

TECNO ESUFA

REVISTA DE TECNOLOGÍA AERONÁUTICA
ISSN 1900-4303 VOLUMEN 31 / DICIEMBRE 2021



ESCUELA DE SUBOFICIALES "CT. ANDRÉS M. DÍAZ"
89 AÑOS EDUCANDO INTEGRALMENTE
A LOS FUTUROS SUBOFICIALES



TECNO ESUFA



DIRECTIVOS:

CR. IVAN DARÍO GÓMEZ VILLEGAS
Director Escuela de Suboficiales FAC.

CR. JORGE IVAN MARIN HERRERA
Subdirector Escuela de Suboficiales
FAC.

TJC. EDWARD HERNÁNDEZ GARCIA.
Asesor de Comando.

**CT. LEONARDO AUGUSTO MORA
SALAZAR**

Comandante Escuadrón Investigación
ST. JUAN PABLO CONTRERAS SABOGAL
Comandante Escuadrilla Investigación
Formativa

EDITOR Y GESTOR:

**CT. LEONARDO AUGUSTO MORA
SALAZAR**

**TJ. JHON ALEXANDER CARDENAS
PUENTES**

COORDINADOR EDITORIAL:

ST. JUAN PABLO CONTRERAS SABOGAL

COMITÉ EDITORIAL:

**MY. JUAN GUILLERMO MAHECHA
PARGA**

**CT. LEONARDO AUGUSTO MORA
SALAZAR**

ST. JUAN PABLO CONTRERAS SABOGAL
**ST. DEISSY CAROLINA RODRIGUEZ
CUETO**

**TJ. JHON ALEXANDER CARDENAS
PUENTES**

COMITÉ CIENTIFICO:

CT. ADRIANA MARCELA ALMANZA CAÑON
**OD18. MAUREEN ELIANA CASTAÑEDA
CORTES**

**TJ. EDWIN ALEXANDER MERCHAN
CARRILLO**

TS. ANYELA LUCIA MILLAN BOHORQUEZ

TS. DIEGO RICARDO OVIEDO GONZALEZ

T1. CESAR AUGUSTO IBARRA CORREDOR

T1. REYNEL JAVIER RUIZ MARIN

T1. ROBERTO JOSE SEGURA LOPEZ

T1. MANUEL FARID MEDINA SALAZAR

**T1. DIEGO FERNANDO GUAQUETA
MENDEZ**

COMITÉ EVALUADOR

TS ® VICTOR MIGUEL QUINTERO PATIÑO

OD16. FERNANDO CORTES DIAZ

OD15. RENSO MARDU MOLANO PULIDO

**OD15. DANIEL ALBERTO ARTEAGA
PUENTES**

WILLIAM ALEXANDER CUEVAS CARRERO

CATALINA MELO PIRAQUIVE

DISEÑOS

CT. LEONARDO AUGUSTO MORA SALAZAR

ST. JUAN PABLO CONTRERAS SABOGAL

**TJ. JHON ALEXANDER CARDENAS
PUENTES**



TECNO ESUFA



CONTENIDO

	Pág
Alternativas biodegradables para el embalaje y la conservación del material aeronáutico	5
Alternativas de sostenibilidad energética en aeronaves	11
Utilización energética de las vibraciones mecánicas en aeronaves de ala rotatoria	23
Diseño de herramienta para reparar la cinta de titanio en las palas del helicóptero UH-60 Black Hawk	27
Ciencia, Tecnología e Innovación en Colombia como motor de la competitividad	32
Evolución arquitecturas de red GSM, UMTS y LTE	39
Protocolo para pruebas de elementos CAD - PAD del sistema de eyección de la aeronave A-37B	52
Revolución tecnológica y educativa	58



de Suboficiales, entidad acreditada en alta calidad en sus programas tecnológicos: pilar fundamental de una institución para formar integralmente al futuro Suboficial de la Fuerza Aérea Colombiana a nivel militar, profesional y personal.

En este tomo se abordan temas significativos: utilización de energías renovables a través de vibraciones y uso de sostenibilidad energética en aeronaves, alternativas biodegradables para el embalaje y la conservación del material aeronáutico, evolución de las arquitecturas de red GSM, UMTs y LTE, entre otros. En la portada se refleja el tiempo, como una de las fuerzas que gobierna la existencia; también se muestra el aire, el espacio y ciberespacio como ejes de la misión de la Escuela de Suboficiales. Así, esta portada visualiza el conocimiento, la experiencia y la capacidad desarrollada a través de toda la formación y vivencia alrededor de la institución. Sea el alma mater de la Suboficialidad de la Fuerza Aérea Colombiana la generadora de la investigación, de la innovación y del desarrollo de productos tecnológicos aplicables y patentables en pro del pueblo colombiano y de la Fuerza Aérea Colombiana.

Como su director, es un orgullo presentar esta publicación, que se hizo posible por la consolidación de los diferentes artículos aquí publicados. Agradezco de manera especial a cada uno de los comités que conforman el equipo de trabajo que entrega hoy esta edición No. 31 de la revista TECNOESUFA. Termino dando la razón a Albert Einstein: “Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber”, y desde ESUFA lo estamos haciendo. Volamos, entrenamos y combatimos para vencer.

¡AD ASTRA!

Gracias a los hombres y mujeres que integran la Escuela de Suboficiales “CT. Andrés M. Díaz” de la Fuerza Aérea Colombiana, la entidad se ha adaptado, durante más de ochenta y nueve años, a las circunstancias que la rodean y a los desarrollos tecnológicos. Ha evolucionado su misión y visión, en busca de ejercer el dominio del aire, el espacio y el ciberespacio, y ha sido referente en el mundo de la aviación a nivel nacional e internacional.

Esta nueva edición de TECNOESUFA se une a esa evolución, para dejar una huella significativa en cada uno de sus lectores: ha mostrado los diferentes avances de nuestra aviación y los diversos desarrollos tecnológicos por el personal que integra nuestra gloriosa institución. Todos los artículos ilustrarán a los lectores en el mundo de la investigación y, en especial, del potencial que tiene el país a nivel tecnológico. Todo esto se logra gracias al aporte del personal de la Escuela

Thanks to the men and women who make up the School of Non-Commissioned Officers "CT. Andrés M. Díaz" of the Colombian Air Force, the entity has adapted, for more than eighty-nine years, to the circumstances that surround it and to technological developments. Its mission and vision have evolved, seeking to exercise control over air, space and cyberspace, and it has been a benchmark in the world of aviation at a national and international level.

This new edition of TECNOESUFA joins that evolution, to leave a significant mark on each of its readers: it has shown the different advances in our aviation and the various technological developments by the staff that make up our glorious institution. All articles will enlighten readers in the world of research and, especially, the potential that the country has at a technological level. All this is achieved thanks to the contribution of the staff of the NCO School, an entity accredited in high quality in its technological programs: a fundamental pillar of an institution to fully train the future NCO of the Colombian Air Force at a military, professional and personal level.

This volume addresses significant issues: the use of renewable energy through vibrations and the use of energy sustainability in aircraft, biodegradable alternatives for the packaging and conservation of aeronautical material, evolution of GSM, UMTs and LTE network architectures, among others. Time is reflected on the cover, as one of the forces that governs existence; Air, space and cyberspace are also shown as axes of the mission of the NCO School. Thus, this cover displays the knowledge, experience and capacity developed through all the training and experiences around the institution. Let the alma mater of the Colombian Air Force non-commissioned officers be the generator of research, innovation and development of applicable and patentable technological products for the benefit of the Colombian people and the Colombian Air Force.

As its director, I am proud to present this publication, made possible by the consolidation of the different articles published here. I am especially grateful to each of the committees that make up the work team that delivers this issue No. 31 of the TECNOESUFA magazine. I end by agreeing with Albert Einstein: "Never consider study as an obligation, but as an opportunity to penetrate the beautiful and wonderful world of knowledge", and we are doing it in ESUFA. We fly, train and fight to win.

¡AD ASTRA!



ALTERNATIVAS BIODEGRADABLES PARA EL EMBALAJE Y LA CONSERVACIÓN DEL MATERIAL AERONÁUTICO

Semillero de Investigación CYRUS - TAA
Eduardo Correa Cruz *Francia María Cabrera Castro**

BIODEGRADABLE ALTERNATIVES FOR THE PACKAGING AND CONSERVATION OF AERONAUTICAL MATERIAL

CYRUS Research Seedbed - TAA
Eduardo Correa Cruz *Francia María Cabrera Castro**

Resumen. En la cadena logística de los abastecimientos aeronáuticos el embalaje es uno de los procesos fundamentales, dada las necesidades de manipular, conservar, almacenar y transportar el material aeronáutico, con el fin de garantizar los altos estándares de calidad para la seguridad aérea. En este proceso de embalaje uno de los materiales más empleados durante mediados del siglo XX y siglo XXI ha sido el plástico, material que en la actualidad es altamente contaminante y de difícil degradación, el cual afecta los ecosistemas y resto del medio ambiente en el planeta tierra. Esta problemática del plástico condujo a la pregunta orientadora de la presente investigación: ¿qué tipos de materiales amigables con el ambiente serían los óptimos para sustituir el plástico en la cadena logística aeronáutica con los estándares de calidad para la seguridad aérea? Para su solución se establecieron tres etapas, así: primera, la selección de información en reportes nacionales e internacionales sobre materiales amigables con el ambiente; segunda, la selección de materiales biodegradables y/o de fibras, y tercera, la caracterización de los materiales amigables con el ambiente según el proceso de embalaje. Finalmente, se espera contribuir con la innovación en tecnologías de materiales biodegradables en la logística aeronáutica y su sustitución en beneficio de los ecosistemas y del planeta.

Abstract. In the logistics chain of aeronautical supplies, packaging is one of the fundamental processes, given the needs to handle, preserve, store and transport aeronautical material, in order to guarantee high quality standards for air safety. In this packaging process, one of the materials most used during the mid-twentieth and twenty-first centuries has been plastic, a material that is currently highly polluting and difficult to break down, which affects ecosystems and the rest of the environment on the planet Earth. This plastic problem led to the guiding question of this research: what types of environmentally friendly materials would be optimal to replace plastic in the aeronautical logistics chain with quality standards for air safety? For its solution, three stages were established, as follows: first, the selection of information in national and international reports on environmentally friendly materials; second, the selection of biodegradable and/or fiber materials, and third, the characterization of environmentally friendly materials according to the packaging process. Finally, it is expected to contribute to innovation in biodegradable materials technologies in aeronautical logistics and their replacement for the benefit of ecosystems and the planet.

* Tecnólogo en Abastecimientos aeronáuticos, ESUFA, FAC, curso de compras, Coordinador del programa de tecnología abastecimientos aeronáuticos, Almacenista combustibles de aviación, asesor logístico agencia de compras Fuerza Aérea ,Fort Lauderdale, Florida, EE. UU. Docente-investigador militar Escuela de Suboficiales, Fuerza Aérea Colombiana. ** Candidato a Doctor en Educación en ciencias (Física), Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia, Profesor categoría Titular, Docente -Investigador y Jefe de Laboratorio de Física Aeronáutica y Aeroespacial de la Escuela de Suboficiales , Fuerza Aérea Colombiana, Colombia. francia.cabrera@esufa.edu.co.

* Aeronautical Supply Technologist, ESUFA, FAC, purchasing course, Coordinator of the aeronautical supply technology program, Aviation fuels warehouseman, logistics advisor Air Force purchasing agency, Fort Lauderdale, Florida, USA. U Military researcher-teacher, NCO School, Colombian Air Force.

Palabras clave: Materiales, abastecimientos, naturales, biodegradables, embalaje, conservación, logística aeronáutica.
Keywords: biodegradable materials, natural materials, packaging, conservation, quality, aeronautical logistics.

1. Introducción

Si observamos a nuestro alrededor, fácilmente encontraremos un mundo sumergido en el plástico. El cloruro de polivinilo, polietileno, polipropileno o poliéster son materiales presentes en nuestro día a día y que la mayoría de nosotros los usamos de forma desapercibida.

Entre los años de 1860 y 1870 el inventor norteamericano John Wesley Hyatt crea y patenta el celuloide, resultante de la mezcla de piroxilina con goma de alcanfor pulverizada y con el que ganó una recompensa ofrecida por un editor que buscaba un material alternativo al marfil para realizar bolas de billar. En estos momentos entra en escena un material que supondría la revolución en el mundo de los polímeros y que advendría como el primero de la ingente cantidad de nuevos plásticos. Tiene lugar la creación del primer plástico o sintético termoestable a manos del químico Leo Baekeland, Con este material se fabricaron las primeras carcasas de teléfonos y de radios, artículos de escritorio, ceniceros, etc. [1]

En la actualidad los plásticos los utilizamos como materiales de construcción, en la industria automotriz, en los equipos tecnológicos como celulares y laptops, en embalaje de artículos y de alimento, incluso en utensilios de cocina, etc. Las estadísticas sobre el uso del plástico advierten su crítica demanda: la producción mundial ha pasado de 2,3 millones de toneladas en el año de 1950 a 407 millones de toneladas en el año 2015 [2]. En Colombia, hacia noviembre de 2018, se consumían 24 kilos de plástico por persona al año, de acuerdo con la ONG ambientalista Greenpeace Colombia. De hecho, se registra en el país unos 12 millones de toneladas de residuos sólidos al año, y con solo un 17 % de reciclaje [3].

Un estudio estima que, de todo el plástico que el ser humano ha producido durante estos 150 años en todo el mundo, el 79 %, está acumulado en vertederos o en entornos naturales. El mismo estudio refleja que actualmente el 57 % del plástico producido mundialmente termina en el abandono, especialmente en países donde no hay gestión de residuos o tienen una gestión deficiente [4].

En el presente documento se encontrará la descripción de algunos tipos de materiales plásticos, según el polímero empleado por la población en general y una muestra de materiales plásticos utilizados para el embalaje del material aeronáutico; finalmente, también se consideran algunos materiales amigables con el medio ambiente desarrollados para sustituir el uso de plásticos.

2. Tipos de materiales plásticos según el polímero empleado

2.1 PET (tereftalato de polietileno): El tereftalato de polietileno, politereftalato de etileno, polietilentereftalato ó polietileno tereftalato, más conocido por sus siglas en inglés PET, es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles. Químicamente el PET es un polímero que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres.

Es un polímero termoplástico lineal, con un alto grado de cristalinidad. Como todos los termoplásticos puede ser procesado mediante extrusión, inyección, inyección y soplado, soplado de preforma y termoconformado. Para evitar el crecimiento excesivo de las esferulitas y lamelas de cristales, este material debe ser rápidamente enfriado; de este modo, se logra una mayor transparencia. La razón de su transparencia al enfriarse rápido consiste en que los cristales no alcanzan a desarrollarse completamente y su tamaño no interfiere con la trayectoria de la longitud de onda de la luz visible, de acuerdo con la teoría cuántica [5].

Ejemplos: botellas, champús, fibras de ropa y de alfombras.

2.2 LDPE (polietileno de baja densidad): El polietileno de baja densidad es un polímero de la familia de los polímeros olefínicos, como el polipropileno. Es un polímero termoplástico conformado por unidades repetitivas de etileno. Se designa como LDPE (por sus siglas en inglés, Low Density PolyEthylene) o PEBD (polietileno de baja densidad). Como el resto de los termoplásticos, el LDPE puede reciclarse. El polietileno de baja densidad es un polímero con una estructura de cadenas muy ramificadas; eso hace que

tenga una densidad más baja que la del HDPE.

Ejemplos: plástico de burbujas, aislantes de cables, bolsas para la basura, la capa de cartones de leche, bolsas de supermercado, recubrimiento para otros materiales.

2.3 HDPE (polietileno de alta densidad): En 1953, Ziegler y sus colaboradores en el Instituto Max Planck, basándose en los trabajos iniciados por el italiano Natta, estudiaron el proceso de polimerización a baja presión. La reacción con un complejo catalítico de alquil aluminio y tetracloruro de titanio daba lugar a la fabricación de un polietileno de mayor densidad y temperatura de fusión, como consecuencia de su mayor regularidad. A este Polietileno se le denominó de alta densidad (PEAD o sus siglas en inglés HDPE), haciendo mención a sus propiedades, o de baja presión, debido a su método de obtención [6].

Ejemplos: envases de comida, cajas, sillas, cubos, juguetes.

2.4 PP (polipropileno): Es un polímero termoplástico formado de enlaces simples carbono-carbono y carbonohidrógeno, perteneciente a la familia de las poliolefinas. El polipropileno tiene una densidad 0,90 gr/cc y su estructura molecular básica consiste en un grupo metilo (CH₃) unido a un grupo vinilo (CH₂, molécula de propileno o propeno). Por medio del arreglo molecular del grupo metilo, se logran obtener diferentes configuraciones estereoquímicas organización espacial (isostático, sindiotáctico y atáctico).

El ordenamiento uniforme del grupo metilo estereoquímicamente genera la configuración isotáctica (la más usada en el polipropileno), que le confiere una cristalinidad y le ofrece un balance de propiedades que le hace apto para muchas de las aplicaciones que le vemos en la actualidad [7].

Ejemplos: recipientes para comida, envases alimentarios de sellado al vacío, textiles y cuerdas, cajas de baterías y parachoques de los vehículos.

2.5 PS (poliestireno): Es un plástico versátil utilizado para fabricar una amplia variedad de productos de consumo. Como un plástico duro, sólido, se utiliza a menudo en los productos que requieren claridad, tal como empaquetado de alimento y mercancías de

laboratorio. Cuando se combina con varios colorantes, aditivos u otros plásticos, el poliestireno se utiliza para hacer electrodomésticos, electrónica, partes de automóviles, juguetes, macetas y equipos de jardinería y mucho más.

El poliestireno también se convierte en un material de espuma, llamado poliestireno expandido (EPS) o poliestireno extruido (XPS), que se valora por sus propiedades de aislamiento y amortiguación. El poliestireno de espuma puede ser más del 95 por ciento de aire y es ampliamente utilizado para hacer aislamiento en el hogar y en la aplicación de envases protectores ligeros, tablas de surf, alimentos y embalaje de alimentos, partes de automóviles, sistemas de estabilización de carreteras.

2.6 PVC (policloruro de vinilo): Este es un plástico con la siguiente fórmula química: CH₂=CHCl. Este plástico cubre un amplio rango de productos sintéticos y semisintéticos de polimerización (ej. moléculas "orgánicas" de carbono de cadena larga). PVC se refiere al hecho de que en su estado semilíquido son maleables, o tienen la propiedad del plástico. Los materiales termoplásticos son aquellos que pueden ser derretidos una y otra vez. Estos materiales pueden ser calentados a una cierta temperatura y se endurecerán de nuevo a medida que se enfrían.

La materia prima básica para el PVC deriva de la sal y el petróleo. El cloro se fabrica por la electrólisis de cloruro de sodio, sal. Esto es porque las primeras plantas de fabricación de PVC estaban localizadas cerca a fuentes naturales de sal. La electrólisis de agua salada produce cloro. El cloro es entonces la combinación con etileno que ha sido obtenido del petróleo. El elemento resultante es dicloruro de etileno, que es convertido a muy altas temperaturas en monómero de cloruro de vinilo. Estas moléculas de monómero son polimerizadas formando resina de cloruro de polivinilo.

Ejemplos: plástico para envolturas, tarjetas de crédito, tuberías, marcos de ventana, revestimiento de techos y paredes, piel sintética.

3. Productos de embalaje para material aeronáutico

El embalaje es una forma de empaque que envuelve,

contiene, protege y conserva los productos envasados; facilita las operaciones de transporte al informar en el exterior las condiciones de manejo, requisitos, símbolos, e identificación de su contenido. El embalaje es la protección del producto durante el transporte o almacenamiento.

Desde un inicio, el hombre ha trasladado artículos y productos de un lugar a otro; ha utilizado pieles, hierbas entrelazadas, vasijas, barriles, morrales, entre otros, con la finalidad de llevar sus productos con bien [8].

A continuación, se muestra un listado cronológico de los hallazgos más relevantes en la historia del envase y el embalaje [8]:

- 8000 a.C. Se hallan los primeros envases conformados por hierbas unidas y tejidas, vasijas de barro, pieles y vidrio.
- 1550 a.C. Se encontraron hojas de palma que eran usadas para envolver productos utilizados en la industria, y así protegerlos del medio ambiente.
- 1200 a.C. El vidrio se origina en Egipto, Roma, Venecia.
- 500 a.C. Aparece el papel (Egipto, Grecia).
- 79 d.C. Los romanos utilizan botellas de vidrio, pero preferían sacos de cuero para trasladar grandes cantidades de líquidos y sólidos.
- Año 868. En China comienzan a hacer los primeros trazos en la llamada "imprenta".
- 1200. Se comienza a usar la hojalata y el latón.
- 1500. Se crea el etiquetado en los productos venenosos.
- 1550. En Alemania, Andreas Bernhardt imprime el primer envoltorio que aún se conserva, se considera el más antiguo encontrado.
- 1700. Se envasa el primer Champagne comercial llamado "Dom Pérignon", envasado en botellas fabricadas por ingleses y cerradas con corchos provenientes de España, que fueron los que reemplazaron a los taponos de madera.
- 1795. Nace la idea de crear un envase para conservar los alimentos, y surge la primer "lata" de aluminio.
- 1852. Se obtienen nuevos productos y procesos de aluminio.
- 1862. El plástico sale a la luz en una exposición.
- 1871. Se obtiene la primera patente para utilizar cartón ondulado como protección para las botellas de vidrio.
- 1890. Aparece el primer envase para envasar la

leche. En Londres, nace la primera bebida alcohólica para exportar, el Whisky Escocés.

- 1900-1930. Los frascos de perfume comienzan a dar formas únicas para su marca, colores, diseños y diferentes tamaños.
- 1909. Nace la idea de atar las cajas de madera o cartón por fuera con alambre para el embalaje a granel de algunos productos industriales.
- 1916. Surge la idea de crear un envase único en su forma, reconocible con solo tocarlo, es así como sale al mercado la primera botella de Coca-Cola.
- 1928. La industria americana de alimentos y compostas para bebés, comienza a envasar sus productos en frascos pequeños de vidrio sellados herméticamente con una tapa de aluminio, para conservar por más tiempo los alimentos.
- Siglo XX. Se utiliza el empaque como estrategia de mercadotecnia para hacer que los productos comiencen a venderse solos.
- Siglo XXI. Actualmente, es una industria en crecimiento, en proceso de innovación y desarrollo.

El empaque y embalaje de los componentes aeronáuticos son de gran importancia para conservar sus condiciones durante el transporte. Para proteger los componentes aeronáuticos, en el interior de las cajas y/o guacales se debe utilizar material de relleno que impida el contacto entre la mercancía, las esquinas del contenedor y que sirvan como amortiguadores en caso de eventuales golpes o caídas del envío; dichos materiales pueden ser:

Polietileno burbuja, icopor (poliestireno expandido), cartón corrugado y divisiones en el mismo material, esquineros en cartón multicapas, película stretch, poliuretano, papel picado o arrugado en abundancia. Es importante tener en cuenta que este material por sus características físico-mecánicas tiende a deformarse después de un tiempo al soportar elementos pesados [9].



Ilustración 1. Embalaje con material de poliestireno. Fuente: <https://catalog.uline.com/Fall-Winter-US-2019/670/>



Ilustración 2. Embalaje con plástico burbuja. Fuente: <https://catalog.uline.com/Fall-Winter-US-2019/670/>



Ilustración 3. Embalaje con espuma. Fuente: <https://catalog.uline.com/Fall-Winter-US-2019/670/>



Ilustración 4. Embalaje con plástico stretch. Fuente: <https://catalog.uline.com/Fall-Winter-US-2019/670/>



Ilustración 5. Productos en polietileno. Fuente: <https://catalog.uline.com/Fall-Winter-US-2019/670/>



Ilustración 6. Contenedores plásticos. Fuente: <https://catalog.uline.com/Fall-Winter-US-2019/670/>

4. Algunos materiales amigables con el medio ambiente

Los plásticos desechables en los últimos años se han convertido en el dolor de cabeza de los seres humanos. Su alto nivel contaminante ha ocasionado el deterioro del medio ambiente. Combatir la llamada contaminación 'blanca' es el foco principal de ingenieros, diseñadores y científicos que han tratado de transformar las alternativas tradicionales en ecológicas y sostenibles. La economía circular se ha encargado de crear una industria que permita reemplazar los elementos plásticos por materiales naturales biodegradables como la madera líquida, el aislamiento de algas y los sustitutos de polímeros hechos de almidón de plantas fermentadas como las papas o el maíz. Con la utilización de estos productos naturales se puede garantizar la disminución de desperdicios plásticos, reducción de emisiones de carbono y la implementación de nuevas tecnologías [10].

4.1 Lana mineral

Es uno de los recursos más abundantes en el ambiente, su procedencia viene de la roca ígnea natural. Cuando estas rocas son fundidas se convierten en fibras similares a las del algodón de azúcar. Su principal uso es bloquear la transferencia de calor en los áticos, techos y entresuelos, siendo uno de los materiales con mayor resistencia al fuego.

Este material es el más utilizado en los últimos años por los arquitectos y diseñadores que buscan elementos amigables con el medio ambiente, que se puedan implementar en construcciones [10].

4.2 La micotectura

Son conocidos como hongos o algas que se crean

sobre las cortezas de los árboles y el suelo del bosque. Su uso sostenible tiene la capacidad de reemplazar los materiales como el poliestireno, los materiales aislantes, los muebles, los materiales acuáticos e incluso los artículos de cuero. Los científicos han estudiado durante los últimos años la manera de extraer los tejidos vegetativos de los hongos y solidificarlos en nuevas estructuras. Los hongos se pueden cultivar en la mayoría de lugares en donde reposan los desperdicios, lo que permite su producción rápida [10].

4.3 Ladrillo de Orín

Se diseñaron con el objetivo de reemplazar el cemento, uno de los materiales que representa el 5 % de las emisiones de dióxido de carbono en el mundo. Estos ladrillos están diseñados con base en los granos sobrantes de la industria cervecera que, mezclados con roca y orina, forman parte de un material altamente sostenible.

Este tipo de iniciativas a la industria sostenible han permitido que Asia, Europa y África desarrollen productos de alta caída a base de materiales naturales. Los químicos, los plásticos y los desperdicios son los principales factores de destrucción en el mundo, por lo que es difícil erradicar por completo su existencia.

El reciclaje desempeña la función de ralentizar el viaje de los plásticos a los vertederos u océanos, donde el material reposa debido a que éste no se biodegrada por completo. Por esta razón, para prevenir los efectos que trae consigo el uso de plásticos y tóxicos se deben crear alternativas que permitan cambiar los materiales contaminantes por unos recursos renovables que aseguren un futuro sostenible del mundo [10].



Ilustración 7. Símbolo de Reciclar, Reducir, Reutilizar.

5. Conclusiones

Los plásticos están presentes en todos los sectores industriales y es un factor determinante en la economía mundial. El uso de los plásticos ha crecido y se ha desarrollado a medida que crece la economía, la productividad y el desarrollo tecnológico.

El 50 % de la producción mundial de plásticos corresponde a envases industriales, domésticos y comerciales; el 30 %, al sector de la construcción y edificación, y el 20% final, por los sectores agrícolas, eléctricos, electrónicos y automotriz. Así mismo, se proyecta que, para el año 2030, 111 millones de toneladas métricas de plástico terminarán en vertederos y océanos.

El impacto de los plásticos abandonados coloca en riesgo la salud humana, contamina las fuentes hídricas y compromete la continuidad de la flora y la fauna en los ecosistemas afectados.

La solución a este problema global tiene que venir impulsada por todos los sectores. La falta de concienciación sobre el problema debe trabajarse en todos los sectores que intervienen, los consumidores, la comunidad científica, los gobiernos e instituciones públicas, la industria y las organizaciones ambientales y centros estudiantiles.

Es necesario el desarrollo de productos a partir de materiales amigables con el medio ambiente aplicables al capo aeronáutico. Se evidencia la falta de estudio en este sector productivo.

Referencias:

[1] S. García, "Referencias Históricas y Evolución de los Plásticos", Revista Iberoamericana de Polímeros, vol. 10,

no. 1, pp. 71-80, enero 2009.

[2] J. Treat y R. T. Williams, National Geographic, Santa Bárbara, Estados Unidos: Universidad de California, 2018. Roland Geyer.

[3] Ambientum, "Alarante Contaminación de Plásticos en Colombia", nov. 2018 [En línea]. Disponible: <https://www.ambientum.com/ambientum/residuos/contaminacion-plasticos-colombia.asp>

[4] R. Geyer, J. R. Jambeck, and K. L. Law, "Production, use, and fate of all plastics ever made", Science Advances, jul. 2017. DOI:10.1126/sciadv.1700782

[5] M. Lara, "Acerca del PET", enero 2018 [En línea]. Disponible:

<http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/15405/ANEXO%201-PET.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

[6] I. Roca, "Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del Polietileno de alta Densidad", trabajo de fin de grado, Univ. de San Carlos de Guatemala, Escuela de Ingeniería Química, 2005.

[7] C. Caicedo, "Propiedades termo-mecánicas del Polipropileno", Revista Ingeniería Investigación y Tecnología, vol. XVIII, no. 3, pp. 245-252, 2017.

[8] C. K. Pérez Espinoza, Empaques y Embalajes, Tlalnepantla, México: Red Tercer Milenio, 2012.

[9] Aerohelices S.A.S., "Boletín de Seguridad Operacional", septiembre 2016 [En línea]. Disponible: http://aerohelices.com/15/uploads/boletines/septiembre/BOLETIN_No_10_EMBALAJE.pdf

[10] La FM, "Los Tres Productos Naturales que Pueden Sustituir el Plástico", febrero de 2019 [En línea].

