

Diseño de un centro de mando y control terrestre para UAVS utilizando técnicas AMFE

Design of a terrestrial command center for control of UAVS using FMEA techniques

Lidia-Esther Trejo-Medina, José-María Cabrera-Peña, Ricardo Aguasca-Colomo y Blas Galván-González
 Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8413>

INTRODUCCIÓN

El Centro de Mando y Control de Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV) puede ser definido como un sistema que está constituido por un conjunto de componentes que permite el control y la monitorización de éstos sin visión directa [1], [2].

Este trabajo, tiene como objeto el diseño a nivel funcional, utilizando técnicas de cálculo de *análisis modal de fallos y efectos* (AMFE), de un Centro de Mando y Control remoto del Vehículos Aéreos No

Tripulados. Se expondrá una metodología para realizar la mejora de su fiabilidad. La función principal del *Centro de Mando y Control* (CMC) es la de servir de interfaz entre el Centro Control de vuelo Local (CCL) desplazado y como herramienta de gestión de las misiones designadas [2]. Para ello se ha realizado un análisis en AMFE [2], [5] del Centro de Mando y Control, basado en la mejora de las estaciones terrestres ya existentes para los UAS (*Unmanned Aerial System*). El desarrollo se integra en un sistema de gestión de emergencias, con un alto grado de exigencia en el que no haya pérdidas de información y que, además, pueda ser en tiempo real, si las condiciones lo permiten.

En las referencias [8], [9], [10] se introduce el concepto y la utilidad del centro de mando y control, se definen los elementos de un UAV (*Unmanned Aerial*

Vehicle) y de un UAS, así como el mercado, la normativa y requerimientos básicos para poder manejar un UAV. Finalmente, se realizará una descripción de las distintas estaciones de tierra y dentro de qué categoría estaría el centro de mando y control diseñado.

1. ELEMENTOS DE UN SISTEMA ESTÁNDAR DE ESTACIÓN DE TIERRA

El CMC dispondrá de una tipología similar a las GCS (*Ground Control Station*). Contendrá un número adecuado de subsistemas requeridos para lograr su funcionamiento general. Esto dependerá del alcance y tipo de misiones previstas y las características de los UAV(s) que operará. En general, los subsistemas serán los siguientes [1], [2].

- **SUBSISTEMA DE CONTROL DE VUELO DE UAV:** El control de vuelo puede ser realizado de manera automática o en tiempo real de manera manual. Para el primer caso, es posible encontrar comandos para realizar *hover* (flotar) sobre un punto seleccionado, ascender a una determinada altitud, etc. En todos los casos será conveniente la muestra de los datos gráficamente a través de una GUI (*Graphic User Interface* o Interfaz Gráfica de Usuario).
- **SUBSISTEMA DE PAYLOAD:** Reconoce y ajusta el *payload* (carga de pago) instalado en el UAV, además de controlarlo. Incluye también displays para visualizar los datos recibidos y el estado de los payloads instalados.
- **SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES:** Sistema responsable del transporte de datos, imágenes, órdenes, telemetría y demás variables que intervienen en el desarrollo de las misiones. En el caso de estaciones de tierra remotas o de tipo distribuidas, cobran una mayor importancia.

2. CLASIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES TERRENAS

Las estaciones de control de UAVs actuales pueden ser terrestres (GCS), marítimas (SCS, *Ship Control Station*) o aéreas

