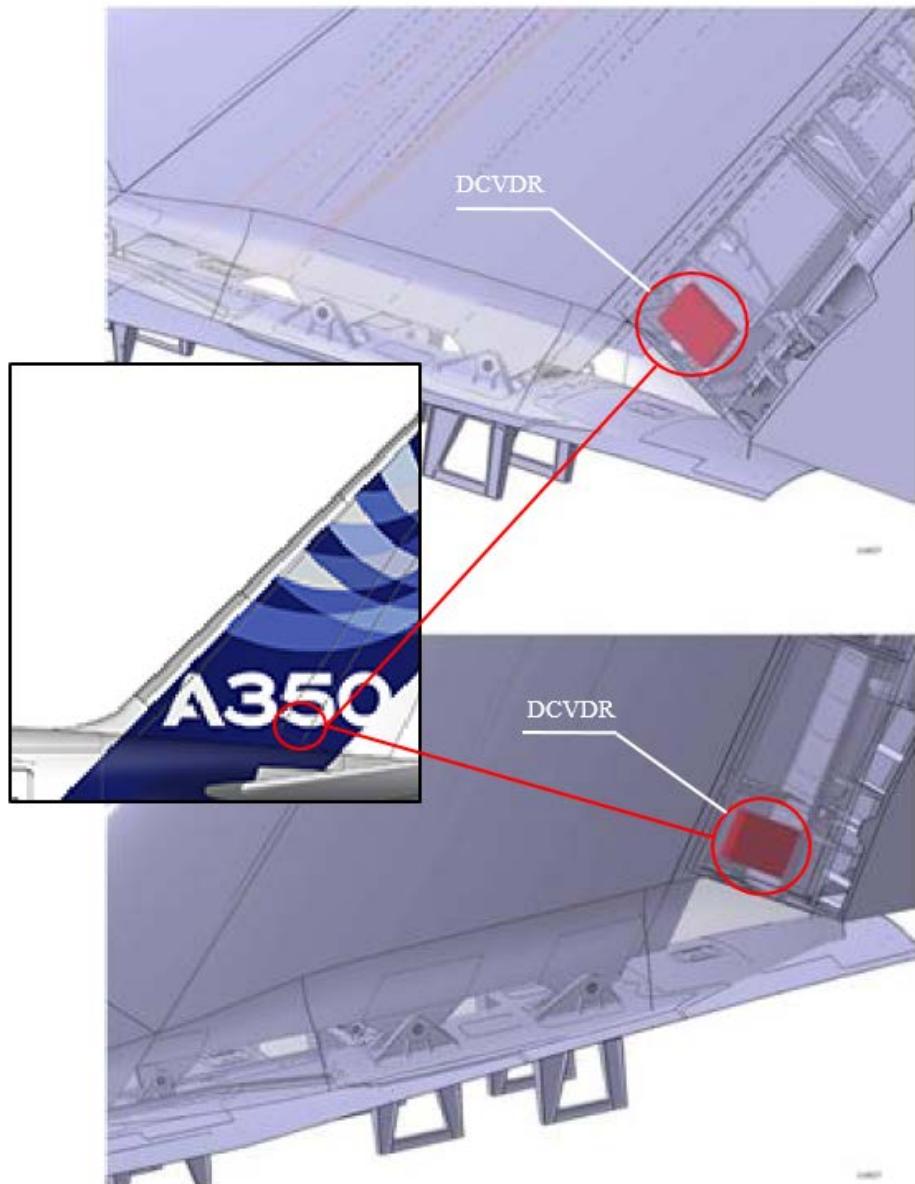


Ilustración 61. Ubicación de la instalación: Borde de salida VTP (zona inf.).

Fuente: Airbus (2019)

6.6.8. *Borde de salida del VTP (zona media)*

Esta solución considera la instalación de un DCVDR en el borde de salida del VTP, justo en la zona media, aproximadamente a 3,5 metros de la zona del encastre del VTP al fuselaje del Airbus A350XWB. Véase la Ilustración 62 para una mejor comprensión.

Para consulta de la justificación y un mejor entendimiento de la elección de esta localización, véase el ANEXO 5 - 5.8. *Borde de salida del VTP (zona media)*.



*Vista lateral izquierda del A350XW
indicando la ubicación prevista para la
instalación del DCVDR en el VTP.*

*Representación esquemática de la
posición del DCVDR (en rojo) en el
borde de salida del VTP*



Ilustración 62. Ubicación de la instalación: Borde de salida VTP (zona med.).

Fuente: A350XWB News (2013) y H. Goussé (2012) [44] [49]

6.6.9. *Matriz de decisión*

Tal y como ya se indica en el capítulo [4.2.4. Matriz de decisión](#), la metodología elegida para buscar la mejor solución en cuanto a la ubicación del DCVDR, se basa en un análisis KTA donde los requerimientos estratégicos se marcan como "MUST" o "DEBE" y los objetivos operacionales como "WANTS" o "QUIERE".

La matriz de decisiones de "MUST" o "DEBE", en primer lugar, elimina cualquier solución alternativa que no se ajuste a los criterios iniciales del proyecto ("GO" o "PASA" / "NO-GO" o "NO-PASA"). Se han identificado como principales o más representativos los siguientes requerimientos:

- Trayectoria de eyeción segura: Uno de los principales requisitos que debe cumplir la instalación del DCVDR es asegurar que, en caso de eyeción, la trayectoria no debe dañar ninguna de las estructuras adyacentes.
- Requerimientos de impacto: Para asegurar un buen funcionamiento del DCVDR, se deben evitar ubicaciones de instalación susceptibles de recibir daños por impacto de rayos, granizo, impacto de aves y en general áreas propensas al daño o DPA (Damage Prone Areas) definidas por las tareas estándar de operaciones/mantenimiento.

Para la matriz de decisiones "WANTS" o "QUIERE", los objetivos operacionales se han seleccionado y calificado en una escala con un peso de entre 1 y 10, dependiendo de su relevancia. Se han evaluado los siguientes más representativos:

- Instalación mecánica y vibraciones (5): Se hace necesario proveer el espacio suficiente para alojar el DCVDR y deseable que la ubicación de la instalación sea de baja intensidad en cuanto a vibraciones para evitar daños involuntarios en el equipo.
- Condiciones ambientales (8): La instalación del DCVDR en la estructura debe cumplir con las condiciones de temperatura y humedad según RTCA/DO-160 para asegurar el funcionamiento correcto de los componentes de la caja negra (sistema de grabación/registro, ELT, mecanismo de eyeción, ...). Los valores por encima de los límites requerirían una calificación específica.
- Visibilidad del ELT a los satélites (10): De cara a una mejor recepción/emisión de señales a los satélites y estaciones terrestres, la

instalación del DCVDR incluyendo el propio ELT es conveniente en una posición elevada en la aeronave.

- Peso (6): El refuerzo necesario de la estructura debido a la instalación del DCVDR debe ser lo más ligero posible.
- Mantenibilidad (9): El acceso a los grabadores para las tareas de mantenimiento debe ser sencillo y accesible y utilizando herramientas estándar (peldaños pequeños, plataformas elevadoras, cherry-picker, escaleras).
- En el caso de GO/PASA para el cumplimiento de la trayectoria segura de eyecación según ED-112, se puntúa la mejor solución de localización en relación con el menor riesgo de impacto con otras piezas que formen parte de estructuras del avión cuya pérdida o daño no sea importante para las operaciones de vuelo o se trate de estructuras secundarias (7): La posición del DCVDR debe estar en línea con estos requisitos.

Toda esta información que ha sido estudiada y evaluada en el ANEXO 5. JUSTIFICACIÓN DE LA UBICACIÓN se puede consultar en la matriz de decisión cumplimentada mediante la Tabla 5.

Tabla 5. Matriz de decisión para la ubicación del DCVDR.

Fuente: Elaboración propia (2019). Basada en: Charles Kepner & Benjamin Tregoe (1960) [52]

MATRIZ DE DECISIÓN:		ALTERNATIVA 1			ALTERNATIVA 2			ALTERNATIVA 3			ALTERNATIVA 4		
CRITERIOS DE EVALUACIÓN:		S19 (lado derecho debajo HTP)			S19 (entre HTP&VTP)			S19.1 (puerta mto. APU)			S19.1 (compartim. del APU)		
MUST o DEBE (GO/NO-GO):													
Trayectoria de eyecación segura (Evitar daños en estructuras adyacentes: VTP, HTP y fuselaje)		GO			GO			GO			NO-GO		
Requerimientos de impacto (Evitar áreas susceptibles de recibir daños por impacto de rayos, granizo, impacto de aves y en general áreas propensas al daño)		NO-GO			GO			NO-GO			GO		
WANTS o QUIERE:	PESO [W]	PUNTUACIÓN			PUNTUACIÓN			PUNTUACIÓN			PUNTUACIÓN		
		COMENTARIOS	NOTA [R]	R'W	COMENTARIOS	NOTA [R]	R'W	COMENTARIOS	NOTA [R]	R'W	COMENTARIOS	NOTA [R]	R'W
Instalaciones mecánicas y vibraciones (Espacio suficiente disponible y área con baja intensidad en cuanto a vibraciones)	5			0	Suficiente espacio y área con bajo nivel de vibraciones	9	45			0			0
Condiciones ambientales (Condiciones de temperatura y humedad adecuadas para el funcionamiento del equipo)	8			0	Condiciones ambientales de temperatura y humedad en niveles aceptables	9	72			0			0
Visibilidad del ELT a los satélites (La mejor ubicación es cuanto más elevada mejor recepción/difusión)	10			0	Zona superior de la S19, transmisión del ELT aceptable	7	70			0			0
Peso (Mínimo refuerzo de la estructura para alojar el DCVDR y no aumentar el peso)	6			0	Alto impacto en peso por estar en zona de encastre del VTP	5	30			0			0
Mantenibilidad (Acceso a DCVDR se debe hacer con herramientas estándar)	9			0	Acceso interno posible y acceso externo por medio de cherry-picker (8 m de altura)	8	72			0			0
Cumplimiento con la ED-112 (Mejor ubicación en el avión con menor riesgo de impacto con estructuras secundarias)	7			0	Riesgo bajo de dañar otras estructuras (HTP y VTP)	7	49			0			0
Máxima Puntuación (10xW)		0			338			0			0		
Puntuación Total:		450											

MATRIZ DE DECISIÓN:		ALTERNATIVA 5			ALTERNATIVA 6			ALTERNATIVA 7			ALTERNATIVA 8			
CRITERIOS DE EVALUACIÓN:		S19.1 (compartim. escape APU)			Borde de ataque VTP			Borde salida VTP (zona inf.)			Borde salida VTP (zona media)			
MUST o DEBE (GO/NO-GO):		GO			NO-GO			NO-GO			GO			
Requerimientos de impacto (Evitar áreas susceptibles de recibir daños por impacto de rayos, granizo, impacto de arena y en general áreas propensas al daño)		GO			NO-GO			GO			GO			
WANTS o QUIERE:		PUNTUACIÓN			PUNTUACIÓN			PUNTUACIÓN			PUNTUACIÓN			
Instalaciones mecánicas y vibraciones (Espacio suficiente disponible y área con bajo nivel de vibraciones)		5	Suficiente espacio pero área con alto nivel de vibraciones	5	25			0			0	Suficiente espacio y área con bajo nivel de vibraciones	9	45
Condiciones ambientales (Condiciones de temperatura y humedad adecuadas para el funcionamiento del equipo)		8	Temperatura de trabajo cercana a los 18°C debido al tubo de escape del APU	6	48			0			0	Condiciones ambientales de temperatura y humedad en niveles aceptables	9	72
Visibilidad del ELT a los satélites (La mejor ubicación es cuanto más elevada mejor recuperación)		10	Zona superior de la S19.1, transmisión del aceptable	7	70			0			0	Zona superior del VTP, transmisión del ELT excelente	9	90
Peso (Mínimo refuerzo de la estructura para alojar el DCVDR y no aumentar el peso)		6	Bajo impacto en peso por estar en área de impacto entre las cuerdas (bajo nivel de carga de la estructura)	7	42			0			0	Impacto en peso medio debido a que el área se considera superficie aerodinámica	7	42
Mantenibilidad (Acceso a DCVDR se debe hacer con herramientas estándar)		9	Acceso posible desde el exterior con cherry picker (8 m de altura). Acceso desde el interior requeriría el desmontaje del tubo de escape	6	54			0			0	Acceso posible desde el exterior con cherry picker (12 m de altura). Acceso desde el interior imposible	6	54
Cumplimiento con la ED-112 (Mejor ubicación en el avión con menor riesgo de impacto con estructuras secundarias)		7	Total cumplimiento con la ED-112	9	63			0			0	Riesgo bajo de dañar otras estructuras (HTP y S19)	7	49
Maxima Puntuación (10xW)					302				0				0	352
Puntuación Total:		450												

6.6.10. Conclusiones

Tal y como se muestra en la Tabla 5, la solución óptima para este trade-off es la elección de la alternativa 8: “Borde salida del VTP (zona media)” de cara a la decisión sobre la ubicación de la instalación de una caja negra eyectable.