Disponible:

<https://www.lafm.com.co/medio-ambiente/los-tres-productos-naturales-que-pueden-sustituir-al-plastico>



ALTERNATIVAS DE SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA EN AERONAVES

Daniel Alberto Arteaga Puentes
Ingeniero Aeronáutico, Fundación Universitaria Los Libertadores, Bogotá
D.C., Colombia
Estudiante Maestría en ingeniería Universidad ECCI, Bogotá D.C., Colombia
daniel.arteaga@esufa.edu.co

Alternatives for energy sustainability in aircraft

Daniel Alberto Arteaga Puentes
Aeronautical Engineer, Los Libertadores University Foundation, Bogotá DC,
Colombia
Student of Master's in engineering, ECCI University, Bogotá DC, Colombia
daniel.arteaga@esufa.edu.co

CYRUS Research Seedbed - TAA
Eduardo Correa Cruz *Francia María Cabrera Castro**

11

VOLUMEN 31 DICIEMBRE 2021

Resumen. La industria aeronáutica crece constantemente y esto genera ciertos inconvenientes ambientales y económicos que deben ser tenidos en cuenta. Desde diferentes sectores se están tomando decisiones para mejorar las condiciones actuales en cuanto a eficiencia energética y lograr, así, la sostenibilidad futura. En este artículo, se contemplan algunas medidas que pueden ser implantadas a corto plazo en aspectos estructurales, aerodinámicos y de control de tráfico aéreo, entre otros. Igualmente, se analizan los combustibles alternativos (por ejemplo, los biocombustibles) que ya se han venido implantando y que es necesario diversificar en las aeronaves. Por último, se revisa la opción del combustible hidrógeno, que parece ser una excelente opción para el futuro.

Abstract. The aeronautical industry is constantly growing and this generates certain environmental and economic inconveniences that must be taken into account. Decisions are being taken from different sectors to improve current conditions in terms of energy efficiency and thus achieve future sustainability. This article contemplates some measures that can be implemented in the short term in structural, aerodynamic and air traffic control aspects, among others. Alternative fuels (for example, biofuels) that have already been implemented and that need to be diversified in aircraft are also analyzed. Finally, the hydrogen fuel option is reviewed, which seems to be an excellent option for the future.

1. Introducción

Hoy en día se observan avances tecnológicos en diversas industrias que generan cambios en sus condiciones en unos pocos años, o incluso en unos cuantos meses o días. Por ejemplo, las comunicaciones han evolucionado en lapsos de tiempo muy cortos, haciendo que muchos artículos novedosos se vuelvan obsoletos en pocos meses. De igual forma, en prácticamente todas las industrias se busca que los servicios proporcionados tengan características competitivas que marquen la diferencia en cuanto a la estimación del usuario.

Actualmente, la sostenibilidad es considerada una característica primordial al momento de manejar un producto o servicio, y a partir de ella se realizan juicios socioeconómicos que influyen en su desarrollo. La ONU define “desarrollo sostenible” como la satisfacción de “las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” [1]. La industria aeronáutica no es ajena a este cambio, y por ello debe buscar constantemente un equilibrio entre la sostenibilidad y las mejoras tecnológicas.

El transporte aéreo ha tenido un crecimiento constante en diferentes aspectos. Por ejemplo, el número de pasajeros en vuelos internacionales y domésticos pasó de 2488 millones en 2008 a 4322 millones en 2018, un aumento de más del 70%. En relación con esto, Latinoamérica y el Caribe aportan el 6,8% del total de pasajeros transportados. Por su parte, la carga transportada a nivel mundial ha aumentado por encima del 40% en los últimos 10 años. Colombia ocupa el puesto 32 en cuanto a los ingresos por tonelada-kilómetro transportados en 2018, y el puesto 24 en carga transportada medida en tonelada por kilómetro [2]. Este significativo aumento en los servicios de transporte aéreo exige que la industria aeronáutica crezca tecnológicamente y a la vez sea sostenible, ya que tiene una perspectiva de crecimiento aún mayor en los próximos años.

Con el incremento de los vuelos aumentan los problemas ambientales, entre los que destacan el ruido, la contaminación por emisión de gases y la disminución de las reservas de combustibles fósiles, entre otros factores. Al evidenciar estos inconvenientes, se hace necesario que desde diferentes sectores se busque darles solución. Así,

surgen ideas desde los entes gubernamentales, científicos, empresariales y educativos, e incluso desde la propia ciudadanía, todas ellas encaminadas a optimizar la eficiencia energética.

El futuro impacto climático se ha convertido en un motivo de creciente preocupación internacional. La aviación civil representa aproximadamente el 2-3% del total de las emisiones de CO₂, y el 12% de las emisiones correspondientes al transporte [3]. Los gases de efecto invernadero principalmente emitidos por la aviación son, en mayor proporción, el CO₂ y el vapor de agua, pero también se emiten óxidos de nitrógeno (NO_x) que afectan las concentraciones de ozono (O₃) y metano (CH₄). Además, el hollín emitido directamente y los óxidos de azufre (SO_x) e hidrocarburos (HC) conducen a la producción de aerosol después de la emisión. Estos gases y aerosoles cambian la composición de la atmósfera, aumentando la nubosidad por medio de la formación y propagación de estelas que modifican las nubes naturales. Actualmente, se estima que estos cambios contribuyen al calentamiento de la superficie y otras variaciones en el sistema climático de la Tierra [4]. Teniendo en cuenta que en estos datos solo se estima la aviación civil, el impacto de la industria aeronáutica es sin duda más grande al involucrar a la aviación militar.

En la figura 1 se tiene una perspectiva al año 2050, en la que se pueden observar los millones de toneladas de aumento en el carbono si no se toman acciones de mitigación, y la forma como la tecnología, la infraestructura y los nuevos combustibles reducen ese amplio margen de contaminación.

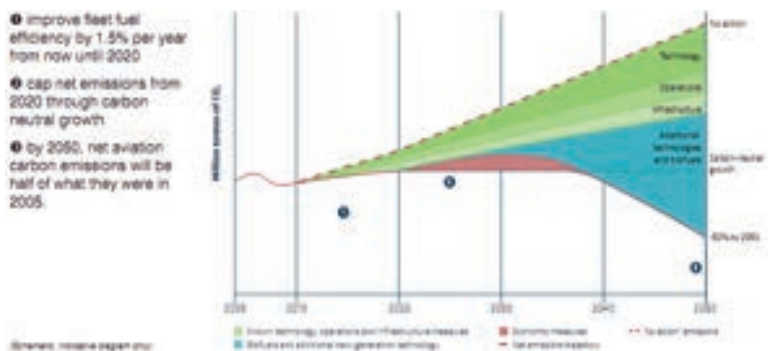


Fig. 1. Fuente: [5]

Otro aspecto para tener en cuenta es la reducción en la producción de petróleo y, como consecuencia de esto, el aumento de su costo en el futuro. En la figura

2 se observa la curva que relaciona la producción con el tiempo: inicialmente, la producción se incrementa progresivamente hasta llegar al peak-oil, que es considerado el punto máximo de producción y que fue estimado por los Estados Unidos en la década de 1970. Superado este punto, la caída es primero progresiva, luego violenta y nuevamente progresiva, hasta llegar al agotamiento aproximadamente en el año 2200. Al reducir la producción y al superar la caída económica actual, el costo del petróleo se recuperará. Ya en 2002 la factura de carburante representaba el 13% del total de los costos, para 2004 llegaba a 19% y en 2011 alcanzó el 27% [6].

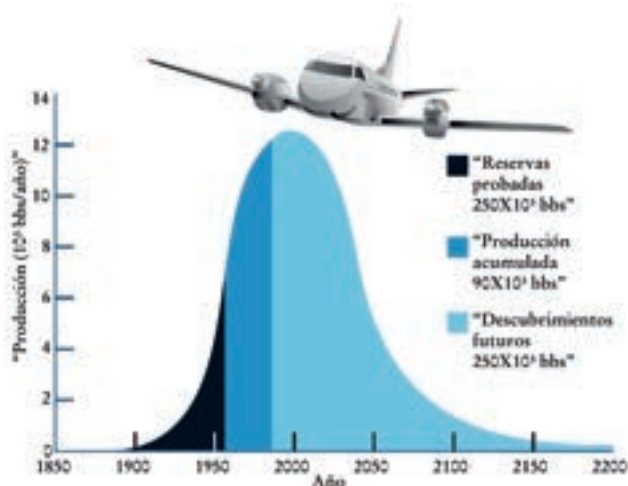


Fig. 2. Fuente: [6]

Se puede estar de acuerdo o no con los datos presentados en los informes sobre el medioambiente y sobre los costos futuros de los combustibles en la industria aeronáutica a causa de la producción, pero hay una cosa cierta sobre el combustible fósil, y es que es un recurso finito no renovable [7]; por tal razón, desde hace mucho tiempo se han venido buscando alternativas en pro de la optimización energética. Y es que, de hecho, y como sostiene la propia IATA, "en los últimos 40 años las aeronaves han reducido su consumo de combustible en un 70%". Por ejemplo, un Boeing 707, producido desde 1958, consumía 68 toneladas de combustible al recorrer 8500 Km de distancia, y un Boeing 757, producido en 1982, consumía 42 toneladas al recorrer la misma distancia [6]. Por lo tanto, menor consumo representa mayor ahorro y menor contaminación del planeta. De esta premisa se desprenden los grandes avances para lograr la eficiencia energética en el consumo de combustible. Este artículo tiene como objetivo realizar una revisión de documentos para analizar cuáles son

las tendencias para que en el sector aeronáutico se apliquen alternativas sostenibles que permitirán que esta industria continúe en constante crecimiento.

2. Medidas a corto plazo

A. Materiales y aerodinámica

Uno de los caminos tomado para mejorar el consumo de combustible se relaciona con los materiales con los que están hechas las aeronaves. Este proceso inició con la experimentación con aviones militares como el bombardero B-2 Spirit y el F-117, entre otros, con los cuales se utilizaron materiales compuestos, al encontrar una relación importante entre la mejora en el performance y la reducción en el peso. Los materiales compuestos se han ido implementando de modo progresivo. Por ejemplo, en el B-777 se utilizaron 50% de aluminio y 12% de material compuesto, mientras que en el B-787 el aluminio aportaba el 20% y los materiales compuestos, el 50%. En el caso del Bombardier de la serie C, se utiliza un 70% de materiales compuestos [6]. Además, la tendencia es construir aeronaves de una sola pieza, eliminando aquellos elementos que aumenten el peso, como las abrazaderas, las láminas, etc.

En el caso de la aerodinámica, se conoce que el empuje debe superar la resistencia de un avión: a menor resistencia, menor el empuje necesario para superarla, lo que reduce el consumo de combustible y por tanto las emisiones de CO₂. En las últimas décadas, gracias a la mayor capacidad de simulación y cálculo, la comprensión del comportamiento aerodinámico ha mejorado significativamente, lo que se traduce en optimización y refinamientos que parecen sutiles pero que ofrecen una considerable reducción de resistencia [5]. Uno de los cambios visibles son los dispositivos de punta de ala, que permiten reducir la resistencia inducida producida por la sustentación misma de la aeronave.

B. Lavado de motores

Cuanto más aumenta el tiempo de servicio de los motores en las aeronaves, se presenta un mayor deterioro causado por la abrasión/erosión de los componentes, y esta es la principal razón por la que se remueve el motor para hacerle un mantenimiento mayor. Para proporcionar el mismo empuje, el motor deteriorado consumirá más combustible, lo que aumenta la temperatura de los gases de escape

(EGT), que es un indicador del cambio en el consumo de combustible. El lavado periódico del motor ha permitido mitigar el deterioro del rendimiento, extender la vida útil del motor y reducir así los costos del mantenimiento [8], en comparación con el costo del lavado de un motor, que está alrededor de US\$3,000, con una variación dependiendo el tipo de motor [9].

Por lo general, se recomienda un intervalo de lavado general de 3 a 8 meses para cada motor, teniendo en cuenta diferentes factores que influyen en estos períodos, como, por ejemplo, los ciclos acumulados, los márgenes de temperatura de los gases de escape, los tipos de entorno operacional, etc. Estos factores deben ser bien calculados para hacer más eficiente y económico el ejercicio. Los resultados de la investigación realizada por Chena y Sunb indican que para una flota de aviones de pasajeros de corto alcance con 100 aviones que vuelan alrededor de 1500 vuelos para cada uno, el intervalo de lavado óptimo es de 500 vuelos o 4 meses, lo que implica un ahorro de consumo de combustible de 5471 toneladas, una reducción de emisiones de CO₂ de 17.250 toneladas y un ahorro total de 20,15 millones de dólares en un año [8].



Fig. 3. Fuente:
<https://www.af.mil/News/Article-Display/Article/120791/amc-goes-green-with-aircraft-engine-washes/>

C. Single Engine Taxi

Las estrategias que se pretenden implantar incluyen todos los momentos de las operaciones aéreas. Así, la maniobra de "Single Engine Taxi" consiste en que un avión se movilice en tierra utilizando solo un motor en bimotores o solo un par en cuatrimotores [6]. Hay estudios que indican que en los Estados Unidos el 96% de los vuelos acumulan retrasos en los aeropuertos, lo que hace que en tierra aumenten las emisiones en la espera de estos aviones. En una investigación se examinó la sensibilidad de los factores de emisión teniendo en cuenta el número de motores, la eficiencia del motor, el tipo de flota y el tiempo de rodaje en los aeropuertos de Orlando (MCO) y Nueva York (La Guardia), bajo condiciones

de mezcla representativa de flota, horario de salida, asignación de pista y flujo de taxeo. Se obtuvieron los siguientes resultados [10]:

- Los procedimientos de "Single Engine Taxi" tienen el potencial de reducir CO/NO_x/SO_x/HC en un 27% en MCO y en un 45% en La Guardia.
- Para lograr la misma reducción de emisiones en condiciones normales se tendría que reducir el tiempo de rodaje en un 27% en MCO y en un 44% en La Guardia.

D. Operación de Descenso Continuo (CDO)

Uno de los conceptos principales introducidos para reducir el impacto ambiental es el descenso directo. Es normal en los procesos de aterrizaje que los descensos se hagan por etapas, y que haya momentos en los que el piloto deba incluso volver a acelerar. En empuje inactivo o casi inactivo, que comienza en la entrada en el área de control de la terminal, o preferiblemente en la parte superior del descenso (TOD), desde el crucero hasta el aterrizaje. Esta técnica generalmente se refiere al concepto de Operación de Descenso Continuo (CDO), y consiste en que el avión prácticamente se "descuelga" desde la altitud de crucero y desciende sostenidamente con los motores en ralentí (mínimas), todo esto con un sistema especial o software que relaciona la información del control en tierra y de la aeronave. Con este procedimiento se permite ahorrar entre 50 y 150 Kg de combustible por vuelo y, adicionalmente, se disminuye la contaminación sonora [6] [11].

E. Reducción de rutas aéreas

Es obvio que, al tomar una ruta, cuanto más directo sea el trazado del camino, más corto será el tiempo que implica el viaje y, por lo tanto, menor el consumo de combustible. Muchas de las rutas utilizadas en la actualidad datan de poco después del fin de la Segunda Guerra Mundial, cuando se aprovecharon los sistemas de radiofaros que se habían implantado en aquel tiempo y se tenían como referencia las vías del tren y los ríos [6]. La Organización de Aviación Civil Internacional ha redefinido las rutas a partir de datos entregados por la Guía Oficial de Líneas Aéreas (OAG), en la que se tienen en cuenta las principales rutas en determinadas ciudades, las proyecciones y la composición de la flota. Al redefinir las rutas en 2007, se recortaron 3,8 millones de

toneladas de CO₂, y al año siguiente el ahorro alcanzó las 6 millones de toneladas. Por ejemplo, un vuelo entre Europa y China se redujo en 15 minutos, lo que genera un ahorro de 84 mil toneladas de CO₂ al año [12]. Por su parte, ENAIRE, que es el gestor de navegación aérea de España y que ha sido reconocido por innovar en la gestión del espacio aéreo, ha creado rutas aéreas más directas que han permitido la reducción, entre 2012 y 2015, de más de 3,5 millones en las millas voladas. Esta medida ha permitido, a su vez, el ahorro de cerca de 39.000 Tn de combustible, y evitado la emisión de 123.000 Tn de CO₂ [13].

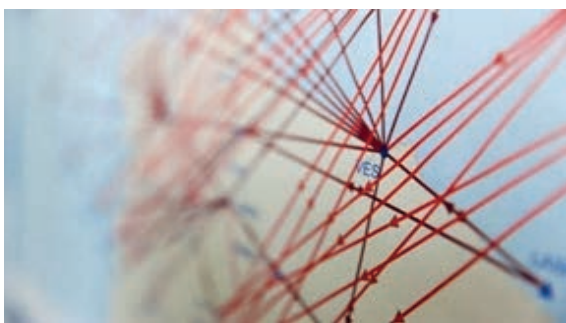


Fig. 4. Fuente: [13]

F. Nextgen, Sesar y Aspire

Para optimizar la gestión del tránsito aéreo, se han intentado establecer diferentes modelos o proyectos con el fin de reducir el consumo de combustible y a la vez hacer más seguras las operaciones en vuelo. NextGen, ejecutado por la FAA, es un importante proyecto de infraestructura de transporte, necesario para modernizar el antiguo sistema de tráfico aéreo de Estados Unidos. Abarca múltiples mejoras operativas y tecnológicas que permiten la eficiencia en cuanto a usuarios y proveedores de servicios. Uno de sus componentes es el software que optimiza el tráfico entrante para agilizar las llegadas de vuelos a aeropuertos congestionados [14], lo que permite que las aeronaves disminuyan sus tiempos de operación y eviten aceleraciones innecesarias. Se espera que este programa pueda generar, para 2018, una reducción de los retrasos del orden del 21%, lo que generaría un ahorro de US\$ 22 mil millones.

En todo el proceso, se espera generar ahorros por 1.400 millones de galones de combustible y se reducirán las emisiones de CO₂ en cerca de 14 millones de toneladas. Estas estimaciones asumen, además, que las operaciones de vuelo se incrementarán en un 19% en los principales 35

aeropuertos de Estados Unidos entre 2009 y 2018, según prevé la FAA. [6]

Sesar y Aspire son programas similares a Nextgen, pero desarrollados en Europa y Asia respectivamente, con objetivos muy parecidos, pero que varían de acuerdo con las condiciones de operatividad de cada región [15]. Probablemente, el punto crítico de esta iniciativa es que demanda la instalación de nuevos sistemas a bordo de las aeronaves, lo que necesariamente requiere de inversión por parte de los operadores.

3. Combustibles alternativos

Es posible que, al considerar el uso de combustibles alternativos, se crea que son “innovadores” o nuevos; sin embargo, los potenciales en uso y eficiencia se conocen desde hace varias décadas. Cuando finalizaba la Segunda Guerra Mundial, la aviación militar alemana era impulsada, en aproximadamente un 85%, por un combustible sintético producido a partir de carbón hidrogenado que se originaba utilizando el proceso “Fischer-Tropsch” [16]. En la figura 5 se representa el proceso que, en la década de 1920, Franz Fischer y Hans Tropsch desarrollaron para transformar carbón en combustible sintético. Desde entonces, este proceso ha sido adaptado para la transformación de otras materias primas, incluyendo la biomasa en combustible.

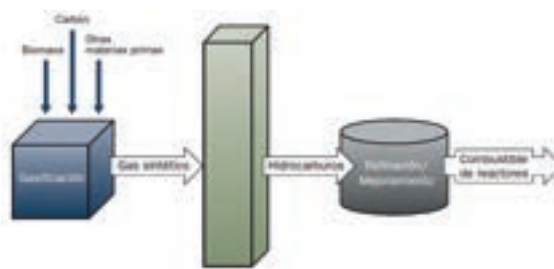


Fig. 5. Fuente: [16]

La biomasa es “el conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de esta”; tiene una enorme versatilidad, ya que de ella se pueden obtener, mediante diferentes procedimientos, combustibles sólidos, líquidos o gaseosos. La biomasa proviene de la reacción de la fotosíntesis que producen sustancias orgánicas a partir del CO₂ del oxígeno del aire, aprovechando también la energía del sol. Por medio de la fotosíntesis, el reino vegetal absorbe y almacena gran parte de la energía que llega a la tierra, formando plantas, árboles,

algas, etc. Posteriormente, el reino animal incorpora y transforma dicha energía. En los dos procesos mencionados anteriormente, quedan subproductos que no tienen valor en la cadena nutritiva, pero que pueden utilizarse como combustible en diversos requerimientos energéticos [17].

Por medio de la transformación de la biomasa mediante distintas tecnologías (combustión directa, pirólisis, gasificación, fermentación, digestión anaeróbica, entre otros), esta se puede aplicar a la generación de biocombustibles [18], los cuales se definen como “[c]ombustibles de origen biológico que no se ha fosilizado” y se clasifican dependiendo de la materia prima que los origina o su estado de agregación [17]. Los biocombustibles vienen a sustituir a los combustibles tradicionales fósiles o minerales, y con ellos se busca reducir la dependencia del petróleo y por lo tanto reducir la huella de CO₂, lo cual contribuiría a la reducción del calentamiento global. Actualmente, se está llevando a cabo una vehemente labor en investigación que puede cambiar a largo plazo los combustibles empleados en aviación [19]. Además de la disminución en las emisiones, este cambio tiene otras ventajas, tales como la disminución de residuos, la reducción en la erosión y degradación del suelo, la diversificación energética, la disminución en la dependencia externa del abastecimiento del combustible y la generación de nuevas oportunidades para el sector agrícola. Sin embargo, los biocombustibles tienen también algunas desventajas: menores rendimientos energéticos, mayores costos de producción (por el momento) y baja densidad energética (es decir, para conseguir la misma cantidad de energía se requiere más cantidad de materia prima) [18].

Varios países desarrollados y en desarrollo llevan a cabo procesos de biocombustibles para disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, reducir emisiones contaminantes y aumentar el desarrollo de zonas rurales. En ese sentido, existen dos procesos de producción que crean combustibles primarios y secundarios. Los biocombustibles primarios son naturales y se usan para calefacción, cocina y producción eléctrica sin proceso químico. Los tipos secundarios de biocombustibles se utilizan para mejorar las propiedades de los primarios, y pueden mezclarse con combustibles fósiles o usarse directamente en motores de combustión interna [20]. La proporción de la mezcla hace parte de las investigaciones que se vienen realizando para llegar a

un porcentaje donde el motor se siga comportando del mismo modo que con el combustible convencional. De esta forma, se podría llegar, eventualmente, a la elaboración de un biocombustible que tenga una reacción de combustión igual de eficiente.

Hay que tener en cuenta que estos combustibles alternativos deben cumplir diversas condiciones para que puedan utilizarse de manera eficiente en el sector de la aviación: 1) no deben ser comestibles, 2) deben ser recursos renovables, 3) deben reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, 4) deben ser sostenibles y tener combustión limpia, y 5) deben ser compatibles con el combustible convencional [20].

A. Fuentes de biocombustibles

Para obtener biocombustibles hay varias fuentes: cultivos agrícolas de caña de azúcar, maíz, sorgo, trigo, palma de aceite, girasol, soja y algas; desechos industriales de alimentos vegetales como cáscaras y pulpas; desechos urbanos como residuos alimenticios, papel, cartón, madera, aguas negras, basura orgánica, etc. [17]. Algunas investigaciones muestran un uso excesivo de aceites de canola, soja, algodón, palma y coco, dependiendo del país productor [20]. Algunos de estos aceites son utilizados por la industria alimentaria, lo cual es cuestionable por aspectos sociales. Por otro lado, deben tenerse en cuenta varios factores al seleccionar las materias primas; por ejemplo, la cantidad de suelo, agua y energía debe ser mínima, y se deben preservar la cadena alimentaria/agrícola y los recursos de agua potable [16].

Los biocombustibles producidos por medio de cultivos no combustibles apoyan el desarrollo económico de sectores agrícolas sin perjudicar las condiciones alimentarias del país. Por eso se han hecho investigaciones sobre recursos como la *Jatropha*, la camelia y las algas (figura 6), que han demostrado gran potencial para el sector de transporte. La *Jatropha* es un cultivo no comestible resistente a la sequía y a las plagas que crece rápidamente en suelos con condiciones climáticas difíciles. Sudáfrica, América del Sur y Central y Asia son zonas apropiadas para su cultivo, que produce por más de 40 años. Por su parte, la camelia es un cultivo no alimentario con alto contenido de aceite que crece en suelos infértiles y que se puede rotar con trigo y cereales. Luego de la extracción del aceite, su sobrante se puede utilizar en

la alimentación de animales. Por último, las algas tienen un alto contenido de lípidos y una alta absorción de CO₂, por lo que ayudan al tratamiento de aguas residuales. Su uso de la tierra es bajo y su crecimiento es rápido, tienen un alto peso en aceite y no son consumibles. Se han hecho investigaciones relacionadas con el bio-jet de las microalgas, que arrojaron como resultado una reducción del 76% en la emisión de gases de efecto invernadero [20].

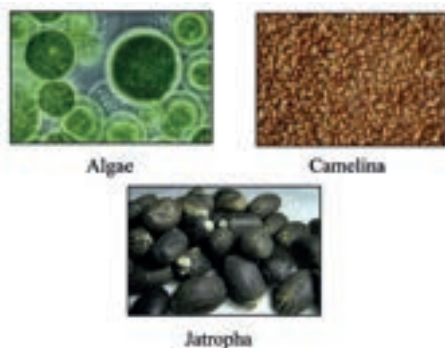


Fig. 6. Fuente: [20]

B. Algunos de los biocombustibles más investigados y tratados

1) Bioetanol

El etanol (abreviatura de alcohol etílico) es conseguido a partir de la fermentación y destilación de productos agrícolas con altos contenidos en azúcar y/o almidón [19], como por ejemplo los cereales (maíz, trigo, cebada, etc.), la remolacha azucarera, la caña de azúcar, el sorgo y la patata, así como excedentes de alcoholes vínicos. En Estados Unidos, la mayoría del bioetanol producido se obtiene de la hidrólisis del maíz; en Brasil, a partir de la caña de azúcar; en Europa, de los cereales y la remolacha, y en China, del maíz y la yuca [18]. Se ha utilizado directamente en motores adaptados, o se hacen mezclas con gasolinas convencionales a un máximo del 5-10% en zonas frías y templadas y del 20% en zonas cálidas [21]. Actualmente es el único combustible renovable potencialmente sostenible.

En cuanto a su uso en la aviación, se observa que el bioetanol presenta algunos problemas, como su alta volatilidad, su baja densidad energética y su alta tendencia a la contaminación [19]. El etanol no debe tener ningún contenido de agua [21], y esto plantea un gran inconveniente en la aviación, pues, al contaminarse con agua, puede llegar a apagarse el

motor en vuelo. También se ha notado que causa problemas de corrosión en ductos de combustible, así como daño a gomas, sellos bombas de combustible y algunos plásticos. En cuanto a sus ventajas, genera menos vibraciones en motores alternativos, lo que alargaría el tiempo de mantenimiento [19].

Por otro lado, se han hecho estudios para determinar los defectos no deseados en los sistemas de combustible. Los resultados de los experimentos realizados con diferentes concentraciones de biocombustibles FAME (éster metílico de ácido graso) con queroseno de aviación Jet A-1 muestran el efecto de degradación de este biocombustible en los sellos de goma utilizados en los sistemas de combustible de los motores turbocompresores de aviación. La degradación de los sellos de goma en el sistema de combustible del motor a reacción pequeño experimental MPM-20 produjo mal funcionamiento del sistema de control del motor y fuga de combustible, lo que inmediatamente amenazó la seguridad contra incendios del laboratorio [22]. En la figura 7 se observa la degradación comparando el volumen y dimensiones de o-Ring después de ser expuestos al FAME con Jet A-1.

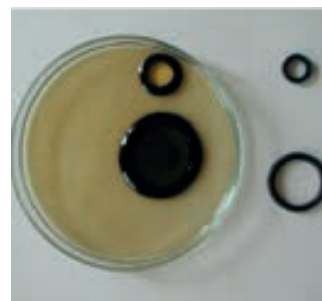


Fig. 7. Fuente: [22]

También se han realizado investigaciones experimentales para determinar la velocidad de combustión laminar de combustibles de aviación alternativos, con el fin de evaluar la viabilidad del uso de los combustibles recientemente desarrollados en aplicaciones de aviación. Estos datos fundamentales se pueden utilizar para desarrollar y validar modelos de combustión que permitan predicciones cuantitativas de rendimiento en el diseño de motores para los combustibles recientemente desarrollados [23].

Ya se han hecho pruebas de bioetanol en aviación. Un avión turbohélice fue capaz de recorrer 600 millas náuticas en 1984 con bioetanol obtenido de palma de

babasu. En 1989, el avión Velocity cruzó el Atlántico utilizando solo etanol como combustible. En 2004, el Embraer Ipanema (figura 8) se convirtió en el primer avión en ser certificado para funcionar 100% con etanol. Posteriormente, un Cessna 152, modificado por la universidad Baylor de Texas, también pudo operar con el 100% de etanol. De igual forma, la Piper Pawnee puede operar tanto con Avgas como con etanol [19]. Todos los anteriores aviones funcionan con motor alternativo.



Fig. 8. Fuente:
https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Embraer_201A_Ipanema.jpg

2) Biodiésel

El llamado e-diésel se obtiene a partir de semillas oleaginosas, de aceites de fritura usado y de grasas animales. La ASTM (American Society for Testing and Materials.) lo define así: “esteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables o grasas animales y que se emplean en motores diésel o calderas” [21]. La Unión Europea lidera su producción, seguida por los Estados Unidos y por Latinoamérica, gracias a Brasil y Argentina [18]. Dentro de las ventajas que tiene el biodiésel están las reducciones de hidrocarburos no quemados y de monóxido de carbono en un 50%, la eliminación total de la emisión de sulfuros y la mejora en la lubricación. Además, el biodiésel como combustible de aviación no necesitaría modificación del motor. Sin embargo, tiene la desventaja de que cambia el punto de congelación; por ejemplo, con 10% añadido el punto de congelación baja de -51°C a solo -29°C . En relación con esto, la Universidad de Purdue desarrolló una variante de biodiésel, formada por 60% de keroseno y 40% de biodiesel a base de soja, que se congela a -40°C , lo que permitiría su uso en aviación. Otras desventajas son la biodegradabilidad, que causa crecimiento biológico en el almacenamiento, y el alto contenido de oxígeno, que causa un peso extra

innecesario (para eliminarlo, se propone someterlo a un proceso de hidrot ratamiento, lo que además aumentaría el poder calorífico) [19] [20]. Ya en 2014, la ASTM aprobó el uso de 5mg/Kg de biodiésel en combustible para aviones, y, según algunos estudios, se espera que para 2025 se pueda utilizar biodiésel en un 50% con keroseno al 50% [20].