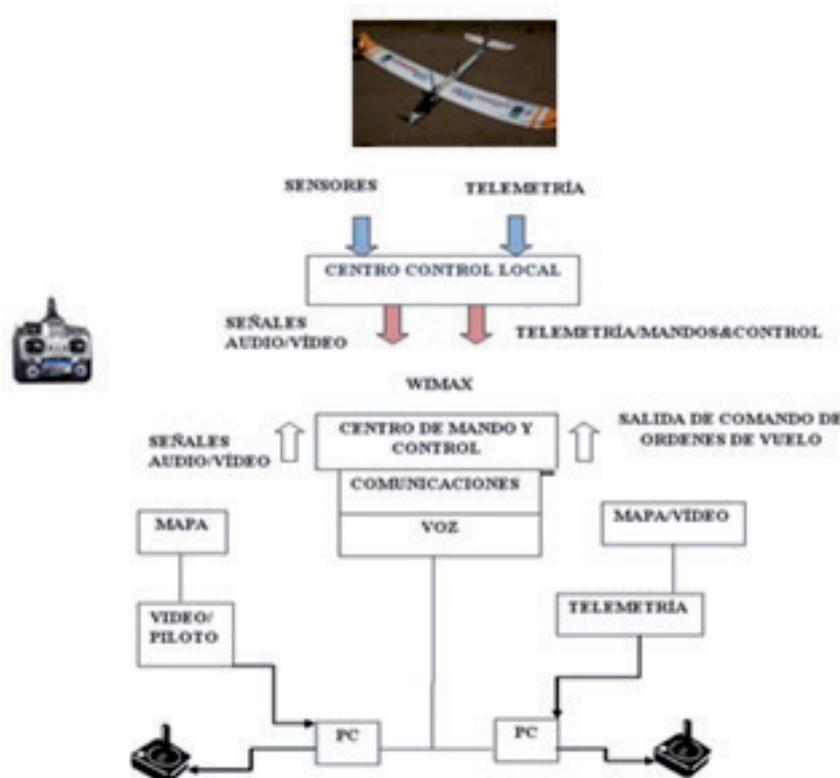


Figura 1: Centro de Mando y Control básico (CMC) y Centro de Control Local (CCL)

(ACS, Airbone Control Station).

Dentro de las terrestres y dependiendo del tipo de UAV que se quiera manejar y su alcance, se tienen distintos tipos de estaciones [8]:

- Las portables para tipo micro y mini UAV que se encuentran dentro de la clase 0 que llegarán hasta los 10 km.
- Las desplegables para las plataformas tácticas, clase 1, que abarcan desde 10 a 200 km.
- Para sistemas más grandes de clase 2 y 3 en los que los sistemas de tierra son distribuidos y se pueden controlar en BLOS (*Beyond Line of Sight*).

El centro de mando y control diseñado está englobado dentro de los sistemas de tierra distribuidos, permitiendo el envío de mandos de control al UAV en modo BLOS (*Beyond Line of Sight*) o NLOS (*Non Line of Sight*) vía WIMAX o vía satélite y recibe datos y vídeo desde un Centro de Control Local desplazado que, a su vez, puede controlar en modo LOS (*Line of Sight*) el UAV.

La novedad en la propuesta de diseño de este Centro de Mando y Control, es que no sólo será viable para el control de plataformas de clase 1 y/o 2 sino que también

se va a utilizar para controlar plataformas de clase 0, es decir micro y mini UAV. En la actualidad es viable técnicamente, aunque todavía no está normalizado su uso. No obstante, sí está estandarizado en el grupo WG73 de la norma EUROCAE y se va a terminar de estandarizar en el grupo WG93 dentro también de EUROCAE [3], [4].

3. MÉTODOS UTILIZADOS EN LA INGENIERÍA DE CONFIABILIDAD

3.1. ANÁLISIS AMFE

El AMFE [2], [5] o Análisis Modal de Fallos y Efectos es un método dirigido a lograr el Aseguramiento de la Calidad que, mediante el análisis sistemático, contribuye a identificar y prevenir los modos de fallo, tanto de un producto como de un proceso, evaluando su gravedad, ocurrencia y detección. Como resultado se calculará el Número de Prioridad de Riesgo (NPR), para clasificar las causas, sobre las cuales habrá que actuar con el fin de evitar que se presenten dichos modos de fallo.

3.2. DIAGRAMAS DE ISHIKAWA

El *diagrama de Ishikawa* [6] fue concebido por el ingeniero químico japonés

Dr. **Kaoru Ishikawa** en el año 1943. Para cumplimentar una tabla AMFE, debemos realizar un diagrama de árbol de función (diagrama de Ishikawa), en el cual se especifican las distintas operaciones que debe realizar la unidad o el componente, y de qué modo se va a cumplir dicha función, hasta que llegemos a un nivel en el cual el grado de realización de ésta sea medible. Constituye un método gráfico usado para efectuar un diagnóstico de las posibles causas que provocan ciertos efectos, los cuales pueden ser controlables; por su sencillez es de muy útil su aplicación en los análisis AMFE.