Las alternativas 1, 3, 4, 6 y 7 han sido directamente descartadas por incumplimiento de al menos uno de los criterios de evaluación clasificados como “MUST” o “DEBE”. La decisión final a la hora de elegir la mejor opción se ha tomado en base a la mejor puntuación de la alternativa 8 frente a las alternativas 2 y 5. Una mejor visibilidad del ELT a los satélites junto a buenas puntuaciones en cuanto a restricciones de la instalación mecánica y condiciones ambientales han llevado a la elección de la mejor alternativa

Por lo tanto, se decide instalar el DCVDR eyectable en la zona media del borde de salida del VTP del A350XWB.

7. VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN DEL SISTEMA

El objetivo de este capítulo es definir las actuaciones necesarias para completar las actividades de validación y verificación (V&V) del DCVDR siguiendo el proceso definido por SE.

Las actividades de validación se pueden dividir en dos tipos:

- Validación de requisitos: Están ubicados en cada nivel de requerimientos del lado izquierdo del modelo V&V y el propósito de la validación es asegurar una adecuada conexión en cascada para aceptar los requisitos superiores después de comprobar su validez y aplicación.
- Validación del sistema: Se encuentra en la parte superior derecha del modelo V&V y el propósito de estas actividades es demostrar que el producto, después de su instalación final en el avión, cumple con los requisitos de nivel superior. La prueba de cumplimiento PoC (Proof of Compliance) de estos requisitos se obtiene de los requerimientos de nivel inferior por medio de revisiones, ensayos en laboratorio y durante la campaña de ensayos del avión.

Las actividades de verificación se pueden dividir en dos tipos:

- Verificación del diseño: Son las actividades situadas a la izquierda del modelo V&V y orientadas a verificar que el diseño cumple con los requisitos aplicables mediante un cierto número de PoC.
- Verificación del producto: Son las actividades situadas a la derecha del modelo V&V para asegurar que el producto final o DCVDR y su integración en el avión cumplen con los requisitos aplicables y el diseño final.

Todas estas actividades se analizan en profundidad durante este capítulo y están claramente identificadas en el modelo V&V especialmente modificado para las actividades de validación y verificación que se definen en la Ilustración 63.

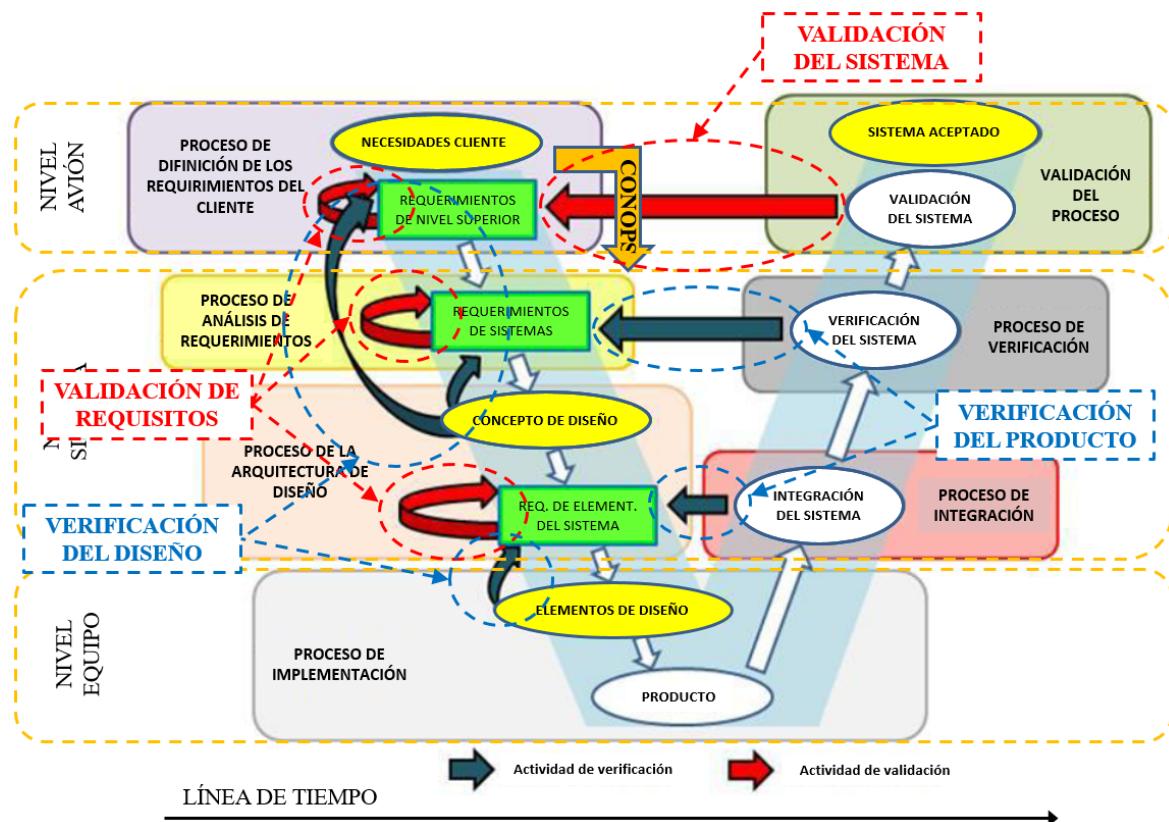


Ilustración 63. Actividades del modelo V&V.

Fuente: Elaboración propia (2019). Basada en: Knowledge Valley (2019) [39]

Con el fin de establecer la metodología general necesaria para demostrar el cumplimiento de los requisitos y la validación del sistema, así como la verificación del diseño y de los productos, la siguiente Tabla 6 muestra los medios y métodos de validación y verificación MVV (Means and Methods of Validation & Verification) que se utilizan en el proyecto del DCVDR.

Tabla 6. Metodología para Validación y Verificación de requisitos.

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tipos de MVV A350XWB		Medios a usar para Validación de Requisitos	Medios a usar para Verificación del Diseño	Medios a usar para Verificación del Producto	Medios a usar para Validación del Sistema
MVVO	Declaración de conformidad / Juicio ingenieril	-Juicio ingenieril -Concepto similar en programas en serie -Lecciones aprendidas	N/A	N/A	N/A
MVV1	Revisiones de DMU	-Declaración basada en DMU -Estudios de DMU	Revisiones de DMU (Digital Mock Up) → Maqueta electrónica	N/A	N/A
MVV2	Cálculos / Análisis	-Cálculo por análisis de estática -Cálculo por análisis dinámico -Análisis F&DT -Análisis térmico	-Cálculo por análisis de estática -Cálculo por análisis dinámico -Análisis F&DT (Fatiga & Tolerancia al daño) -Análisis térmico	N/A	N/A
MVV3	Evaluación de la seguridad aérea	Evaluación de la seguridad aérea	Evaluación de la seguridad aérea	N/A	N/A
MVV4	Ensayos en bancos /prototipos/ modelos	-Bancos de integración de sistemas (SIB) -Bancos de integración funcional (FIB)	Simuladores en mesa (DTS)	-SIB -FIB -a/c 0 -Iron Bird	-SIB -FIB -a/c 0 -Iron Bird
MVV5	Ensayos en tierra (motor y APU OFF)	N/A	N/A	Ensayos en tierra	Ensayos en tierra

MVV6	Ensayos en vuelo	N/A	N/A	Ensayos en vuelo	Ensayos en vuelo
MVV7	Inspección por parte de la autoridad o de una persona autorizada	N/A	N/A	Análisis de Seguridad Zonal ZSA (Zonal Safety Analysis)	ZSA
MVV8	Simulación/ Modelado	Simulink, Matlab...	Simulink, Matlab...	Simulink, Matlab...	Simulink, Matlab...
MVV9	Equipos de calificación	N/A	N/A	Calificación	N/A
No Dver (Verificación del Diseño) en este nivel	N/A	N/A	-Ninguna actividad prevista -Cubierto por la verificación en el nivel superior		N/A
No Pver (Verificación del Producto) en este nivel					

7.1. ACTIVIDADES DE VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN

Como se indica en la introducción del capítulo 7. Validación y verificación del sistema, las actividades de validación y verificación se han dividido en cuatro grupos, dos para la validación y dos para la verificación. El orden lógico de aplicación de la actividad dentro de este proyecto y después de la V&V es el siguiente:

- Validación de requisitos.
- Verificación del diseño.
- Verificación del producto.
- Validación del sistema.

7.1.1. Validación de requisitos

Como ya se ha explicado en este capítulo y se muestra en la *Ilustración 64*, todos los requerimientos deben ser validados en cada nivel para garantizar que los requisitos superiores están correctamente asignados en cascada y localizados. Estas actividades de validación garantizan que los requisitos que aplican específicamente al nivel del DCVDR cumplen los requerimientos del nivel superior (nivel avión, nivel sistema y nivel equipo).

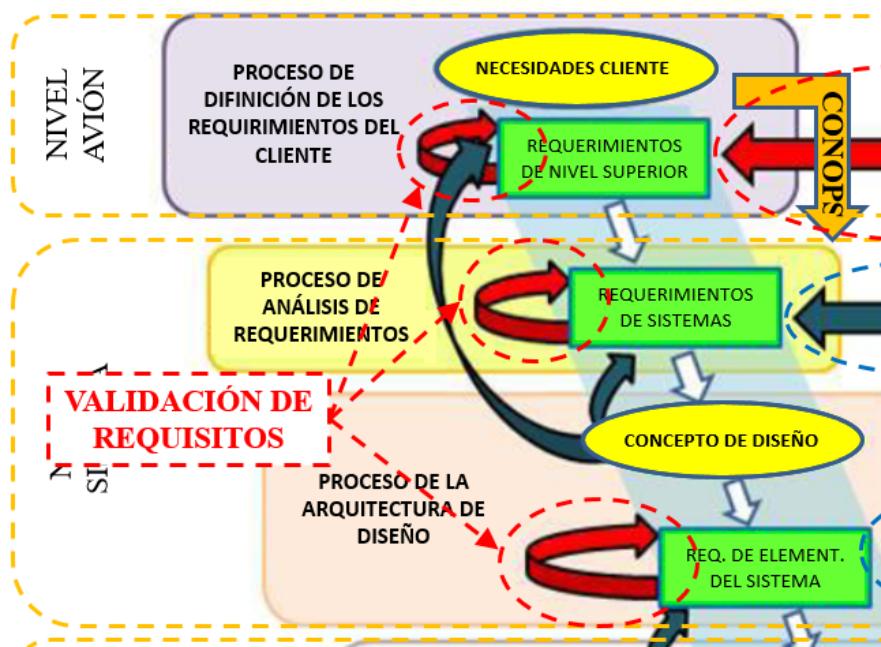


Ilustración 64. Validación de requisitos.

Fuente: Elaboración propia (2019). Basada en: Knowledge Valley (2019) [39]

La MVV correspondiente a cada requisito del DCVDR se asigna previo acuerdo entre las partes interesadas dueñas de cada requerimiento (diseñadores de sistemas, diseñadores de instalaciones, propietarios de requisitos de nivel superior, etc.). En el ANEXO 4. MÉTODOS Y MEDIOS DE VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN se proporciona esta asignación a cada requisito analizado.

7.1.2. Verificación del diseño

Para garantizar que el diseño del DCVDR cumple con los requisitos aplicables, es necesaria una actividad de verificación en cada etapa que asegure que el producto cumple con las especificaciones tal y como se muestra en la *Ilustración 65*.