En la tabla 1 se muestran algunas características de los biocombustibles más utilizados (bioetanol, biodiésel) en comparación con el combustible tradicional para aviones jet.

TABLA 1. FUENTE: [20]

Items	Biodiesel (EN14214)	Ethanol	Jet fuel
Molecular weight (kg/jmol)	-	46,07	=185
Density (g/ml@20°C)	0.80-0.9	0,789	0,775-0.84
Kinematic viscosity (mm ² /s@40°C)	3,5-5	1,08	8
Low heating value (MJ/kg)	35-43	26,8	42,80-43,02
Freezing point (°C)	-1--15	-114,3	-47--60
Flash point (°C)	>120	8	38
Auto ignition temperature (°C)	-	434	210
Boiling point (°C)	-	78,4	150-170
Vapour pressure (kPa@38°C)	-	13,8	14-21
Oxygen content (%)	-	34,8	-

3) Biocarburantes sintéticos

La síntesis de Fischer-Tropsch (FT) es un proceso químico para producir hidrocarburos líquidos, que convierte una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno. Puede considerarse como una polimerización catalítica del monóxido de carbono, acompañada de la reacción con hidrógeno para hacer metileno CH₂ de parafinas [21]. Los combustibles FT suelen ser de combustión limpia, tienen un alto valor y se caracterizan por su no toxicidad, su ausencia de emisiones de óxidos de nitrógeno, su bajo contenido de azufre y aromáticos, su emisión reducida de partículas y su alto índice de cetano. Además, la combustión del combustible no contiene CO₂ ni hidrocarburos. El combustible para aviones producido por el proceso FT a partir de diferentes materias primas muestra propiedades similares y se caracteriza por la ausencia de azufre y aromáticos. Las diferencias en las propiedades de los combustibles FT se deben principalmente a las condiciones operativas más que a la naturaleza de la materia prima. El proceso FT es costoso y la eficiencia del proceso oscila entre el 25% y el 50%. Igualmente, estos combustibles tienen baja potencia y bajo consumo de combustible debido a la baja densidad de energía, además de tener baja lubricidad debido a la ausencia de azufre. Sin embargo, la lubricidad del combustible mejora cuando los combustibles FT se mezclan con combustibles convencionales. Según la

norma ASTM D7566, el combustible FT está aprobado para una mezcla del 50% con combustible Jet-A1 [20]. Este proceso se puede apreciar en la figura 9.

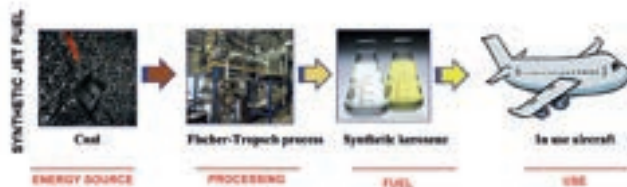


Fig. 9. Fuente: [20]

El combustible sintético FT se fabrica, en la actualidad, por SASOL (South African Synthetic Oil Limited) en Johannesburgo, y está siendo utilizado por los aviones comerciales que pasan por el aeropuerto de esta ciudad en Sudáfrica. Este combustible se aprobó bajo la norma D 1655, “especificación para los combustibles para turbinas de aviación”, que permite usar la mezcla del 50% [21]. La OACI se ha preocupado por alcanzar la certificación de combustibles alternativos, y así lo demostró en la conferencia sobre combustibles alternativos realizada en Ciudad de México en 2017, donde se aprobó el proceso y se establecieron como anexos al estándar ASTM D7566. Es todo un hito disponer de una norma reconocida internacionalmente que permite a todas las partes que participen en la producción, adquisición y utilización de los combustibles alternativos garantías sobre seguridad y viabilidad. [24]. Los anexos se resumen en la tabla 2.

TABLA 2. FUENTE: [24]

Anexo	Proceso de conversión	Abreviatura	Posibles materias primas	Coefficiente de mezcla en volumen	Propuestas de comercialización
1	Queroseno parafínico sintético Fischer-Tropsch	FT-DPE	Carbón, gas natural, biomasa	50%	Fulcrum Bioenergy, Red Rock Biofuels, SG Praction, Esso, Sasol, Shell, Tynrefuelum
2	Queroseno parafínico sintético de esteres y ácidos grasos hidroprocesados.	HEFA-DPE	Bioceritos, grasas animales, aceites, residuos	50%	Aktis Fuel, Honeywell UPO, Neste Oil, Dynamic Fuel, EBEC
3	Isoparafinas sintéticas de azúcar fermentada hidroprocesada.	SIP-DPE	Biomasa utilizada para la producción de azúcar	10%	Amyris, Total
4	Queroseno parafínico sintético con aromáticos obtenidos mediante la alquilación de aromáticos ligeros de fuentes distintas al petróleo.	SPEFA	Carbón, gas natural, biomasa	50%	Sasol
5	Queroseno parafínico sintético a base alcohol para reactores.	AFI-DPE	Biomasa utilizada para la producción de almidón y azúcar, así como biomasa celulósica para la producción de etanol	30%	Gevo, Cobalt, Honeywell UOP, Lanzatech, Swedish Biofuel, Prpyr

4) Hidrógeno

El hidrógeno es el elemento más abundante en la naturaleza. Aunque no esté en estado libre, es el más sencillo de los elementos, ya que está formado solo por un protón y un electrón. Es inodoro, incoloro y no tóxico, y tiene una densidad de 0,07 Kg/m³, lo que le da la ventaja de almacenar por unidad de masa 2,6 veces la cantidad de energía que la gasolina [25] [21].

El hidrógeno se produce desde el siglo XIX con la separación del hidrógeno y el oxígeno mediante electrolisis, aunque su problema es que requiere gran cantidad de electricidad y esta es costosa, más si procede de fuentes renovables. La opción más económica es producir hidrógeno a partir de gas natural mediante la tecnología del reformado de vapor, que consiste en romper las moléculas de gas con vapor de agua en presencia de un catalizador. Actualmente se produce el 48% del hidrógeno de esta manera. La forma más antigua consiste en convertir el carbón en gas calentándolo hasta 900°C, con lo que se obtiene un gas con el 60% de hidrógeno. La gasificación del carbón representa el 18% de la producción mundial, ya que es un recurso abundante y puede seguir siendo una alternativa en el futuro [25].

En los últimos 20 años se han incrementado las investigaciones sobre la energía del hidrógeno. En especial, se han llevado a cabo proyectos para su producción partiendo de energías alternativas. Tal es el caso del HySolar entre Arabia Saudita y Alemania, que busca obtener hidrógeno por electrólisis con electricidad generada por paneles solares. También se tienen proyectos como el Euro-Quebec Hydro-Hydrogen Pilot Project, para la producción de hidrógeno en Canadá a partir de energía hidroeléctrica, que es enviada por barco a Alemania. Igualmente, cabe destacar a Islandia, que en 1999 anunció su intención de ser la primera sociedad del hidrógeno del mundo, reuniendo esfuerzos de Shell Hydrogen, Daimler Chrysler y NorskHydro en una iniciativa para convertir buses, carros y barcos a hidrógeno en los próximos 40 años [26].

Como será tendencia en el futuro, es importante tener en cuenta cuáles son las ventajas y desventajas del hidrógeno frente a combustibles fósiles [21]:

Ventajas:

- Alta densidad energética en base másica. Bajo peso de combustible en los tanques de almacenamiento.
- Alta disponibilidad. Se puede producir a partir de distintas materias primas.
- Es un elemento estable no corrosivo.
- La combustión del hidrógeno con oxígeno solo produce agua (en determinadas relaciones puede producir óxidos de nitrógeno NOx).

Desventajas:

- Baja densidad energética en base volumétrica. Se requieren tanques contenedores grandes y pesados.
- Transporte y almacenamiento costoso y de implementación compleja.
- Se debe consumir energía para conseguirlo a partir de las distintas materias primas (agua, biomasa, combustibles fósiles) ya que no existe en estado natural.

En la industria aeronáutica el hidrógeno se utilizó para elevar los globos en el siglo XVIII, y un Zeppelin fue el primer dirigible que voló usando hidrógeno. Desde finales del siglo XX, el hidrógeno se ha investigado como combustible para aviones. El principal reto en relación con este uso es el volumen que deben tener los tanques, así como su forma y el aislamiento térmico cuando se usa hidrógeno líquido. Así, en el proyecto Cryoplane, se busca una configuración adecuada para la ubicación y tamaño de los tanques, procurando que la relación peso del tanque y peso del hidrógeno líquido sea la mejor para la eficiencia del vuelo. Otro reto es el proceso de entrega y tiempo de reabastecimiento, pues en una aeronave tradicional se reposta fácilmente en el aeropuerto, pero con hidrógeno líquido no solo el transporte sino también el almacenamiento en aeropuertos generan un gran problema. Adicionalmente, el tiempo de recarga de hidrógeno es mayor.

Desde el punto de vista ambiental, la única preocupación de las autoridades son las emisiones de NOx y CO2 en los aviones, y esa es la razón por la cual el hidrógeno les llama la atención. Durante la combustión de hidrógeno, se produce una cantidad menor de NOx y vapor de agua (H2O), porque no hay carbono. El vapor de agua es aceptado como uno de los gases de efecto invernadero más fuertes que existen, y el avión alimentado con H2 puede producir

casi 2.6 veces más H2O que los aviones tradicionales que usan queroseno. Sin embargo, no permanece en la atmósfera mientras dure el CO2. Este último permanece en el aire casi cien años, mientras que, para el H2O, este período es de solo un par de semanas. Además, las emisiones de NOx pueden reducirse hasta en un 80% en comparación con el queroseno [27]. En la tabla 3 se comparan las emisiones, la eficiencia, el costo y el ruido producido en una aeronave operada con hidrógeno líquido y una aeronave con combustible tradicional.

TABLA 3. FUENTE: [27]

	Traditional Aircraft	LH ₂ Fueles Aircraft
CO ₂ emission /gCO ₂ /g of fuel)	3.18	0
H ₂ O emission (gH ₂ O/g of fuel)	1.23	3.14
NO _x emission (gNO _x /kg of fuel)	12	4.28
Fuel efficiency (kj/seat km)	1210	950
Fuel cost (USD/kg)	0.43	1.2
Noise (dBA)	89.8	89.8

El uso de hidrógeno líquido como combustible en el avión tiene muchos beneficios con respecto al uso de queroseno, tales como [27]:

- Mayor contenido energético por peso (3 veces).
- Casi un 22% más de vuelos eficientes para transporte de largo alcance.
- Menos peso bruto de despegue obtenido para transporte de medio y largo alcance.
- Costo operativo directo ligeramente menor.
- Ciclo de vida de motores mejorado; así, los costos de mantenimiento disminuyen.
- Si LH2 irrumpe en las llamas, se maneja más fácilmente.
- Cero emisiones de CO2 y menos emisiones de NOx.

Se realizó un estudio en el que se investigó el efecto del combustible de hidrógeno en el rendimiento exergético de un motor turborreactor utilizado en un avión de entrenamiento militar. Para el primer paso, las evaluaciones del rendimiento exergético se realizan de acuerdo con el uso de combustible para aviones y los datos reales de la celda de prueba del motor. Para el segundo paso, se estima paramétricamente una evaluación exergética para usar el combustible de hidrógeno en el motor. Finalmente, los resultados de rendimiento del motor que funciona con combustible para aviones se comparan con los resultados de rendimiento del motor que funciona con combustible de hidrógeno. Con respecto a los resultados de este estudio, al usar combustible de hidrógeno en el motor, la eficiencia del motor disminuye del 15,40% al 14,33%, mientras que la tasa de eficiencia de los desechos aumenta de 6196,51 kW a 6669,4 kW. Al

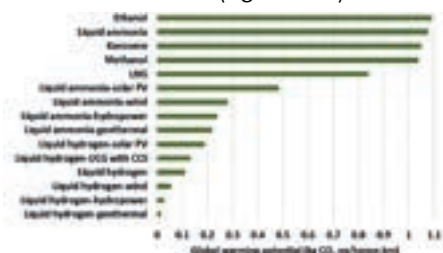
mismo tiempo, la tasa de ejercicio del combustible aumenta de 7324.87 kW a 7785.25 kW, por lo tanto, el ejercicio de combustible específico del combustible de hidrógeno es mayor que el del combustible para aviones. El costo del flujo de exergía de residuos del motor aumenta de 16.52 10 3 US \$ / kW a 17.79 10 3 US \$ / kW. El factor de efecto ambiental del motor aumenta de 5.49 a 5.98 y el factor de efecto ecológico aumenta de 6.49 a 6.98. [28]

Se han realizado evaluaciones del ciclo de vida de los combustibles alternativos, en los que se incluye el análisis de gases de efecto invernadero, extracción y transporte de materias primas desde el campo o mina hasta la producción, procesamiento hasta el tanqueo del avión, prácticamente desde la naturaleza del combustible alternativo hasta la estela del avión. En la tabla 4 se observan las propiedades específicas de energía, densidad y densidad de energía de varios combustibles de aviación alternativos. El hidrógeno líquido tiene la energía específica más alta, aunque el combustible Jet A utilizado actualmente tiene la mayor densidad de energía. De acuerdo con los estándares de combustible de aviación, algunos de estos combustibles actualmente no son adecuados para el uso en aeronaves; sin embargo, al avanzar las tecnologías en motores y combustión, los combustibles mencionados probablemente se conviertan en alternativas en la industria de la aviación [29].

TABLA 4. FUENTE: [29]

Fuel	Specific energy (MJ/kg)	Density at 15° C (g/m ³)	Energy density (MJ/L)
Kerosene (Jet A/Jet A-1)	43.2	0.808	34.9
Liquid hydrogen	120	0.071	8.4
Liquid methane	50	0.424	21.2
Methanol	19.9	0.796	15.9
Ethanol	27.2	0.794	21.6
Biodiesel (typical)	38.9	0.87	33.9
Liquid ammonia	18.6	0.73	13.6

Como resultado de la comparación, en diferentes estudios (algunos simulados en ordenador), entre los combustibles alternativos, se evidencia una constante disminución de las emisiones que causan efecto invernadero en todos, al compararlos con el combustible tradicional (figura 10).



4. Metodología

Para la elaboración de este artículo de revisión se definió el tema teniendo en cuenta el impacto del sector aeronáutico en la contaminación debido a las necesidades energéticas de consumo incremental. Se hizo la búsqueda documental utilizando diferentes bases de datos de revistas electrónicas, tales como Science Direct, ProQuest y Ebsco, entre otras, y se procedió al filtrado y selección de las fuentes a partir de su relevancia en relación con el tema seleccionado. Estas fuentes se dividieron en dos grupos: en el primero, se incluyeron los textos sobre alternativas aplicables a corto plazo, y en el segundo, los textos sobre biocombustibles. Estos dos temas fueron los más encontrados, por su inminente implantación futura. Se realizó el análisis, organización y síntesis de la información para plasmar en el artículo el enfoque de las posibles alternativas energéticas para aeronaves.

5. Conclusiones

- La industria aeronáutica, al igual que otros sectores, presenta problemas debido a la dependencia del petróleo. Esta fuente de energía no renovable tiene grandes inconvenientes, como la contaminación que genera y los costos elevados que implica reducir su producción, los cuales repercuten en la sociedad y se convierten en un tema obligado de los entes reguladores, los gobiernos, los investigadores, etc. La industria aeronáutica debe propender por un futuro sostenible, y en ese sentido está haciendo esfuerzos que beneficien a toda la sociedad.
- El sector aeronáutico ya viene implementando estrategias, desde varios frentes, que beneficien su consumo energético. Prueba de ello son los avances en diseños estructurales y aerodinámicos y la modificación de las rutas aéreas y del control del tráfico aéreo, que buscan reducir en gran medida el consumo de combustible.
- Los biocombustibles han ganado relevancia en el sector del transporte, y la aeronáutica no es ajena a esta situación. Por tal motivo, ya existen aeronaves certificadas para utilizar este tipo de energía, y se busca implantarlo en todos los tipos de motores usados en aeronáutica, por los beneficios obvios para el medio ambiente, la producción y la auto sostenibilidad.
- Es con esta visión de futuro que se realizan pruebas con combustibles alternativos como el hidrógeno, que, debido a su capacidad energética, se vislumbra

como el combustible que será eventualmente elegido por su bajo grado de emisiones contaminantes.

Referencias

- [1] Organización de Naciones Unidas ONU, "Nuestro futuro común", Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, 1987.
- [2] Organización Internacional de Aviación Civil OACI, "El informe anual del 2018", Montreal, Canadá: Publicaciones ICAO, 2018.
- [3] E. A. Valencia, V. H. Hidalgo, Á. Aguinaga, E. Cando y M. Caldera, "Estudio de tecnologías innovadoras para sistemas de propulsión en aeronaves", INGENIUS, n° 13, pp. 5-11, 2015.
- [4] A. Varios, On Board a Sustainable Future, Montreal, Canadá: Environment Branch of the International Civil Aviation Organization (ICAO), 2016.
- [5] Staff Of The World Bank, "Air Transport and Energy Efficiency", Transport Papers, Washington, DC, Estados Unidos, 2012.
- [6] A. Marcigliano, El transporte aéreo después del petróleo. La encrucijada verde, Buenos Aires, Argentina: Fundación Proturismo Por Un Turismo Sustentable, 2015.
- [7] G. Yajnik, "'Peak Oil' and Alternative Forms of Energy: Need to Transit Towards Gandhian Economic Thinking", Research Horizons, n° 5, pp. 40-44, 2015.
- [8] D. Chena y J. Sunb, "Fuel and emission reduction assessment for civil aircraft engine fleet on-wing washing", Transportation Research, vol. D, n° 65, pp. 324-331, 2018.
- [9] K.-s. Yin, A. Ward, P. Dargusch y A. Halog, "The cost of abatement options to reduce carbon emissions from Australian international flights", International Journal of Sustainable Transportation, vol. 12, n° 3, pp. 165-178, 2018.
- [10] V. Kumar, L. Sherry y T. Thompson, "Analysis Of Emissions Inventory For 'Single-Engine Taxi-Out' Operations", en Third International Conference On Research In Air Transportation, Fairfax, VA, Estados Unidos, 2008.
- [11] A. Errico y V. Di Vito, "Study of Point Merge technique for efficient Continuous Descent Operations in TMA", IFAC PapersOnLine, n° 51, pp. 193-199, 2018.
- [12] Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), "Plan mundial de navegación aérea 2016-2030", Montréal, Canadá: Organización de Aviación Civil Internacional, 2018.
- [13] D. R. Vilarasau, "La mejora de las rutas aéreas impulsa la reducción de combustible y CO2", Madrid, España, 2016.
- [14] V. S. Guzhva, A. Abdelghany y T. Lipps, "Experimental approach to NextGen benefits estimation: A case of single-airline Aircraft Arrival Management System", Journal of Air Transport Management, n° 35, pp. 108-116, 2014.
- [15] G. Enea y M. Porretta, "A Comparison Of 4d-Trajectory Operations Envisioned For Nextgen And Sesar, Some Preliminary Findings", en International Congress of the Aeronautical Sciences, Brisbane, Australia, 2012.
- [16] J. Hupe, "Segunda toma: Combustibles alternativos", Revista de la OACI, vol. 64, n° 3, pp. 20-23, 2009.
- [17] J. C. Vega de Kuyper y S. R. Morales, Fuentes de energía, renovables y no renovables. Aplicaciones, México, DF: Alfaomega, 2014.
- [18] A. I. de Lucas Herguedas, C. del Peso Taranco, E. Rodríguez García y P. Prieto Paniagua, Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad, Madrid, España: Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario. ITAGRA.CT, 2012.
- [19] A. García Pérez, "Uso de biocombustibles en la aviación comercial", ACTA. Autores Científicos, Técnicos y Académicos, pp. 105-112.
- [20] N. Yilmaz a y A. Atmanli, "Sustainable alternative fuels in aviation", Energy, n° 140, pp. 1378-1386, 2017.
- [21] X. E. Castells, Energía y transporte, Madrid, España: Díaz de Santos, 2012.
- [22] J. Čerňana, M. Hockob y M. Čúttová, "Safety risks of biofuel utilization in aircraft operations", Transportation Research Procedia, n° 28, pp. 141-148, 2017.
- [23] B. Jo Hwanga, S. Kangb, H. Ju Leec y S. Min, "Measurement of laminar burning velocity of high performance alternative aviation fuels",

Fuel, n° 261, p. 116466, 2020.

- [24] Organización de Aviación Civil Internacional, "Situación de la certificación técnica de los combustibles de aviación alternativos", en Conferencia sobre la aviación y los combustibles alternativos, México, 2017.
- [25] P. Asencio, Hidrógeno y pila de combustible, Madrid, España: Haya Comunicación.
- [26] F. Posso, "Energía y ambiente: pasado, presente y futuro parte tres: sistema energético basado en el hidrógeno", GEOENSEÑANZA, vol. 8, n° 1, pp. 49-66, 2003.
- [27] E. Baharozu, G. Soykan y M. Baris Ozerdem, "Future aircraft concept in terms of energy efficiency and environmental factors", Energy, n° 140, pp. 1368-1377, 2017.
- [28] O. Balli, Y. Sohret y H. T. Karakoc, "The effects of hydrogen fuel usage on the exergetic performance of a turbojet engine", International Journal of Hydrogen Energy, n° 43, pp. 10848-10858, 2018.
- [29] Y. Bicer y I. Dincer, "Life cycle evaluation of hydrogen and other potential fuels for aircrafts", International Journal of Hydrogen Energy, n° 42, pp. 10722-10738, 2017.



UTILIZACIÓN ENERGÉTICA DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS EN AERONAVES DE ALA ROTATORIA

Julián Gonzalia, Juan Rivera, Catalina Melo y Jhon Cárdenas.

Julian.gonzalia@esufa.edu.co

Escuela de Suboficiales CT Andrés M. Díaz - ESUFA

Energetic utilization of mechanical vibrations in rotary-wing aircraft

Julián Gonzalia, Juan Rivera, Catalina Melo y Jhon Cárdenas.

Julian.gonzalia@esufa.edu.co

Escuela de Suboficiales CT Andrés M. Díaz - ESUFA

Resumen. El aprovechamiento de las vibraciones mecánicas que producen las aeronaves de ala rotatoria representa una alternativa para generar energía eléctrica. De esta manera, se desarrolla un prototipo basado en un piezoeléctrico, el cual integra un sistema eléctrico y un sistema mecánico capaz de convertir la energía vibracional mecánica en energía eléctrica. En este caso, se realizan pruebas experimentales para determinar la intensidad de corriente que fluye por el sistema como consecuencia de la transformación de energía vibracional en energía eléctrica y el uso de esta para ser utilizada en dispositivos de iluminación, sonoros y de comunicación.

Abstract. Taking advantage of the mechanical vibrations produced by rotary-wing aircraft represents an alternative to generating electrical energy. In this way, a prototype based on a piezoelectric is developed, which integrates an electrical system and a mechanical system capable of converting mechanical vibrational energy into electrical energy. In this case, experimental tests are carried out to determine the intensity of current that flows through the system as a consequence of the transformation of vibrational energy into electrical energy and its use in lighting, sound and communication devices.



Palabras clave: Ala rotatoria, energía, piezoeléctrico, transformación, vibraciones.
Keywords: Rotating wing, energy, piezoelectric, transformation, vibrations.

1. Introducción

La presente investigación surge de la iniciativa de buscar energías alternativas que permitan suplir algunas necesidades en el mantenimiento y empleo de aeronaves, a su vez, para contribuir con los programas de la Fuerza Aérea Colombiana orientados a mitigar el impacto ambiental por el uso de fuentes de energía tradicional o fósil. De esta manera, al observar las fuertes vibraciones y movimientos oscilatorios de las aeronaves de ala rotatoria, se hace un análisis preliminar de cómo se puede transformar esa energía mecánica en energía eléctrica.

Se tiene un piezoeléctrico fabricado por láminas de cuarzo y placas metálicas, con dos conexiones eléctricas, lo cual le permite no solo disipar la vibración, sino que también almacenar energía.

Frente a las vibraciones producidas por las aeronaves de ala rotatoria, se aprovecha estas para transformarla en energía mecánica. Las vibraciones se presentan por un desequilibrio: el eje principal de inercia no coincide con el eje geométrico del sistema, lo que provoca las vibraciones, y es aquí cuando se pueden aprovechar estas para convertirlas en energía.

2. Metodología y desarrollo

Se crea un prototipo integrado con un piezoeléctrico para transformar la energía mecánica a energía eléctrica por medio de las vibraciones. Para lograr esta operación, se llevan a cabo tres fases:

La primera fase consiste en determinar las piezas y materiales que se van a utilizar para crear el prototipo, a partir de las diferentes pruebas físicas. Los materiales seleccionados son:

- ± Piezo eléctrico en aluminio con aleación de cuarzo de 2 x 2 mm, incluye caja en pasta y dipolos.
- ± Capacitor o condensador de energía de 220 uF a 16 V.
- ± Biorectificador de 2 A.
- ± Cables conductores de energía calibre 22 color blanco, rojo y negro.
- ± Switch o interruptor de 1 A.
- ± Diodo Led de 1.5 V.

La segunda fase consiste en elaborar el diseño del prototipo integrando los componentes mecánico y eléctrico, para que funcione adecuadamente.

Se observa que el prototipo aprovecha el movimiento oscilatorio armónico producido por las vibraciones de las aeronaves de ala rotatoria y los dirige verticalmente a través de cuatro resortes sensibles guiados por tornillos y pernos, los cuales permiten generar el estímulo esperado por una palanca de presión ubicada en la placa superior del prototipo, para transformar la energía mecánica en energía eléctrica. (Fig. 1, 2 y 3)

La Fig. 1 ilustra un dibujo inicial del plano eléctrico, aquí se proyecta el circuito eléctrico y las piezas del prototipo a utilizar.

Este bosquejo inicial del circuito describe un punto de origen: el piezoeléctrico; de este se derivan las líneas de corriente positiva y negativa, las cuales, llegan a un capacitor uF 220 a 16 V y, por último, al interruptor que administra la corriente para que llegue a

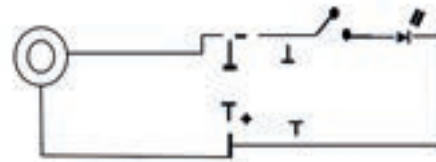


Fig 1 Plano eléctrico

Se proyecta sobre una plaqueta del diseño ajustado del plano, creando una realidad física del plano eléctrico. Aquí se instalan las piezas, las cuales se van a someter a pruebas.

La Fig. 2 describe el plano eléctrico sobre una plaqueta, la cual permite realizar pruebas para determinar las piezas y conexiones.



Fig. 2 Montaje eléctrico

La tercera fase fue de pruebas, tanto eléctricas,

mecánicas e integradas, para validar su funcionamiento. Este componente está integrado por la placa superior, la placa base e inferior, los tornillos, pernos, resortes, tuercas y arandelas que soportan el prototipo desde las esquinas. Los tornillos, tuercas y arandelas, ubicadas en la placa superior, sirven para aumentar la masa, asimismo, con los imanes redondos de alta tracción, ubicados debajo y en los puntos medios de los lados de la placa base, como se describe en la Fig. 3.

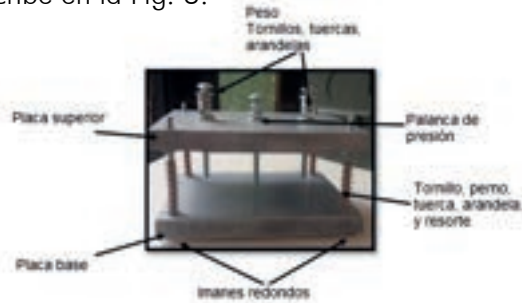


Fig. 3 Montaje experimental

3. Resultados y discusión

En la Fig. 4 se describe la prueba de corriente. Esta consiste en estimular o ejercer presión sobre el piezoeléctrico durante un tiempo promedio de 60 s a 180 s, para determinar el comportamiento entre estos y si se logra la transformación de energía mecánica en eléctrica, además si el piezoeléctrico responde de manera adecuada al estímulo.

Se observa que, al realizar la presión en el piezoeléctrico durante un tiempo de 60 s, se obtiene una producción de corriente de 0,18 mA. Esta producción no es constante, debido a la calidad del piezoeléctrico, que se queda pegado al realizar la presión constante, por lo tanto, no alcanza a generar la cantidad mínima de diferencia de potencial para encender un diodo Led, el cual requiere de 3 V.



Fig. 4 Montaje de pruebas iniciales

Se realiza una prueba mecánica en la cual se tiene en cuenta el comportamiento físico producido por el

movimiento vibratorio que se genera en las aeronaves de ala rotatoria encendidas, de tal manera que esta oscilación de movimiento mecánico ocasione que los resortes se amortigüen verticalmente y, así, la palanca presione o estimule al piezoeléctrico, para que convierta la energía mecánica en eléctrica.

Con los ajustes realizados al prototipo, se obtuvo un comportamiento esperado, es decir, el peso de la placa superior favorece la amortiguación vertical del prototipo, además, los pernos evitan el frenado de los espirales de los resortes. En cuanto, a la función de la palanca de presión, esta permite graduarse fácilmente con el fin de que ejerza una presión o estímulo sobre el piezoeléctrico.

La Fig. 5 ilustra las pruebas funcionales. Luego de los ajustes mencionados anteriormente, en este caso, se produce intencionalmente un movimiento vibratorio, para que produzca que el prototipo amortigüe y ocasione en secuencia que la palanca de presión genere en el piezoeléctrico el estímulo necesario para transformar la energía mecánica en eléctrica.



Fig. 5 Pruebas funcionales iniciales

En la Fig. 6 se ilustra la presión o estímulo que se hace al piezoeléctrico por un tiempo de 60 s y, posteriormente, la producción de corriente en mA, la cual logra subir hasta los 3 V, para lograr encender el diodo led.