4. PROCESO DE DISEÑO PARA LA MEJORA DE LA FIABILIDAD DE UN CMC

FUNCIONES

Una descripción inicial de las funciones que debe realizar el sistema, permitirá posteriormente identificar los Modos de Fallo posibles mediante el análisis AMFE. El sistema completo consta de dos centros de control que interactúan: el CMC y el CCL. El Centro de Mando y Control (CMC) es el sistema donde se coordina la misión

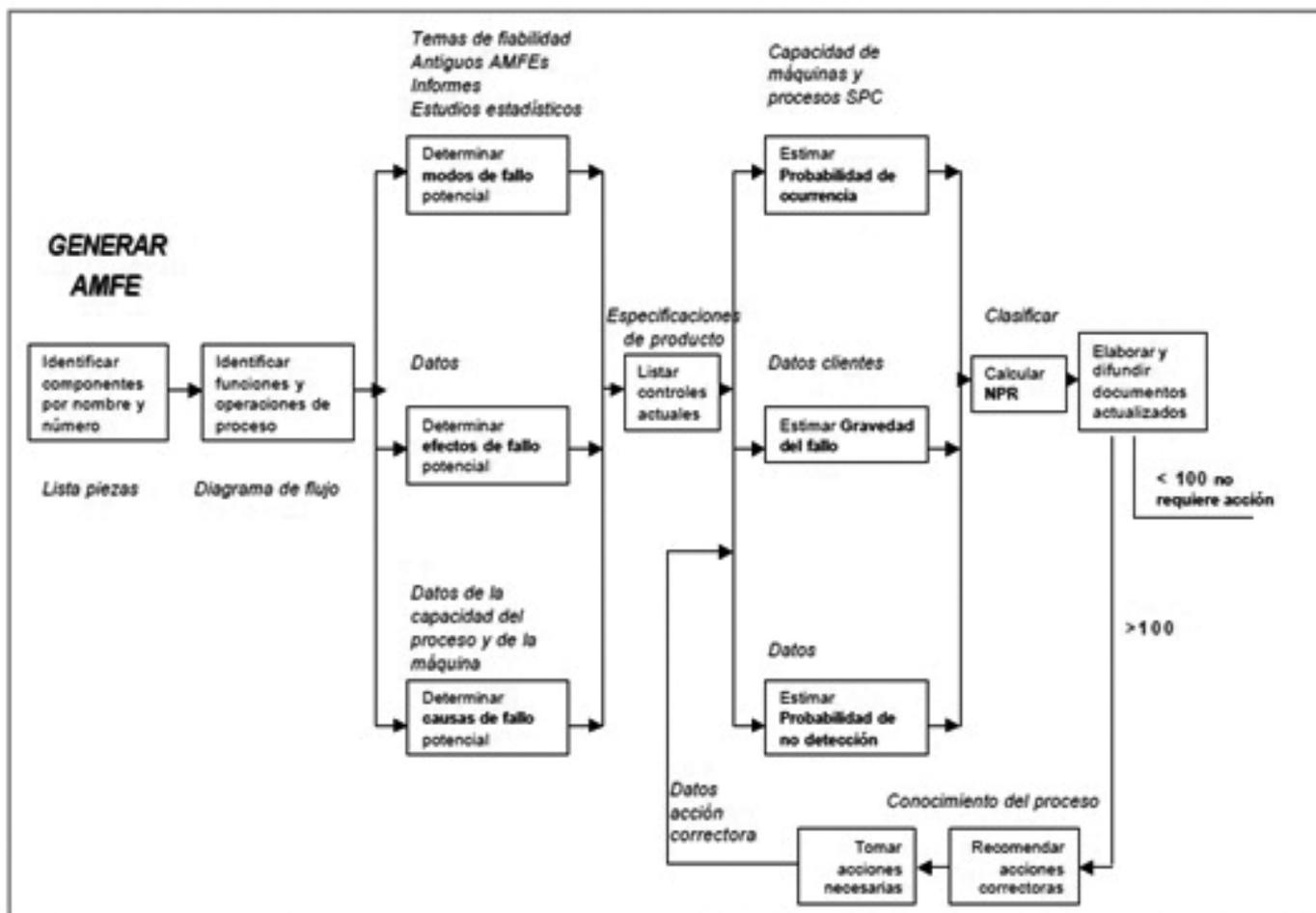


Figura 2: Esquema general del AMFE

Función	Modo de fallo	Efecto potencial de fallo	Gr	Clas	Causa	Oc	Control	Det	NPR
Recepción/ Transmisión datos/ video del switch a las WKSs y servidor y viceversa	No se reciben datos/video	No se visualiza ni se almacena información datos/ video en WKSs y servidor	6	YS	Alguno de los CPEs del CMC no tiene alimentación	8	Accionar alarma del CPE del CMC. Mantenimiento Semanal (P). Cambio del CPE del CMC.	3	14
Acciones recomendadas	Responsable. Fecha	Resultado/acciones adoptadas	Gr	Oc	Det	NPR			
Propuesta Repuesto CPE del CMC y UPS	---	- Accionar alarma del CPE del CMC. - Mantenimiento Semanal (P). - Sigue funcionando el CPE redundante. - Uso UPS.	3	8	3	72			

Tabla 1: AMFE de los CMC y CMC mejorado

en curso del o los UAV, con los servicios auxiliares [2]. Es una estación de tierra remota, NLOS (*Non Line of Sight*), englobada en la tipología de sistema distribuido, desde donde se podrán monitorizar y coordinar las misiones para uno o más drones o UAVs ubicados cerca de otra estación de control local (CCL), que tendrá visión directa LOS (*Line of Sight*) sobre éstos. Además, se podrán