



MEDICIÓN POR FENOMENOS CAPACITIVOS DEL NIVEL DE COMBUSTIBLE EN AEREONAVES

Measurement of fuel level in aircrafts through capacitive phenomena

ING. NELSON JAVIER RODRÍGUEZ

Docente Investigador Grupo Tesla
Escuela Suboficiales Fuerza Aérea
Colombiana ESUFA

Investigador grupo GIDAM Universidad
Militar Nueva Granada UMNG

E-mail: nelsonhenge@hotmail.com

Fecha de recepción: 20 de junio de 2013

*Fecha de aprobación: 29 de noviembre
de 2013*

ABSTRACT

In an aircraft, is essential the measurement and fuel level indication that there are in its tank. This article demonstrates how level measurement can be done through capacitive phenomena.

Clue words

Fuel Combustion level, capacitating, dielectric constancy, capacitive probes, and linear regression.

RESUMEN

En una aeronave es fundamental la medición e indicación del nivel de combustible que hay en los tanques de la misma, en este artículo se muestra cómo se puede realizar la medición del nivel de combustible por medio de fenómenos capacitivos.

Palabras claves

Nivel de combustible, capacitancia, constante dieléctrica, probetas capacitivas, regresión lineal.

SISTEMAS DE MEDICIÓN DE NIVEL DE LÍQUIDOS

Para medir el nivel de un líquido como el combustible en un tanque se pueden utilizar varios métodos entre los cuales tenemos:

- Flotador.
- Presión diferencial.
- Ultrasonido.
- Capacitancia.

Sistema de flotador: Se tiene un flotador el cual está en contacto con el combustible, al cambiar el nivel de líquido la posición del flotador cambia, pudiendo así obtener una relación entre la posición del flotador y el nivel de líquido. Este método es útil para sistemas donde el líquido está en reposo. En una aeronave esto no es posible porque la aeronave en pleno vuelo cambia su posición, por lo tanto no se puede utilizar este sistema para medir el nivel de combustible en una aeronave.

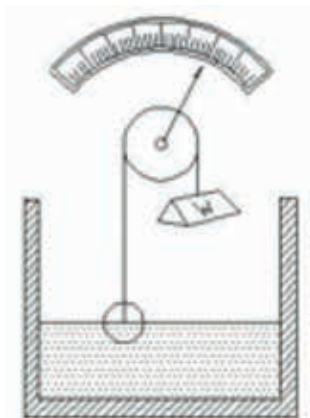


Figura 1. Medición de nivel de combustible con flotador. [1]

Presión Diferencial: se utiliza la diferencia de presión entre el aire u otro líquido y la presión de la columna de líquido o combustible que se está midiendo. Este método de medición tampoco se puede utilizar en una aeronave, debido a que solo funciona para líquidos estáticos.

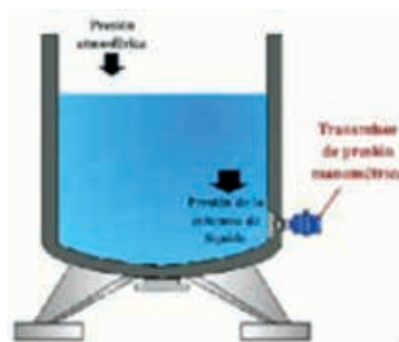


Figura 2. Medición de nivel con la presión diferencial. [2]

Medición de nivel de líquido con ultrasonido: este sistema funciona emitiendo señales de ultrasonido ($f > 20\text{kHz}$) las cuales rebotan en el líquido, las ondas rebotan y se demoran cierto tiempo en llegar al emisor, conociendo la velocidad de las ondas de ultrasonido (340m/s aprox) se puede establecer el nivel del líquido.

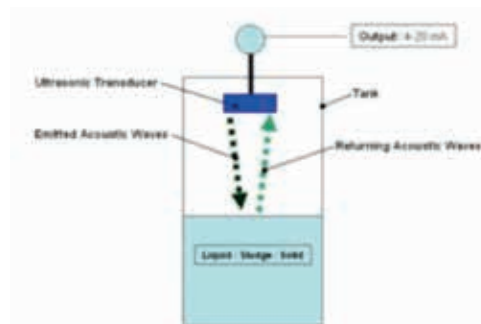


Figura 3. Medición de nivel de líquido con sensor de ultrasonido. [3]

MEDICIÓN DE NIVEL MEDIANTE LA CAPACITANCIA DEL LÍQUIDO

Todos los materiales incluidos los líquidos tienen una constante dieléctrica ϵ_r , por lo tanto si sumergimos dos electrodos en el mismo estarían separados por el líquido actuando como un dieléctrico, cuando una diferencia de potencial eléctrico o voltaje se aplica a dos electrodos separados por un dieléctrico este tiene la propiedad de almacenar carga eléctrica lo que se conoce como capacitancia.