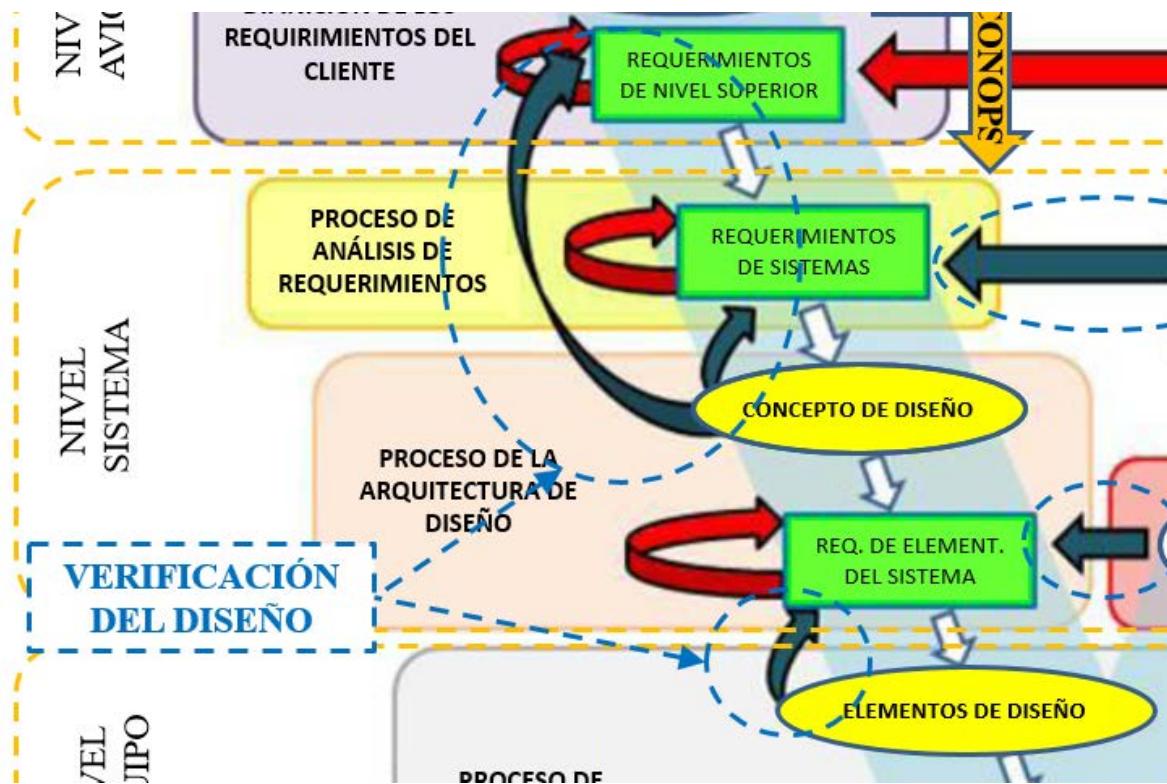


Ilustración 65. Verificación del diseño.

Fuente: Elaboración propia (2019). Basada en: Knowledge Valley (2019) [39]

La MVV correspondiente a cada requisito del DCVDR se asigna previo acuerdo entre las partes interesadas dueñas de cada requerimiento (diseñadores de sistemas, diseñadores de instalaciones, propietarios de requisitos de nivel superior, etc.). En el ANEXO 4. MÉTODOS Y MEDIOS DE VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN se proporciona esta asignación a cada requisito analizado.

7.1.3. Verificación del producto

Para asegurar que la integración e instalación del DCVDR cumple con los requisitos, se realiza una actividad de verificación en cada etapa para asegurar que el producto cumple con las especificaciones. Este proceso de verificación se realiza en dos etapas diferentes, una para el DCVDR como sistema de registro de vuelo integrando elementos como el RRU, ELT o baterías (proceso de integración) y otra para la verificación final una vez que el DCVDR está instalado en el avión (proceso de verificación) tal y como se muestra en la Ilustración 66.

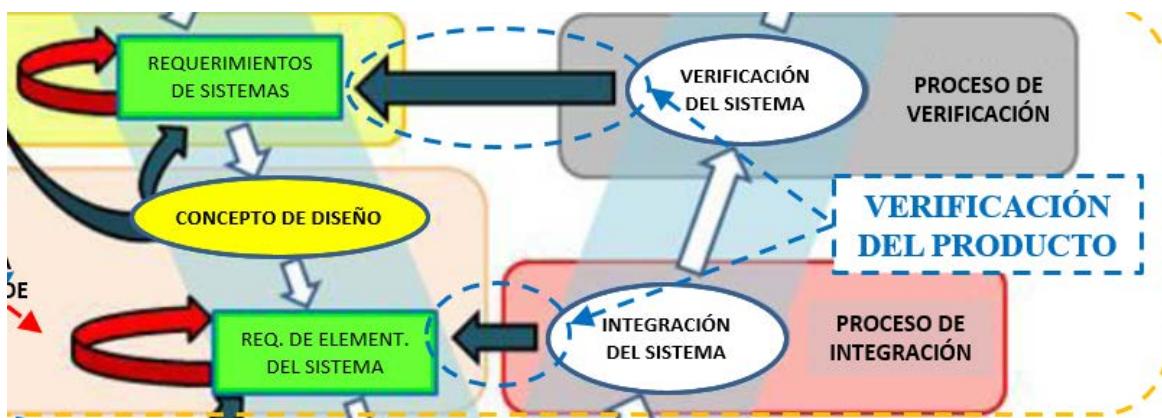


Ilustración 66. Verificación del producto.

Fuente: Elaboración propia (2019). Basada en: Knowledge Valley (2019) [39]

La MVV correspondiente a cada requisito del DCVDR se asigna previo acuerdo entre las partes interesadas dueñas de cada requerimiento (diseñadores de sistemas, diseñadores de instalaciones, propietarios de requisitos de nivel superior, etc.). En el ANEXO 4. MÉTODOS Y MEDIOS DE VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN se proporciona esta asignación a cada requisito analizado.

7.1.4. Validación del sistema

Para asegurar que el DCVDR, después de la integración en el avión, cumple con las necesidades de las partes interesadas y sobre todo del cliente final, se debe realizar una validación con respecto a los requisitos de nivel superior tal y como se muestra en la Ilustración 67.

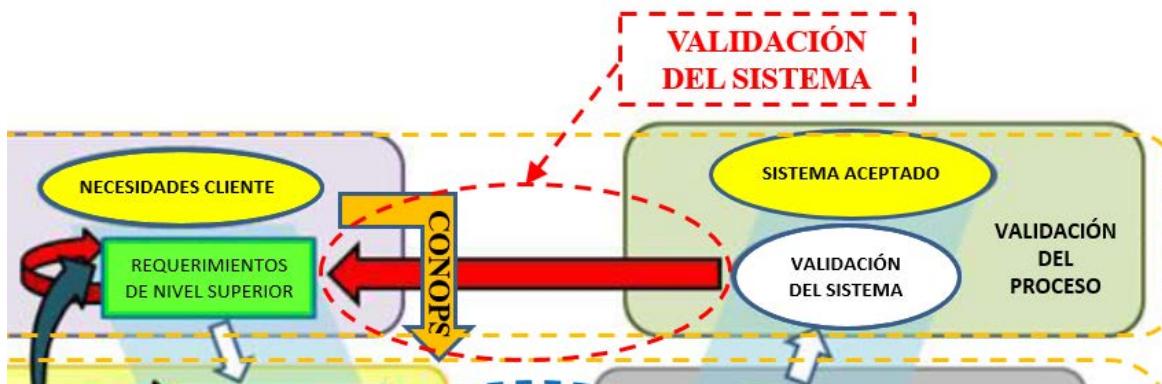


Ilustración 67. Validación del sistema.

Fuente: Elaboración propia (2019). Basada en: Knowledge Valley (2019) [39]

La MVV correspondiente a cada requisito del DCVDR se asigna previo acuerdo entre las partes interesadas dueñas de cada requerimiento (diseñadores de sistemas, diseñadores de instalaciones, propietarios de requisitos de nivel superior, etc.). En el ANEXO 4. MÉTODOS Y MEDIOS DE VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN se proporciona esta asignación a cada requisito analizado.

7.2. PLAN DE ENSAYOS

El objetivo de este capítulo es definir las actividades relativas a test o ensayos que sirvan para verificar que el DCVDR cumple con los requisitos y el diseño esperados, especialmente durante la verificación del producto y la validación del sistema en el lado derecho de la V&V, tal y como se muestra en la Ilustración 63. El objetivo de este proyecto es integrar una caja negra eyectable en el Airbus A350XWB por lo que las actividades relacionadas en cuanto a ensayos deben estar focalizadas en:

- Equipo del DCVDR.
- RRU.
- Baliza del ELT CU & ELT integrada en el DCVDR.
- Sensores de eyección.

7.2.1. *Ensayos funcionales*

Estos ensayos han de ser realizados por el proveedor del equipo con el fin de cumplir con los requerimientos a nivel de equipo. El objetivo de estos ensayos es demostrar la funcionalidad de los equipos bajo ciertas condiciones especificadas en los requisitos. Las diferentes funcionalidades a probar son:

- Correcto funcionamiento de la señal del ELT CU.
- Señal de la baliza ELT y correcto funcionamiento de baterías del DCVDR.
- Correcto funcionamiento de los sensores de eyección y detección de colisiones.
- Líneas de cableado CDL o CDC para testear los interruptores automáticos.

Los resultados de estos ensayos se utilizan como prueba de cumplimiento de los requisitos cuando se requiere una verificación del producto del tipo MVV4. Algunos de estos requisitos son el DRDR-DCVDR-04 y el DRDR-DCVDR-05 (ANEXO 3 – 3.4.1).

Tabla Anexos 13). Véase el ANEXO 4. MÉTODOS Y MEDIOS DE VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN como resumen de esta actividad de V&V.

7.2.2. *Ensayos de Interferencias Electro Magnéticas (EMI)*

Estos ensayos se llevan a cabo para verificar que los diferentes equipos instalados a bordo funcionan correctamente bajo cualquier condición. En este caso, es necesario realizar una serie de ensayos de campos radiados a alta intensidad o más conocidos como HIRF (High Intensity Radiated Fields) en los siguientes niveles de integración:

Actividades para los ensayos a nivel de sistema/equipo:

En lo que respecta a los ensayos a nivel del sistema/equipo, es necesario demostrar la fiabilidad de los principales equipos a bordo. La propuesta pasa por solicitar una campaña de ensayos para lanzar la calificación EMI para los siguientes equipos:

- CU del ELT.
- DCVDR con señal de baliza ELT.
- Sensores de eyecación para la detección de impactos.

Estos ensayos han de ser realizados por el proveedor del equipo para cumplir con los requisitos a nivel de sistema/equipo.

Los resultados de estos ensayos se utilizan como prueba de cumplimiento de los requisitos cuando se requiere una verificación del producto MVV4 como en el requerimiento DRDR-DCVDR-05 (ANEXO 3 – 3.4.1. Tabla Anexos 13). Véase el ANEXO 4. MÉTODOS Y MEDIOS DE VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN como resumen de esta actividad de V&V.

Actividades para los ensayos a nivel avión

En cuanto a los ensayos a nivel avión, es necesario demostrar la fiabilidad de todos los equipos instalados a bordo de la aeronave y simular las condiciones de HIRF actuando al mismo tiempo con otros equipos de serie embarcados. El ensayo más importante a realizar a nivel avión es el siguiente:

- Comportamiento a las interferencias electromagnéticas EMI (Electro Magnetic Interferences) del avión: Los ensayos asociados requieren

iluminar la aeronave con una determinada gama de frecuencias de acuerdo a lo solicitado a normativa internacional como: SAE ARP 5583, ED 107 y Stanag 7116, dependiendo del nivel de ensayo requerido. Los ensayos deben realizarse simulando una situación real de vuelo de la aeronave donde tanto los motores como otros equipos electrónicos embarcados estén funcionando. El campo se genera externamente con una instalación de ensayos muy específica de HIRF.