realizar modificaciones de las rutas a través de waypoints así como pilotar remotamente los UAVs si así es requerido. Este CMC está diseñado para ser viable no sólo para el control de plataformas de clase 1 y/o 2 sino que también se puede utilizar para controlar plataformas de clase 0, es decir micro y mini UAV [8].

AMFE DEL CMC

Se ha realizado un diseño del CMC teniendo en cuenta la criticidad de las diferentes funciones en una estación de tierra estándar, así como las mejoras a introducir. Partiendo de los equipos que forman parte del CMC (Fig. 3), se ha realizado un análisis posterior de las funciones principales de operación y, a partir de dicho análisis, se han desarrollado los diagramas de Ishikawa que han permitido tener una relación de las distintas causas de los Modos de Fallos, para finalmente realizar una descripción en las tablas AMFE. Éstas han permitido estudiar las posibles soluciones para los distintos Modos de Fallo y, en consecuencia, disminuir el nivel de prioridad de riesgo NPR,

que puede ser más elevado en una estación de tierra convencional diseñada sin este procedimiento. Un ejemplo de este cálculo se puede observar en la Tabla 1.

5. ESQUEMA PUNTOS CRÍTICOS DE UNA ESTACIÓN DE TIERRA CONVENCIONAL

Una vez realizado el AMFE, se ha obtenido un esquema con los puntos críticos más relevantes del sistema en función de los niveles de NPR ordenados por niveles (Fig. 3).

Este esquema nos permite identificar de forma visual aquellos equipos más vulnerables o "cuellos de botella", a los que hay que prestar mayor atención para su