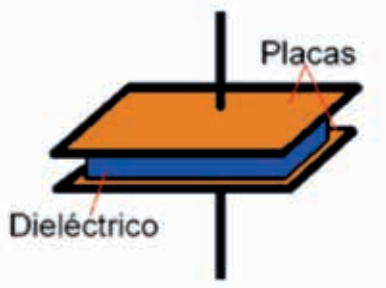


Figura 4. Un condensador se crea cuando se separan dos electrodos con un material dieléctrico. El combustible actúa como dieléctrico si se sumergen dos electrodos se creará un condensador o capacitor

La capacitancia es la capacidad de un material dieléctrico de mantener la carga eléctrica.

La capacitancia se puede establecer como:

$$C = \frac{Q}{V}$$

Donde C es la capacitancia en Faradios, Q es la carga eléctrica en Coulombs ($1C = 6.24 \times 10^{18}$ electrones) y V es el voltaje o diferencia de potencial entre los dos electrodos.

En términos de las dimensiones de los electrodos y su separación, la capacitancia de dicho condensador se puede obtener como:

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

Dónde:

C es la capacitancia en Faradios [F].

ϵ constante dieléctrica del dieléctrico [F/m].

d distancia de separación de las placas conductoras [m].

A área transversal de las placas o electrodos [m²].

Si mantenemos la dimensión de los electrodos (A fija) y la distancia de separación también (d fija), la capacitancia solamente cambiará por una modificación en las propiedades del dieléctrico.

Air	1.000
Water	81.07
Water vapour	1.007
Aviation gasoline	1.95
Aviation kerosene	2.10

Tabla 1. Constante dieléctrica de algunos líquidos

Si el dieléctrico es el combustible en el tanque del avión a medida que este se vaya consumiendo cambiará su constante dieléctrica, lo cual alterará la capacitancia del condensador que crea, de esta manera se mide el nivel de combustible en la mayoría de las aeronaves.

El tanque junto con el combustible se puede expresar como un condensador variable:



Figura 6. Condensador variable representa la variación de capacitancia cuando cambia el nivel de combustible. [4]

Este sistema de medición función independientemente de la forma del tanque que almacena el combustible.

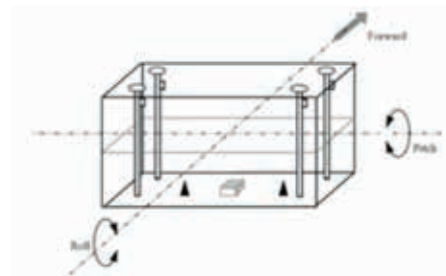


Figura 5. Tanque de geometría uniforme. [4]

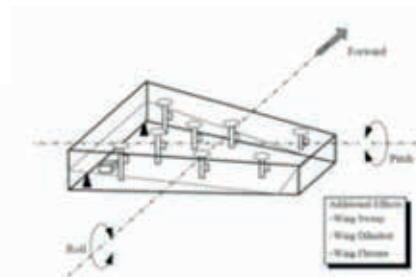


Figura 6. Geometría de tanque ubicado en el ala de la aeronave.

Aunque la medición de nivel por capacitancia no depende de la geometría del tanque sino de otros factores como la temperatura, por ejemplo en un tanque con una capacidad de 8.000 galones la carga de combustible pesa alrededor de 26 toneladas en un día cálido a 28 toneladas en un día frío. Por lo tanto en este tipo de sistemas de medida se debe también medir la temperatura del combustible para realizar una correcta medición del nivel (FOB) *fuel on board* o combustible a bordo.

En un avión de combate se suele recurrir a varios compartimientos para almacenar el combustible:



Figura 7. Múltiples compartimientos para almacenar el combustible en una aeronave de combate.

FACTORES QUE AFECTAN LA MEDICIÓN DEL NIVEL DE COMBUSTIBLE

Geometría del tanque: el número de probetas en el tanque debe ser establecido por medio de técnicas computarizadas.

Variaciones en la permitividad eléctrica del combustible: la temperatura afecta la permitividad del combustible y por lo tanto la medida de su nivel. Se deben establecer técnicas de compensación de medida de temperatura para una correcta medición.

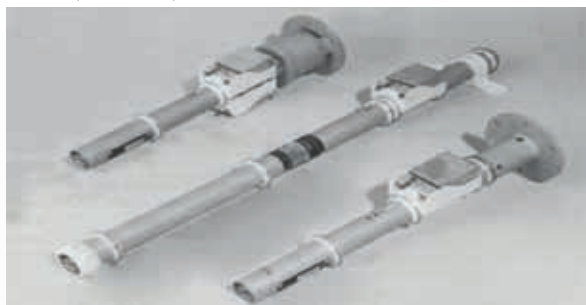


Figura 8. Ejemplos de probetas capacitivas (GE aviation)

Existen dos tipos de voltaje de alimentación a las probetas capacitivas por voltaje AC y DC:

- Voltaje AC: las probetas se alimentan con un voltaje AC para conocer la capacitancia y el nivel de combustible. Este sistema tiene la desventaja de ser susceptible a interferencia electromagnética EMI, por lo tanto no es muy utilizado.
- Voltaje DC: en este tipo de sistemas las probetas se alimentan con un voltaje DC, resultando en un voltaje proporcional a la cantidad de combustible. Este sistema es el más utilizado.