Este ensayo se realiza bajo la responsabilidad de Airbus una vez que los equipos están instalados en el avión. Una vez analizados los resultados del ensayo, se sigue un criterio de "Pasa" / "Falla" del HIRF teniendo en cuenta lo siguiente:

- El avión o los sistemas del avión deben asegurar un funcionamiento normal cuando se exponen a diferentes niveles de radiación.
- El avión o los sistemas del avión pueden fallar durante la exposición a la radiación, pero deben volver a funcionar normalmente después (si la operación permite restablecer el sistema durante el vuelo).
- El avión o los sistemas del avión pueden fallar durante la exposición a la radiación, pero deben recuperarse sin la intervención del piloto en cuanto se retira el campo de radiación.

Los resultados de estos ensayos se utilizan como prueba de cumplimiento de los requisitos cuando se requiere una verificación de producto MVV5 o MVV6 como en el requerimiento DRDR-DCVDR-05 (ANEXO 3 – 3.4.1. Tabla Anexos 13). Véase el ANEXO 4. MÉTODOS Y MEDIOS DE VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN como resumen de esta actividad de V&V.

7.2.3. *Ensayo de supervivencia en caso de colisión*

Estos ensayos han de ser realizados por el proveedor del equipo con el fin de cumplir con los requerimientos a nivel de equipo. El objetivo de estos ensayos es demostrar la funcionalidad del equipo en ciertas condiciones como:

- | | |
|---------------------------------|-------------------------------|
| ✓ Choque por impacto. | ✓ Inmersión de fluidos. |
| ✓ Resistencia a la penetración. | ✓ Transmisión de la baliza. |
| ✓ Fuego a alta temperatura. | ✓ Aeronavegabilidad. |
| ✓ Fuego a baja temperatura. | ✓ Presión en aguas profundas. |

Los resultados de estos ensayos se utilizan como prueba de cumplimiento de los requisitos cuando se requiere una verificación del producto MVV4. Algunos de estos requisitos son el TLACSR-DCVDR-03, TLACSR-DCVDR-04, TLACSR-DCVDR-06 y TLACSR-DCVDR-07 (ANEXO 3 – 3.1.7. Tabla Anexos 7).

7.2.4. Avión 0 (a/c 0)

Este banco de ensayos también conocido como "iron bird" no es más que una instalación integrada por todos los equipos (excepto los motores) en sus posiciones reales y sirve para probar todas sus funcionalidades (sistema eléctrico, hidráulico y de los mandos de vuelo). Los equipos se posicionan mediante una estructura de andamios (Ilustración 68).

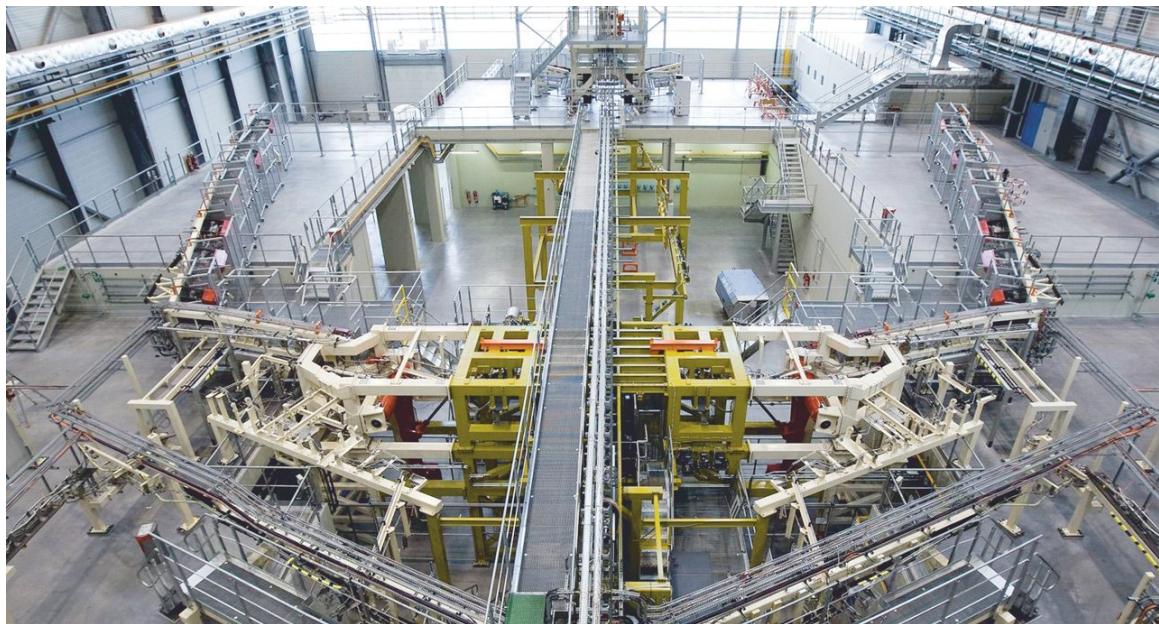


Ilustración 68. Iron bird o a/c 0.

Fuente: Airbus (2017) [51]

Este ensayo queda bajo la responsabilidad de Airbus y se centra en la integración del DCVDR con el resto de equipos a bordo. El a/c 0 integra un DCVDR real, incluyendo un ELT real y sensores de eyeccción reales.

Los objetivos de estos ensayos son:

- Pruebas de interfaz relativas a la conmutación entre la lógica de eyección del RRU y el resto de equipos.
- Pruebas de interfaz relativas a la conmutación entre el DCVDR y el resto de equipos.
- Pruebas de interfaz relacionadas con la conmutación entre los sensores de eyección y el resto de equipos.
- Verificación de la integración y funcionalidad con los sistemas transversales reales.

Los resultados de estos ensayos se utilizan como prueba de cumplimiento de los requisitos cuando se requiere una verificación del producto MVV4. Algunos de estos requisitos son el TLFRR-DCVDR-04 y el TLFRR-DCVDR-05 (ANEXO 3 – 3.3.1. Tabla Anexos 11).

7.2.5. *Ensayos en tierra y en vuelo*

Estos ensayos quedan bajo la responsabilidad de Airbus y se centran en la integración final de la caja negra eyectable en el avión. Los ensayos incluyen:

- Ensayos en tierra y en vuelo para comprobar la función de liberación del DCVDR y demostrar que no se producen daños en superficies móviles después de cualquier tipo de eyección.
- Ensayos en tierra para comprobar la funcionalidad de los sensores de eyección.

Estos ensayos deben reducirse en la medida de lo posible debido a su elevado coste y sólo se justifican ante situaciones imposibles de reproducir con otros ensayos más baratos (bancos, laboratorio o simulación).

Los resultados de estos ensayos se utilizan como prueba de cumplimiento de los requisitos cuando se requiere la verificación de un producto MVV5 o MVV6. Algunos de estos requisitos son: DRDR-DCVDR-01, DRDR-DCVDR-02, DRDR-DCVDR-10 y DRDR-DCVDR-11 (ANEXO 3 – 3.4.1. Tabla Anexos 13). Véase el ANEXO 4. MÉTODOS Y MEDIOS DE VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN como resumen de esta actividad de V&V.

8. GESTIÓN DE LA CONFIGURACIÓN

La gestión de configuración o CM (Config Management) es un proceso de INCOSE para establecer los procedimientos de avance de un proyecto. La misión principal de la CM es asegurar que las características de un producto dadas por los requerimientos y/o necesidades del usuario sean documentadas mediante un control que refleje todos los cambios a lo largo de la vida del producto. También es una misión muy importante aprobar los cambios en el producto y asegurar que todos los departamentos están informados e involucrados.

La gestión de configuración del DCVDR se divide en dos fases:

➤ Fase de concepto: Durante esta fase, todo el diseño está bajo un nivel de inicialización (sólo una DMU está disponible llamada SAM (Space Allocation Model) con modelos de piezas muy iniciales y poco definidos) por lo que cualquier cambio en la configuración del diseño tiene que ser hecho mediante nota de cambio (CN o Change Note). La CN incluye, como contenido mínimo, la siguiente información:

- Resumen auto-explicativo del cambio.
- Posibles "interfaces" con otros actores o partes afectadas.

La CN se presenta en los comités locales y se discute entre todos los departamentos afectados. Una vez que todos los departamentos han acordado el cambio, la CN se envía al comité central del avión para su validación e implementación.

➤ Fase de definición: Durante esta fase, todo el diseño se encuentra en un estado avanzado y tanto la DMU como el dossier de definición que incluye los planos en 2D están disponibles. Las actividades de utilaje, fabricación y montaje también se realizan por adelantado, por lo que cualquier cambio al diseño del producto tiene que hacerse por medio de una propuesta de cambio o CR (Change Request). La CR incluye, como contenido mínimo, la siguiente información:

- Resumen auto-explicativo del cambio.
- Posibles interfaces con otros actores o partes afectadas.

- Análisis de viabilidad económica.
- Análisis de peso.

La CR se presenta a los comités locales y se discute entre todos los departamentos afectados. Una vez que todos los departamentos han acordado el cambio, la CR se envía al comité central del avión para su validación e implementación.

El nuevo equipo o caja negra se presenta a la aerolínea como una opción de cliente por lo que, para aviones ya entregados, el equipo se puede instalar por medio de un boletín de servicio o SB (Service Bulletin) que implica tener que hacer ciertos tipos de adaptaciones para asegurar su instalación en cualquier aeronave.

9. GESTIÓN DE PROYECTOS

9.1. HITOS EN EL DESARROLLO DEL SISTEMA

Cada sistema tiene un modelo de ciclo de vida para crear o actualizar un producto o servicio que se compone de una secuencia de fases con actividades predefinidas. La definición de la metodología y la decisión del ciclo de vida reducen los riesgos y proporciona visibilidad a todos los participantes en el proyecto, especialmente al cliente. El ciclo de vida más comúnmente utilizado en empresas como Airbus y seleccionado para este proyecto se puede ver en la *Ilustración 69*. Se conoce como Proceso de Desarrollo de Producto PDP (Product Development Process). Los hitos o también conocidos como "estados de madurez" MG (Maturity Gates) se miden y actúan como punto de decisión y fechas objetivo desde la fase inicial de entrada en el concepto EIC (Entry Into Concept) hasta la fase final de entrega al cliente o entrada en servicio EIS (Entry Into Service).

La revisión de los hitos entre las diferentes fases asegura dos aspectos del sistema:

- Conformidad con el análisis económico.
- Cumplimiento técnico de los requerimientos a todos los niveles.

La decisión de aceptar el hito o estado de madurez depende del acuerdo final de las partes implicadas y puede resultar en:

- Continuar en la fase con una re-definición de la solución.
- Avanzar a la siguiente fase.
- Terminar el proyecto.

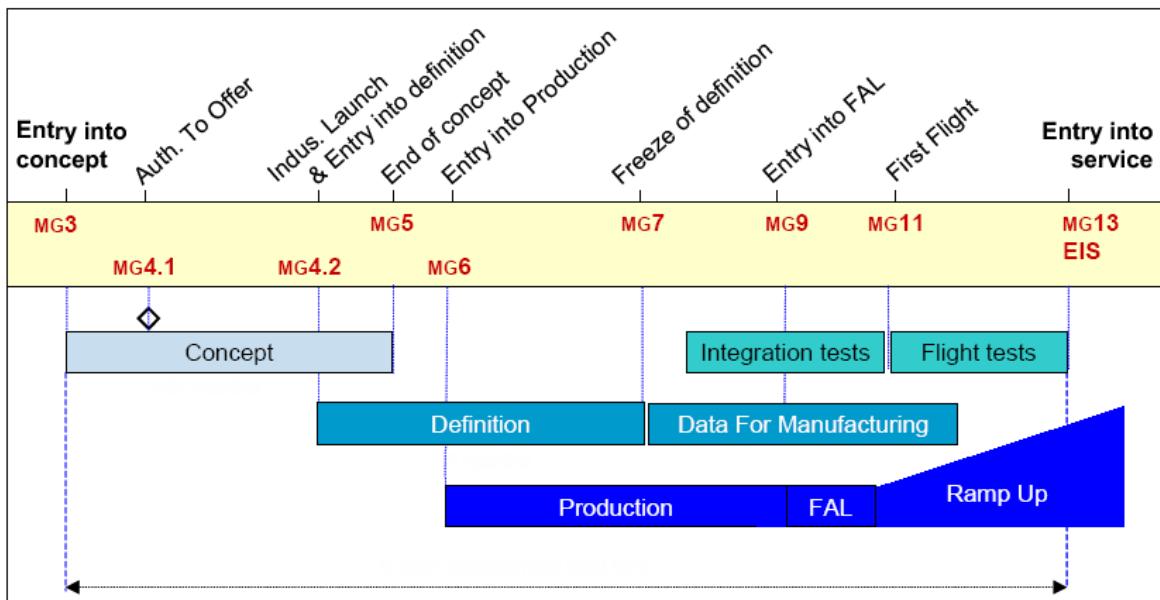


Ilustración 69. Hitos del desarrollo del DCVDR.