Fig. 6 Montaje de pruebas iniciales

En la Fig. 7 se identifican los componentes integrados al prototipo que permitieron la transformación energética.

El resultado final del prototipo, Fig. 8, fue el resultado

de una serie de análisis y pruebas físicas para lograr integrar los sistemas, uno mecánico y el otro eléctrico.

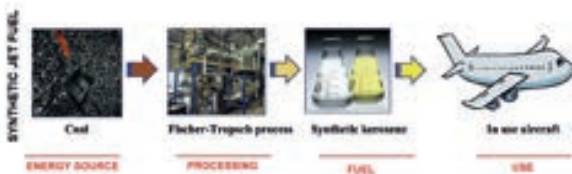


Fig. 8 Prototipo final

De esta manera, al integrar los dos sistemas se observa que el prototipo aprovecha el movimiento oscilatorio producido por las vibraciones de las aeronaves de ala rotatoria y lo dirige verticalmente a través de cuatro resortes sensibles guiados por tornillos y pernos, los cuales permiten generar el estímulo esperado, a través de una palanca de presión ubicada en la placa superior del prototipo, para transformar la energía mecánica.

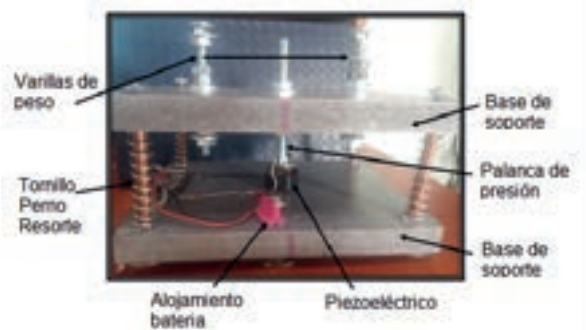


Fig. 7 Pruebas funcionales finales

Las pruebas del prototipo se realizaron en el helicóptero con matrícula FAC 4121, con los motores encendidos de la aeronave en tierra, en la segunda sección del helicóptero, aproximadamente en la WL 206.7 y en la EL 370, es decir, cerca de la puerta que comunica con el gancho de carga de la aeronave. En el helicóptero UH-60 Black Hawk, este proceso transcurrió desde el momento en que se encendieron los motores y hasta instantes previos a que la aeronave se dirigiera hacia la pista, sin levantar vuelo.

Durante la prueba, se notó que la pulsación de la palanca sobre el piezoeléctrico genera corriente. En este caso, se observó que, a medida que aumentaba la fricción sobre el piezoeléctrico, aumentaba la producción en unidades de voltio por minuto (Fig. 9).



Fig. 9 Prueba al prototipo en aeronave encendida.

Durante el tiempo de prueba, se observó una producción total de corriente de 1,87 mA en 2,25 min. Esto quiere decir, por minuto, se produce 0,77 mA. Esta producción de corriente se puede incrementar al aumentar el número de piezoeléctricos en la herramienta. Por lo tanto, fue posible registrar valores de corriente que salen directamente del piezoeléctrico, lo que permite deducir que, en las diferentes etapas por las que pasa el helicóptero en tierra, también existen variaciones en la cantidad de energía cinética que se logra tomar de la máquina y que se pueden aprovechar.

4. Conclusiones

Al crear el prototipo, se concluye que fue necesario analizar detalladamente el comportamiento físico que produce las vibraciones de la aeronave para determinar los componentes a integrar, en este caso, se pudo redireccionar el movimiento vibratorio producido por las aeronaves de ala rotatoria, aunque, en algunos momentos el movimiento brusco hizo que los resortes se trancaran con el tornillo, lo que ocasionó un choque de los elementos. En cuanto a la transformación de energía mecánica en corriente eléctrica, se evidenció la producción de corriente, aunque en bajas cantidades: se observó una producción de 0,77 mA por min, lo cual es una cantidad relativamente baja, pero abre la posibilidad, en un futuro, para ajustar el diseño e incorporar más piezoeléctricos, y así aumentar la producción de corriente.

Luego de determinar los materiales para crear el prototipo, se concluye que este integra dos sistemas: uno eléctrico y otro mecánico. Por lo tanto, fue necesario probar la funcionalidad de las piezas y materiales individualmente en cada sistema, para definir cuáles eran las piezas que más benefician cada componente.

Con respecto a las pruebas funcionales, se concluye

que las vibraciones de la aeronave la palanca estimuló el piezoeléctrico, y se logró registrar valores de corriente desde el prototipo.

Referencias

- N. Castellanos, "Evaluación preliminar del uso del efecto piezoeléctrico para generación de energía", no. 40, 2013.
- G. J. Cifuentes, "Baldosa piezoeléctrica para alimentar sistemas de iluminación de bajo consumo energético", no. 102, 2013.
- R. M. Cupich y F. J. Elizondo Garza, "Actuadores piezoeléctricos", Ingenierías, vol. III, no. 6, pp. 22-28, ene.-mar. 2000 [En línea]. Disponible: http://eprints.uanl.mx/10005/1/6_Miguel_Cupich_et_al_actuadores_Piezo.pdf
- Ministerio de Economía y Competitividad, "Cuarzo piezoeléctrico" [En línea]. Disponible: http://museo.virtual.csic.es/csic75/instrumentos/cuarzo_piezoelctric_o/cuarzo_piezoelctrico.html#tabr2
- C. Espitia Caita y L. J. Puerto Molina, "Diseño y construcción de un mini aerogenerador de eje vertical", trabajo de fin de grado, Univ. Mil. Nueva Granada, Bogotá, Colombia, 2014 [En línea]. Disponible: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/13797/>

- Libro.pdf?sequence=2&isAllowed=y FAC, Manual del modelo de investigación del sistema educativo de la FAC, Bogotá, Colombia: FAC, 2018.
- J. M. Goncalves Ribeiro, "Passive Vibration Control of Beams Via Shunted Piezoelectric Transducing Technologies", trabajo de fin de máster, Universidade do Porto, Portugal, 2010 [En línea]. Disponible: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/57948/1/000143468.pdf>
- R. F. Hernández Sampieri, Metodología de la investigación, México: Interamericana Editores, 2014. ICONTEC, Norma técnica colombiana 2050: código eléctrico colombiano, Bogotá, Colombia: ICONTEC, 1998.
- B. Jiménez, "Materiales piezoeléctricos: formas de presentación ventajas y desventajas en las aplicaciones", Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, vol. 34, no. 5-6, pp. 272-276, sep.-dic. 1995 [En línea]. Disponible: <http://digital.csic.es/handle/10261/48658>
- R. J. Vidmar, "On the use of atmospheric plasmas as electromagnetic reflectors", IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 21, no. 3, pp. 876-880, ago. 1992.



DISEÑO DE HERRAMIENTA PARA REPARAR LA CINTA DE TITANIO EN LAS PALAS DEL HELICÓPTERO UH-60 BLACK HAWK

Oñate Sánchez, Johan Camilo; Mora Hoyos, Heidy Lorena; González Triana, Jhon Nicolas; Melo, Catalina; Cárdenas, Jhon, y Álvarez Castaño, Juan
jconates2014@gmail.com

Escuela de Suboficiales CT Andrés M. Díaz - ESUFA.

Design of tool to repair the titanium tape on the blades of the UH-60 Black Hawk helicopter

Oñate Sánchez, Johan Camilo; Mora Hoyos, Heidy Lorena; González Triana, Jhon Nicolas; Melo, Catalina; Cárdenas, Jhon, y Álvarez Castaño, Juan

Resumen. La presente investigación se basa en el diseño de una herramienta para la reparación de la cinta de titanio de las palas de los helicópteros UH-60 Black Hawk, en el taller de estructuras del Comando Aéreo de Combate N°5, en Rionegro, Antioquia. En este sentido, se integran en la herramienta un componente estructural y otro eléctrico. En el caso del componente estructural, se utiliza el software Inventor, para realizar pruebas funcionales de esfuerzo Von Mises, análisis de tensión, cargas sobre la estructura y coeficiente de seguridad. Con base en las pruebas mencionadas, se elabora el diseño de la herramienta y se seleccionan los componentes de las estructurales de forma detallada. En este orden, se elabora el plano del circuito eléctrico incorporando un controlador lógico programable (PLC) para regular la temperatura. Esta pieza funciona con un programa que se instala en una computadora y se integra al sistema eléctrico de la herramienta al momento de realizar la verificación; de esta manera, se puede observar las indicaciones de presión, además se puede programar la temperatura y el tiempo que durará el proceso. Por último, se elabora un modelado de la herramienta, para proyectar una perspectiva cercana a la realidad de su funcionamiento.

Abstract. This research is based on the design of a tool to repair the titanium tape of the blades of UH-60 Black Hawk helicopters, in the structures workshop of the Air Combat Command No. 5, in Rionegro, Antioquia. In this regard, a structural component and an electrical component are integrated into the tool. In the case of the structural component, Inventor software is used to perform functional Von Mises stress tests, stress analysis, loads on the structure and safety factor. Based on the aforementioned tests, the design of the tool is elaborated, and the structural components are selected in detail. In this order, the electrical circuit plan is drawn up incorporating a programmable logic controller (PLC) to regulate the temperature. This part works with a program that is installed in a computer and is integrated into the electrical system of the tool at the time of verification; In this way, the pressure indications can be observed, in addition, the temperature and the time that the process will last can be programmed. Finally, a modeling of the tool is developed, to project a prospect close to the reality of its operation.

1. Introducción

El Comando Aéreo de Combate No. 5 es una unidad estratégica para el cumplimiento de la misión de la Fuerza Aérea Colombiana. Es una unidad polivalente dotada de helicópteros UH-60 Black Hawk (Fig. 1), Arpía y aviones livianos, además de los equipos y el talento humano, que le dan la capacidad para desarrollar diferentes tipos de operaciones. Debido a esto, el mantenimiento y reparación de los UH-60 Black Hawk es una prioridad para el desarrollo de las operaciones.



Fig.1 UH- 60 Black Hawk

Esta investigación surge ante la falta de una herramienta para reparar las cintas de titanio de las palas (ver Fig. 2) del rotor principal de los helicópteros UH-60; sin esta herramienta, obliga a enviarlas al exterior, con los consecuentes retrasos en el alistamiento, incremento significativo del costo final del mantenimiento, retrasos operacionales y, en general, traumatismo para el cumplimiento de la misión de la Fuerza Aérea Colombiana. Ahora bien, para realizar la reparación de la cinta de titanio ubicada en el borde de ataque de la pala, se están usando prensas tipo C, las cuales no son recomendables: no aplican una presión uniforme a lo largo de la pala y de la cinta de titanio, y, de este modo, no permite una adecuada adherencia de dicha cinta; por tanto, los tiempos de mantenimiento de estas piezas aumentan. Fig. 3.



Fig. 2 Pala del UH-60 Black Hawk

Con base en lo anterior, se desarrolla el diseño de una herramienta que permita reparar, de manera eficiente y efectiva, la cinta de titanio de las palas de los helicópteros UH-60.

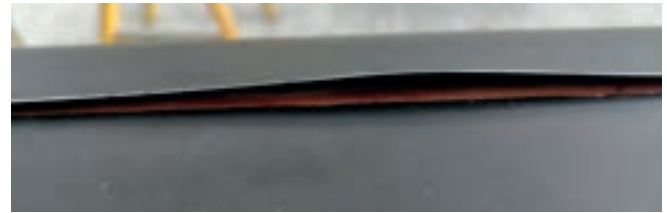


Fig.3 Desprendimiento cinta de titanio

Este diseño beneficia a la FAC, porque aporta un estudio previo sobre la problemática y propone una solución: optimizar los recursos económicos a la hora de su implementación, además de reducir el tiempo del alistamiento de los helicópteros UH-60, lo cual garantiza la disponibilidad de la flota para el desarrollo de las operaciones y el cumplimiento a la misión de la FAC. También reduce, de manera significativa, los costos y trámites administrativos adicionales que ocasiona enviar al exterior las cintas de titanio para la reparación. Por otra parte, se ampliarían las capacidades del taller de estructuras del CACOM-5, ya que la herramienta permitiría realizar la reparación integral en este comando y para el personal técnico encargados del mantenimiento de las palas de los helicópteros UH-60 Black Hawk, resulta una herramienta adecuada para cumplir su labor.

2. Metodología y Desarrollo

Se implementa la investigación aplicada para mejorar y dar solución a la problemática del mantenimiento de las palas de las aeronaves de ala rotatoria los UH-60 Black Hawk. Para ello, es necesario medir la pala y la cinta de titanio, para diseñar una herramienta para la respectiva reparación e instalación de la cinta de titanio. Inicialmente se analiza el procedimiento de remoción e instalación de la cinta de titanio (Fig. 4), para posteriormente determinar los componentes que se van a integrar al plano estructural y eléctrico de la herramienta que se requiere. Por tanto, es necesario realizar pruebas para establecer las piezas y componentes en que se basa el diseño.

Al instalar la cinta de titanio, se determinó que era necesario integrar dos componentes: el eléctrico y el estructural. El primero garantiza y regula la temperatura de la manta térmica, que en este caso sería la pieza principal para proporcionar la temperatura y garantizar la adherencia de la cinta de titanio a la pala. El segundo permite que la herramienta este constituida por tres secciones, debido a su tamaño, para que el operario pueda mover fácilmente la herramienta de un punto a otro y generar una presión uniforme a la pala.

De acuerdo con lo anterior, se generó el modelado estructural de la herramienta en el software inventor de la siguiente manera:



Fig.4 Procedimiento de instalación de la cinta de titanio

Las secciones estructurales son elaboradas en el software y el modelado de la herramienta se muestra en la Fig. 5.

La siguiente parte corresponde al diseño del plano eléctrico de la herramienta en el software PROTEUS 8.0. (ver Fig. 6). En la elaboración del diagrama fue necesario incorporar un controlador lógico programable (PLC), para integrar el sistema programable LABVIEW; entre estas, las termocuplas, sensores de presión y las mantas térmicas. De esta manera, el PLC permite, a través de un programa instalado en un computador, automatizar y documentar el proceso.

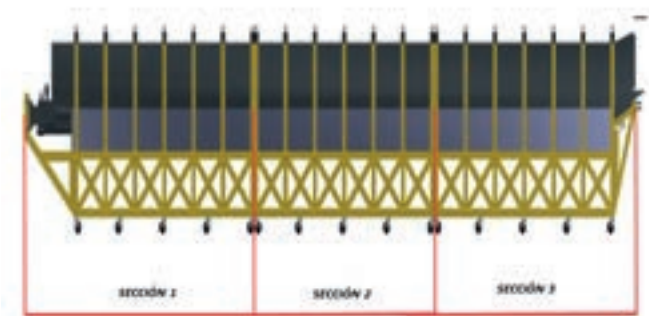


Fig. 5 Modelado herramienta

La Fig. 5 ilustra las secciones estructurales elaboradas en el software "inventor", con la ubicación de los componentes principales. La Fig. 6 ilustra el plano eléctrico con las convenciones, para integrarse al diseño de la herramienta.

En los dos casos, al elaborar el diseño final de la herramienta, es necesario realizar pruebas para establecer las piezas y componentes en que se basa el diseño, y se realiza un modelado en 3D de la herramienta.

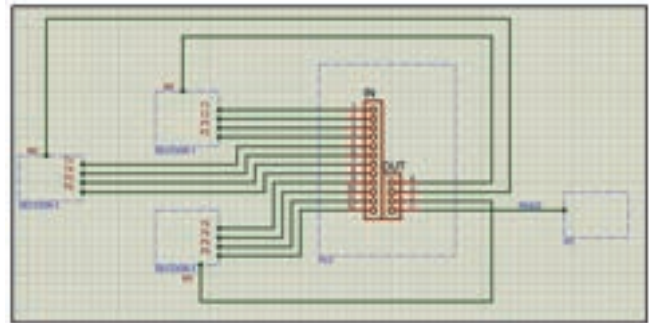


Fig. 6 Diagrama Eléctrico

3. Resultados y discusión

Se desarrollan dos componentes para ser integrados a la herramienta: uno eléctrico y uno estructural.



Fig. 7 Implementación Programa PLC

La Fig. 7 muestra la pantalla principal para la operación y control de la herramienta, con atención a los parámetros establecidos por el manual de reparación e instalación DMWR 1-1615-281. En el LABVIEW se observan las indicaciones de presión y temperatura programadas para controlar la herramienta.

El segundo componente es el estructural: permite unir la herramienta por tres secciones en su totalidad, así mismo, genera una presión uniforme a la pala y facilitar su movilización. En este mismo sentido, al elaborar el diseño final de la herramienta

se facilita realizar un modelado en 3D de la misma, que permita proyectar un acercamiento de esta a la funcionalidad (ver Fig. 8).

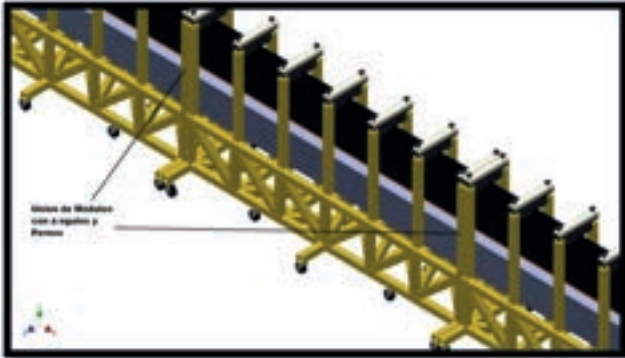


Fig. 8 Modelado herramienta

La Fig. 8 ilustra las uniones, ángulos y los pernos estructurales elaboradas en el software "inventor", con la ubicación de cada uno de ellos.

La prueba de simulación de cargas y tensión de elementos finitos, realizado con base en las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, se estableció, en este caso, que el aluminio es el componente capaz de soportar de forma adecuada la pala. En complemento a lo anterior, la prueba de mallado permitió visualizar el comportamiento de los materiales sobre la estructura. La prueba de Von Mises permitió establecer la concentración mayor de tensiones en la estructura, de este modo, se ajustó el diseño final de la herramienta.

En la Fig. 9 se ilustra la prueba de tensión Von Mises para determinar la concentración de esfuerzo sobre las estructuras.



Fig. 9 Prueba Esfuerzo Von Mises

Las pruebas laterales de desplazamiento realizadas sobre la estructura establecieron los ajustes al diseño de la base de la estructura. En complemento a esto,

Las pruebas de coeficiente de seguridad confirmaron la geometría de la estructura, los materiales y los componentes del diseño, entre estos, definir el tipo de ruedas más favorables para incorporar en el diseño.

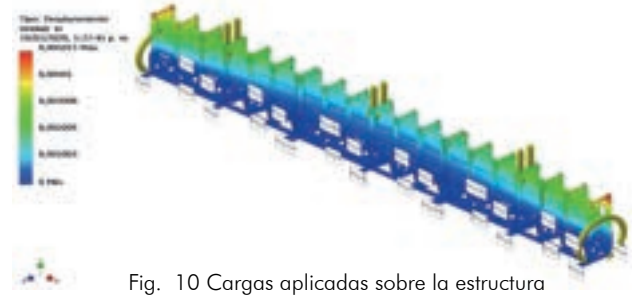


Fig. 10 Cargas aplicadas sobre la estructura

En la Fig. 10 se ilustra la prueba de cargas aplicadas al desplazamiento lateral de las estructuras.

4. Conclusiones

Al estudiar el proceso de instalación de la cinta de titanio a la pala del UH-60 Black Hawk, para determinar los componentes de integración en el diseño de la herramienta, se concluye: fue necesario integrar un componente eléctrico y otro estructural. En este caso, el eléctrico para el control de temperatura y presión, y el estructural, para operar y soportar adecuadamente las palas.

Al elaborar el plano eléctrico, se concluye que fue necesario crear el circuito para manejar un voltaje dentro de un rango de 110 a 240 v, esto debido a los promedios que maneja la manta térmica. Así mismo, se integró al sistema eléctrico un controlador lógico programable (PLC), para originar las indicaciones desde una computadora que incluirá el programa LABVIEW. En cuanto al plano estructural para la integración en el diseño de la herramienta, fue necesario realizar diferentes pruebas a través de un software de elementos finitos llamado "Inventor", teniendo en cuenta el peso y tamaño de las palas.

Al realizar el modelado de la herramienta, se concluye que el diseño describe, técnicamente y en detalle, los componentes estructurales, las partes y los materiales, además, proyecta desde varios ángulos una perspectiva de la funcionalidad de la herramienta.

Referencias

AEROCIVIL. (1998). www.aerocivil.gov.co. Recuperado el 07 de 2020, de <http://www.aerocivil.gov.co/normatividad/Leyes%20compendio%20de%20la%20legislacion/LEY%20%2039%20de%201988.pdf>

AEROCIVIL. (12 de 2019). www.aerocivil.gov.co. Recuperado el 07 de 2020, de <http://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/R-C%20%2043%20-%20Mantenimiento.pdf>

AEROCIVIL. (12 de 2019). www.aerocivil.gov.co. Recuperado el 07 de 2020, de <http://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC%20%2043%20-%20Mantenimiento.pdf>

AEROCIVIL. (2020). Recuperado el 07 de 2020, de <http://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC%20%2091%20-%20Reglas%20Generales%20de%20Vuelo%20y%20Operaci%C3%B3n.pdf>

AEROCIVIL. (2020). www.aerocivil.gov.co. Recuperado el 07 de 2020, de <http://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC%20%20160%20-%20Seguridad%20de%20la%20Aviaci%C3%B3n%20Civil.pdf>

ARMY, Manual DMWR 1-1615-281 Main Rotor Blade Assembly, Estados Unidos: Departamento Ejército, 2012.

ARMY, Manual Mantenimiento Rotor System TM 1-1520-237-23, Estados Unidos: Departamento Ejército, 2017.

ARMY, Manual Técnico de Mantenimiento Intermedio TM 1-11520-237-23-7, Estados Unidos: Departamento Ejército, 2017.

ARMY, Manual Técnico de Mantenimiento Intermedio TM 1-1520-237-23-12, Estados Unidos: Headquarters, Department of the Army, 2017.

Asamblea Nacional Constituyente. (1991).

Recuperado el 26 de 07 de 2020, de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/-constitucion_politica_1991_pr007.html

A.A. Ayala, Componentes Estructurales. Ilustración Componentes Estructurales, Medellín, Colombia: Región, 2020.

A. A. Ayala, Diseño Estructura Herramienta. Plano Módulo CUFF, Medellín, Colombia: Autor, 2020.

A. A. Ayala, Diseño Planta Estructura, Medellín, Colombia, 2020.

Congreso de la Republica. (1947). www.aerocivil.gov.co. Recuperado el 2020, de <http://www.aerocivil.gov.co/normatividad/Leyes%20compendio%20de%20la%20legislacion/LEY%2012%20-DE%201947.pdf>

FAC, Manual Modelo Investigación Sistema Educativo FAC, Bogotá, Colombia: FAC, 2018.

FAC. (2020). www.fac.mil.co. Recuperado el 24 de 07 de 2015, de <https://www.fac.mil.co/cacom5/Misi%C3%B3nyVisi%C3%B3nCacom5>

FAC. (25 de 07 de 2020). www.fac.mil.co. Obtenido de <https://www.fac.mil.co/innovaci%C3%B3n>

FAC-CACOM-5. (2020). www.fac.mil.co. Recuperado el 2020, de <https://www.fac.mil.co/cacom5/rese%C3%B1a-hist%C3%B3rica-4>

FAC-CACOM-5. (2020). www.fac.mil.co. Recuperado el 2020, de <https://www.fac.mil.co/cacom5/rese%C3%B1a-hist%C3%B3rica-4>

FAC-SAP, Antecedentes mantenimiento cintas titanio helicópteros UH-60 Rionegro, Antioquia, Colombia: FAC, 2019.

ICONTEC, Norma Técnica Colombiana 2050: Código Eléctrico Colombiano, Bogotá, Colombia: ICONTEC, 1998.



CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN (CTel) EN COLOMBIA COMO MOTOR DE LA COMPETITIVIDAD

Daniel Alberto Arteaga Puentes

Science, Technology and Innovation (CTel) in Colombia as a driver of competitiveness

Daniel Alberto Arteaga Puentes

Resumen. Este documento considera la importancia de la Ciencia, Tecnología e Innovación (CTel) para el desarrollo competitivo de Colombia. Se presenta una mirada al sistema de CTel, que ha tenido varias etapas en la consolidación de lo que hoy en día es un ministerio. Igualmente, se hace una comparación entre Colombia y los países que tienen, de acuerdo con las estadísticas, un mejor desarrollo en estos procesos, y se hace énfasis en la importancia de la inversión de capital para permitir que afloren innovaciones que beneficien a todos los sectores del país. En ese sentido, los procesos para que Colombia tenga un desarrollo en innovación importante para la humanidad son a largo plazo, y se requiere que los gobiernos de turno, el sector privado y el sector educativo continúen mejorando los indicadores en productividad y competitividad del país.

Abstract. This document considers the importance of Science, Technology and Innovation (CTel) for the competitive development of Colombia. A look at the CTel system is presented, which has had several stages in the consolidation of what is today a ministry. A comparison is also made between Colombia and the countries that have, according to statistics, a better development in these processes, and emphasis is placed on the importance of capital investment to allow innovations to emerge that benefit all the country's sectors. In this regard, the processes for Colombia to have a development in innovation important for humanity are long-term, and it is required that the governments of the day, the private sector and the education sector continue to improve the country's productivity and competitiveness indicators.



Palabras Clave: ciencia, Colombia, competitividad, innovación, inversión, tecnología.

Keywords: science, Colombia, competitiveness, innovation, investment, technology. Ingeniero aeronáutico Fundación Universitaria Los Libertadores Estudiante de Maestría en Ingeniería con énfasis en Mecánica, Universidad ECCI

1. Aeronautical Engineer, Los Libertadores University Foundation Master of Engineering student with emphasis in Mechanics, ECCI University

1. Introducción

La ciencia, presente en todo lo que nos rodea, es la base de una pirámide de innovación que busca mejorar las condiciones de la sociedad en diferentes aspectos. La ciencia está al alcance de todos: no basta sino buscar la respuesta a nuestras preguntas de la mano de la educación, que nos orienta sobre cómo indagar. La ciencia se materializa en la tecnología, que nos permite construir lo que queramos para mejorar las condiciones de lo existente. A esto lo llamamos innovación: “el futuro de Colombia va a estar profunda y directamente relacionado con la capacidad que los colombianos tengamos de organizar la educación; la hija de la educación: la ciencia; y la hija de la ciencia: la tecnología” [1, p.10].

Todos los países con la necesidad de mejorar sus actividades productivas apuestan al desarrollo de la capacidad científica, tecnológica y de innovación. Capacidades necesarias para mejorar la producción, ganar mercados, fortalecer el empleo y lograr respuestas a condiciones de crisis [2]. Colombia no es ajena a estas condiciones, y es por ello por lo que, desde los años 60, ha buscado alinearse con las exigencias mundiales, haciendo esfuerzos por involucrar los conceptos y la construcción en el desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación, para que, de esta forma, repercutan en la productividad y la competitividad.

Con la creación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Colciencias) mediante el decreto número 2869 del 20 de noviembre de 1968, se da inicio al interés del Gobierno nacional por los temas de CTel [3]. A partir de esta instauración, se da pie al Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia (SNCTIC), que poco a poco se va consolidando mediante diferentes actos, entre los que se cuentan los siguientes [4]:

- 1982. Primeros créditos del BID (Banco Interamericano de Desarrollo) otorgados a Colciencias y al Instituto Colombiano de Evaluación de la Educación (Icfes) para fomentar estudios de maestría.
- 1990. Ley 29 de ciencia y tecnología, reglamentada por los decretos 585, 393 y 591 de 1991. Por medio de esta ley, se facilitó la asociación de particulares y modalidades de cofinanciamiento particular y estatal, y se definió lo que se entendería por actividades científicas y tecnológicas.

- 1994. Misión de Ciencia, Educación y Desarrollo, “Misión de Sabios”. Informe que permitió identificar los aspectos que se debían mejorar para tener un país más competitivo en relación con la ciencia y la tecnología. Se hicieron sugerencias de base al gobierno y a organizaciones públicas y privadas, entre las que se cuentan el fortalecimiento de la educación, aspecto necesario para que Colombia esté a la altura en su aporte al futuro de la humanidad [1].
- 1994. CONPES 2739, que impulsa el Sistema Nacional de Innovación.
- 1997. Tercer crédito del BID para infraestructura y tecnologías.
- 2000. CONPES 3080, que busca fortalecer el SNCTIC.
- 2002. Estructuración de la Red Scienti. Consolidación de instrumentos como el CvLac y el GrupLac.
- 2005. Firma del “Pacto Nacional por la innovación”.
- 2009. Ley 1286, que busca fortalecer el sistema y lograr un modelo productivo sustentado en la ciencia.
- 2012. Ley 1530, que regula la organización y el funcionamiento del Sistema General de Regalías (SGR) [5].
- 2019. Segunda Misión de Sabios.
- 2019. Ley 1951, “Por la cual crea el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, se fortalece el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación y se dictan otras disposiciones”.

2. Inversión

Finalmente, MinCiencias asume su rol como rector del SNCTI, articulando todas las políticas públicas para la generación de conocimiento, innovación, apropiación social y competitividad. Entre sus funciones se encuentra diseñar las directrices que mejoren lo ya establecido, con lo cual se busca encaminar al país hacia mejores condiciones de productividad. Como se lee en su visión a 2030, MinCiencias será propulsor de la transformación del país hacia una sociedad del conocimiento y enfrentará los retos de la Cuarta Revolución con la inclusión cada vez mayor de las regiones [1].

Si algo nos ha enseñado la pandemia del COVID-19 es la necesidad de fortalecer todos los sistemas de CTel en el mundo. En el caso de Colombia, se hizo necesario importar muchos suministros y elementos

que escasean en el país y que son desarrollados en otros países más avanzados en ciencia, y en algunos casos no se pudo negociar la transferencia tecnológica por falta de inversión o capacidad instalada, como si lo hicieron países como Argentina o Brasil [6].

Como dijo el científico argentino y premio Nobel en 1947, Bernardo Alberto Houssay (citado en [7]).