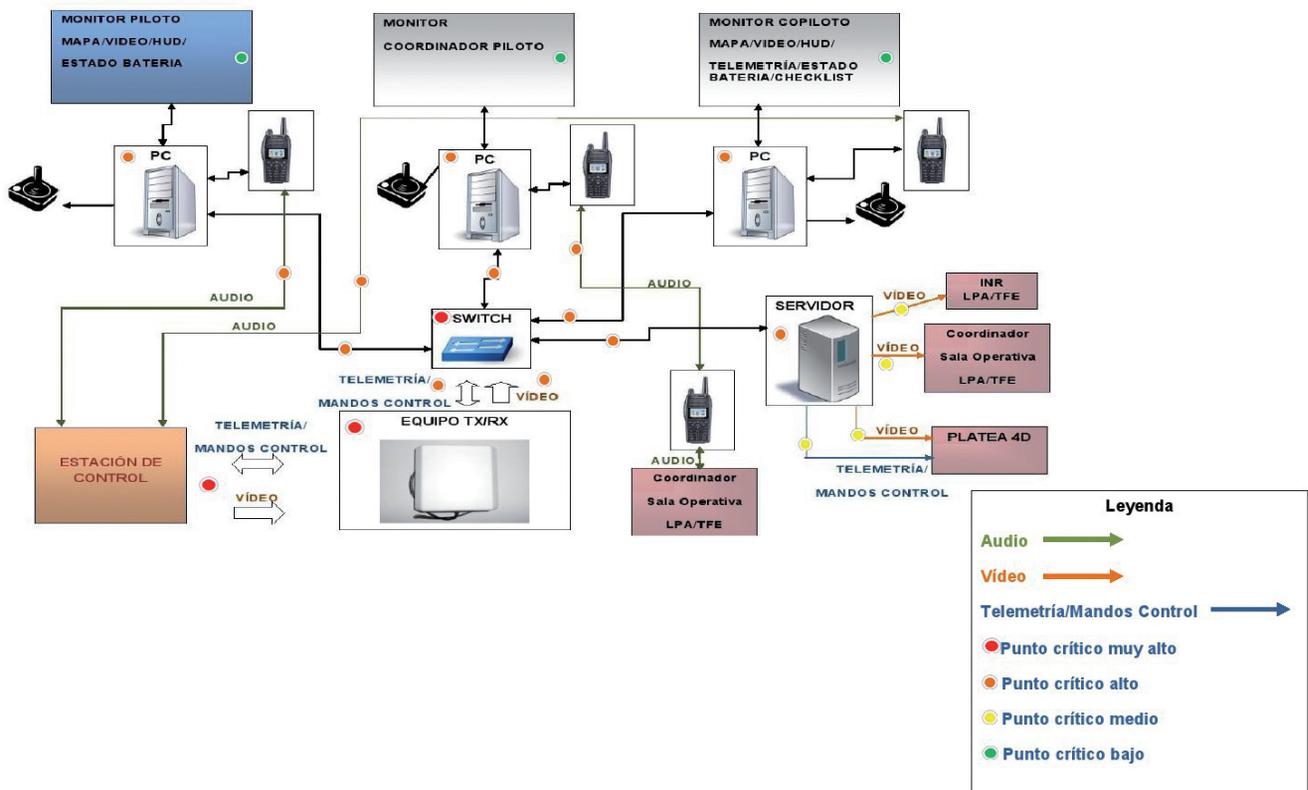


Figura 3: Esquema de puntos críticos del CMC

rediseño, de forma que se pueda mejorar de manera efectiva la fiabilidad del conjunto. El componente que presenta un mayor grado de criticidad es el SWITCH, seguido de los equipos ESTACIÓN DE CONTROL y WIMAX (puntos rojos).

6. REDISEÑO DEL CENTRO DE MANDO Y CONTROL MEDIANTE AMFE

Se realiza una propuesta de mejora analizando los siguientes sistemas que forman parte del esquema del CMC.

- red WIMAX
- red local del CMC
- switches
- workstations
- servidores
- red TETRA (comunicación digital por radio)
- ups

Las propuestas de mejoras de una estación estándar de tierra que se han estimado para el CMC, se han basado en el análisis de redundancia principalmente en los equipos WIMAX, CPE (*Customer Premises Equipment* - Receptores WIMAX), los servidores, los terminales TETRA, UPSs y en otros elementos del CMC. Además, se ha optado por el uso de *Workstations* en vez de PCs.

7. FUNCIONES PRINCIPALES DE LOS SISTEMAS DEL CMC

A partir de las funciones principales de los sistemas se deducen una serie de funciones secundarias con las que se realizan los análisis AMFE. Con este análisis se procede al rediseño del sistema.