Fuente: Airbus (2019)

La gestión del proyecto comienza con una reunión inicial entre todos los actores involucrados en el diseño, fabricación y montaje del DCVDR y queda bajo la responsabilidad de la dirección del programa el lanzamiento o inicio del proyecto. El diseño se valida en cada uno de los estados de madurez MG, especialmente desde el MG3 (inicio del concepto de diseño) hasta el MG7 (congelación del concepto de diseño e inicio de la fabricación), pasando por las siguientes revisiones:

- Revisiones preliminares del diseño o PDR (Preliminary Design Review) para asegurar, desde el inicio, que el diseño cumple con las necesidades del cliente a través de los requisitos y el nivel de riesgo es aceptable.
- Revisiones críticas de diseño o CDR (Critical Design Review) para acordar al final de un hito determinado, que el diseño de detalle cumple con las especificaciones técnicas y los requisitos.

9.2. ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El objetivo de este capítulo es presentar una estructura del proyecto WBS (Work Breakdown Structure), en línea con el INCOSE, que sirve para enumerar los diferentes roles necesarios a la hora de desarrollar el proyecto. La idea es elaborar una descomposición jerárquica e incremental del proyecto en entregables por paquetes de

trabajo. Se trata de una estructura en árbol que muestra una subdivisión de diferentes trabajos por cada una de las disciplinas que intervienen en el desarrollo del proyecto. La razón de dividir el proyecto es hacer composiciones más manejables en términos de tamaño, duración y responsabilidad, incluyendo todos los actores que colaboran en lograr el objetivo. El WBS del DCVDR se muestra en la Ilustración 70.

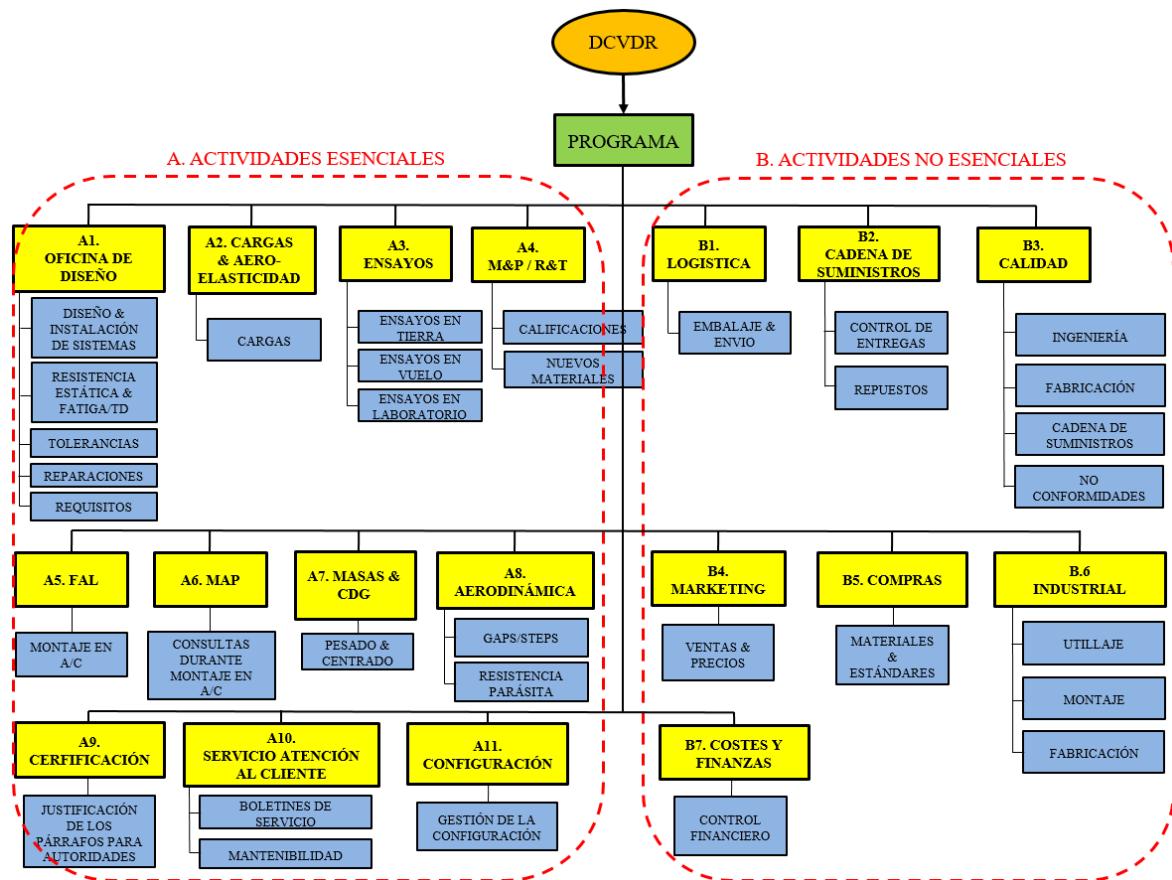


Ilustración 70. WBS del DCVDR.

Fuente: Elaboración propia (2019)

Las actividades se han dividido en dos grupos, uno denominado "A" para las actividades esenciales o también conocidas como "core" y otro denominado "B" para las actividades no esenciales o también conocidas como "no-core". Las actividades esenciales son funciones del negocio que son críticas y están relacionadas con la estrategia de la empresa. El "know-how" o conocimiento del trabajo específico debe siempre permanecer en la empresa y no debe ser externalizado o subcontratado. En este proyecto, en el que probablemente el DCVDR va a ser fabricado por un proveedor una vez se haya entregado el primer artículo, se han decidido que actividades como

las metodologías de diseño, el conocimiento de la aerodinámica, el servicio de atención al cliente o la gestión de la configuración permanezcan dentro de la empresa.

9.3. GESTIÓN DE RECURSOS

Los recursos asignados para el desarrollo del proyecto deben estar dimensionados de acuerdo al WBS que se muestra en la *Ilustración 70*, por lo que los siguientes recursos a tiempo completo o también denominados FTE (Full Time Equivalent) van a participar en la definición o diseño, fabricación y montaje del DCVDR:

- **Equipo de dirección del programa:** Su función es liderar el proyecto coordinando a todos los departamentos y equilibrando la carga de trabajo frente al presupuesto usando hitos de EVM (Earned Value Management) o también conocidos como hitos en la gestión del valor ganado.

Recursos: Director del programa y 1 asistente → 2 FTE.

Actividades esenciales

- **A1. Oficina de diseño:** Desarrolla todas las tareas relacionadas con el diseño, cálculo, fatiga & tolerancia al daño, tolerancias de fabricación/montaje y gestión de la V&V de requerimientos.

Recursos: 1 ingeniero Jefe y 4 empleados → 5 FTE.

- **A2. Cargas y aero-elasticidad:** Procesa y envía las cargas generadas en el avión a la oficina de diseño (cargas dinámicas, momentos, cargas G, vibraciones, ...).

Recursos: 1 empleado → 1 FTE.

- **A3. Ensayos:** Lanza y analiza los diferentes tipos de ensayos planificados: ensayos en tierra, ensayos en vuelo y ensayos en banco de pruebas.

Recursos: 1 responsable de laboratorio y 2 empleados → 3 FTE.

- **A4. M&P/R&T:** Lideran las actividades relacionadas con materiales y procesos e investigación de nuevas tecnologías.

Recursos: 2 especialistas en materiales → 2 FTE.

- **A5. FAL:** Actividades relacionadas con la instalación del DCVDR en la línea final de montaje o FAL (Final Assembly Line).

Recursos: 1 empleado → 1 FTE.

- **A6. MAP:** Actividades relacionadas con las consultas o incidencias encontradas durante la instalación del DCVDR en la FAL.

Recursos: 1 empleado → 1 FTE.

- **A7. Masas y CDG (Centro de Gravedad):** Actividades relacionadas con el pesado y centrado del DCVDR y control de las oportunidades de reducción de peso.

Recursos: 1 empleado → 1 FTE.

- **A8. Aerodinámica:** Actividades relacionadas con la medición de la resistencia parásita producida por la instalación externa del DCVDR y control de los gaps (huecos) y steps (escalones) permitidos.

Recursos: 1 empleado → 1 FTE.

- **A9. Certificación:** Redacción/selección de los párrafos de justificación del diseño de cara a obtener la certificación de tipo y contacto con las autoridades de aeronavegabilidad como la EASA.

Recursos: 1 empleado → 1 FTE.

- **A10. Servicio de atención al cliente:** Control de la gestión de los boletines de servicio y contacto directo con los clientes para atender peticiones sobre cuestiones de mantenimiento/operación.

Recursos: 2 empleados → 2 FTE.

- **A11. Configuración:** Actividades relacionadas con el control de la configuración del diseño mediante comités internos y externos.

Recursos: 2 empleados → 2 FTE.

Actividades no esenciales

- **B1. Logística:** Organización del embalaje y el envío de las entregas del DCVDR.

Recursos: 1 empleado → 1 FTE.

- **B2. Cadena de suministros:** Gestión de la entrega de materiales y estándares a las plantas de fabricación y montaje mediante JIT (Just In

Time) evitando sobrecostes de almacenamiento y gestionando los repuestos.

Recursos: 1 empleado → 1 FTE.

- **B3. Calidad:** Actividades para controlar el nivel de aceptabilidad de las entregas de departamentos como ingeniería, fabricación y cadena de suministro y tratamiento de las no conformidades (bien a la primera o "Right First Time" y Cero defectos o "Zero Defects").

Recursos: 1 empleado → 1 FTE.

- **B4. Marketing:** Investigación de los diferentes mercados nacionales/internacionales para encontrar nuevos clientes y promocionar las ventajas y beneficios de la adquisición del nuevo producto DCVDR.

Recursos: 1 empleado → 1 FTE.

- **B5. Compras:** Negociación y compra de materiales, equipos, hardware, software, estándares, etc... necesarios para la realización del proyecto.

Recursos: 1 empleado → 1 FTE.

- **B6. Industrial:** Fabricación de los utensilios necesarios, fabricación y ensamblaje de los diferentes componentes del DCVDR y preparación y puesta en marcha de la producción acordada por el programa.

Recursos: 1 responsable y 4 empleados → 5 FTE.

- **B7. Costes y Finanzas:** Control de los Costes Recurrentes (RC), Costes No Recurrente (NRC) y Retorno de la Inversión (ROI) del proyecto.

Recursos: 1 empleado → 1 FTE.

9.4. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

El propósito de este capítulo es mostrar un calendario detallado de las diferentes actividades para alcanzar los objetivos del proyecto. La planificación está de acuerdo a los hitos de desarrollo del sistema (MG) que se muestran en la Ilustración 69. El proyecto queda dividido en diferentes fases de acuerdo a cada uno de los entregables acordados mediante estos hitos. En la Ilustración 71 queda reflejado un resumen de la planificación completa del desarrollo del DCVDR.