La ciencia, la técnica y la investigación son la base de la salud, bienestar, riqueza, poder e independencia de los pueblos modernos. Hay quienes creen que la investigación científica es un lujo o un entretenimiento interesante pero dispensable. Grave error, es una necesidad urgente, inmediata e ineludible para adelantar. La disyuntiva es clara, o bien se cultiva la ciencia, la técnica y la investigación y el país es próspero, poderoso y adelanta; o bien no se la práctica debidamente y el país se estanca y retrocede, vive en la pobreza y la mediocridad. Los países ricos lo son porque dedican dinero al desarrollo científico y tecnológico. Y los países pobres lo siguen siendo si no lo hacen. La ciencia no es cara, cara es la ignorancia. Con total vigencia, es visto que los países considerados ricos son propiamente los que realizan un mayor aporte al desarrollo de la investigación.

Como muestra la figura 1, los países desarrollados invierten entre el 2 y el 5% del Producto Interno Bruto (PIB), y Colombia invierte aproximadamente el 0,24%. De acuerdo con la Misión de Sabios 2019, la meta de inversión que permitiría aumentar la productividad de la economía se plantea en dos fases: la primera contempla una meta del 1,20% del PIB, distribuido en inversión pública del 0,8% y privada del 0,4%. La segunda fase considera que se podría llegar al 1,8%, para lo cual la inversión pública debería alcanzar el 0,85% y la privada el 0,95%. Como meta cercana, para el 2022 se propone una inversión pública del 0,37% y una privada del 0,26% [8].

La inversión en CTel en Colombia tiene, actualmente, un aporte de las regalías del 10%, distribuido a través del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías en Colombia (FCTel-SGR), de acuerdo a la Constitución Política [5]. La Misión de Sabios plantea que debe aumentarse al 25%, y esta inversión estaría destinada a la educación y a la financiación de centros e institutos de

Los países líderes en I+D Gasto Interno Bruto en I+D (% del PIB) en 2017



Fig. 1. Los países líderes en I+D. Fuente: [9].

factor crítico en el desarrollo y la transformación de la sociedad en un contexto tecnológico, y debe estar encaminada a una nueva demanda pedagógica de acceso y calidad [8]. La Misión de Sabios recomienda hacer gran énfasis en la primera infancia, lo cual aseguraría el futuro de individuos más creativos.

Revisando nuevamente la figura 1, encontramos que en el primer lugar se ubica Israel, un país que se ha convertido en una de las mayores potencias tecnológicas gracias a cuatro factores, de los cuales el primero es la educación. Este factor se puede evidenciar en el hecho de que Israel tiene una población que equivale al 0,2% de la población mundial, pero ha ganado el 20% de los premios Nobel a lo largo de la historia. Israel procura que su sistema educativo sea de calidad desde la primaria hasta los niveles más altos, en los cuales la ingeniería ocupa un lugar destacado, ya que es el país con más ingenieros per cápita [12]. Los otros tres factores para completar la fórmula son la excelente conexión universidad-empresa, la cultura militar y, por supuesto, el grado de inversión.

El segundo país en mayor inversión en CTel es Corea del Sur, un país que hace sesenta años tuvo condiciones menos favorables que Colombia en ese momento, y que hoy se reconoce como una de las economías más fuertes en el mundo, con sobresalientes industrias en sectores como el acero, los automóviles, la construcción naval y la electrónica, entre otros [13]. "Las causas de este éxito las podemos encontrar en una combinación de factores socioculturales, geoestratégicos, financieros, comerciales, científicos y tecnológicos, concebidos como parte de una economía basada en el conocimiento" [14, p. 49]. Lillo y Myrna [14] establecen que el auge de Corea se ha alcanzado

gracias a la especialización de determinados sectores a lo largo del tiempo. En las décadas del sesenta y setenta, el Estado respaldó la industria pesada que se encarga de la extracción y transformación de las materias primas; en estas décadas también se apoyaron la industria química y se inició el desarrollo de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs). A partir de los ochenta, el énfasis estuvo en maquinaria sofisticada y electrónica, lo que marcó una etapa en consolidación de capacidades locales de generación tecnológica.

En la región latinoamericana, el país que más invierte en CTel es Brasil, con aproximadamente el 1,27% del PIB. Este país, a partir de la década del cincuenta, creó las bases para su desarrollo mediante la instauración del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq), la Coordinación de Perfeccionamiento de Personal de Nivel Superior (CAPES), el Instituto de Matemáticas Puras y Aplicadas (IMPA), la Comisión de Energía Nuclear (CNEN) y el Instituto de Aeronáutica (ITA). Brasil ha contado con una serie de acuerdos bilaterales de suma importancia con Estados Unidos, Francia y Alemania, entre otros [15]. A partir de los años setenta, ha habido un avance significativo en la formación de personal, que se consolida de manera definitiva en los años ochenta, con los envidiables récords en la formación de maestros y doctores en Brasil [16].

La formación en niveles de doctorado es un indicador en el caso de CTel. La formación como doctor implica la creación de novedades científicas e innovación y se puede generar saber propio. En el caso colombiano, muchos de los doctores se han formado en países que tienen trayectoria en esta área, pero esto no permite que el doctor se encargue de las problemáticas internas del país, lo que exige programas doctorales que estén inmersos en nuestro propio contexto [17].

Colombia concentra su mayor número de investigadores en el nivel de doctorado, con el 69,1%, seguido del 27,2% en el nivel de maestría y el 3,7% en licenciatura o equivalente [18]. Por lo tanto, recabando en la importancia de la creación de programas de alta calidad y necesidad de aumentar el número de doctores en el país, en la tabla 1 se hace la comparación en cantidad de graduados:

TABLA 1. ELABORACIÓN PROPIA

País	Número de graduados en Doctorado
Colombia	803 (2018) [19]
Estados Unidos	67.449 (2014) [20]
Corea del Sur	12.931 (2014) [21]

De acuerdo con los informes e indicadores del Sistema Nacional de Información de la Educación Superior (SNIES), la cantidad de programas de doctorado que reportaron matrícula en 2018 fue de 280, lo que daría un promedio de 2,8 graduados por programa. Esto demuestra la falta de programas y de estudiantes para cubrir, una vez titulados, la extensión de nuestro país en busca de soluciones a los problemas de todos los sectores y disciplinas científicas.

En Colombia, según la disciplina, los investigadores se distribuyen, en su mayoría, en ciencias sociales (29%), seguido de ciencias naturales y exactas (23,1%), ingeniería y tecnología (19,5%), ciencias médicas (16,1%), humanidades (7,5%) y ciencias agrícolas (4,9%) [18]. Si se relaciona directamente el número de investigadores con el interés en el sector agrícola, se observa que la situación es lamentable, e implica que los elementos que se adquieren vienen de lugares del mundo donde hay un mayor interés en esta disciplina. Ante la cuestión de cómo podría Colombia hacer parte de la socio economía del conocimiento, es decir, ser capaz de competir globalmente, en red y con énfasis en productos y servicios intensivos en conocimiento, surge la necesidad de impulsar la solicitud de patentes y su posterior comercialización. [22]

La relación de patentes, que sería un factor para medir el resultado de las investigaciones e intereses de cada país, refleja lo siguiente (tabla 2):

TABLA 2. PATENTES 2017. ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE [18].

País	Solicitudes	Otorgadas
Colombia	2.372	1.164
Brasil	28.667	5.647
EE.UU	606.956	318.829

De acuerdo con la tabla 2, Colombia está muy lejos de ser influyente en el número de patentes que podrían transformarse en productos comerciales, lo que podría generar mayor productividad y competitividad para el país. Las patentes, junto a las licencias, derechos de autor, marcas y secretos comerciales, son herramientas legales para que los investigadores mantengan la propiedad de sus hallazgos. De acuerdo con su categoría, las patentes colombianas se relacionan, en su mayoría, con el "manejo de señales o tratamiento de datos digitales eléctricos", cuyo CIP es G06F; en segundo lugar, se tienen las "preparaciones para propósitos médicos, dentales o

de tocador”, cuyo CIP es A61F; en tercer lugar, se tienen los “filtros implantables en los vasos sanguíneos, prótesis ortopédicas, cuidado o dispositivos anticonceptivos, tratamiento o protección de ojos o de oídos, vendajes, preparaciones o cojines absorbentes, kits de primeros auxilios”, cuyo CIP es A61F; por lo tanto, se evidencia una mayor inclinación por los temas relacionados con la salud [22].

3. Competitividad

En los procesos y sectores de cada país, se busca que los resultados de investigación se traduzcan en elementos innovadores para elevar la productividad, lo que redundaría en mayores ventajas competitivas y en un crecimiento económico sustentable [23].

El Consejo Privado de Competitividad (CPC) es un centro de pensamiento que promueve políticas públicas para mejorar la prosperidad de todos los colombianos, mediante el aumento de la productividad y la competitividad del país. En su informe de competitividad 2019-2020, presenta a Colombia en el puesto 67 entre 129 países en el índice global de innovación de Global Innovation Index, que mide la sofisticación de los negocios, la generación de productos creativos y la tasa de eficiencia en innovación. El informe se ocupa de 16 contenidos, entre los que se encuentran Educación, Justicia y Corrupción. El número 14 se ocupa de la Ciencia, Tecnología e Innovación. En esta parte, se hace la relación de cuatro datos destacados: inversión, generación de conocimiento, transferencia de conocimiento y tecnología (TCT) e innovación [24]. Vale la pena relacionar el segundo contenido de este informe de competitividad, que tiene que ver con la corrupción, la cual impacta directamente la inversión en CTel. La Contraloría reconoce los graves problemas de eficiencia y eficacia que afectan al fondo de la CTel en diferentes departamentos. Se presentan irregularidades como el desconocimiento o poco interés de las autoridades que destinan los recursos en las regiones, o la lentitud en la inversión. También fueron encontradas otras situaciones, como por ejemplo el hecho de que “[u]n alto porcentaje de los recursos de ciencia y tecnología financiados con regalías está en cabeza de departamentos que difícilmente pueden garantizar el aprovechamiento óptimo de los mismos”, entre otros hallazgos [25].

En los datos de generación de conocimiento, se hace una comparación en el número de artículos publicados en revistas científicas y tecnológicas por

cada 100.000 habitantes. Se encuentra que Chile es el país mejor ubicado en Latinoamérica con una proporción de 25 artículos, mientras que Colombia tiene una proporción de 16,7, de acuerdo con datos del Banco Mundial. Según el Foro Económico Mundial (WEF), la de Chile es considerada la economía más competitiva de Latinoamérica, y gran parte de sus ventajas se relaciona con el hecho de que cuenta con un sólido ordenamiento institucional, un bajo nivel de corrupción y un gobierno eficiente [23].

La TCT se analiza comparando el número de patentes otorgadas a residentes de un país por millón de habitantes. Nuevamente, Chile sobresale en la región con 9 patentes, en comparación con Colombia, que solo cuenta con 3,4. “La mayoría de los investigadores en Colombia están vinculados a instituciones de educación superior, lo que limita la transferencia de conocimiento hacia el sector productivo y el sector público” [24].

Como último ítem, se tienen las innovaciones importantes para lograr efectos positivos en la productividad. En relación con esto, se maneja un indicador de tasa de eficiencia de la innovación (resultados de innovación / insumos de innovación), y el país de la región mejor ubicado en este indicador es Costa Rica, con 0,68, mientras que Colombia ocupa el puesto 12 en Latinoamérica, con 0,46 [24]. Ahora bien, el Consejo Privado de Competitividad ha formulado una serie de recomendaciones relacionadas con la CTel para mejorar la competitividad de Colombia, que son las siguientes [24, p..355].

1. Asignar los recursos de CTI alrededor de misiones para enfrentar retos amplios de país.
2. Brindar una estructura apropiada al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de modo que se establezcan mecanismos adecuados de consecución de recursos, ejecución de programas orientados por misión y coordinación con el resto de los actores de CTI.
3. Establecer una política de Estado en CTI que garantice mantener en términos reales la inversión pública en ACTI.
4. Reformar los estímulos a la productividad académica para aumentar su calidad e impacto.
5. Fortalecer la institucionalidad para la protección de la propiedad industrial.
6. Fortalecer las habilidades gerenciales en las empresas.

La recomendación número 1, que se refiere a misiones, se articula con la propuesta de la Misión de Sabios 2019, que definía a las misiones como grandes retos en los que los países enfocan buena parte de sus esfuerzos. Así lo hizo Estados Unidos al trazarse el objetivo de llegar a la Luna en un tiempo impensado para su época, lo que generó una articulación entre el sector privado, el sector público y la academia. Igualmente, para estar a la vanguardia, Colombia debe ejecutar los más de treinta proyectos de alto impacto propuestos en cada uno de los ocho focos: biotecnología, bioeconomía y medio ambiente; ciencias básicas y del espacio; ciencias de la vida y de la salud; ciencias sociales, desarrollo humano y equidad; energía sostenible; industrias creativas y culturales; océanos y recursos hidrobiológicos; tecnologías convergentes e industria 4.0. [8].

4. Conclusiones

La ciencia, la tecnología y la innovación articulan mundialmente la competitividad de los países. Por tal razón, aquellos que quieren tener economías productivas invierten montos importantes en estos rubros, ya que saben que la inversión dará sus frutos. Colombia ha visto la importancia de tener un SNCTIC, y por ello, desde los años sesenta, ha tratado de encajarlo con las necesidades del país. Ahora que la entidad se ha convertido en un ministerio, se debe procurar que no se politice, porque significaría un retroceso en relación con el ritmo que se tiene en innovación en el mundo.

La educación es uno de los factores más importantes en el avance de la innovación. Colombia debe trabajar en la creación y acceso a programas de alto grado como maestrías y doctorados, que se ajusten a los requerimientos del país. Esto potenciaría, junto con una excelente articulación universidad-empresa, el avance del país en términos de productividad y competitividad.

Referencias

- [1] E. Aldana Valdés, L.F. Chaparro Osorio, G. García Márquez, R. Gutiérrez Duque, R. Llinás Riascos, M. Palacios Roza, M. E. Patarroyo Murillo, E. Posada Flórez, A. Restrepo, y C. E. Vasco Uribe, C. E., Colombia: al filo de la oportunidad. Informe de la Misión de Sabios. Tomo 1, Bogotá, Colombia: Presidencia de la República - Colciencias, 1996 [En línea]. Disponible: http://www.plandecenal.edu.co/cms-media/herramientas/colombia_al_filo_de_la_oportunidad.pdf
- [2] OEI, "Ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo y la cohesión social", 2012 [En línea]. Disponible: <https://www.ses.unam.mx/curso2012/pdf/OEI-Ciencia-0712.pdf>
- [3] J. M. Ortiz Escobar, "Los orígenes del discurso de apropiación social

de la ciencia y la tecnología en Colombia", Análisis político, vol. 30, no. 91, pp. 146-163, 2017.

- [4] A. T. Hoyos, y G. H. Salazar, "Análisis de capacidades y evolución del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en Colombia", Cuadernos Latinoamericanos de Administración, vol. 7, no. 12, pp. 49-60, 2011 [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.18270/cuader-lam.v7i12.1175>
- [5] Y. M. Becerra-Arévalo, "Sistema general de regalías: Nuevos recursos para la ciencia, tecnología e innovación en Colombia (General System of Royalties: New Resources for Science, Technology and Innovation in Colombia)", Revista CEA, vol. 1, no. 1, pp. 75-91, 2014 [En línea]. Disponible: <https://papers.ssrn.com/abstract=3520286>
- [6] Semana, "La importancia de invertir en ciencia y tecnología y otras notas de la semana", Semana.com, 22 agosto 2020 [En línea]. Disponible: <https://www.semana.com/enfoque/articulo/invertir-en-ciencia-tecnologia-e-innovacion-y-otras-notas--colombia-hoy/696245/>
- [7] Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, "10 de abril: Día del investigador/a científico", Universidad Nacional de Cuyo, 2020. [En línea]. Disponible: <https://fcen.uncuyo.edu.ar/10-de-abril-dia-del-investigadora-cientifico>
- [8] Misión de Sabios, "Propuestas de la Misión Internacional de Sabios 2019", 2019. [En línea]. Disponible: http://sabios.unal.edu.co/fileadmin/user_upload/Propuesta-sabios-brief.pdf
- [9] A. Merino, "Las potencias en I+D", EOM, 2019 [En línea]. Disponible: <https://elordenmundial.com/mapas/las-potencias-en-id/>
- [10] Departamento Nacional de Planeación, "Conpes 3892 de 2017. Lineamientos de política para estimular la inversión privada en ciencia, tecnología e innovación a través de deducciones tributarias", 2017 [En línea]. Disponible: <https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/conpes3892.pdf>
- [11] I. D. Gutiérrez Mosquera, y S. A. Ruíz Gómez, "Acceso a financiación de proyectos de ciencia, tecnología e innovación en Colombia", trabajo de grado, Universidad EAN, 2019 [En línea]. Disponible: <http://repository.ean.edu.co/handle/10882/9495>
- [12] C. Otto, "El milagro de Israel: Así es la fórmula que lo convirtió en el nuevo Silicon Valley", La Vanguardia, 19 junio 2016 [En línea]. Disponible: <https://www.lavanguardia.com/tecnologia/20160618/402597185310/israel-emprendedores-startups-silicon-adi.html>
- [13] Ministerio de Educación Nacional de Colombia, "Formar para la ciencia, la tecnología y la innovación", Altablero, 2009 [En línea]. Disponible: <https://www.mineducacion.gov.co/1621/article-183960.html>
- [14] R. L. Lillo y J. Myrna, "El sistema de ciencia y tecnología de Corea del Sur: ¿un ejemplo de colaboración internacional para Europa?", Revista de Estudios Empresariales. Segunda Época, no. 2, pp. 48-76, 2017 [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.17561/ree.-v0i1.3191>
- [15] Ministério das Relações Exteriores, "Cooperación en ciencia, tecnología e innovación", Brasilia, Brasil, 2015 [En línea]. Disponible: <https://www.gov.br/mre/es/temas/ciencia-tecnologia-e-innovacion/cooperacion-en-ciencia-tecnologia-e-innovacion>
- [16] C. A. Pacheco, Políticas públicas, intereses y articulación política: Cómo se gestaron las recientes reformas al sistema de ciencia y tecnología en Brasil, Santiago de Chile: CEPAL, 2005 [En línea]. Disponible: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/6096>
- [17] C. Guerrero, J. Guerrero Macías, D. Parra Sánchez, J. Cabrera Cruz, J. Restrepo, H. Andrade, J. Rodríguez-Sotelo y J. Rodríguez, "Formación de doctores en ingeniería. Un proyecto en red hacia el fomento de la innovación en Colombia", in 13th LACCEI Annual International Conference, 2015, pp. 1-7 [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1206.8569>
- [18] RICYT, El estado de la ciencia: principales indicadores de ciencia y tecnología iberoamericanos / interamericanos, Buenos Aires, Argentina: Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología -Iberoamericana e Interamericana, 2019 [En línea]. Disponible: <http://www.ricyt.org/wp-content/uploads/2019/10/edlc2019.pdf>

- [19] Ministerio de Educación Nacional de Colombia, "Informes e indicadores SNIES", 2019 [En línea]. Disponible: <https://snies.mineducacion.gov.co/portal/ESTADISTICAS/Informes-e-indicadores/>
- [20] OECD, OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016, Paris, France: OECD Publishing, 2016 [En línea]. Disponible: https://read.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oecd-science-technology-and-innovation-outlook-2016_sti_in_outlook-2016-en
- [21] A. Gray, "Estos países tienen la mayor cantidad de graduados con título de doctorado", Foro Económico Mundial, 2017 [En línea]. Disponible: <https://es.weforum.org/agenda/2017/03/estos-paises-tienen-la-mayor-cantidad-de-graduados-con-titulo-de-doctorado/>
- [22] J. M. Sánchez, J. E. Medina y A. M. León, "Publicación internacional de patentes por organizaciones inventores de origen colombiano", Cuadernos de Economía, vol. 26, no. 47, pp. 247-270, 2007.
- [23] F. Arredondo Trapero, J. C. Vázquez Parra y J. de la Garza, "Factores de innovación para la competitividad en la Alianza del Pacífico. Una aproximación desde el Foro Económico Mundial", Estudios Gerenciales, vol. 32, no. 141, pp. 299-308, 2016 [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.estger.2016.06.003>
- [24] Consejo Privado de Competitividad, "Informe nacional de competitividad 2019-2020", 2019 [En línea]. Disponible: https://competite.com.co/wp-content/uploads/2019/11/CPC_INC_2019-2020_Informe_final_subir.pdf
- [25] Contraloría General de la República, "Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación se convirtió en una "vena rota" en el manejo de regalías, revela estudio de la Contraloría General", 2017 [En línea]. Disponible: https://www.contraloria.gov.co/contraloria?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2FasseZZt_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=%2F%3Fp_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dmaximize-d%26p_p_mode%3Dview%26_3_groupId%3D0&_101_assetEntryId=598678&_101_type=content&_101_urlTitle=fondo-de-ciencia-tecnologia-e-innovacion-se-convirtio-en-una-vena-rota-en-el-manejo-de-regalias-reve-la-estudio-de-la-contraloria-general&inheritRedirect=true



EVOLUCIÓN ARQUITECTURAS DE RED GSM, UMTS Y LTE

Felix Parca Acevedo

Escuela de Suboficiales "CT. Andrés M. Díaz"

Tecnología en Electrónica Aeronáutica.

fpa032485@gmail.com.

Evolution of GSM, UMTs and LTE network architectures

Felix Parca Acevedo Bogotá, Cundinamarca.

NCO School "CT. Andrés M. Díaz"

Aeronautical Electronics Technology. fpa032485@gmail.com.

Resumen: La aparición de nuevas aplicaciones como la televisión móvil y el aumento en el uso de datos motivaron la tercera Generation Partnership Project (3GPP), para luego avanzar al último estándar en la tecnología de red móvil: Long Term Evolution (LTE) en 2009. El estándar GSM ha sido una tecnología 2G notablemente exitosa, con gran cantidad de abonados y una cuota superior en el mercado del 86 % de instalación de infraestructura [1]. El GSM es un sistema de circuito conmutado que tiene la capacidad de entregar 64 kbps a 120 Mbps de velocidades de datos, con divisiones en cada canal de 200 kHz en ocho intervalos de tiempo de 25 kHz. Opera principalmente en la banda de frecuencia de 900 MHz o 1800 MHz y utiliza acceso múltiple por división de tiempo de banda estrecha por la técnica para transmitir señales TDMA. La principal ventaja del uso del estándar GSM es la capacidad de permitir que los clientes deambulen y puedan cambiar de operador sin tener que reemplazar sus teléfonos celulares. LTE, por otro lado, es una red 4G que proporciona mayor velocidad de datos y con una reducción del costo por bit para proveedores de servicios; en general, brinda mayor capacidad para entregar más rendimiento y con una menor latencia. LTE fue diseñado para admitir solo servicios de paquetes conmutados para garantizar una interferencia mínima y reducir el número de redes por una arquitectura simplificada y desplegable en el ancho de banda del espectro, que varía de 1.25MHz a 20MHz. Debido a la variación en la frecuencia utilizada en diferentes regiones, LTE es limitado en el servicio de roaming con operadores que utilizan diferentes bandas.

Abstract: The appearance of new applications such as mobile television and the increase in data use motivated the third Generation Partnership Project (3GPP), to then advance to the latest standard in mobile network technology: Long Term Evolution (LTE) in 2009. The GSM standard has been a remarkably successful 2G technology, with large subscriber numbers and a market share higher than 86% for infrastructure installation [1]. GSM is a switched-circuit system that has the capacity to deliver 64 kbps to 120 Mbps of data rates, with divisions on each 200 kHz channel into eight 25 kHz time slots. It operates primarily in the 900 MHz or 1800 MHz frequency band and uses narrow band time division multiple access technique to transmit TDMA signals. The main advantage of using the GSM standard is the ability to allow customers to roam and switch operators without having to replace their cell phones. LTE, on the other hand, it is a 4G network that provides higher data speed and a reduction in the cost per bit for service providers; overall, it provides greater capacity to deliver more throughput and with lower latency. LTE was designed to support only switched-packet services to ensure minimal interference and reduce the number of networks due to a simplified and deployable architecture in spectrum bandwidth, ranging from 1.25MHz to 20MHz. Due to the variation in the frequency used in different regions, LTE is limited in roaming service with operators using different bands efficiency spectral [2].

Palabras clave: red móvil, GSM, LTE, arquitecturas de red, servicios de comunicación.

Keywords: mobile network, Generation Partnership Project, Long Term Evolution, network architectures, communication services

1. Introducción

Los sistemas y servicios de comunicación han experimentado un amplio crecimiento desde el primer celular y con los sistemas telefónicos inalámbricos que se introdujeron en el principio de los ochenta. Los sistemas celulares de primera generación se basaron en tecnología analógica y fueron diseñados para soportar solo servicios de voz con conmutación de circuitos de banda estrecha. Los celulares de segunda generación se introdujeron a principios de 1990, y usaron modulación digital, con servicio de voz y mejor eficiencia espectral [2].

Los sistemas inalámbricos de tercera generación ofrecieron significativamente velocidades de bits más altas, diseñados para proporcionar voz, datos y servicios multimedia; entre tanto, con el aumento constante en el uso de datos y nuevas aplicaciones —como juegos en línea— provocó la aparición de los sistemas de cuarta generación, capaces de entregar una mayor velocidad de transmisión de datos, menor latencia, mejor calidad de servicio y mejoría en la eficiencia espectral [3]. A pesar de las características prometedoras de esta tecnología, todavía hay desafíos con el costo y algunas especificaciones técnicas aplicadas a implementaciones en países en desarrollo.

Por esta razón, en el presente documento se abordará la evolución de la arquitectura de las tecnologías GSM, UMTS y LTE, con la identificación de sus diferencias en cuanto a interfaces de conexión, elementos de red, técnicas de acceso al medio y velocidades y desempeño de las mismas.

2. GSM, UMTS y LTE

Arquitectura GSM

Uno de los propósitos principales detrás de las especificaciones GSM es definir varias interfaces abiertas, que luego limitan ciertas partes del sistema GSM. Debido a esta apertura de la interfaz, el operador que mantiene la red puede obtener diferentes partes de la red de diferentes proveedores de redes GSM. Cuando una interfaz está abierta, también define estrictamente lo que sucede a través de la interfaz, y esto a su vez define estrictamente qué tipo de acciones, procedimientos y funciones deben

implementarse entre las interfaces.

Las especificaciones GSM definen dos interfaces verdaderamente abiertas dentro de la red GSM. El primero es entre la estación móvil (MS) y la estación base (BS). Esta interfaz al aire libre se denomina apropiadamente "interfaz aérea". Es relativamente fácil imaginar la necesidad de que esta interfaz esté abierta, ya que los teléfonos móviles de todas las diferentes marcas deben poder comunicarse con las redes GSM de todos los diferentes proveedores [4].

La segunda interfaz se encuentra entre el centro de conmutación de servicios móviles MSC (que es el intercambio de conmutación en GSM) y el controlador de estación base (BSC). Esta interfaz se llama la "interfaz A". Estos dos elementos de red se analizarán con mayor detalle en capítulos posteriores. El sistema incluye más de las dos interfaces definidas, pero no están totalmente abiertas, ya que las especificaciones del sistema no se habían completado cuando se lanzaron los sistemas comerciales.

Al operar redes móviles analógicas, la experiencia ha demostrado que la inteligencia centralizada genera una carga excesiva en el sistema, lo que disminuye la capacidad. Por esta razón, la especificación GSM, en principio, proporciona los medios para distribuir inteligencia a través de la red. Por otra parte, cuanto más complicadas son las interfaces en uso, más inteligencia se requiere entre las interfaces para implementar todas las funciones requeridas. En una red GSM, esta inteligencia descentralizada se implementa dividiendo toda la red en tres subsistemas separados:

- Network Switching Subsystem (NSS)
- Base Station Subsystem (BSS)
- Network Management Subsystem (NMS)



Fig. 1. Subsistemas e interfaces de GSM [6].

La red real necesaria para establecer llamadas está compuesta por el NSS y el BSS. El BSS es responsable del control de la ruta de radio y cada llamada se conecta a través del BSS. El NSS se encarga de las funciones de control de llamadas. Las llamadas siempre están conectadas a través del NSS [5].



Fig. 2. SIM card [8]

El NMS es la parte relacionada con la operación y el mantenimiento de la red y es necesario para el control de toda la red GSM. El operador de red observa y mantiene la calidad de la red y el servicio ofrecido a través del NMS. Los tres subsistemas en una red GSM están unidos por las interfaces de aire, A y O&M.

La MS (Mobile Station) es una combinación de equipos terminales y datos de suscriptores. El equipo terminal como tal se llama ME (Equipo móvil) y los datos del suscriptor se almacenan en un módulo separado llamado SIM (Módulo de identidad del suscriptor) [7].

Fig. 3. Subsistema de conmutación de red (NSS) [10]. La tarjeta SIM contiene los números de identificación del usuario y una lista de redes disponibles. La tarjeta SIM también contiene las herramientas necesarias para la autenticación y el cifrado. Dependiendo del tipo de tarjeta, también hay espacio de almacenamiento para mensajes, como números de teléfono. Un operador doméstico emite una tarjeta SIM cuando el usuario se une a la red mediante una suscripción de servicio. El operador local del suscriptor puede estar en cualquier parte del mundo, pero por razones prácticas, el suscriptor elige uno de los operadores en el país donde pasa la mayor parte del tiempo [9].

El subsistema de conmutación de red (NSS) contiene los elementos de red MSC, VLR, HLR, AC y EIR.

Sus principales funciones son:

- Control de llamadas: identifica al suscriptor, establece una llamada y borra la conexión una vez que finaliza la conversación.
- Carga: recopila la información de cobro sobre una llamada (los números de la persona que llama y el suscriptor llamado, la hora y el tipo de la transacción, etc. y la transfiere al centro de facturación.
- Gestión de la movilidad: mantiene información sobre la ubicación del suscriptor.
- Señalización: se aplica a las interfaces con BSS y PSTN.
- Manejo de datos de suscriptor: almacenamiento permanente de datos en el HLR y almacenamiento temporal de datos relevantes en el VLR.