A continuación, se muestra las funciones principales de los distintos sistemas del CMC analizados:

- función Red Local del CMC: Transmitir/Recibir datos/video de la estación de control local
- función de la red WIMAX: El CPE del CCL envía datos/video de la estación de control local
- función de los Switches: Enrutar/Recibir/Enviar datos/video a través de ellos
- función de los servidores: Recibir/Enviar datos/video
- funciones para audio/mensajes TETRA: Transmite/Recibe audio y/o mensajes
- funciones de los PCs: Recibir/Enviar datos/video de control y navegación desde los PCs hacia y/o desde los switches
- funciones UPS: Alimentar los equipos del CMC.

La mejora de la fiabilidad del sistema se ha conseguido mediante:

- el análisis de redundancia en los equipos CPES
- redundancia de *switches* que forman dos redes independientes paralelas
- utilización de *workstations* en vez de PCs, debido a la robustez de las mismas; contando entre otras ventajas con un sistema de almacenamiento tipo raid, procesadores más robustos y fuentes de alimentación que confieren al sistema mayor fiabilidad
- además, se disponen cuatro ups, una por cada dos *workstations*, una ups para los dos servidores y una

última a la que irán conectados los dos equipos cpes para wimax y los dos switches. con esto se consigue que las fluctuaciones del sistema de alimentación se vean reducidas aumentando la fiabilidad en cuanto a los datos recibidos u órdenes procesadas/emitidas por el centro de mando y control (CMC).

8. DIAGRAMA DE ISHIKAWA RED LOCAL DEL CMC

El diagrama de Ishikawa se ha utilizado para analizar las causas por las cuales se generan posibles fallos en la red local del CMC, siendo los equipos más relevantes, en cuanto al funcionamiento del mismo, los siguientes:

- los equipos CPE
- los equipos switch
- los equipos *workstation*

En la Fig. 4 se puede observar, por ejemplo, el desarrollo del diagrama de Ishikawa para el modo de fallo "FALLAN LAS WKSs", destacando como posibles causas:

- fallo del sistema operativo
- problemas con el procesador
- fallan las fuentes de alimentación
- fallo de HDDs

9. AMFE DE LA RED LOCAL DEL CMC MEJORADO

Mediante el nuevo Análisis de Modos de Fallos y Efectos, según se observa en la tabla AMFE para la red interna del Centro de Mando y Control (CMC) modificado (Tabla 1), se obtienen valores para el NPR (Nivel de Prioridad de Riesgo) más bajos debido a que se disminuye el parámetro gravedad al realizar mejoras en el diseño del sistema. Los coeficientes GR, OC y DET son respectivamente, Gravedad, Ocurrencia y Detección.

Las puntuaciones asignadas para estos coeficientes se han asignado en función del conocimiento experto de los técnicos de desarrollo y explotación del sistema en estudio.

Se establece una disminución del nivel de prioridad de riesgo (NPR) que debe ser ≤ 100 para considerar que el sistema sea fiable y la propuesta de modificación aceptable.

10. ESQUEMA MEJORADO DEL CMC

A partir del análisis efectuado sobre el esquema del CMC mostrado en la Fig. 3, se genera la nueva arquitectura del CMC mejorado, mostrado en la Fig. 5.