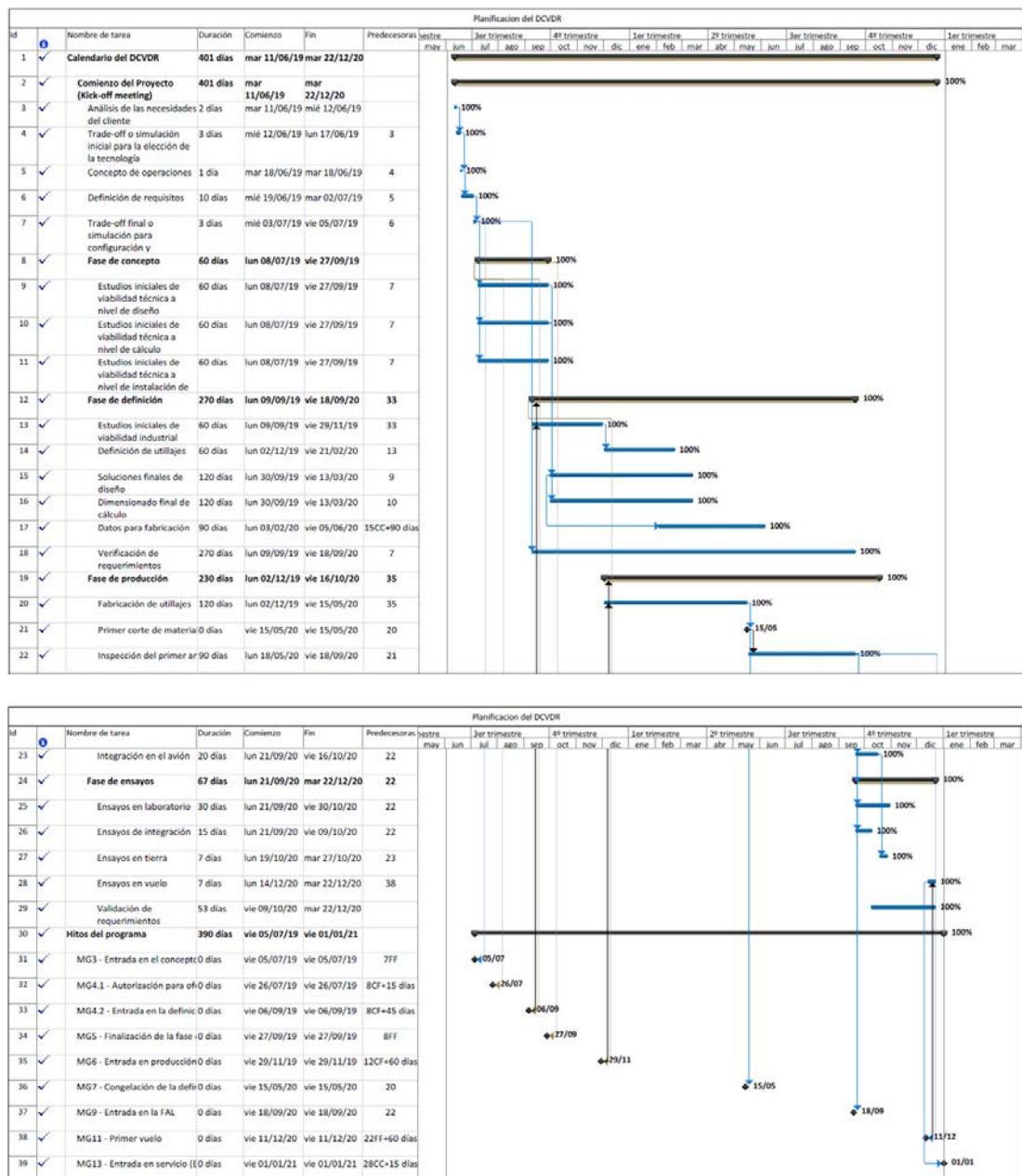


Ilustración 71. Planificación del DCVDR.

Fuente: Elaboración propia (2019)

9.5. COSTE DEL PROYECTO

Este capítulo está dedicado a presentar los costes financieros del proyecto para justificar su viabilidad industrial. Para calcular la viabilidad financiera de la instalación del DCVDR en el avión, la medida financiera más ampliamente utilizada es el retorno de la inversión ROI (Return Of Investment) sobre avión entregado. El ROI se utiliza para evaluar la eficiencia de la inversión inicial aplicando la siguiente fórmula:

$$ROI = \frac{\text{Inversión}}{\text{Beneficios}}$$

Para cuantificar la inversión necesaria, se necesita cifrar el total de los costes recurrentes (RC) o si aplica el precio recurrente (RP) y de los costes no recurrentes (NRC) o si aplica el precio no recurrente (NRP) y una vez calculados, se pasa el dato a una matriz del ROI específicamente elaborada por cada empresa para determinar si se puede lanzar el producto.

Costes no recurrentes (NRC) que incluyen cargos, gastos o pérdidas inusuales que es improbable que ocurran repetidamente durante el desarrollo de un proyecto. Si la actividad la realiza un suministrador se consideran como **NRP** ya que se ofrece un precio sin conocer tiempo ni coste horario.

- Documentos de la parte de ingeniería:
 - Diseño → Documentación de planos (Drawing Sets), TRS (Technical Repercussion Sheet), CR (Change Request), etc... → NRC
 - Cálculo → Análisis estructural, F&DT, documentos de certificación, etc... → NRC
 - Fabricación → Work-orders (órdenes de trabajo), diseño y fabricación de utilajes tanto de fabricación como de montaje, etc... → NRC
- Ensayos de certificación:
 - Ensayos funcionales → Se demuestra la funcionalidad de los equipos (DCVDR, ELT CU, ELT, sensores de eyeción y detección de colisiones, líneas del cableado del CDL y CDC) bajo ciertas condiciones recogidas en los requerimientos tal y como se menciona en el capítulo 7.2.1. Ensayos funcionales → NRP
 - Ensayos de EMI → Se realizan ensayos de campos radiados a alta intensidad en los diferentes equipos instalados a bordo del avión tal y

como se menciona en el capítulo 7.1.2.Verificación del diseño, y se desarrollan a diferentes niveles:

- ✓ Ensayos a nivel de sistema/equipo → NRP
- ✓ Ensayos a nivel avión → NRC
- Ensayos de supervivencia en caso de colisión → Se realizan ensayos a nivel de equipo para demostrar su funcionalidad en ciertas condiciones de supervivencia tal y como se menciona en el capítulo 7.2.3. Ensayo de supervivencia en caso de colisión → NRP
- Avión 0 (a/c 0) → Se reproducen todas las instalaciones de los equipos en sus posiciones reales en un banco de pruebas construido mediante estructuras primarias y se testea su funcionamiento tal y como se menciona en el capítulo 7.2.4. Avión 0 (a/c 0) → NRC
- Ensayos en tierra y en vuelo → Se realizan ensayos en avión con el DCVDR instalado y se prueba su funcionalidad tanto en tierra como en misiones de vuelo tal y como se menciona en el capítulo 7.2.5. Ensayos en tierra y en vuelo → NRC
- FAI (First Article Inspection) → Revisión funcional del primer ejemplar de S19.1 que incorporase la modificación propuesta → NRC

Costes recurrentes (RC) que incluyen costes regulares incurridos repetidamente por cada producto producido. Si la actividad la realiza un suministrador se consideran como **RP** ya que se ofrece un precio sin conocer tiempo ni coste horario.

- Elementos eliminados (piezas, estándares, etc...):
 - Precio por su compra o fabricación → RP
 - Costes de montaje o mano de obra → RC
- Elementos añadidos (piezas, estándares, etc...):
 - Precio para su compra o fabricación → RP
 - Costes de montaje o mano de obra → RC
 - Actividades de adaptación a aviones ya entregados a clientes → RC

Finalmente, el ROI se calcula como:

$$ROI = \frac{\sum(NRC + NRP)}{\sum(RC + RP)}$$

El resultante de esa operación se tiene que repartir en función de las ventas de las dos versiones que ofrece el A350XWB, el -900 y el -1000 tal y como se muestra en el capítulo 3.6. Plataforma de implementación. Se tiene en cuenta que el 60% de las ventas del A350XWB son para la versión -900 y el 40% restante son para la versión -1000.

La totalidad de estas cifras se presentan en una hoja de datos de repercusión comercial/económica para su evaluación, tal y como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Hoja de repercusiones comerciales del DCVDR

Fuente: Elaboración propia (2019) (*)

					Tiempo [h]	Coste [€/h]	Coste Total [€]
NO RECURRENTE	Ingeniería	Diseño	Drawing Sets, TRS, CR, etc...	NRC	2000	70	140000
		Investigación		NRC	600	70	42000
		Cálculo	Análisis estructural	NRC	4000	70	280000
			Documentos de certificación	NRC	500	70	35000
		Fabricación	Órdenes de trabajo	NRC	600	50	30000
			Diseño y fabricación de utilajes	NRC	900	50	45000
	Ensayos	Ensayos Funcionales de los equipos (externo)		NRP	-	-	50000
		Ensayos de EMI (externo)		NRP	-	-	30000
		Ensayos de supervivencia (externo)		NRP	-	-	70000
		a/c 0		NRC	-	-	30000
		Ensayos en tierra y vuelo		NRC	-	-	150000
		FAI		NRC	50	100	5000
							TOTAL: 907000
RECURRENTE	Elementos eliminados	Precio por su compra o fabricación (externo)	RP	-	-	-	-1000
		Costes de montaje	RC	100	50	-	-5000
	Elementos añadidos	Precio por su compra o fabricación (externo)	RP	-	-	-	12000
		Costes de montaje	RC	200	50	-	10000
		Actividades de adaptación	RC	120	50	-	6000
							TOTAL: 22000

(*) El orden de magnitud de los costes de los ensayos, maquinarias, instalaciones, montajes, fabricación, etc de este TFG es orientativo pues, por temas de confidencialidad industrial, no pueden ser mostrados.

Tal y como se observa en la Tabla 7, se debe realizar una inversión muy elevada en NRC para poder llevar a cabo el proyecto. Para calcular el retorno de la inversión inicial, calculamos cuantos aviones se deben vender para poder amortizarlo y obtenemos que se necesitan vender aproximadamente 42 aviones.

$$ROI = \frac{907000}{22000} = 41,22$$

Pero esta cifra debe ser recalculada en función de las ventas de cada versión comercial que, como se dijo anteriormente, resultaba en un 60% de ventas para la versión -900 y en un 40% de ventas para la versión -1000.

$$ROI_{-900} = 60\% * \frac{907000}{22000} = 24,73 \quad ROI_{-1000} = 40\% * \frac{907000}{22000} = 16,49$$

Por lo tanto, para amortizar la inversión de NRC, se necesita vender un total de 25 aviones de la versión -900 y 17 aviones de la versión -1000. La cifra es viable por el número de ventas que ha tenido la compañía y que se cifran en 850 unidades, tal y como se especifica en el capítulo 3.6. Plataforma de implementación.

En cualquier caso, cada compañía tiene una matriz de viabilidad económica para determinar si los proyectos son rentables en función del tiempo de amortización de la inversión y por tanto se pueden lanzar. En el caso de Airbus, se generan dos matrices, una para cada versión siendo la del -1000 algo distinta por tener una menor cadencia de producción. Por lo tanto, trasladamos las siguientes cifras económicas:

- **RAG (Red Amber Green) matrix for -900:** 25 aviones en concepto de ROI al "eje x" y 22000€ en concepto de RC savings al "eje y". Realmente, puesto que el recurrente se compone de unos elementos eliminados y otros añadidos, vemos que se ahorra un total de -6000€ y se gasta un total de 28000€ por lo que finalmente resulta en un gasto recurrente de 22000€. Por lo tanto, en el "eje y" debemos trasladar la cantidad de 0€ o -22000€ (no existe matriz)

- **RAG (Red Amber Green) matrix for -1000:** 17 aviones en concepto de ROI al "eje x" y 0€ en concepto de RC savings al "eje y" (igual que en el -900).

A continuación vemos en la Ilustración 72 como queda la matriz de decisión en función de las coordenadas introducidas:



Ilustración 72. Matrices de decisión sobre viabilidad económica.

Fuente: Elaboración propia (2019)

Donde las regiones significan lo siguiente:

- **Zona verde:** El comité de modificaciones aprueba el lanzamiento del proyecto ya que resulta viable desde el punto de vista económico.
- **Zona ámbar:** El comité de modificaciones tiene en cuenta otra serie de factores (peso, comunalidad, innovación, etc...) para tomar la decisión, ya que económicamente no resulta tan ventajosa.
- **Zona roja:** El comité de modificaciones rechaza a priori su lanzamiento, ya que no resulta económicamente viable. Si se aportan otra serie de beneficios importantes al programa se puede replantear la decisión, pero aun así es poco probable que finalmente se lance.