El MSC es responsable de controlar las llamadas en la red móvil. Identifica el origen y el destino de una llamada (estación móvil o teléfono fijo), así como el tipo de llamada. Un MSC que actúa como un puente entre una red móvil y una red fija se llama Gateway MSC.

El MSC es responsable de varias tareas importantes:

- Control de llamadas. MSC identifica el tipo de llamada, el destino y el origen de una llamada. También configura, supervisa y borra las conexiones.
- Iniciación de paginación. La localización es el proceso de localizar una estación móvil particular en caso de una llamada terminada móvil (una llamada a una estación móvil) [11].
- Visitor Location Register (VLR) está integrado con el MSC. VLR es una base de datos que contiene información sobre los suscriptores que se encuentran actualmente en el área de servicio de MSC / VLR [12], como números de identificación de los suscriptores.
- Información de seguridad para la autenticación de la tarjeta SIM y para el cifrado. Servicios que el suscriptor puede usar.

El VLR realiza registros de ubicación y actualizaciones. Significa que cuando una estación móvil llega a una nueva área de servicio MSC / VLR, debe registrarse en el VLR; en otras palabras, realizar una actualización de ubicación. Tenga en cuenta que un suscriptor móvil siempre debe estar registrado en un VLR para poder utilizar los servicios de la red. Además, las estaciones móviles ubicadas en la propia red siempre están registradas en un VLR.

La base de datos VLR es temporal, en el sentido de que los datos se mantienen siempre que el suscriptor esté dentro de su área de servicio. También contiene la dirección del registro de ubicación de inicio de cada suscriptor, que es el siguiente elemento de red que se discutirá.

HLR mantiene un registro permanente de los suscriptores, por ejemplo, los números de identidad del suscriptor y los servicios suscritos. Además de los datos fijos, el HLR también realiza un seguimiento de la ubicación actual de sus clientes. Como verá más adelante, el MSC solicita información de enrutamiento del HLR si se va a configurar una llamada en una estación móvil (llamada terminada móvil). En la implementación de Nokia, los dos elementos de la red, el Centro de autenticación (AC) y el Registro de identidad del equipo (EIR) se encuentran en el HLR [13].

El centro de autenticación proporciona información de seguridad a la red, de modo que podamos verificar las tarjetas SIM (autenticación entre la estación móvil y el VLR, y cifra la información transmitida en la interfaz aérea (entre la MS y la estación base del transceptor). El centro respalda el trabajo del VLR mediante la emisión de los llamados tripletes de autenticación a pedido. Más adelante discutiremos más sobre el papel del centro de autenticación y cómo se utilizan los tripletes de autenticación.

En cuanto a AC, el registro de identidad del equipo se utiliza por razones de seguridad. Pero mientras que el AC proporciona información para verificar las tarjetas SIM, el EIR es responsable de verificar el IMEI (verificar la validez del equipo móvil) [14]. Cuando se realiza este registro, se solicita a la estación móvil que proporcione el número de identidad internacional de equipo móvil (IMEI). Este número consta del código de aprobación de tipo, el código de ensamblaje final y el número de serie de la estación móvil.

El EIR contiene tres listas:

Un equipo móvil en la lista blanca puede funcionar normalmente.

Si sospechamos que un equipo móvil está defectuoso, podemos monitorear su uso. Luego se coloca en la lista gris.

Si el equipo móvil se denuncia como robado, o si no

se le permite operar en la red, se coloca en la lista negra.

Tenga en cuenta que la verificación de IMEI es un procedimiento opcional, por lo que depende del operador definir si se realiza la verificación de IMEI y cuándo. (Algunos operadores ni siquiera implementan el EIR en absoluto).

El subsistema de estación base es responsable de administrar la red de radio y está controlado por un MSC. Típicamente, un MSC contiene varios BSS. Un BSS en sí mismo puede cubrir un área geográfica considerablemente grande que consta de muchas celdas (una celda se refiere a un área cubierta por uno o más recursos de frecuencia). El BSS consta de los siguientes elementos:

- Controlador de estación base BSC
- Estación de transceptor base BTS
- Transcodificador TC

El BSC es el elemento de red central del BSS y controla la red de radio. Tiene varias tareas importantes, algunas de las cuales se presentan a continuación:

Establecimiento de conexión entre la MS y el NSS. Todas las llamadas hacia y desde la MS se conectan a través del conmutador de grupo del BSC (GSWB).

Gestión de la movilidad. El BSC es responsable de iniciar la gran mayoría de todos los trasposos, y toma la decisión de trasposo basándose, entre otros, en informes de medición enviados por la MS durante una llamada.

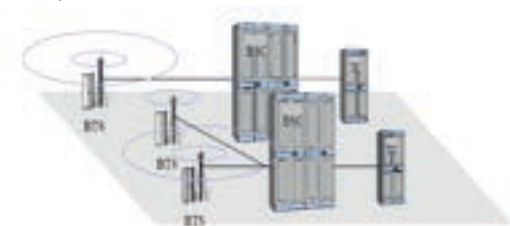


Fig. 4. Subsistema de estación base (BSS) [15].

Recopilación de datos brutos estadísticos. La información de las estaciones transceptoras base, los transcodificadores y el BSC se recopilan en el BSC y se envían a través de DCN (red de comunicaciones de datos) al NMS (subsistema de administración de red), donde se procesan posteriormente en vistas estadísticas, desde las cuales la calidad de la red y se obtiene el estado.

Soporte de señalización de interfaz aérea y A. En la interfaz A, se utiliza SS # 7 (Sistema de señalización de canal común (n.º 7) como lenguaje de señalización, mientras que el entorno en la interfaz aérea permite el uso de un protocolo adaptado de los estándares ISDN, a saber, LAP-Dm (Enlace de acceso Protocolo en el canal RDSI D, versión modificada). Entre la Estación Transceptora Base y el BSC (interfaz Abis), se utiliza un protocolo LAP-D más estandarizado. Por lo tanto, la BCSU (Unidad de señalización del controlador de la estación base) en el BSC deberá convertir de LAP-D a SS # 7 y viceversa en las direcciones de enlace ascendente/enlace descendente. El BSC también permite la conexión de señalización virtual necesaria entre el MSC / VLR y el MS [16].

BTS y control TC. Dentro del BSS, todos los BTS y TC están conectados a los BSC. El BSC mantiene los BTS. En otras palabras, el BSC es capaz de separar (restringir) un BTS de la red y recopilar información de alarma. El BSC también mantiene los transcodificadores, es decir, el BSC recopila las alarmas relacionadas con los transcodificadores.



Fig. 5. Estación Transceptora Base MetroSite [17].

El BTS es el elemento de red responsable de mantener la interfaz aérea y minimizar los problemas de transmisión (la interfaz aérea es muy sensible a las perturbaciones). Esta tarea se logra con la ayuda de unos 120 parámetros. Estos parámetros definen exactamente qué tipo de BTS está en cuestión y cómo las MS pueden "ver" la red cuando se mueven en esta área BTS.

Los parámetros BTS manejan los siguientes elementos principales: qué tipo de traspasos (cuándo y por qué), organización de búsqueda, control de nivel de

potencia de radio e identificación de BTS. El BTS tiene varias tareas muy importantes, algunas de las cuales se presentan a continuación [18].

Transcodificador TC (SM) (Submultiplexor). En la interfaz aérea (entre MS y BTS), los medios que transportan el tráfico son una frecuencia de radio. Para permitir una transmisión eficiente de información de voz digital a través de la interfaz aérea, la señal de voz digital se comprime. Sin embargo, también debemos poder comunicarnos con y a través de la red fija, donde el formato de compresión de voz es diferente. En algún lugar entre el BTS y la red fija, por lo tanto, tenemos que convertir de un formato de compresión de voz a otro, y aquí es donde entra el Transcodificador.

Para la transmisión por la interfaz aérea, la señal de voz es comprimida por la estación móvil a 13 Kbits/s (velocidad completa y velocidad completa mejorada) o 5.6 Kbits / s (velocidad media). El algoritmo de compresión para frecuencia completa se conoce como "Excitación de pulso regular con predicción a largo plazo" (RPE-LTP). Para la tasa completa mejorada, la codificación de voz se basa en el algoritmo "Predicción lineal excitada de código algebraico" (ACELP). La "Predicción lineal excitada de suma de vectores" (VSELP) se utiliza en el caso de Half Rate. Sin embargo, la velocidad de bits estándar para voz en la PSTN es de 64 Kbits / s. La técnica de modulación se llama "Modulación de código de pulso" (PCM) [19].

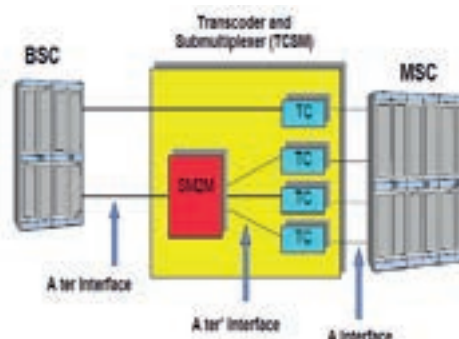


Fig. 6. Ubicación del transcodificador y submultiplexor [20].

Las estaciones de trabajo del operador están conectadas a la base de datos y los servidores de comunicación a través de una red de área local (LAN). El servidor de bases de datos almacena la información de administración sobre la red. El servidor de comunicaciones se encarga de las comunicaciones de datos entre el NMS y el equipo en la red GSM,

conocidos como "elementos de red". Estas comunicaciones se transmiten a través de una red de comunicaciones de datos (DCN), que se conecta al NMS a través de un enrutador.

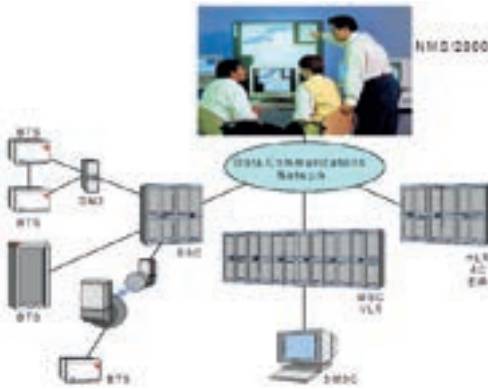


Fig. 7. NMS y la red GSM [21].

El DCN normalmente se implementa utilizando una red de conmutación de paquetes X.25.

Las funciones del NMS se pueden dividir en tres categorías:

- Gestión de fallos
- Gestión de la configuración
- Gestión del rendimiento.

Estas funciones cubren la totalidad de los elementos de la red GSM desde el nivel de BTS individuales, hasta MSC y HLR.

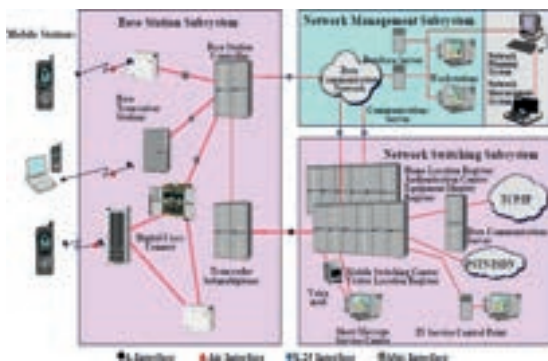


Fig. 8. Arquitectura de red GSM [22].

Hasta ahora, hemos cubierto la historia de GSM, los subsistemas y las interfaces. Paso a paso, también hemos construido una red GSM (virtual) describiendo los diferentes elementos de red y sus respectivas tareas. Ahora, finalmente, es hora de comenzar a usar esta red, en otras palabras, hacer llamadas, recibir llamadas y usar los diferentes servicios ofrecidos por la red. Sin embargo, antes de que sea posible usar la red, debemos decirle al sistema que estamos allí y que

somos usuarios autorizados. Estos serán cubiertos en los siguientes módulos [23].

3. Arquitectura UMTS

El Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) es un sistema inalámbrico de tercera generación. El sistema de telecomunicaciones siguió los pasos del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) y el Servicio General de Radio por Paquetes (GPRS). Desde que GSM fue estandarizado.

En la década de 1980, se habían hecho grandes progresos en muchas áreas de las telecomunicaciones. Esto permitió a los diseñadores de sistemas, a fines de la década de 1990, para diseñar un nuevo sistema que fuera mucho más allá de las capacidades de GSM y GPRS. UMTS combina las propiedades de la voz con conmutación de circuitos red y con las propiedades de la red de datos de paquetes conmutados, y ofrece una multitud de nuevas posibilidades en comparación con los sistemas anteriores. UMTS no se definió desde cero: se reutiliza muchos GSM y GPRS. Por lo tanto, este capítulo primero ofrece una visión general de las ventajas y mejoras de UMTS en comparación con sus predecesores, que se han descrito en los capítulos anteriores. Después de una descripción general del sistema de extremo a extremo, el enfoque del capítulo está en la funcionalidad de la red de acceso por radio UMTS. Nuevos conceptos como los mecanismos de Control de recursos de radio (RRC), así como cambios en la movilidad, control de llamadas y gestión de sesiones [24].

Inicialmente, las versiones de especificación 3GPP fueron nombradas después del año de ratificación, mientras que más tarde se utilizó un número de versión. Por esta razón, la primera versión combinada 3GPP GSM / UMTS se llamó Reléase 99, mientras que las versiones posteriores se llamaron Reléase 4, Reléase 5, Reléase 6 y así sucesivamente. En el momento de la publicación, 3GPP está trabajando en la versión 12, que combina GSM, UMTS, LTE y LTE-Advanced. La versión 99 contiene todas las especificaciones para la primera versión de UMTS. La principal mejora de UMTS en comparación con GSM en este primer paso fue la red de acceso de radio completamente rediseñada, a la que los estándares de UMTS se refieren como la red de acceso de radio terrestre de UMTS (UTRAN). En lugar de utilizar el

método de multiplexación de tiempo y frecuencia de la interfaz aérea GSM, se utilizó un nuevo método llamado Acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA). En WCDMA, los usuarios ya no están separados entre sí por intervalos de tiempo y frecuencias, sino que se les asigna un código único. Además, el ancho de banda de un único operador aumentó significativamente en comparación con GSM, lo que permite una transferencia de datos mucho más rápida que antes. Esto permitió que una versión 99 UTRAN enviara datos con una velocidad de hasta 384 kbit/s por usuario en la dirección del enlace descendente y también hasta 384 kbit/s en la dirección del enlace ascendente. Sin embargo, en los primeros años, las velocidades de enlace ascendente se limitaron a 64–128 kbit/s [25]



Fig. 9. Red GSM / UMTS común: versión 99 [26].

Desde la perspectiva actual, fue un orden de magnitud más rápido de lo que se podría lograr con Redes GPRS en el momento. Acceder a Internet fue casi tan rápido como a través de un ADSL de 1 Mbit / s línea: una velocidad estándar en ese momento. Desde entonces, las velocidades en redes fijas e inalámbricas han aumentado significativamente.

Las redes telefónicas conmutadas públicas (PSTN) y otras redes inalámbricas. En UMTS la red de acceso de radio terrestre (UTRAN) es la implementación de UMTS del concepto GRAN [27].

Algunas de las funciones realizadas por sus componentes son:

- Gestión de recursos de radio
- Control de potencia tanto en el enlace descendente como en la dirección del enlace ascendente
- Gestión de traspaso y asignación de canales para la transmisión.

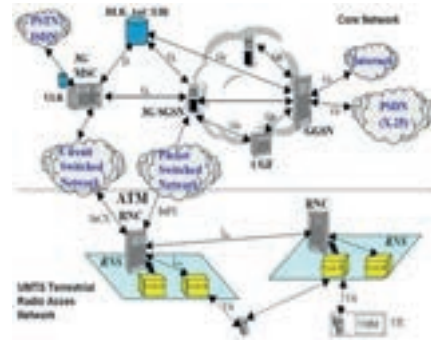


Fig. 11. Arquitectura básica de una red móvil UMTS [31].

Dado que varios componentes en la CN son heredados de las redes GSM / GPRS, también permiten la conexión a redes de acceso de radio GSM. Como consecuencia, los subsistemas de estación base de GSM [28].

Los BSS y los subsistemas de red de radio (RNS) de UMTS pueden coexistir dentro de una red móvil pública UTRAN.

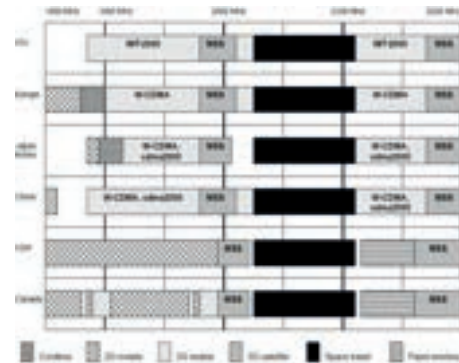


Fig. 10. Spectrum allocation for 3G cellular and MSS (Mobile Satellite Service) in several countries [29]

El diagrama muestra tanto la CN como la UTRAN, las estaciones móviles, los componentes de los dominios CS y PS, las interfaces que unen los componentes entre sí y las redes externas a las que se puede llegar [30].

Equipo de usuario, Estación móvil (UE/MS): es el dispositivo físico utilizado por los usuarios. Consiste en un equipo móvil (ME) y un módulo de identidad del suscriptor UMTS (USIM). El USIM es una aplicación almacenada en una tarjeta IC extraíble que interopera con el ME para proporcionar acceso a los servicios 3G y tiene las siguientes características:

- Identifica sin ambigüedad a un suscriptor
- Almacena información relacionada con el suscriptor y la suscripción
- Se autentica en la red y viceversa (autenticación mutua).

- Proporciona funciones de seguridad.
- Almacena elementos de información como idioma preferido, identificación de la tarjeta IC, identidad internacional del suscriptor móvil (IMSI), clave de cifrado, entre otros.

Nodo B: es la estación transceptora base de la UTRAN que sirve a una o más celdas (sectores).

Algunas de sus funciones incluyen: detección de errores en los canales de transporte e indicación a mayor capas, modulación/demodulación de canales físicos, mediciones de radio y notificación a capas superiores y ponderación de potencia. Algunos proveedores ofrecen estaciones base que admiten ambos [32].

Estándares UMTS y CDMA2000 mediante el uso de módulos reemplazables en campo y un alto por ciento de hardware y software compatibles. La interfaz entre UE y Nodo B es en realidad la interfaz de radio UTRA basada en WCDMA.

Controlador de red de radio (RNC): administra los recursos de radio de cada uno de los nodos B que están conectados a él. El RNC está conectado al dominio CS de la red central a través de la interfaz luCS, y al dominio PS a través de la interfaz luPS. El RNC no solo administra los recursos de radio del equipo del usuario, sino que es parte de la ruta hacia desde la red central para los servicios que utiliza el equipo del usuario. Algunas otras tareas realizadas por RNC incluyen: procesamiento de tráfico de voz y datos, transferencia entre celdas y configuración y terminación de llamadas [34].

Ahora es el momento de dar una breve descripción de los elementos que son específicos del dominio CS de la red central:

Centro de conmutación de servicios móviles (MSC): este es el componente principal del CS de la red dominio. Es la interfaz entre la red celular y las redes telefónicas externas con conmutación de circuitos fijos, como PSTN. Este componente realiza el enrutamiento de llamadas desde la red externa a una estación móvil individual y todas las funciones de conmutación y señalización para estaciones móviles ubicadas en un área geográfica designada como área MSC [35].

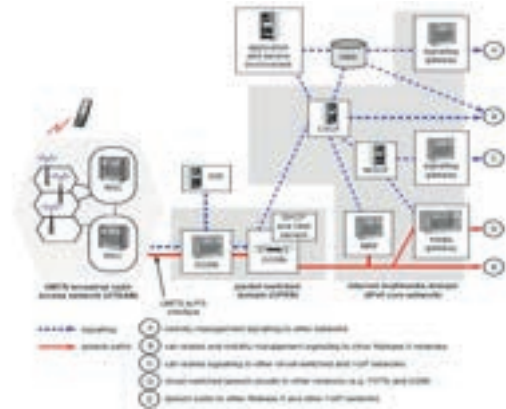


Fig. 12. Arquitectura de red multimedia IP 3GPP [33].

Las funciones adicionales incluyen:

- Llevar a cabo los procedimientos necesarios para el registro de ubicación y la entrega
- Recopilación de datos con fines de cobro.
- Gestión de parámetros de cifrado.

Es posible que coexistan MSC adicionales dentro de la red celular si el tráfico requiere más capacidad de intercambio que la proporcionada por uno de ellos. La interfaz luCS vincula el MSC con el RNC en la UTRAN y existen algunas interfaces para el dominio PS, la PSTN y otros MSC y los componentes de registro en la red [36].

La siguiente es una lista de entidades que se definieron originalmente solo para redes GSM con conmutación de circuitos, pero en los estándares GPRS y UMTS se comparten entre los dominios CS y PS, ya que están involucrados en las operaciones de ambos dominios:

Home Location Register (HLR): este módulo almacena datos relacionados con cada suscriptor de los servicios proporcionados por la red móvil. Esta información se ingresa cuando el usuario se suscribe a la red. Hay dos tipos de información en una entrada de registro HLR: permanente y temporal. Los datos permanentes no cambian a menos que se requiera un parámetro de suscripción modificado. Los datos temporales cambian continuamente, incluso de llamada a llamada, y algunos elementos pueden no ser siempre necesarios. Los datos permanentes relevantes para los propósitos de este informe incluyen el IMSI y una clave de autenticación. Una red móvil puede tener varios HLR dependiendo del tamaño de su área de cobertura [37].

Registro de ubicación del visitante (VLR): este componente generalmente se implementa en conexión con un MSC, como se ilustra en la figura 4. El VLR contiene información relacionada con cada estación móvil que se desplaza hacia el área atendida por el MSC asociado. Por lo tanto, el VLR contiene información sobre los suscriptores activos en su red, incluso de aquellos para quienes esta red es su red doméstica. A medida que el suscriptor se registra con diferentes redes, la información en su HLR se copia en el VLR en cada red visitada y se descarta cuando el suscriptor abandona esa red. La información almacenada por el VLR es bastante igual a la almacenada por el HLR [38].

La principal diferencia tecnológica entre los sistemas 2G y 3G es la nueva técnica de acceso múltiple en Radio Access Red (RAN), que aumenta el ancho de banda y la eficiencia. Esta tecnología se denomina Acceso múltiple por división de código (CDMA) [39].

Las organizaciones de estándares 3G han seleccionado tres radios CDMA, Tecnologías de interfaz para redes 3G:

- WCDMA, que usa el modo de división de dúplex de frecuencia (FDD).
- TD-CDMA, que utiliza el modo dúplex por división de tiempo (TDD).
- CDMA 2000, visto como la evolución natural de operadores con redes IS-95 existentes. Esta sección describe:

- > Las limitaciones de los sistemas 2G
- > WCDMA, 8
- > Modo de transferencia asincrónica (ATM)
- > UMTS: modo satélite (S-UMTS)
- > Limitaciones de los sistemas 2G.

- Las limitaciones de los sistemas móviles 2G como GSM ocasionan congestión: hay más de 300 millones de dispositivos inalámbricos suscriptores en todo el mundo y, por lo tanto, la necesidad de aumentar la capacidad del sistema [40].
- Movilidad limitada en todo el mundo
- Existe una necesidad de estandarización global
- Servicios limitados
- Existe la necesidad de nuevas aplicaciones y servicios multimedia.

Banda ancha: Acceso múltiple por división de código (WCDMA):

- WCDMA divide de manera óptima el espectro de radio disponible en la interfaz aérea en una serie de canales y define cómo estos canales se asignan a los muchos usuarios que acceden a la red [41]. WCDMA permite velocidades de bits variables y calidad variable de Servicio (QoS). WCDMA proporciona: mejor eficiencia del espectro y cobertura más amplia.

4. Arquitectura LTE

4G es la abreviatura de Tecnología de Cuarta Generación, y es un intento de evolucionar, integrar y amalgamar el actual 2G (2da generación), 3G (3ra generación), WLAN (red de área local inalámbrica), transmisión, corto alcance y sistemas de cables fijos en una única red interna, totalmente funcional y sin interrupciones. La tecnología 4G es básicamente la extensión en la Tecnología 3G con más ancho de banda y ofertas de servicios en 3G. 4G tiene las características de un sistema escalable, flexible, eficiente, backbone autónomo, seguro y rico en funciones para soportar una multitud de servicios existentes y nuevos e interactuar con muchos tipos diferentes de redes. Ofrece servicios totalmente convergentes (voz, datos y multimedia) a velocidades de datos de hasta 100 Mbps y acceso móvil ubicuo a una amplia gama de dispositivos de usuario de redes autónomas. Básicamente, 4G es una mejora e integración de varias tecnologías existentes, incluidas GSM, GPRS, CDMA, W-CDMA, CDMAone, IMT-2000, LAN inalámbricas y Bluetooth, etc. La expectativa para la tecnología 4G es el audio/video de alta calidad [42].

La Transmisión del protocolo de Internet de extremo a extremo. Si el movimiento del subsistema multimedia del

Protocolo de Internet (IP) logra lo que va a hacer, nada de esto posiblemente importará. WiMAX o diseño estructural móvil se convertirá progresivamente más translúcido y, por lo tanto, la aceptación de varias arquitecturas por parte de un operador de red en particular cada vez más común. Las principales características de los servicios 4G de interés para los usuarios son la adaptabilidad de las aplicaciones y el alto dinamismo de los usuarios [43].

El tráfico, entorno de radio, interfaces aéreas y

calidad de servicio. Un sistema 4G debe proporcionar capacidades definidas por la UIT (International Telecommunications Unión) en IMT (International Mobile Telecommunications) Advanced. El potencial y las aplicaciones actuales incluyen acceso web móvil modificado, telefonía IP, servicios de juegos, TV móvil de alta definición, video conferencia y televisión en 3D.

La arquitectura de la red 4G se parecerá más o menos a la arquitectura 3G, pero hay algunos cambios evolutivos significativos:

Las capacidades de conmutación de circuitos son redundantes en 4G y, por lo tanto, se eliminan. El MSC (Mobile Switching Center) utilizado anteriormente para dar servicio al tráfico de voz 2G heredado se descarta y todo el tráfico de voz se trata como paquete de datos en la BS (estación base). La compatibilidad con versiones anteriores se mantiene al segmentar los datos de voz en paquetes y enrutarlos a través de la red troncal IP utilizando la tecnología VOIP (Voz sobre IP). Una puerta de enlace VOIP se utiliza para conectarse a PSTN (red telefónica pública conmutada) o ISDN (red digital de servicios integrados). Otro avance importante que hace 4G es la integración de LAN inalámbricas en la red móvil total [44].

La situación será similar a lo que sucede hoy con las LAN cableadas: la línea entre una WAN cableada y una LAN cableada se ha desdibujado con el uso de las mismas tecnologías en ambos (por ejemplo, ATM). Del mismo modo, se están desarrollando nuevos estándares de interfaz aérea para conexión inalámbrica de alta velocidad LAN en conjunción con las de la red celular 4G, que permite que las LAN inalámbricas se interconecten a 4G Backbone IP simplemente a través de enrutadores con acceso inalámbrico incorporado. Todas las interfaces son interfaces aéreas en este esquema y no hay necesidad de un CM (Módulo de control) conectado a ninguna infraestructura cableada. 4G admite redes ad hoc a través de una versión más evolucionada de un estándar existente actualmente llamado Bluetooth [45].

Los requisitos de una red central 4G son: (1) la capacidad de manejar un nivel muy alto de tráfico multimedia; (2) gestión avanzada de la movilidad (esto implica la gestión de la ubicación y la gestión de

las entregas); (3) soporte de acceso de radio diversificado (esto se refiere al soporte para características como varios niveles de QoS y velocidades de transmisión, capacidad de enlace ascendente y enlace descendente independientes); (4) soporte para una amplia gama de aplicaciones, es decir, estructura de soporte para ASP inalámbricas (Proveedores de servicios de aplicaciones),

que son proveedores externos de servicios de alto nivel similares a los ASP en el cableado Internet hoy); (5) servicio sin interrupciones: la entrega de datos debe ser fluida y no verse afectada por ninguna transición en la situación del usuario, como la conexión de red, la conexión de terminal y la descarga de contenido; y (6) soporte para una amplia gama de aplicaciones, es decir, estructura de soporte para ASP inalámbricos (Proveedores de servicios de aplicaciones), que son proveedores externos de servicios de alto nivel similares a los ASP en Internet por cable en la actualidad) [46]

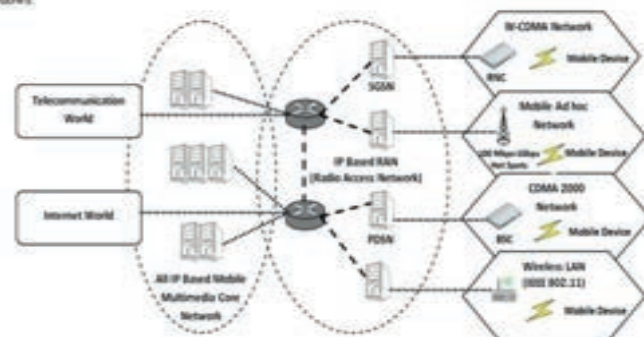


Fig. 13. Arquitectura de la red celular 4G [47].

Long Term Evolution (LTE) es una tecnología de banda ancha inalámbrica 4G desarrollada por la Tercera Generación Proyecto de asociación (3GPP), un grupo comercial de la industria. La tecnología LTE permitió una conexión rápida a Internet móvil.

En realidad, LTE es la continuación para lograr velocidades 4G. LTE es una tecnología IP completa utilizada para la banda ancha móvil, servicios para transferencia de datos y llamadas de voz. Pronto se utilizará para el Servicio de multidifusión de difusión multimedia (MBMS) [49].

Los operadores inalámbricos están expandiendo rápidamente sus redes LTE para aprovechar la eficiencia adicional y la menor latencia y la capacidad de manejar el tráfico de datos cada vez mayor. Las tecnologías centrales han pasado de la conmutación

de circuitos al núcleo de paquetes evolucionado al IP. Mientras tanto, el acceso ha evolucionado de TDMA (Acceso múltiple por división de tiempo) a OFDMA (Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal), como la necesidad de mayores velocidades y volúmenes de datos a medida que aumenta. LTE [50].