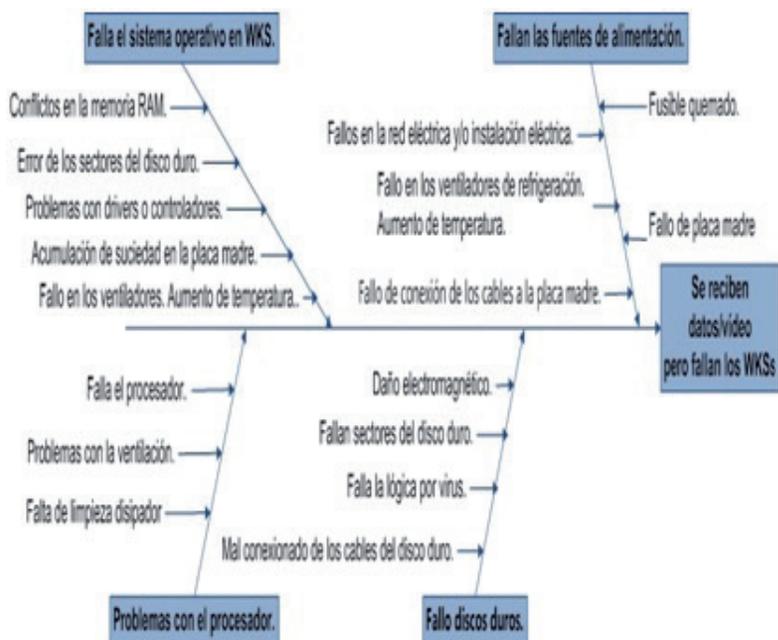


Figura 4: Diagrama Ishikawa de Red local del CMC. Modos de Fallo

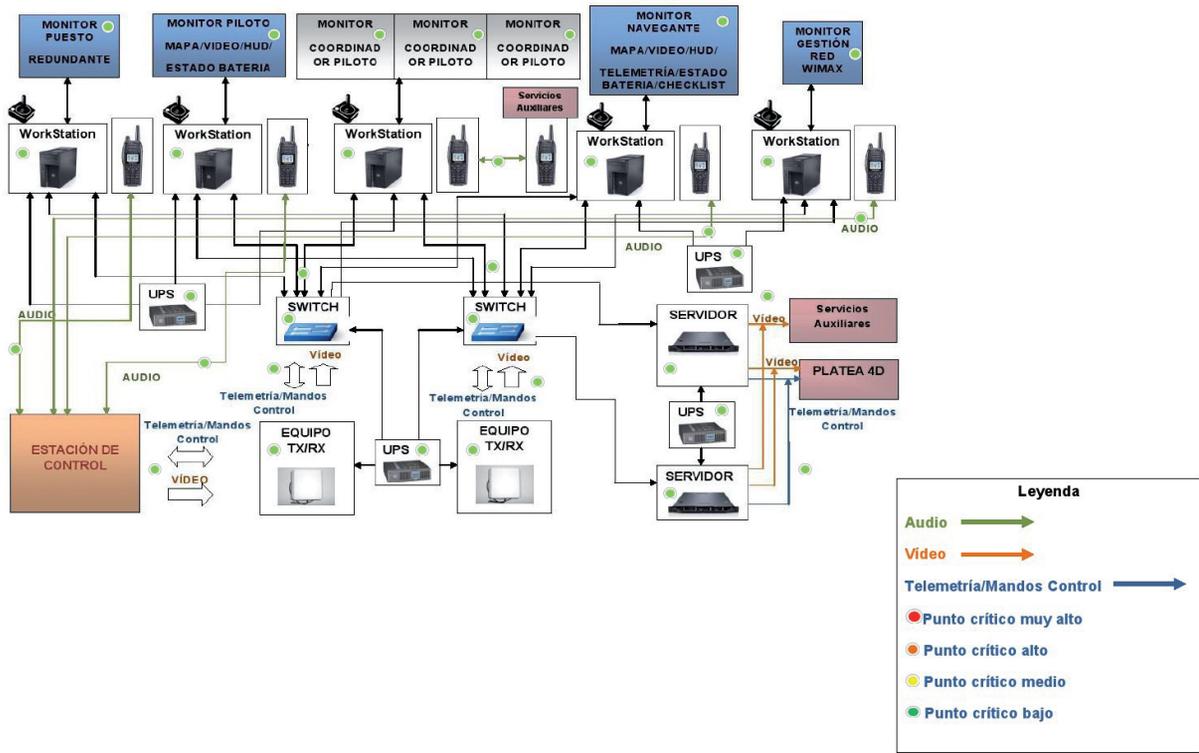


Figura 5: Esquema del CMC mejorado

11. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

En la Fig. 5 se puede observar un esquema en el que se muestra los puntos críticos del Centro de Mando y Control diseñado, habiéndose eliminado los puntos naranjas y rojos con un índice NPR moderado o alto. Tras realizar el análisis AMFE y al tomar en cuenta las medidas reseñadas en los apartados anteriores, se ha conseguido un valor para el nivel de prioridad de riesgo NPR en estas partes del sistema menor de 100, con lo que se puede concluir que el nivel de los puntos críticos es bajo y, por tanto, el diseño modificado puede ser aceptable desde el punto de vista de su fiabilidad.