De los resultados obtenidos, se observa que tanto para la versión -900 como para la versión -1000 quedan en zona roja y por lo tanto no son viablemente económicos. Es lógico pues el denominador de la fórmula para el cálculo del ROI pasa de "Beneficios" a "Gastos", por tanto, resulta en un coste recurrente en cada avión que se implementa y ningún comité de modificaciones aprobaría su implantación ateniéndose únicamente a valores financieros.

Sin embargo, para este proyecto específico, el "driver" o racional del cambio no sólo se atiene a cuestiones financieras, sino que se deben tener en cuenta factores tan importantes como la seguridad aérea o las reglamentaciones aeronáuticas. Se hace

necesario entonces encontrar justificaciones adicionales para su viabilidad. Algunos de los factores no económicos más importantes a tener en cuenta son los siguientes:

- **Comunalidad:** Gracias al análisis estructural y de compatibilidad con los sistemas actuales en ambas versiones -900 y -1000 a lo largo de este TFG se determina que la modificación en cualquiera de las dos versiones del avión es viable.
- **Innovación:** Otra consideración a tener en cuenta es el carácter innovador de la integración de una caja negra eyectable por primera vez en un avión comercial, por lo que se considera un avance tecnológico que pueda diferenciar el producto de la competencia.
- **Peso:** El peso en aeronáutica siempre es un factor a tener en cuenta pues a menos peso, menos consumo de combustible y mayor rentabilidad para la aerolínea. En el caso del TFG ya se hacen análisis preliminares en cada uno de las simulaciones o trade-off. En cualquier caso, no es un factor determinante para decidir su viabilidad sino algo a tener en cuenta.
- **Compatibilidad:** Una cualidad muy a tener en cuenta para la implantación de la caja negra eyectable es que pueda ser fácilmente instalada tanto en los aviones aun en fabricación como en los ya entregados a clientes para su modificación.

9.6. GESTIÓN DE RIESGOS

La gestión de riesgos es la identificación, evaluación y priorización de un evento o condición indeseable que, en caso de producirse, tendría un efecto negativo en la consecución parcial o total del alcance de proyecto en tiempo, coste o calidad. El objetivo de la gestión de riesgos es asegurar que la incertidumbre no se desvíe de los hitos acordados por el programa y mitigar posibles problemas con acciones que puedan recuperar el cronograma inicial.

9.6.1. Identificación de riesgos y su mitigación

En la siguiente Tabla 8 se resumen los principales riesgos identificados para la implementación del DCVDR, así como la probabilidad de ocurrencia, su impacto y las medidas mitigación.

Tabla 8. Gestión de riesgos y acciones de mitigación.

Fuente: Elaboración propia (2019)

Riesgo		Probabilidad	Impacto	Acción de mitigación
A	Instalación real no conforme a la DMU	Moderada	Insignificante	Realizar revisiones mensuales de DMU y revisiones de Análisis de Seguridad Zonal (ZSA).
B	Tolerancias de los Gaps/Steps fuera de la TDD	Moderada	Menor	La relajación de los requisitos de la TDD debe tenerse en cuenta en los análisis de causa raíz y en el proceso de instalación.
C	Calificación y certificación del DCVDR (Impactos, golpes, fuego,...)	Moderada	Mayor	Asegurar las restricciones de los ensayos durante las fases iniciales del programa junto con los responsables de la certificación.
D	La instalación del sistema DCVDR no cumple con las interfaces	Probable	Moderado	Congelar los acuerdos a nivel interfaz y frontera en las primeras etapas del proyecto y revisión de las tolerancias durante el proceso de diseño.
E	Malfuncionamiento del RRU (no eyeccción)	Improbable	Catastrófico	Durante la fase de ensayos y antes de realizar los ensayos en tierra/vuelo en el avión, lanzar prototipos de eyeción del RRU.

9.6.2. Matriz de criticidad de los riesgos

A continuación, se presenta y clasifican los riesgos del proyecto del DCVDR en función de su probabilidad de ocurrencia y en función del impacto en los diferentes hitos. Para ello, se utiliza una matriz de categorización de riesgos, como se muestra en la Ilustración 73.

- El área verde en la matriz representa un riesgo bajo y medio.
- El área amarilla en la matriz representa un riesgo alto.
- El área roja de la matriz representa un riesgo extremo.

		CRITICIDAD DE OCURRENCIA				
		Insignificante <i>El riesgo es fácilmente mitigado por el proceso normal del día a día.</i>	Menor <i>Retrasos de hasta el 10% de la programación. Costes adicionales de hasta el 10% del presupuesto.</i>	Moderada <i>Retrasos de hasta el 30% de la programación. Costes adicionales de hasta el 30% del presupuesto.</i>	Mayor <i>Retrasos de hasta el 50% de la programación. Costes adicionales de hasta el 50% del presupuesto.</i>	Catastrófica <i>Abandono del proyecto.</i>
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	Segura ≥90%	Alto	Alto (B)	Extremo	Extremo	Extremo
	Probable 50%-90%	Moderado	Alto	Alto (D)	Extremo	Extremo
	Moderada 10%-50%	Bajo (A)	Moderado	Alto	Extremo (C)	Extremo
	Improbable 3%-10%	Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Extremo (E)
	Rara <3%	Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Alto

Ilustración 73. Matriz de categorización de riesgos.

Fuente: Elaboración propia (2019)

10. CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

10.1. CONCLUSIONES

Durante este proyecto se han seguido los procesos de INCOSE, especialmente el modelo de validación y verificación (V&V). Este modelo recopila los requisitos extraídos directamente de las necesidades de los usuarios/clientes y los lleva en cascada desde el nivel superior de la aeronave hasta el nivel inferior del equipo. Las soluciones de diseño se plantean y desarrollan en función de todos los niveles de exigencia, asegurando una solución que satisface las necesidades de los clientes. A continuación, se describen los pasos para el desarrollo del proyecto siguiendo un orden lógico en V de arriba a abajo y de izquierda a derecha tal y como se muestra en la Ilustración 19.

- Trade-off o simulación para la elección de la tecnología.
- Concepto de operaciones.
- Cascada de requisitos de nivel superior de la aeronave y del sistema con actividades de validación.
- Trade-off o simulación de configuración de un DCVDR adicional.
- Concepto de diseño con actividades de verificación frente a los requisitos.
- Trade-off o simulación de la ubicación del DCVDR dentro del avión.
- Diseño a nivel de equipo con actividades de verificación frente a los requisitos.
- Diseño del producto final con actividades de verificación frente a los requisitos.
- Actividades de integración y verificación de sistemas con respecto a los requisitos a nivel de equipo/sistema.
- Validación final del producto frente a las necesidades iniciales del cliente.
- Gestión de proyectos incluyendo la planificación, los recursos, el coste y la gestión de riesgos.

Gracias a esta metodología paso a paso, cada solución puede ser analizada desde los aspectos más técnicos hasta la repercusión comercial y financiera y puede ser contrastada en todo momento con las necesidades de los clientes gracias al proceso de verificación. En caso de que la solución no cumpla con las necesidades de todos los actores implicados, se descarta automáticamente evitando gastos innecesarios en tiempo, coste y recursos.

Durante el desarrollo de este proyecto, la necesidad inicial del cliente es recuperar la información de los datos de vuelo después de cualquier accidente, pero esto no siempre se cumple (accidentes en los que las cajas negras quedan muy dañadas o incluso totalmente destruidas o accidentes donde la ubicación en aguas profundas hace que la recuperación sea muy difícil o incluso imposible y a veces a un coste inasumible).

Como conclusión de este proyecto, se encuentra una solución para cubrir esta necesidad y el proceso INCOSE demuestra que el producto final cumple con las expectativas iniciales.

El concepto de diseño final es un registrador o caja negra eyectable y flotante (en combinación con al menos un registrador fijo o caja negra clásica ya instalada en otro sitio dentro del avión) que es la solución óptima para ser instalada en un Airbus A350XWB. Esto permite una rápida localización y una recuperación económica de los grabadores de datos y voz. La caja negra integra un registrador de datos de vuelo, un registrador de voz de cabina y una radiobaliza de emergencia en una sola unidad eyectable y se auto-expulsa de la aeronave cuando ocurre un evento de accidente gracias a sensores que detectan situaciones de colisión y activan el comando de eyeccción. Gracias a la radiobaliza de emergencia integrada, las unidades de búsqueda y rescate son alertadas inmediatamente y se proporciona la información de la ubicación del accidente para permitir un rápido rescate de los supervivientes.

10.2. FUTUROS TRABAJOS

Uno de los aspectos más interesantes de este proyecto es la versatilidad de instalación de una caja negra eyectable en un avión aún no construido y en un avión ya entregado, este último mediante boletines de servicio y ciertos trabajos adicionales de adaptación.

Además, una de las aplicaciones más directas consiste en instalar la caja negra eyectable en otras aeronaves además del Airbus A350XWB o incluso en otros medios de transporte como ferrocarriles, barcos o incluso naves espaciales. Para conseguir este nuevo objetivo, tendría que lanzarse un proceso de integración de sistemas basado en una V&V que tuviera en cuenta las limitaciones y requerimientos específicos del vehículo implicado en el proceso de integración.

11. BIBLIOGRAFÍA

INFORMACIÓN GENERAL SOBRE GRABADORES DE VUELO

- [1.] Star Navigation Systems Group Ltd., "A Brighter Future for the Black Box", Equities.com, 14-ene-2015.
Recuperado de:
<https://www.equities.com/news/a-brighter-future-for-the-black-box>
- [2.] NGC Europe Limited, "What is a black box?", National Geographic, 2017.
Recuperado de:
<http://natgeotv.com/int/air-crash-investigation/black-box>
- [3.] Jerry Adler, "Ban the Black Box: We Have Better Ways to Capture Plane Crash Data", Publicado en revista Wired Magazine UK Ed. Agosto 2011, 28-jul-2011.
Recuperado de:
https://www.wired.com/2011/06/ff_blackboxes/
- [4.] BBC News, "Black box: Key to investigations", BBC News, 26-jul-2000.
Recuperado de:
<http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/503000.stm>
- [5.] Aviation Sri Lanka, "Black box", Tripod.com.
Recuperado de:
http://atcsl.tripod.com/black_box.htm
- [6.] Ken Fraser, "Black box", From Black Box to Black Hawk, 2008.
Recuperado de:
<http://www.kenblackbox.com/blackbox.htm>
- [7.] SKYbrary Aviation Safety, "Flight Data Recorder (FDR)", Skybrary, 13-dic-2017.
Recuperado de:
[https://www.skybrary.aero/index.php/Flight_Data_Recorder_\(FDR\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Flight_Data_Recorder_(FDR))
- [8.] SKYbrary Aviation Safety, "Cockpit Voice Recorder (CVR)", Skybrary, 14-feb-2019.
Recuperado de:
[https://www.skybrary.aero/index.php/Cockpit_Voice_Recorder_\(CVR\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Cockpit_Voice_Recorder_(CVR))
- [9.] Kevin Bonsor and Nathan Chandler, "How Black Boxes Work", HowStuffWorks, 13-jun-2001.
Recuperado de:
<https://science.howstuffworks.com/transport/flight/modern/black-box.htm>
- [10.] Delphine Touitou, "In The Future, Airbus Black Boxes Will Float", Business Insider FRANCE, 13-ene-2015.
Recuperado de:
<https://www.businessinsider.fr/us/afp-airbus-to-equip-long-haul-jets-with-floatable-black-boxes-2015-1>

[11.] Marisa García, "*In The Near Future, We Won't Have To Hunt For Black Boxes To Know What Happened To Missing Planes*", Business Insider FRANCE, 11-mar-2014.

Recuperado de:

<https://www.businessinsider.fr/us/future-of-black-boxes-2014-3>

[12.] Jerry Adler, "*The future of the black box flight recorder explored*" , Publicado en revista Wired Magazine UK Ed. Julio 2011, 26-jul-2011.

Recuperado de:

<https://www.wired.co.uk/article/black-box-recorder>

CITAS DE LA MEMORIA

[13.] John Mettrop and Gerlof Osinga, "*32nd Meeting of Working Group F of the Frequency Spectrum Management Panel (FSMP) (formerly of the Aeronautical Communications Panel)*", Working Paper ICAO, Cairo (Egipto), feb-2015.