La arquitectura de red se puede dividir en dos subredes:

La red de acceso de radio se utiliza para la conexión de radio inalámbrica entre los teléfonos móviles y las antenas del operador móvil. La red de acceso de radio también se llama EUTRAN o Evolved Universal Mobile.

Sistema de telecomunicaciones Red de acceso de radio terrestre. EUTRAN también se puede llamar solo LTE

(evolución a largo plazo). La infraestructura de radio está formada por los siguientes nodos:

- Terminales móviles LTE: los terminales móviles LTE son los teléfonos móviles y otros dispositivos compatibles con el estándar LTE.
- Interfaz de radio: la interfaz de radio es una conexión inalámbrica entre los terminales móviles LTE y eNodeB. Son las señales inalámbricas las que forman las células móviles.
- eNodeB: E-UTRAN Node B o eNodeBs están situados en toda la red del operador móvil. Conectan el terminal móvil LTE a través de la interfaz de radio a la red central.

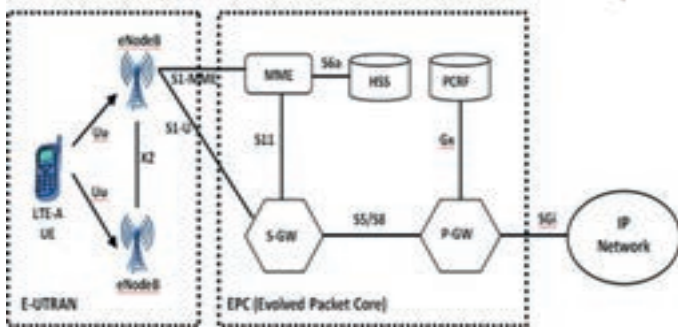


Fig. 14. Diagrama de la arquitectura de red LTE [51].

III. TABLAS COMPARATIVAS

Tab. 1 comparación de los principales estándares inalámbricos. [52]

Commo Name	Family	Primary Use	Radio Tech	Downstream (Mbit/s)	Upstream (Mbit/s)
UMTS W-CDMA HSPA (HSDPA+)	UMTS/3GSM	General 3G	CDMA/FDD/MIMO	0.384 14.4	0.384 5.76

Otra similitud es que todos emplean el uso de HLR [54] como la base de datos de suscriptores, aunque se llama Servidor de Suscriptor de Inicio (HSS) en LTE. Las diferencias entre la mayoría de las tecnologías se basan en la evolución de los elementos centrales y las metodologías de acceso, anchos de banda y tipos de modulación. La siguiente tabla se utiliza para dar un mejor análisis comparativo entre las tecnologías.

Technology	GS M	U MT S	L T E
Access Methodology	TDMA/FDMA	WCDMA	OFDMA/C-FDMA
Maximum downlink speed	10-150 Kbps	384 Kbps	100 Mbps
Maximum uplink speed	10-150 Kbps	128 Kbps	50 Mbps
Bandwidth	200 KHz	5 MHz	1.4 to 20 MHz
Modulation type supported	GMSK	QPSK	QPSK, 16QAM, 64QAM
Core Network type	Circuit Switched	Circuit/packet Switched	Fully IP based

GSM, UMTS y LTE son similares en muchos sentidos, en particular, heredan la mayoría de los elementos implementados en la arquitectura GSM/GPRS y EDGE mientras cambian los nombres de los elementos. Una gran similitud es el hecho de que todos implementan acceso de radio puntos y utilizan tecnología celular.

5. Conclusiones

4G LTE es el futuro de la nueva tecnología inalámbrica para acceder a datos de alto ancho de banda para diversas aplicaciones y llamada de voz sobre VoIP. Un problema importante en los sistemas 4G es hacer que las altas velocidades de bits estén disponibles en una porción más grande de la celda, especialmente a usuarios en una posición expuesta entre varias estaciones base [55]. Ciertos componentes, como los elementos de conmutación de circuitos, se eliminan y se agrega a la conectividad LAN inalámbrica. El control de movilidad, la gestión de ubicación, las entregas, etc., deben realizarse de manera más eficiente en 4G. LTE es el siguiente camino tecnológico para lograr velocidades de red 4G.

Las tecnologías celulares móviles han experimentado un tremendo crecimiento y cambio en el diseño arquitectónico y este cambio ha sido muy significativo en el núcleo de la red. El núcleo de la red ha evolucionado completamente de un núcleo de conmutación de circuitos a un núcleo basado en IP; esto significa que, con el advenimiento de futuras tecnologías celulares [56], los paquetes IP pueden usarse para transportar tráfico de red celular, mejorando así la gestión del tráfico y proporcionando una mejor calidad de servicio. Según este análisis, esto significa que serán el soporte avanzado para servicios tales como transmisión multimedia. La integración con otra infraestructura de telecomunicaciones como como Voz sobre Protocolo de Internet (VoIP) proporcionará un área interesante de investigación. Por lo tanto, se pueden realizar más investigaciones en otros para proporcionar una visión general clara de cómo se puede integrar VoIP en el núcleo IP de las tecnologías celulares avanzadas futuras.

Referencias

- [1] Martin Sauter 3G,4G and beyond: bringing networks, devices and web together -2nd edition p.cm.
- [2] The international Engineering Consortium, web profesor tutorials.
 - [3] "UTRA-UTRAN Long Term Evolution (LTE) and 3GPP System
 - [4] Theodore S. Rappaport, "Wireless Communication Principles and Practice" Harlow Pearson 2005 Prentice Hall International Series in optoelectronics, second edition.
 - [5] Teletopix [Online] <http://www.teletopix.org/category/gsm/>
 - [6] G. Gu, G. Peng, "The survey of GSM wireless communication system" Computer and Information Application (ICCIA), 2010 International Conference on, Year: 2010, Pages: 121-124, DOI: 10.1109/ICCIA.2010.6141552
 - [7] M. Rahnama, "Overview of the GSM system and protocol architecture", IEEE Communications Magazine, Year: 1993, Volume: 31,

Issue: 4,

Pages: 92- 100, DOI: 10.1109/35.210402

- [8] P.L. Reilly, "GSM network architecture issues for the next century", Vehicular Technology Conference, 1994 IEEE 44th , Year: 1994, Pages: 325-329 vol.1, DOI: 10:1109/VETEC.1994.345111
- [9] B. Mallinder, "An overview of the GSM system, "Proc. Nordic Seminar on Digital Band Mobile Radio Commun"., pp.12-15, Sept. 1988
- [10] Jay Jayapalan and Mike Burke, "Cellular Data services architecture and signaling", IEEE personal communication, second quarter", pp.44-55, 1994.
- [11] Khalid Al-Tawil, Ali Akarami, Habib Youssef. "A New Authentication Protocol for GSM Networks". In IEEE 23rd Annual Conference on Local Computer Networks(LCN'98) (pp.21-30).
- [12] Michel Mouly & Marie-Bernadette Paulet, The GSM System for Mobile System
- [13] Bratton, William, Jameson, Justin, and Pentland, Stephen. "Analysis: 3G madness – time for some moderation!" Totaltele.com, July 16, 2001, p.2.
- [15] Van Grinsven, Lucas. "Mobile & Satellite: Nokia 3G guru cites SMS as key to wireless web success". Reuters, June 28, 2001.
- [16] Bach, David. "International Cooperation and the Logic of Networks: Europe and the Global System for Mobile Communications (GSM)". University of California E-conomy Project, Berkeley Roundtable on the International Economy (BRIE) – 12th International Conference of Europeanists, Chicago IL. March 30 – April 1, 2000, p.1.
- [17] Roberts, Simone. "3G in Europe: Expensive but Essential"; Wireless/Mobile Europe, The Yankee Group. Report Vol. 5, No. 8 – June 2001, p.1.
- [18] Cukier, Kenneth and Hibbard, Justin. "Spectrum Shortage". Red Herring Magazine, September 1, 2000
- [19] Bout, Dirk M., Daum, Adam, Deighton, Nigel, Delcroix, Jean-Claude, Dulaney, Ken, Green-Armytage, Jonathan, Hooley, Margot, Jones, Nick, Leet, Phoebe, Owen, Gareth, Richardson, Peter, Tade, David. "The Next Generation of Mobile Networks Poses a \$100 Billion Challenge for Europe", Note Number: R-11-5053, Gartner Group. September 19, 2000.
- [20] This would include US\$6.3 billion on acquiring a 3G license, US\$3 billion on building the 3G network, US\$75 million on upgrading existing networks to GPRS and the remainder on content and service creation. Bratton, William, Jameson, Justin, and Pentland, Stephen. "Analysis: 3G madness – time for some moderation!" Totaltele.com, July 16, 2001, p.2.
- [21] Chamberlain, S. et al. (2010). The Red Hat newlib C Library. [Online PDF]. Available at: <<ftp://sources.redhat.com/pub/newlib/libc.pdf>>
- [22] Both the EU and the German 3G license holders are exerting pressure on regulator, and Yankee Group expects that the regulator will bow to that pressure and concede that network sharing is a necessary step for the success of the German 3G market
- [23] Gadaix, E. (2001). GSM and 3G security. [Online]. Available from www.blackhat.com/presentations/bh-asia-01/gadix.ppt
- [26] 3G Newsroom. 2003. 3G License Information Database. <http://www.3gnewsroom.com/3g/licenses/db/index.shtml>
- [27] 3rd Generation Partnership Program. Network Architecture. Technical Specification 23.002. Release 5. Version 5.5.0.
- [28] 3rd Generation Partnership Program. Cryptographic Algorithm Requirements. Technical Specification 33.105. Release 4. Version 4.1.0.
- [29] International Telecommunications Union. 1997. International Mobile Telecommunications-2000 . Recommendation ITU-R M.687-2 (02/97).
- [30] Korhonen, J. 2001. Introduction to 3G Mobile Communications. Artech House, Inc. Norwood, MA.
- [31] NTT DoCoMo. 2003. Subscriber Growth. <http://www.nttdocomo.com/companyinfo/subscriber.html>
- [32] Smith, C. and D. Collins. 2002. 3G Wireless Networks. McGraw-Hill. Boston, MA.
- [33] Trillium Digital Systems, Inc. 2000. Third Generation (3G) Whitepaper. Los Angeles, CA. <http://www.trillium.com/assets/wireless3g/whitepaper/8722019.pdf>
- [34] DIGITAL TRANSMISSION SYSTEMS by David R Smith
- [35] Telcordia GR-253-CORE, Synchronous Optical Network (SONET)

- Transport Systems: Common Generic Criteria (October 2009). Issue 5.
- [36] Horak, Ray (2007). Telecommunications and Data Communications Handbook. Wiley-Interscience. p. 476. ISBN 978-0-470-04141-3.
- [37] ITU-T Rec. G.707/Y.1322, Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH)., Geneva: International Telecommunications Union, 2007-01, retrieved 2010-11-03
- [38] ITU-T Rec. G.783, Characteristics of synchronous digital hierarchy (SDH) equipment functional blocks., Geneva: International Telecommunications Union, 2006-03, retrieved 2010-11-03
- [39] ITU-T Rec. G.784, Management aspects of the synchronous digital hierarchy (SDH) transport network element., Geneva: International Telecommunications Union, 2008-03, retrieved 2010-11-03
- [40] "Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Graphical Overview". Cisco. San Jose, California: Cisco Systems. 2006-10-01. Retrieved 2010-11-14.
- [41] Tozer, Edwin Paul J. (2004). "1.8.11 Synchronous Digital Hierarchy (SDH)". Broadcast Engineer's Reference Book.
- [42] S. Assawaboonmee, 'Roamer Direct Dialing (RDD)', 2004 IEEE Region 10 Conference TENCON 2004, 3 (2004) 41-43.
- [43] V. Britvic, 'Steps in UMTS Network Design', Proceedings of the 12th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, 2004. MELECON 2004, 2 (2004) 461-464.
- [44] P. Chitrapu, B. Aghili, 'Evolution of GSM into the Next Generation Wireless World', in IEEE Long Island Applications and Technology Conference, 2007. LISAT 2007, 2007, 1-10.
- [45] D. Erik, P. Stefan, S. Johan, 4G_LTE_LTE-Advanced (Oxford: Elsevier, 2011)
- [46] L. Fuentelsaz, J.P. Maicas, Y. Polo, 'The Evolution of Mobile Communications in Europe: The Transition from the Second to the Third Generation', Telecommunications Policy, 32 (2008) 436-449.
- [47] S. Gold, 'Cracking GSM', Network Security, 2011, 12-15
- [48] G. Gu, G. Peng, 'The Survey of GSM Wireless Communication System', 2010 International Conference on Computer and Information Application (ICCIA), 2010, 121-124.
- [49] M. Mustaqim, K. Khan, M. Usman, 'LTE-Advanced: Requirements and Technical Challenges for 4G Cellular Network', Journal of Computing and Information Sciences, 3 (2012) 665-671.
- [50] M. Neruda, R. Bestak, 'Evolution of 3GPP Core Network', in 15th International Conference on Systems, Signals and Image Processing, 2008. IWSSIP 2008, 2008, 25-28.
- [51] S. Sesia. I. Toufik, M. Baker, LTE – The UMTS Long Term Evolution: A Pocket Dictionary of Acronyms, Wiley, 2009, www.wiley.com/go/sesia_theumts.
- [52] Request for Comments 4960, The Internet Engineering Task Force (IETF), Network Working Group, Stream Control Transmission Protocol, <http://ietf.org>
- [53] Otsu T., Okajima I., Umeda N., Yamao Y. (2001). "Network Architecture for Mobile Communications Systems Beyond IMT-2000", IEEE Personal Communications.
- [54] Augustine C. Odinma, Lawrence I. Oborkhale, Muhammadou M.O. Kah (2007). "The Trends in Broadband Wireless Networks Technologies", Pacific Journal of Science and Technology, Vol. 8(1).
- [55] M. Monemian, P. Khadivi, M. Palhang (2009). "Analytical Model of Failure in LTE Networks", IEEE, Pp. 821- 825
- [56] A. Mukherjee, S. Bandyopadhyay, D. Saha (2003). "Location Management and Routing in Mobile Wireless Networks", Artech House Publishers



PROTOCOLO PARA PRUEBAS DE ELEMENTOS CAD-PAD DEL SISTEMA DE EYECCIÓN DE LAS AERONAVES A-37B

Te. Jiménez Garzón José Alfonso
Ts. López Martínez Pedro Edilberto, Tp Arias Vélez Álvaro
Grupo Técnico 35
Comando Aéreo de Combate No. 3
Atlántico, Colombia
jose.jimenezg@fac.mil.co
pedro.lopez@fac.mil.co
alvaro.arias@fac.mil.co

A-37B aircraft ejection system test protocol for CAD-PAD elements

Te. Jiménez Garzón José Alfonso
Ts. López Martínez Pedro Edilberto, Tp Arias Vélez Álvaro
Technical Group 35
Air Combat Command No. 3
Atlántico, Colombia
jose.jimenezg@fac.mil.co
pedro.lopez@fac.mil.co
alvaro.arias@fac.mil.co

Resumen: Este documento describe, de forma secuencial, las labores realizadas durante el protocolo de pruebas de campo para unos iniciadores CAD-PAD (Cartridge and Propellant Actuated Devices), encaminadas a establecer la aceptación y puesta en funcionamiento de los iniciadores MG48 como alternativa de cambio a los iniciadores M113 en el sistema de eyección de los asientos eyectables Weber de las aeronaves A-37B. Estos iniciadores son los responsables de enviar presión a los componentes internos para la adecuada eyección. El ejercicio en mención es la prueba piloto de un proceso de documentación

Abstract: This document describes, sequentially, the work carried out during the field test protocol for CAD-PAD (Cartridge and Propellant Actuated Devices) initiators, aimed at establishing the acceptance and putting into operation the of MG48 initiators as an alternative of change to the M113 initiators in the ejection system of the Weber ejection seats of the A-37B aircraft. These initiators are responsible for sending pressure to the internal components for proper ejection. The exercise in question is the pilot test of a documentation process.



Palabras Claves: A-37B, cartuchos, eyección, iniciadores, pruebas de campo.
Keywords: A-37B, cartridges, ejection, initiators, field tests.

1. Introducción

El objetivo general del presente proyecto fue realizar el diseño, análisis e implementación de un protocolo de pruebas para un material CAD-PAD, con el fin de obtener resultados utilizando un sistema BSTS (Ballistic Signal Transmission System). Este sistema se diseñó como plataforma de conocimiento y doctrina para el desarrollo de ensayos balísticos en sistemas de eyección y escape de las aeronaves de combate de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC). Para la simulación y verificación correspondientes, se recurrió al método científico-demostrativo, encaminado a la correcta acción y funcionamiento de sistemas de catapultas como fase final de una eyección en una aeronave de combate.

Se hizo la prueba piloto para la eyección del asiento Weber modelo M2-F1 instalado en la flota A-37B, con el fin establecer la secuencia de operación correcta de la cadena CAD-PAD con el iniciador MG48 P/N 6161100.

2. Desarrollo del proyecto

A continuación, se presentan los documentos técnicos que sustentaron el protocolo efectuado.

A. *Boletín Técnico FAC 1A-37B-609: "Pruebas funcionales de la catapulta balística P/N 10535-1 con el iniciador MG48 P/N 6161100"*

En primera instancia, se hizo un estudio para verificar las MIL-STD y las órdenes técnicas de todos los componentes involucrados en la cadena de funcionamiento CAD-PAD de la silla de eyección Weber M2-F1, enmarcado en tres aspectos:

- > Seguridad.
- > Compatibilidad con la secuencia de eyección.
- > Tiempos de operación dentro de la eyección del asiento en el iniciador de cambio MG48.

Los anteriores aspectos se encontraban parametrizados. Así, este iniciador actúa en un parámetro de tiempo de 0.25 a 0.38 segundos [1] (tiempos en una variante de 0.13 segundos de funcionamiento), durante el cual se verifica cada paso una vez se realice la activación de las palancas de eyección, lo que asegura la adecuada sujeción del tripulante a la silla. De esta forma, se deja el espacio

de tiempo y presión suficientes para asegurar que se cumplan los lapsos de tiempos de activación, retardo y paso de presión, con lo cual se cumple el tiempo para el funcionamiento de la catapulta. Con esto se da paso a los gases a alta presión, y se continúa con la eyección del sistema balístico en conjunto con la estructura del asiento eyectable y su tripulante.

B. *Documento E24AW1: "Special Test Report for the T-38 0.3 sec Time Delay Ballistic Signal Transmission System (BSTS) for T-37 Aircraft"*

Este documento establece la prueba específica de una sección de eyección con el iniciador MG48. Sin embargo, este documento está diseñado para los dispositivos CAD-PAD de la flota T-37, los cuales presentan algunas diferencias si se comparan con los de la flota A-37B: tienen una secuencia de eyección de dos tiempos, lo que implica un funcionamiento diferente en la cadena de eyección, y utilizan mayores cantidades de material CAD-PAD y líneas de presión.

Con la documentación técnica elaborada por el personal de investigadores, se procedió a efectuar la planeación de las pruebas, siguiendo el panorama de riesgos elaborado en conjunto con el departamento de Seguridad Operacional.

Se seleccionó un fuselaje de una aeronave A-37B, que se encontraba de baja y cuyo destino final era la destrucción, como base de aseguramiento de los sistemas BSTS diseñados para cada prueba. Se adecuó la zona de instalación del riel de posicionamiento de la silla, y se modificó el fuselaje para llevar a cabo las diferentes activaciones de forma remota, salvaguardando la integridad física de los operadores del dispositivo BSTS.

Por otro lado, se tuvieron en cuenta las siguientes instrucciones generales [2]:

> Definición del campo donde se desarrollan las pruebas: Debe cumplir con unas características específicas, de acuerdo con el documento emitido por el Departamento de Seguridad Operacional del CACOM-3 para el análisis de riesgo. Estas características son:

* Debe ser un lugar despejado que salvaguarde la integridad física del personal que realice las pruebas y la infraestructura en la que se iniciará el circuito BSTS. Se recomienda un espacio abierto con una distancia de seguridad mínima de 10 metros a la redonda, y de por lo menos 25 metros a la salida de

la catapulta balística.

* Debe contar con zonas de acceso vehicular en sus cercanías que permitan el rápido ingreso de servicios de emergencia en caso de ser requeridos.

* El terreno debe ser regular, no debe contar con desniveles ni vegetación espesa.

* Se debe contar con la presencia de personal médico y de emergencia durante el desarrollo de la prueba (bomberos y ambulancia).

> Condiciones ambientales: están definidas por las condiciones medioambientales en el momento del ensayo en el área determinada para estas pruebas. Esta área debe tener las características descritas en el mapa de riesgos, y se debe contar con previa autorización y aprobación del Comandante del Comando Aéreo de Combate No. 3. Se debe transcribir la información de temperatura y humedad relativa, de conformidad con los datos suministrados por la Oficina de Información Aeronáutica del CACOM-3.

> Restricciones para realizar la prueba: estas restricciones están condicionadas por factores medioambientales que generen dificultad para la observación y comportamiento de las pruebas de campo, como lo es temperatura mayor a 35°C, viento superior a 20 nudos con ángulo no mayor a $\pm 35^\circ$ del recorrido de la catapulta balística (siendo la posición 0° el frente de la silla sometida a las pruebas), o cualquier otro factor de seguridad evidenciado por el personal asistente a la prueba.

Para el cumplimiento del objetivo propuesto, se elaboraron tres tipos de pruebas y hojas de resultados, en las que el personal involucrado en las pruebas puede encontrar todos los datos observados por diferentes representantes tanto de la sección de seguridad operacional, como especialistas de Armamento Aéreo, personal de pilotos en representación del Comandante del Escuadrón ESC311, Comandante de Grupo de Combate, Grupo Técnico y Comandante de UMA. Estas pruebas se describen a continuación.

1) Prueba 1: Iniciador M113

Descripción: esta prueba consiste en la activación del circuito BSTS compuesto por el iniciador M3A2, el M113 y la catapulta balística 10535-1. Los

iniciadores son instalados en un soporte, y el cable ASSY P/N 823797-401 es instalado, en uno de sus extremos, al iniciador M3A2, y en el otro al punto de anclaje dispuesto para el mismo en el RIAL STRUCTURE ASSY P/N 190SP700. Este soporte es anclado al BLOCK ASSEMBLY de la catapulta, donde se encuentra el punto de instalación del ARM, SEAT SUPPORT P/N 803245, en el punto donde se asegura con el PIERCER P/N 7445838-01, según T.O. 13A-58-4 [3], a la catapulta balística P/N 10535-1, siguiendo la secuencia de activación de los CAD-PAD descrita en la T.O.13A5-58-2 [4].

Finalidad de la prueba 1: observar el correcto accionamiento de los iniciadores y la catapulta balística mencionados, así como la extensión del tubo telescópico o salida del vástago con el soporte, verificando la extensión total del cable ASSY P/N 823797-401 y la ruptura del testigo instalado en el soporte.



Fig. 1. Prueba 1: iniciador M113

2) Prueba 2: Iniciador MG48

Descripción: esta prueba consiste en la activación del circuito BSTS compuesto por el iniciador M3A2, el MG48 y la catapulta balística 10535-1. Se lleva a cabo de forma similar a la prueba 1, cambiando el iniciador M113 por el MG48.

Finalidad de la prueba 2: verificar el correcto accionamiento de los iniciadores y la catapulta balística mencionados, así como la extensión del tubo telescópico o salida del vástago del soporte de la catapulta, verificando la extensión total del cable ASSY P/N 823797-401 más una extensión en alambre de 3 cm (como margen de seguridad), y con la ruptura del testigo de cobre instalado en el soporte.



Fig. 2. Prueba 2: iniciador MG48

3) Prueba 3: Funcionamiento de la catapulta balística P/N 10535-1 con el iniciador MG48 P/N 6161100

NOMBRE	P/N	N° SERIE	N° LOTE	FECHA		
				FABRICACIÓN	INSTALACIÓN	VENCIMIENTO
M3-48	6161100	4781	CH0198001-013	may-19	abr-20	
M3A2	8595821-1	586	CH2278011-001	feb-17	abr-20	
CATAPUL	10535-1	ABP10117	NT1140002-003	jul-14	abr-20	
1129-1	1129-1	11	UC0010001-001	jul-13	ago-19	jul-21
1010-5	1010-5	2304	UC00170001-005	jul-17	jun-19	jul-22
INICIADOR BPIR	0113226-23	29018	ES0110942-007	abr-11	sep-14	abr-22

Descripción: esta prueba consiste en la verificación del funcionamiento de la catapulta balística P/N 10535-1 con el iniciador MG48 P/N 6161100 y la activación del circuito instalado en la silla de eyección P/N 823780-402 (RH), como se describe en el anexo 3 del B.T. 1A-37B-609 [2].

Finalidad de la prueba 3: verificar que al accionar el BSTS establecido para la salida de la silla de eyección del banco de pruebas, se active el iniciador P/N 1129-1 y los cartuchos B-PIR P/N 0113226-23, MG48 P/N 6161100 y P/N 1010-5, que son accionados por la misma presión que envía el iniciador M3A2 P/N 8595821-1.

Se debe realizar una retroalimentación de los resultados de las pruebas de campo efectuadas con el iniciador MG48 P/N 6161100 al personal técnico y operativo del equipo A-37 a través de la Junta Técnica. Se deben enviar los resultados de las pruebas y las recomendaciones del caso a la Subdirección de Armamento para su análisis, así como a la Sección de Ingeniería de CACOM-3, que a su vez elaborará y presentará la orden de ingeniería a SUMAN para la aprobación del cartucho MG48 como elemento alternativo al cartucho M113.

Por ende, se hizo el listado de elementos utilizados, con su número de serie, lote, fechas de instalación y vencimiento, para ser materia de análisis por quien lo requiera.

TABLA I. ELEMENTOS CAD-PAD DE LA PRUEBA 3

Fig. 3. Base de la silla Weber



TABLA II. ELEMENTOS MISCELÁNEOS DE LA PRUEBA 3

NOMBRE	P/N	FECHA	
		FABRICACIÓN	INSTALACIÓN
HOSE ASSY (CATAPUL TO M113 INITIATOR)	MS8000E675A		feb-17
HOSE ASSY (M3 INITIATOR TO M113 INITIATOR)	MS8000E095E		feb-17
UNIÓN	AN815-4		feb-17
PARKING	MS28778-4		abr-20
ELBOW	MS51521B4S		feb-17
ELBOW	MS20822-4		feb-17
WASHER	AN96010L		feb-17
SCREW	NAS603-6P		feb-17
CLAMP	NAS1714D3-6N		feb-17
CLAMP	NAS171402-6N		feb-17
NUT	MS21042L3		feb-17
HOSE ASSY	MS8000E200A		feb-17
TEE	AN824-4		feb-17
HOSE ASSY (TEE TO 1010-S INITIATOR)	MS8000E036C		feb-17
HOSE ASSY (TEE TO DISCONNECT)	MS8000E180C		feb-17
SOCKET DISCONNECT	4353C4		feb-17
RING, RETAINING	NAS51-175		feb-17
HOSE ASSY (1010-S INITIATOR TO TEE)	MS8000E300A		feb-17
HOSE ASSY TEE TO LAP BELT	R5306-0300		feb-17
HOSE ASSY TEE TO SEAT-MAN SEPARATOR	MS8000E105C		feb-17
STRUCTURE ASSY	1905P700		feb-17
CABLE ASSEMBLY	823797-401		feb-17
ACTUATOR SEAT-MAN SEPARATOR	1000-45		feb-17
INERTIA REEL (45-402)	0103178-48		feb-17
HOSE ASSY (M3A2S INITIATOR TO TEE)	MS8000E272B		feb-17
BELT ASSY LAP SAFETY	809955-415		feb-17

Para todo lo descrito anteriormente, se elaboraron cuatro anexos: los tres primeros son los formatos para

diligenciar cuando se realicen las pruebas, y el cuarto corresponde a los riesgos de seguridad identificados. Realización de pruebas

El día 17 de abril de 2020 se dio cumplimiento cabal al Boletín Técnico 1A-37B-609, así como a sus anexos y a los estándares de seguridad definidos por la FAC.

Se analizaron más de cinco horas de videos, grabados con diferentes cámaras distribuidas a lo largo del lugar donde se llevó a cabo cada una de las pruebas, así como la información obtenida mediante fotografías, levantamiento de mapas de funcionamiento y muestras. Una vez realizadas las pruebas se plasmó esta información en las hojas de resultados definidas en el Boletín Técnico [3].

1) Resultado 1: iniciador M113

Primera activación: al activar el circuito BSTS (Ballistic Signal Transmission System) y ser removido el vástago del iniciador M3A2 P/N 8595821-1, no se observó funcionamiento del circuito BSTS. Se efectuó una inspección y se encontró presencia de hollín en la salida de los gases del iniciador M3A2 P/N 8595821-1 y en la Hose Assy P/N MS8000E675A, así como la no activación del iniciador M113 P/N 11731474.

Segunda activación: se procedió a realizar el cambio de iniciadores M113 P/N 11731474 S/N 114, M3A2 PIN 8595821 -1 S/N 583 y Hose Assy P/N MS8000E675A. Durante la inspección posterior a la segunda activación del circuito BSTS, se observó en el iniciador M3A2 P/N 8595821-1 un vástago removido y presencia de hollín en la salida de los gases. En el iniciador M113 P/N 11731474, se evidenció hollín en la entrada y salida de los gases. En la catapulta balística P/N 10535-1, se evidenció hollín en Hose Assy P/N MS8000E675A, en Elbow P/N MS20822-4 y en la entrada de los gases, pero no se evidenció funcionamiento de la catapulta balística (no se activó).