12. CONCLUSIONES

Se ha expuesto una metodología para el análisis y mejora de la fiabilidad del CMC consistente en:

- estudiar las estaciones terrenas estándares existentes en el mercado
- propuesta de mejora de los distintos sistemas
- análisis de las funciones de los sistemas mediante ISHIKAWA - AMFE
- propuesta de rediseño para obtener un sistema más fiable y robusto.

Para ello se han analizado las funciones de los distintos sistemas principales y se deducen a partir de las mismas las funciones secundarias. A partir de las funciones secundarias más básicas del sistema se realiza un AMFE, en el que se analizan

los fallos y sus causas con ayuda de los diagramas de Ishikawa.

Uno de los parámetros más importantes a tener en cuenta dentro del AMFE es el nivel de prioridad de riesgo (NPR), que indica la fiabilidad del sistema. Si el valor es mayor que 100 es importante que sea disminuido y esto se consigue aplicando una serie de acciones recomendadas que harán que el sistema analizado sea más robusto.

Por otro lado, la principal dificultad encontrada en el análisis AMFE radica en la carencia de estudios de este tipo para estaciones de tierra remotas para el control de UAVs y por ese motivo se ha tenido que recurrir diversas fuentes y expertos en distintas materias (Congreso UNVEX 2014 [7]), y a los estudios realizados por el instituto de investigación IUSIANI (ULPGC).

Finalmente, la introducción de mejoras y el rediseño del CMC se centran en reducir los fallos sobre todo en comunicaciones, transmisión y recepción de datos en tiempo real, pérdida y recuperación de control del UAV y en el establecimiento de los protocolos de actuación a tener en cuenta en función del grado de fallo.

PARA SABER MÁS

[1] Proyecto fin de máster ESTUDIO SOBRE EL CONTROL DE MISIÓN DE FLOTAS DE UAVS HETEROGÉNEAS Autor: Álvaro Paim Rodríguez. Universidad Rey Juan Carlos (2011)

[2] Diseño del Centro de Mando y Control Remoto de un Vehículo Aéreo No Tripulado, utilizando técnicas AMFE. Autora: Lidia Esther Trejo

Medina. UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA. (2014)

[3] http://www.seguridadaerea.gob.es/media/4204926/140128_eurocae_wg93_aesa_madrid_workshop_andre_j_clot.pdf

[4] <https://info.publicintelligence.net/EU-RPA-Roadmap-1.pdf>

[5] Stamatis, D. H. (2003), Failure Mode Effect Analysis: Fmea from theory to execution, second edition, ASQ Quality Press, Milwaukee, Wisconsin.

[6] Introduction to Quality Control, Kaoru Ishikawa, Ed. Springer 1989, ISBN: 9789401176903

[7] <http://www.unvex14.com/index.php>

[8] TREJO-MEDINA, Lidia Esther, CABRERA-PENÁ, Jose Maria, AGUASCA-COLOMO, Ricardo Jose et al. TECHNOLOGY REVIEW, STANDARDS AND APPLICATIONS OF UNMANNED AERIAL VEHICLE IN ENGINEERING (PART 1). DYNA, Septiembre 2016, vol. 91, no. 5, p.517-521. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7841>

[9] TREJO-MEDINA, Lidia Esther, AGUASCA-COLOMO, Ricardo Jose, CABRERA-PENÁ, Jose Maria et al. TECHNOLOGY REVIEW, STANDARDS AND APPLICATIONS OF THE UAV IN ENGINEERING (PART 2). DYNA, Noviembre 2016, vol. 91, no. 6, p.625-628. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8052>

[10] CUERNO-REJADO, Cristina, GARCIA-HERNANDEZ, Luis, SANCHEZ-CARMONA, Alejandro et al. HISTORICAL EVOLUTION OF THE UNMANNED AERIAL VEHICLES TO THE PRESENT. DYNA, Mayo 2016, vol. 91, no. 3, p.282-288. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7781>.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el apoyo de la división de Computación Evolutiva y Aplicaciones (CEANI) del Instituto Universitario de Sistemas Inteligentes y Aplicaciones Numéricas en Ingeniería (ULPGC) y al equipo del CECOES 112 - Canarias, por el soporte en la realización de este proyecto.