Recuperado de:

http://www.icao.int/safety/acp/ACPWGF/FSMP-WG-F-32/FSMP-WGF32-WP13_global%20flight%20tracking.doc

INFORMES TÉCNICOS DE LAS AUTORIDADES DE AERONAVEGACIÓN

[14.] BEA (Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile), "*Flight Data Recorder Read-Out Technical and Regulatory Aspects*", may-2005.

[15.] BEA (Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile), "*Flight Data Recovery Working Group Report*", may-2005.

[16.] EUROCAE (EUROpean Organization for Civil Aviation Equipment), "*EUROCAE Working group 50. Meeting agenda and minutes*", feb-1999.

[17.] ICAO (International Civil Aviation Organization), "*ICAO Flight RECorder Panel (FLIRECP) second meeting reports on agenda items*", nov-1998.

[18.] ICAO (International Civil Aviation Organization), "*ICAO multidisciplinary meeting of flight transmission data*", may-2014.

[19.] P. Robert Austin, "*The Use Of Deployable Flight Recorders in Dual Combi Recorder Installations*".

Recuperado de:

http://www.iasa.com.au/folders/Publications/pdf_library/austin.pdf

FUENTES DE LAS ILUSTRACIONES

[20.] John Faulkner, "*The black box: an Australian invention that nearly didn't happen*", The Conversation, 10-abr-2014.

Ilustraciones 1 y 2. Recuperado de:

<https://theconversation.com/the-black-box-an-australian-invention-that-nearly-didnt-happen-25435>

- [21.] Jeremy Sear, "Sectioned "Red Egg" flight recorder", Honours thesis, University of Melbourne (Australia), MAAS Museum (Museum of Applied Arts & Sciences), 2001.
Ilustración 3. Recuperado de:
<https://collection.maas.museum/object/126824>
- [22.] Melody Oei, "How The Black Box Works And Why It's In Need Of New Technology", Says.com, 10-mar-2014.
Ilustración 4. Recuperado de:
<https://says.com/my/lifestyle/facts-and-information-about-black-boxes-or-fdr>
- [23.] AIR-HOSTESS.NET, "Las Cajas Negras de los aviones NO son negras", AIR-HOSTESS, 30-may-2019.
Ilustración 5. Recuperado de:
<http://air-hostess.net/cursos-tcp-de-auxiliar-de-vuelo/las-cajas-negras-de-los-aviones-no-son-negras/gmx-niv71-con1916.htm>
- [24.] TI-KMS en www.A21.com.mx, "La Caja Negra de los Aviones", Eflyacademy.com, 13-jul-2018.
Ilustración 6. Recuperado de:
<https://www.eflyacademy.com/channel/la-caja-negra-de-los-aviones>
- [25.] Lito Sousa, "Boeing 777 da Malaysia desaparecido", Aviões e Músicas, L-3 Communication Aviation Recorders, 07-mar-2014.
Ilustración 7. Recuperado de:
<http://www.avioesemusicas.com/boeing-777-da-malaysia-desaparecido-post-sera-atualizado-mh370.html>
- [26.] Wikipedia, la enciclopedia libre, "Flight Recorders", Wikipedia, 08-may-2019.
Ilustración 8. Recuperado de:
https://en.wikipedia.org/wiki/Flight_recorder
- [27.] Pascal ANDREI, Uwe BARTELS and Volkmar NEEB, "Flight Data Recovery. Time for evolutions", Airbus Technical Magazine FAST48, ago-2011.
Ilustraciones 9 y 10. Recuperado de:
<https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/fast/FAST48.pdf>
- [28.] Kevin Bonsor, "How Aircraft Accident Data Recording Black Boxes Work", Iasa.com, 30-may-2019.
Ilustración 11. Recuperado de:
http://www.iasa.com.au/folders/Safety_Issues/dfdr-cvr/howblackboxworks.html
- [29.] Francisco J. Lastra, "Cajas negras: ¿cómo son y por qué las seguimos usando?", El Definido, 30-mar-2015.
Ilustración 11. Recuperado de:
<https://www.eldefinido.cl/actualidad/mundo/4935/Cajas-negras-como-son-y-por-que-las-seguimos-usando/>

[30.] Robert Wessel, "Why does everything get destroyed in a plane crash except for the black box?", Quora, 21-mar-2019.

Ilustración 11. Recuperado de:

<https://www.quora.com/Why-does-everything-get-destroyed-in-a-plane-crash-except-for-the-black-box>

[31.] ATSB, "Australian Transport Safety Bureau (ATSB) - Annual Report 2012-13", ATSB.gob.au, 2013.

Ilustración 11. Recuperado de:

https://www.atsb.gov.au/reports/AnnualReport_2012-13/3_fostering_safety_awareness_knowledge_and_action.html

[32.] Agencia Reuters Moscú, "Flight recorders "badly damaged"", Thedailystar, 21-mar-2016.

Ilustración 11. Recuperado de:

<https://www.thedailystar.net/world/flight-recorders-badly-damaged-1197217>

[33.] Anthony Brianx, "Cajas negras de los aviones, lo que debes saber!", Taringa.net, 16-ene-2017.

Ilustración 11. Recuperado de:

https://www.taringa.net/+info/cajas-negras-de-los-aviones-lo-que-debes-saber_tq734

[34.] Mónica Correa, "Los dos raros hallazgos de los científicos que buscaban el avión MH370 de Malaysia Airlines", Bioguia, 14-may-2018.

Ilustración 14. Recuperado de:

https://www.bioguia.com/entretenimiento/los-dos-raros-hallazgos-de-los-cientificos-que-buscaban-el-avion-mh370-de-malaysia-airlines_29603102.html

[35.] Associated Press, "¿Por qué se cayó el avión de Air Asia?", Aldíadallas, 01-dic-2015.

Ilustración 15. Recuperado de:

<http://www.aldiadallas.com/2015/12/01/por-que-se-cayo-el-avion-de-air-asia/>

[36.] Perú.com, "AirAsia: Caja negra recuperada del avión siniestrado en Indonesia", Perú.com, 12-ene-2015.

Ilustración 16. Recuperado de:

<https://peru.com/actualidad/internacionales/airasia-caja-negra-recuperada-avion-caido-indonesia-noticia-316270>

[37.] Airbus, "El Airbus A350-900 recibe la certificación tipo EASA", Newsroom, sep-2014.

Ilustración 17. Recuperado de:

<https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/es/2014/09/airbus-a350-900-receives-easa-type-certification.html>

[38.] Wikipedia, la enciclopedia libre, "Airbus A350", Wikipedia, 23-may-2019.

Ilustración 18. Recuperado de:

https://es.wikipedia.org/wiki/Airbus_A350

- [39.] Knowledge Valley - Innovation Through Technology, "Ingeniería de Sistemas o Requisitos", Knowledge Valley, 23-may-2019.
Ilustraciones 19, 27, 63, 64, 65, 66 y 67. Recuperado de:
<http://www.knowledgevalley.com/IngenieriaSistemas.aspx>
- [40.] Thermodyne, "The Uses of Microporous Insulation in Data Recorder Environments", Copybook, 30-may-2019.
Ilustración 21. Recuperado de:
<https://www.copybook.com/companies/thermodyne/articles/the-uses-of-microporous-insulation-in-data-recorder-environments>
- [41.] Cambodia Military Science, "Black Box for Aircraft", Royalcambodiaarmy, 01-ene-2015.
Ilustración 25. Recuperado de:
<https://royalcambodiaarmy.blogspot.com/2015/01/black-box-for-aircraft.html?m=1>
- [42.] Gables Engineering, "B737 ELT", Gableseng.com, 30-may-2019.
Ilustraciones 20 y 49. Recuperado de:
<https://www.gableseng.com/gei/product/elt/>
- [43.] Inertia Switch INC, "Acceleration Switches", www.inertiaswitch.com, 2019.
Ilustración 51. Recuperado de:
<http://www.inertiaswitch.com/Products/Acceleration-Switches-1/>
- [44.] A350XWB News, "The tail-skid ready in the MSN1 for starting VMU tests in coming days", bloga350.blogspot.com, 16-ago-2013.
Ilustraciones 55, 56, 57, 58, 59, 60 y 62. Recuperado de:
<http://bloga350.blogspot.com/2013/08/the-tail-skid-ready-in-msn1-for-start.html>
- [45.] Luis Calvo, "Cono A3501", Flynews, 16-dic-2011.
Ilustración 55. Recuperado de:
<http://fly-news.es/industria/airbus-espana-envia-a-hamburgo-la-primera-seccion-19-del-airbus-a350-xwb/attachment/conoa3501/>
- [46.] José Manuel G., "A350 VMU test: Determinando la velocidad mínima de despegue del A350", Sandglass Patrol (el blog), 27-ene-2014.
Ilustración 56. Recuperado de:
<http://blog.sandglasspatrol.com/index.php/blog/39-comercial/1276-a350-vmu-test-determinando-la-velocidad-minima-de-despegue-del-a350>
- [47.] P. Pigeyre, "El Airbus A350 XBW finaliza su gira mundial de pruebas de ruta", Airbus Newsroom, 2014.
Ilustraciones 57 y 58. Recuperado de:
<https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/es/2014/08/airbus-a350-xwb-completes-its-route-proving-world-tour.html>
- [48.] M.E. Gudiel et al., "Fase de Fatiga & Tolerancia al Daño del Full Component Test del A350XWB Sección 19.1", AEMAC, Materiales Compuestos, v.2, n.4, p.114-119, ISBN 2531-0739, oct-2018.
Ilustración 59. Recuperado de:
<https://revista.aemac.org/materiales-compuestos/article/view/179>

[49.] H. Goussé, "A350 XBW vertical tail plane gets its livery", Airbus Newsroom, oct-2012.

Ilustraciones 60 y 62. Recuperado de:

<https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2012/10/a350-xwb-vertical-tail-plane-gets-its-livery.html>

[50.] Flight International, "The A350's centre of reference has moved forwards the A350-1000", Twitter @A350Blog, 11-ago-2015.

Ilustración 60. Recuperado de:

<http://bloga350.blogspot.com/2015/08/the-a350s-centre-of-reference-has-moved.html>

[51.] Airbus, "Taking flight with the Airbus "Iron Bird"", Newsroom, 16-may-2017.

Ilustración 68. Recuperado de:

<https://www.airbus.com/newsroom/news/en/2017/05/taking-flight-with-the-airbus-iron-bird.html>

FUENTES DE LAS TABLAS

[52.] Charles H. Kepner and Benjamin B. Tregoe, "Kepner-Tregoe Methodology". Skorkovsky Deartment of business economy, 1960.

Tablas 1, 2 y 5. Recuperado de:

http://mathscinotes.com/wp-content/uploads/2016/03/Kepner-Tregoe_Methodology_version_2_20130307.pdf

PATENTES

[53.] A. Kaufmann, B. Vandenheuel and M. Wozley, "Deployable flight recorder", Patente US20140277923A1, 18-sep-2014.

Ilustración 48. Recuperado de:

<https://patents.google.com/patent/US20140277923A1/en>

[54.] R. Provancher, "Impact responsive switch with frangible element holding contact plunger in unactivated position", Patente US3794794A, 26-feb-1974.

Ilustración 54. Recuperado de:

<https://patents.google.com/patent/US3794794>

Relación de documentos

(X) Memoria	130	páginas
(_) Anexos	74	páginas

La Almunia, a 25 de junio de 2019

Firmado: David López Fernández



**Escuela Universitaria
Politécnica - La Almunia**
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

Nº TFG:
425.19.16

Directora:

Fdo:
Marian Peligero
Domeque

Título TFG:

**Viabilidad para la instalación de una caja
negra eyectable**

Autor:

David López Fernández

25 de junio de 2019



**Escuela Universitaria
Politécnica - La Almunia**
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

Nº TFG:
425.19.16

Directora:

Fdo:
Marian Peligero
Domeque

Título TFG:

**Viabilidad para la instalación de una caja
negra eyectable**

Autor:

David López Fernández

25 de junio de 2019

Etiquetas para CD/DVD



**Escuela Universitaria
Politécnica - La Almunia**
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

**Viabilidad para la instalación de una caja
negra eyectable**

Deployable Flight Data Recorder

425.19.16

Autor: David López Fernández

Directora: Marian Peligero Domeque

Fecha: 25 de junio de 2019