2) Resultado 2: Iniciador MG48

La prueba número 2 fue satisfactoria debido a que se evidenció el correcto funcionamiento del BSTS. Se realizó de manera adecuada la secuencia CAD/PAD, lo que dio como resultado la extensión del tubo



Fig. 4. Catapulta

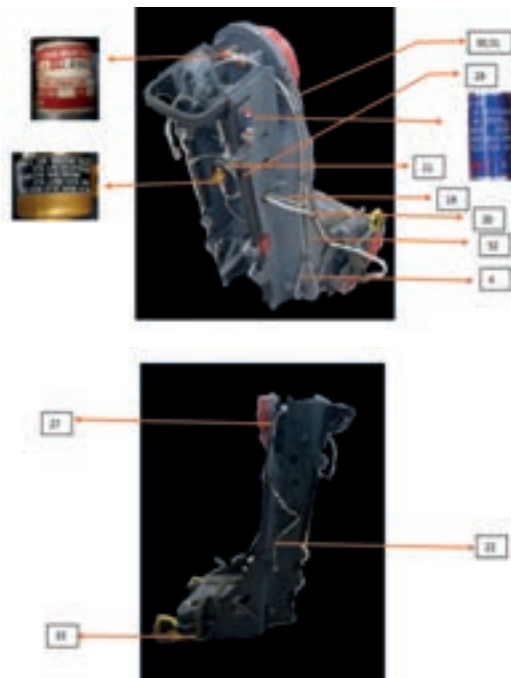


Fig. 5. Silla Weber con iniciadores



Fig. 6. Resultado de la prueba 1



Fig. 7. Resultado de la Prueba 2

telescópico, la salida del vástago del soporte de la catapulta balística P/N 1 0535-1 y la ruptura del testigo de cobre instalado en el cable ASSY P/N 823797-401.

3) Resultado 3. Funcionamiento de la catapulta balística P/N 10535-1 con el iniciador MG48 P/N 6161100.

La prueba número 3 fue satisfactoria debido a que se evidenció el correcto funcionamiento del asiento eyectable, adecuado para la realización de las pruebas según el Boletín Técnico 1A-37B-69 pruebas funcionales de la Catapulta Balística P/N 10535-1 con el iniciador MG48 P/N 6161100, donde el iniciador M3A2 P/N 8595821-1 suministró la presión adecuada al iniciador B-PIR P/N 0113226-23, iniciador P/N1010-5, desconexión rápida y proporcionó presión para el correcto funcionamiento del iniciador MG48 P/N 6161100, el cual activó la catapulta balística P/N 10535-1. A su vez, mediante el cable ASSY P/N 823797-401, se activó el iniciador P/N 1129-1

Fig. 8. Evidencias de activación



Fig. 9. Salida de la silla de eyección Weber

Orden de Ingeniería OI-A37B-20-13. Uso de iniciador MG48 P/N 161100 como alterno del iniciador M113 P/N 11731474 en las sillas de eyección Webber P/N 823780-401 (LH) y P/N 823780-402 (RH) de las aeronaves Cessna A-37B

Con la recolección de los datos observados, se realizó el registro del proceso, para que sirva de guía en la realización de pruebas de campo aplicadas en la utilización y ensayo de sistemas CAD-PAD para eyección de escape de las aeronaves de combate. De igual forma, se construyó la orden de ingeniería OI-A37B-20-13, con el fin de documentar el uso del iniciador MG48 P/N 6161100 como alterno del iniciador M113 P/N 11731474 en las sillas de eyección Webber P/N 823780-401.

Nomenclatura	FSC/DODIC	Part/Model No.CAGE Code	Dimensions (Inches)			
			Length	Width	Height	Diameter
Initiator	1377-01-494-0468 P1	6161100	4.7	N/A	N/A	1
Initiator, M113	1377-00-222-3042	11731474	4.7	N/A	N/A	0.8

TABLA III. CARACTERÍSTICAS DE LOS INICIADORES

Partiendo del concepto teórico establecido en la O.T, en el cual se incluyen los iniciadores M113 P/N 11731474 y MG48 P/N 6161100, que son fabricados bajo estándar FSC 1377, se cumple con las mismas dimensiones de longitud según la tabla III [4]. Así como una distancia de agujeros de sujeción idénticas. Por lo tanto, no se requieren modificaciones adicionales en la silla o en la aeronave para realizar su instalación.

Teniendo en cuenta lo anterior y los resultados satisfactorios de las pruebas realizadas, se recomienda el uso del iniciador MG48 P/N 6161100 como alternativa al M113 P/N 11731474.

Una vez finalizado el análisis de los datos recogidos en los ensayos realizados en el CACOM-3, la Subdirección de Armamento da el aval para el trámite y elaboración de la orden de ingeniería como documento de referencia.

3. Ciencia, tecnología e innovación para la FAC

La metodología empleada en el proyecto fue cualitativa, e incluyó la observación directa y el análisis de resultados, con el objetivo de producir el material físico y de consulta para la realización de

pruebas de sistemas CAD-PAD.

El carácter innovador se evidenció en la utilización de los iniciadores MG48 en el sistema de eyección Weber M2-F1 mediante la utilización de un iniciador de doble retardo, impulsado por gases de explosión, los cuales actúan en un parámetro de tiempo de 0.25 a 0.38 segundos. Esto asegura la adecuada sujeción del tripulante a la silla, el paso de presión para la catapulta y la expulsión del tripulante una vez la silla se encuentra fuera de la aeronave. Así mismo, se realizó un protocolo para la recreación de pruebas futuras, en caso de ser requerido, en las sillas de eyección de la FAC, como parte de las pruebas y consideraciones descritas en la documentación técnica.

El principal impacto del desarrollo cualitativo de las pruebas de campo del iniciador MG48 en el sistema de eyección de un tiempo de las sillas Weber consistió en la creación del Boletín Técnico y la Orden de Ingeniería (con sus anexos) para el desarrollo de las pruebas. Estos documentos abarcan todos los aspectos de seguridad física y operacional, y dejan un precedente para la realización de las pruebas de los dispositivos CAD-PAD, incluidos en los sistemas de eyección y escape de las aeronaves militares de la Fuerza Aérea Colombiana.

Eficiencia: mediante la observación cualitativa, se hizo el protocolo de pruebas de los iniciadores CAD-PAD, con lo cual se demostró su uso y alcance en relación con la adecuada eyección de la silla Weber de un tiempo con un tripulante, remplazando el iniciador M113 por el iniciador MG48. Esto asegura la aeronavegabilidad de las aeronaves.

Eficacia: además de la puesta en funcionamiento de las aeronaves A-37B, este proyecto evidenció la capacidad de desarrollo de propuestas por parte del personal que integra la FAC. Por ende, puede ser expuesto ante otras fuerzas aéreas, y convertirse en un pilar a nivel regional en relación con la utilización de un iniciador de doble retardo actuado por gases de explosión, según lo establecido por las MIL-STD utilizadas para el diseño y fabricación de los sistemas de eyección y CAD-PAD. Además, los documentos generados pueden servir como base de un protocolo de pruebas de dispositivos CAD-PAD.

Los resultados obtenidos con la ejecución de las pruebas mediante el Boletín Técnico 1A-37B-609 son

una pieza fundamental para la puesta en servicio de los sistemas de eyección y escape de las aeronaves militares de combate, en la flota de aeronaves A-37B Dragonfly, asignadas logísticamente al Comando Aéreo de Combate No. 3.

Sumado a lo anterior, en la Biblioteca Virtual de la Fuerza Aérea Colombiana se incluyeron los Protocolos de Pruebas, divididos en el Boletín Técnico como documento de soporte (con sus respectivas hojas de resultados) y la Orden de Ingeniería (con el análisis correspondiente a las pruebas realizadas). También se presenta un ahorro institucional, por la realización de un estudio de ingeniería de alta complejidad para la aplicación y puesta en funcionamiento de los iniciadores MG48 como reemplazo de los ya mencionados M113. Estos iniciadores MG48 pueden funcionar no solo para las aeronaves T-37, ya que se demostró su funcionamiento y aceptación adecuados, mediante los protocolos establecidos en el Manual de Mantenimiento MAMAE de la FAC, en los sistemas de eyección RH y LH de las aeronaves A-37B.

Así mismo, se elaboró un protocolo de pruebas propio, diseñado por personal activo de la FAC, con base a ensayos, observación y análisis de sistemas de eyección y circuitos balísticos, con el fin de evidenciar el funcionamiento adecuado de material CAD-PAD. Este protocolo puede ser de utilidad en el momento en que se requiera chequear este material por varias razones, como la adquisición de materiales diferentes a los plasmados en los manuales técnicos, pero que cumplan con características de funcionamiento y operación enmarcadas en tiempos y modos propios del sistema. También puede ser de utilidad cuando se haga la adquisición o puesta en funcionamiento por asimilación de sistemas de valores teóricos y prácticos de eyección, y puede ser un elemento de gran valor para la toma de decisiones a niveles logísticos para las aeronaves de combate de la FAC o de cualquier nación que requiera un estudio de esas características. Por lo tanto, este protocolo es un pilar, a nivel latinoamericano y del Caribe, en el desarrollo de este tipo de pruebas de funcionamiento.

4. Conclusiones

Se demostró la capacidad de la FAC para llevar a cabo un estudio para la aplicación y puesta en funcionamiento de los sistemas CAD-PAD. Este tipo de estudio es de gran dificultad, ya que no puede ser

realizado por la industria de la aviación comercial, en razón a sus características de utilización en aeronaves netamente militares. Además, se garantizó el funcionamiento adecuado de los sistemas de eyección RH y LH de las aeronaves A-37B, así como el aseguramiento de la aeronavegabilidad continuada de las aeronaves A-37B. Finalmente, se desarrolló una nueva capacidad: la de brindar un protocolo de pruebas propio y avalado bajo los lineamientos de mantenimiento aeronáutico para la FAC, con el cual se comprueba el funcionamiento adecuado de material CAD-PAD. A lo anterior se suma la oportunidad de brindar el conocimiento adquirido a fuerzas aéreas de la región, en una visión globalizada de seguridad y funcionamiento de aeronaves de combate al servicio de otras naciones.

Referencias

- [1] NAVY, «Special Test Report for the T-38 0.3 sec time delay ballistic signal transmission system (BSTS) for T-37 aircraft,» NAVY, NV, USA, 2018.
- [2] AING, «B.T. FAC 1A-37B-609,» FAC, Bogotá, Colombia, 2020.
- [3] NAVY, «Technical Order T.O. 13A-58-4,» USDOD, TX, USA, 1996.
- [4] NAVY, «Techincal Order T.O. 13A5-58-2,» USDOD, TX, USA 1999.
- [5] AING, «OI-A37B-20-13,» FAC, Bogotá, Colombia, 2020.
- [6] AFSAC , «T.O. 11P3-1-7,» ATOS , Chicago, IL, USA, 2014.



REVOLUCIÓN TECNOLÓGICA Y EDUCATIVA

Gómez Bonilla Eliana Geraldine
eliana.gómez@esufa.edu.co
Escuela de Suboficiales Fuerza Aérea Colombiana

Technological and educational revolution

Gómez Bonilla Eliana Geraldine
eliana.gómez@esufa.edu.co
Colombian Air Force NCO School

Resumen: La revolución tecnológica que ha experimentado la humanidad en las últimas décadas ha estado representada, primero, por la Web 1.0, que aloja contenido en Internet sin interacción alguna con los usuarios; segundo, por la Web 2.0, que permite interacción bidireccional por medio de redes sociales, blogs, etc.; tercero, por la Web 3.0, que hace posible la búsqueda por medio de palabras clave, para ajustarla a las necesidades del usuario dependiendo de su información personal; tercero, por la Web 4.0, que hace uso de información de otros dispositivos y los enlaza (por ejemplo, el GPS y el medidor de frecuencia cardíaca); y cuarto, por la Web 5.0, que representa la tecnología sensorial. Estos avances pueden ser comparados con los que se han dado en la educación, ya que se ha tenido, primero, una enseñanza tradicional y en una sola dirección: docente-estudiante (1.0); segundo, una enseñanza más bidireccional (2.0); tercero, una enseñanza que incorpora las TIC en el proceso de aprendizaje (3.0); cuarto, una enseñanza que enfoca el uso de las TIC en una educación basada en el desarrollo de competencias (4.0), y quinto, una enseñanza que retoma la educación 4.0 y la unifica con el desarrollo de competencias emocionales (5.0).

Abstract: The technological revolution that humanity has experienced in the last decades has been represented, first, by Web 1.0, which hosts content on the Internet without any interaction with users; second, by Web 2.0, which allows two-way interaction through social networks, blogs, etc.; third, by Web 3.0, which makes it possible to search using keywords, to adjust it to the needs of the user depending on their personal information; third, by Web 4.0, which makes use of information from other devices and links them (for example, the GPS and the heart rate meter); and fourth, by Web 5.0, which represents sensory technology. These advances can be compared with those that have occurred in education, since there has been, first, a traditional teaching and in a single direction: teacher-student (1.0); second, a more bidirectional teaching (2.0); third, a teaching that incorporates ICT in the learning process (3.0); fourth, an education that focuses on the use of ICT in an education based on the development of competencies (4.0), and fifth, an education that re-takes up education 4.0 and unifies it with the development of emotional competencies (5.0).

1. Introducción

La naturaleza de la evolución comprende progresos en la vida cotidiana observables a través de los años, como la tecnología, la educación, los estilos de vida, el comercio, la economía, las guerras, entre otros. Todos ellos han dado pie a un desarrollo y un mejoramiento continuos de acuerdo con las diferentes necesidades de los usuarios, y han facilitado las tareas diarias.

Las Tecnologías de Información y Comunicación han tenido un papel muy importante en las vidas de las generaciones nativas digitales, como los millennials y los centennials. Además, la modernización ha implicado el uso constante de la tecnología, la cual se encuentra al alcance de toda la población. En la educación, las TIC son una herramienta pedagógica significativa en el desarrollo del aprendizaje, más aún al enfocarlo en las generaciones antes mencionadas, frente a las cuales se deben usar estrategias didácticas en la enseñanza que permitan mayor facilidad en la relación con la tecnología. De esta manera, el aprendizaje que se alcanza es más rápido y eficiente, en comparación con el empleo de métodos tradicionales.

2. Desarrollo de contenidos

Los avances tecnológicos se pueden relacionar con la educación basada en las TIC. Empezamos con la Web 1.0, que englobaba las primeras navegaciones que se hacían en Internet. El contenido se alojaba en Internet y las personas visitaban las páginas web sin ningún tipo de relación bidireccional: “las primeras computadoras (...) eran máquinas solitarias; no estaban diseñadas para interactuar con sus usuarios ni con otras computadoras” [1, p. 144]. Así mismo, en la educación 1.0 la propuesta era unidireccional desde el docente hacia el estudiante, sin una interacción adecuada entre los actores del aprendizaje. Como ejemplo tenemos la educación tradicional, en la cual el enfoque consistía en que a los estudiantes se les exigía atender la explicación del profesor, y repetir y memorizar las lecciones [2]. El aprendizaje era evaluado de acuerdo con la capacidad de memoria que tenían los estudiantes; por ende, no había lugar para la reflexión, el pensamiento crítico y el desarrollo de la persona. Existía una brecha abismal entre el maestro y el estudiante.

Por su parte, la Web 2.0 se define como las utilidades y servicios de Internet que permiten modificación de la información e interacción de los contenidos con los usuarios [3]. De esta manera, se puede observar una gran diferencia entre la Web 1.0 y la 2.0: en la segunda existe más participación por parte de las personas en la navegación, la cual se ha vuelto bidireccional. Así, “los blogs, los wikis, las redes sociales (...) generan un contexto idóneo para el desarrollo de competencias tales como el pensamiento crítico, la autonomía, la iniciativa, el trabajo colaborativo y/o la responsabilidad individual” [4, p. 61]. Este avance se puede comparar con la educación 2.0, en la que ya existe la interacción docente-estudiante, las opiniones y aportes que realice el estudiante son más notorias y respetadas, el conocimiento se construye entre estos actores y el uso de la tecnología en la educación empieza a hacerse cada vez más necesaria.

La Web 3.0 corresponde a la web semántica. Tiene como principal característica la capacidad de guardar las preferencias de los usuarios y de combinarlas con los contenidos que existen, para atender de forma más precisa las solicitudes o necesidades del consumidor. De esta manera, ya no es sólo bidireccional la atención, sino que se incluye desde una perspectiva mecánica de acuerdo con la información personal de cada interesado [5]. Se puede representar por medio del uso de palabras clave, entonces va medido de acuerdo con el lenguaje usado en la internet. En cuanto a la educación, con los avances tecnológicos que se presentan día a día se permite que esta sea autodirigida, que exista un control sobre los contenidos a usar e investigar para alcanzar el aprendizaje. Adicionalmente, la educación se convierte en una herramienta de transformación social, se maximizan las ventajas de la etapa digital para reducir inconvenientes y se identifican dimensiones para educar, tales como la psicopedagógica, para el desarrollo de conocimientos; la didáctica, para mejorar procesos de enseñanza aprendizaje; y la sociopedagógica, para transformar la sociedad. [6]. Todos estos elementos propios de la tecnología permiten que haya una relación integral entre educación y TIC. El aprendizaje se va volviendo fundamental y el papel del docente no se deja de lado, ya que él es quien debe estar presente para potencializar la utilización de las herramientas tecnológicas.

La Web 4.0 corresponde al desarrollo tecnológico actual y representa un comportamiento más predictivo e inteligente, ya que al hacer alguna petición los elementos tecnológicos realizan una serie de acciones para dar respuesta o solución a lo requerido. Por ejemplo, se puede pedir un taxi por medio de comandos de voz a través de un dispositivo, uso de información del contexto como GPS, ritmo cardiaco del smartwatch, etc. [7]. Estos elementos representan una inteligencia artificial más avanzada que permite entrelazar diferentes dispositivos entre sí, de tal forma que al unirlos se obtenga más información automática sobre necesidades actuales del usuario. Por su parte, la educación 4.0 está relacionada con el aprendizaje por medio del desarrollo de competencias para enfrentar desafíos sin cambiar el objetivo propuesto; lo que cambia es el camino para llegar a él, así como el enfoque desde la parte objetiva y subjetiva [8]. La educación 4.0 supone la colaboración para la enseñanza entre docentes, estudiantes, escuela y familia, una correcta comunicación, el aprendizaje por competencias para la solución de problemas, el aprendizaje activo, el uso de gamificación y la puesta en marcha de proyectos mediados por las TIC [9]. El rol del docente es importante en este aprendizaje, ya que es el encargado de mediar, guiar y orientar al estudiante. Las Tecnologías de la Información y la Comunicación juegan un papel muy importante en la educación actual, debido a que se encuentran presentes en todos los ámbitos sociales y permiten que las personas reduzcan distancias y encuentren información al alcance de la mano. En la actualidad, el docente no es la única fuente de conocimientos con la que cuenta el estudiante, ya que este tiene acceso a información ilimitada. Por este motivo, la presencia de los dispositivos móviles en las aulas de clase es cada vez más común, y esto no debería ser visto como una limitante por parte del docente. Al contrario, las herramientas tecnológicas online y offline deberían ser aprovechadas para desarrollar contenidos de manera más dinámica. Además, el docente debería orientar siempre el buen uso del internet, debido a que los estudiantes pertenecientes a generaciones más jóvenes, al tener acceso a tanta información, pueden desconocer las bases de datos correctas que es necesario consultar para llevar a cabo una investigación debidamente fundamentada. En la actualidad, ya se está hablando de la Web 5.0, la cual es una web sensorial y emotiva “que permite

medir emociones de personas a través de dispositivos que traduce información a la maquina procesándolas en tiempo real para cambiar información previa (p. ej. Expresión facial de un avatar)” [10, p. 13]. Esta tecnología también se verá reflejada en la publicidad, la interacción entre personas, la inteligencia artificial, entre otras. En cuanto a la educación 5.0, esta incluye las competencias emocionales, que se refieren al autoconocimiento, la autoestima, el autocontrol, la motivación, la comunicación verbal y no verbal, la empatía y el liderazgo [11]. En relación con esto, es importante aprender a usar las TIC como herramientas para el aprendizaje y para la promoción de competencias emocionales a nivel interpersonal e intrapersonal. Adicionalmente, por medio de la web los docentes deberían ser capaces de desarrollar habilidades como el autoconocimiento, el autocontrol, el celo, la persistencia, la motivación y el trabajo en equipo [12]. Así, resulta evidente que para lograr la educación 5.0 el aprendizaje basado en competencias debe incluir y hacer énfasis en las emocionales, teniendo en cuenta que ocasionalmente se dejan de lado en la educación, y se da prioridad al conocimiento o las habilidades del estudiante. Los avances tecnológicos que se han observado a lo largo de los años también se pueden comparar con las revoluciones industriales que ha vivido la humanidad, desde la primera revolución industrial, que tuvo énfasis en la producción mecánica, principalmente la máquina de vapor, lo que representó una transformación a nivel social, económico, comercial y mecánico [13]. Por su parte, la segunda revolución industrial representó los avances de las fuentes de energía, la maquinaria automatizada, los inventos, el transporte, etc. La tercera revolución industrial está relacionada con la revolución digital, y desencadenó el desarrollo del Internet y la era de la información [14]. Finalmente, la cuarta revolución industrial representa la denominada industria 4.0, que se define como un modelo de producción automatizado que incluye la interacción entre sistemas de autoorganización y autogestión dentro de las tecnologías digitales y de Internet [15]. De acuerdo con lo anterior, todas las revoluciones tecnológicas han permitido un desarrollo social que ha hecho más fácil y completa la ejecución de diferentes labores. Incorporar la industria 4.0 en la educación, también supone adelantos en el uso de las TIC para mejorar el desarrollo del aprendizaje, al permitir unos vínculos

más robustos entre la enseñanza y el aprendizaje y entre el docente y el estudiante. De esta manera, se puede ampliar mucho más el uso de la tecnología en las prácticas educativas de las instituciones. El futuro de la enseñanza y el aprendizaje es combinar el aprendizaje 5.0 y la industria 4.0 para generar Experiencias Educativas Inmersivas e Interactivas (2E2I) y, de esta manera, involucrar a los nativos digitales, que son los estudiantes de las actuales generaciones (centennials y millenials), por medio de la gamificación y de las simulaciones de aprendizaje, además de potenciar el uso de las TIC por parte de los docentes [16].

3. Indicaciones útiles



Fig. 1. Esquema relación Web y Educación

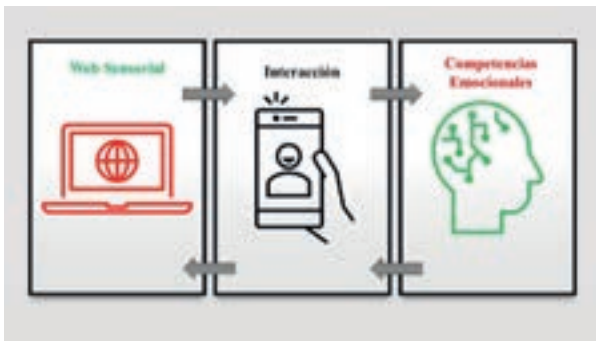


Fig. 2. Vínculo entre Web 5.0 y Educación 5.0

4. Metodología

Para el desarrollo de la investigación se llevó a cabo una búsqueda de información sobre la Web desde la 1.0 a la 5.0, se indagó sobre educación 1.0 a la 5.0 y se incorporó la industria 1.0 a la 4.0. Esto se realizó por medio de la investigación documental, ya que se buscaron fuentes y se intentó entender y dar sentido a lo referido por los autores, sin pretender construir explicaciones sino permitiendo que la realidad misma se exprese [17]. Posteriormente, se realizó el enlace

entre los conceptos enunciados anteriormente para relacionarlos.

El enfoque de la investigación es de carácter cualitativo, teniendo en cuenta que el objetivo del estudio no se enfoca en la cantidad de información sino en la profundidad y calidad de esta [18]. El paradigma de investigación usado es el interpretativo, debido a que se requiere comprender los significados del contexto objeto de estudio [19].

5. Resultados y discusión

Las revoluciones tecnológicas y sus avances han impactado de manera positiva en la sociedad, a nivel de economía, industrialización, comercio, marketing y, por supuesto, a nivel educativo, entre muchos otros aspectos. Estos avances han permitido que haya una cercanía entre los actores principales de la educación, entre los que se encuentran los estudiantes, los docentes, el entorno educativo, los directivos, entre otros. Las TIC han incentivado esta cercanía al estar presentes en todos los contextos. Además, las generaciones actuales son nativos digitales, y por tal motivo desde el contexto educativo es pertinente que se aborden diversos medios tecnológicos para alcanzar el aprendizaje. Para esto, es relevante que todos los docentes y demás actores estén enrutados en el mismo lenguaje de aprendizaje por medio de las TIC.

6. Conclusiones

La evolución de múltiples factores que se encuentran dentro del entorno común de la humanidad es cada vez más cotidiana. En este caso, se hace más énfasis en la evolución de la tecnología, la cual permite desarrollar múltiples capacidades y ampliar posibilidades en todo tipo de contextos. Dentro de estos destaca la educación, que es un medio fundamental para desarrollar las TIC dentro y fuera de las aulas de clase, para de esta manera potenciar el aprendizaje, teniendo en cuenta que en la actualidad existe una mayor proporción de nativos digitales (como los denominados centennials) entre los usuarios de la educación. Es importante propender por la inclusión de estas prácticas y no incurrir en prohibiciones sobre el uso de dispositivos dentro del aula de clase. Para lograr esto, es necesario que todos los docentes cuenten con capacitaciones constantes sobre el aprovechamiento de la tecnología, con el fin de modernizar las prácticas al interior de las instituciones educativas.

Referencias

- [1] J. Abbate, "Internet: su evolución y sus desafíos," en *Fronteras del Conocimiento*, Madrid, España: BBVA, 2008, pp. 143-153.
- [2] M. Gonzalez Navarrete, "Creatividad y educación," *Correo del Maestro*, pp. 9-11, 1998.
- [3] F. X. Ribes, "El valor de los metadatos y de la inteligencia colectiva," *TELOS (Revista de Pensamiento, Sociedad y Tecnología)*, pp. 1-11, 2007.
- [4] F. Esteve, "Bolonia y las TIC: de la docencia 1.0 al aprendizaje 2.0," *La Cuestión Universitaria*, pp. 59-68, 2009.
- [5] I. Küster y A. Hernández, "De la Web 2.0 a la Web 3.0: antecedentes y consecuencias de la actitud e intención de uso de las redes sociales en la web semántica," *Universia Business Review*, pp. 104-119, 2013.
- [6] J. Gómez Galán, "Educación 3.0 en Iberoamérica: principales objetos de análisis científico y beneficios sociopedagógicos," *Revista Internacional de Investigación e Innovación Educativa*, pp. 124-145, 2016.
- [7] M. Latorre, "Historia de las web 1.0, 2.0, 3.0 y 4.0," marzo, 2018. [En línea]. Disponible: http://umch.edu.pe/arch/hnomarino/74_Historia%20de%20la%20Web.pdf.
- [8] B. Echeverría y P. Martínez, "Revolución 4.0, competencias, educación y orientación," *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, pp. 4-34, 2018.
- [9] Fundación MAPFRE, "El desafío de las tecnologías educación 4.0," s.f.. [En línea]. Disponible: https://www.fundacionmapfre.org/fundacion/es_es/images/desafio-tecnologias-educacion-libro-profesor_tcm1069-421445.pdf.
- [10] A. Aquino Cajé, "Evolución de la Web," 11 octubre, 2016. [En línea]. Disponible: <http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2016/11/Evolucion-de-la-web.pdf>.
- [11] C. Hué García, "Una experiencia de formación en competencias emocionales del profesorado universitario," *Revista d'Innovació Docent Universitària*, pp. 42-61, 2013.
- [12] D. Benito, M. Peris, C. Rueda y A. Colino, "Web 5.0: the future of emotional competences in higher education," *Glob Bus Perspect*, pp. 274-287, 2013.
- H. Van der Laat, "Revolución Industrial: Una revolución técnica," s.f.. [En línea]. Disponible: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6135743.pdf>.
- [1] <https://www.researchgate.net/publication/278671121>.
- [2] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, "Aspectos básicos de la industria 4.0," 2019. [En línea]. Disponible: https://colombiatic.mintic.gov.co/679/articles-124767_recurso_1.pdf.
- [3] N. Mustafa, A. Mohd, A. Arifuddin, M. Khairul y M. Mohd, "Immersive interactive educational experiences—Adopting education 5.0, industry 4.0 learning technologies for Malaysian universities," *Proceedings: International Invention, Innovative & Creative*, pp. 190-196, 2019.
- [4] L. Gómez, "Un espacio para la investigación documental," *Revista Vanguardia Psicológica*, vol. 1, n° 2, pp. 226-233, 2011.
- [1] B. Roberts, "The Third Industrial Revolution: Implications for planning cities and regions," junio, 2015. [En línea]. Disponible: R. Hernández, C. Fernández y P. Baptista, *Metodología de la Investigación*, Bogotá D.C., Colombia: Mcgraw-Hill, 1997.
- [1] J. Sáez, "El enfoque interpretativo en ciencias de la Educación," *Anales de Pedagogía*, vol. 7, pp. 7-32, 1989.



CALENDARIO 2022

REVISTA TECNO ESUFA



ENERO

L	M	M	J	V	S	D
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

FEBRERO

L	M	M	J	V	S	D
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28						

MARZO

L	M	M	J	V	S	D
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

ABRIL

L	M	M	J	V	S	D
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	

MAYO

L	M	M	J	V	S	D
					1	
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

JUNIO

L	M	M	J	V	S	D
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

JULIO

L	M	M	J	V	S	D
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

AGOSTO

L	M	M	J	V	S	D
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

SEPTIEMBRE

L	M	M	J	V	S	D
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	

OCTUBRE

L	M	M	J	V	S	D
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

NOVIEMBRE

L	M	M	J	V	S	D
1	2	3	4	5	6	
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30				

DICIEMBRE

L	M	M	J	V	S	D
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	



“No hay nada imposible para aquel que lo intenta”

Alejandro Magno.

ESCUELA DE SUBOFICIALES "CT. ANDRÉS M. DÍAZ"

CRA. 5 # 2 - 92 SUR / MADRID - CUNDINAMARCA

TELÉFONO : 8209079 / 8209078

FUERZA AÉREA COLOMBIANA



ASÍ SE VA A LAS ESTRELLAS

@fuerzaaereacol

@FuerzaAereaCol

@FuerzaAereaCol

@FuerzaAereaCol

WWW.FAC.MIL.CO