En ambos sistemas siempre se utilizan sistemas de compensación de temperatura, para una correcta medición.

Por ejemplo en el avión A320 se implementa el de medición por probetas capacitivas con voltaje DC.

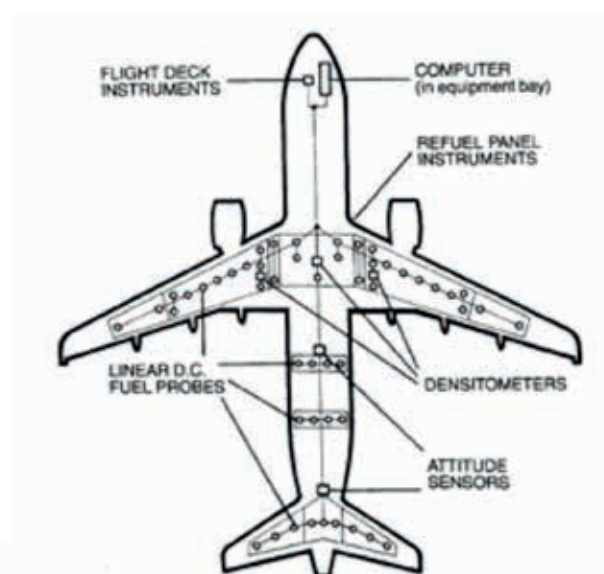


Figura 9. Ubicación de las probetas de combustible en el avión A320. (GE aviation)

Para eliminar errores en la medida se suele utilizar un condensador de compensación:

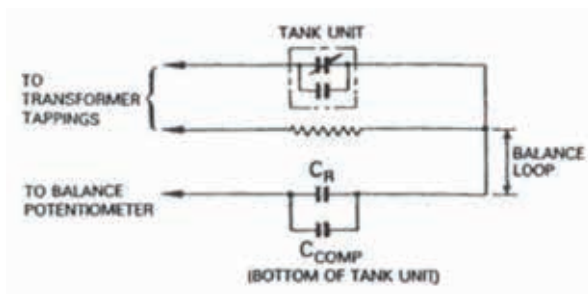


Figura 10. Condensador de compensación.

La señal capacitiva de las probetas es procesada por un sistema electrónico el cual entrega la información al bus de datos de la aeronave por ejemplo el ARINC 429.

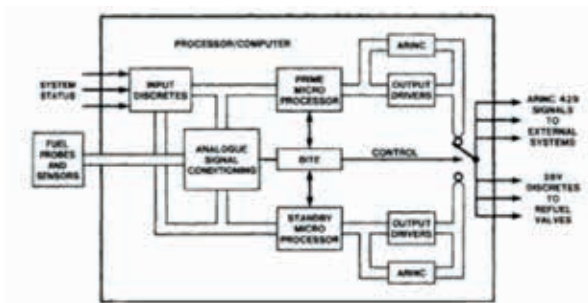


Figura 11. Arquitectura del bus de datos del A320. (GE aviation)

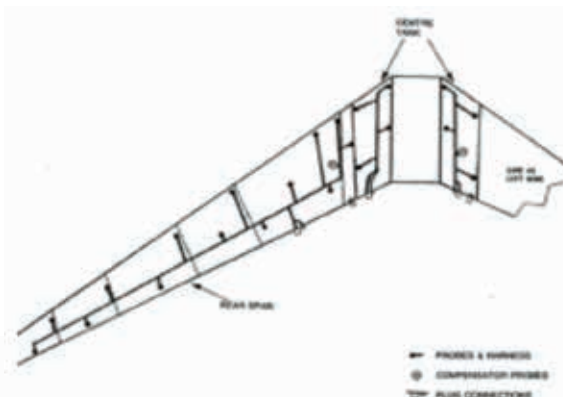


Figura 12. Ubicación de las probetas en las alas de la aeronave utilizadas como tanques de combustible. (GE aviation)

El avión en vuelo constantemente cambia de posición dinámica en su posición angular (pitch, roll), la

medición de combustible no debe variar ante cambios en estas posiciones angulares, por lo que la ubicación de las probetas es importante para evitar errores en la medición, esto se denomina compensación de actitud.

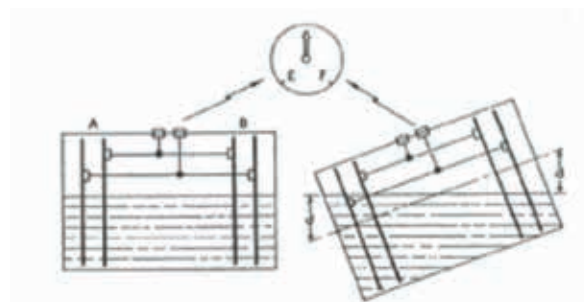


Figura 13. Compensación de actitud.

CARACTERIZACIÓN DE LAS PROBETAS

En el año 2012 el grupo de trabajo del AT. López David Elías llevó a cabo un procedimiento de caracterización de la variación de la capacitancia ante cambios en el nivel de combustible en el avión T-90 Calima. En este procedimiento tomaron las medidas de capacitancia utilizando un capacímetro digital.

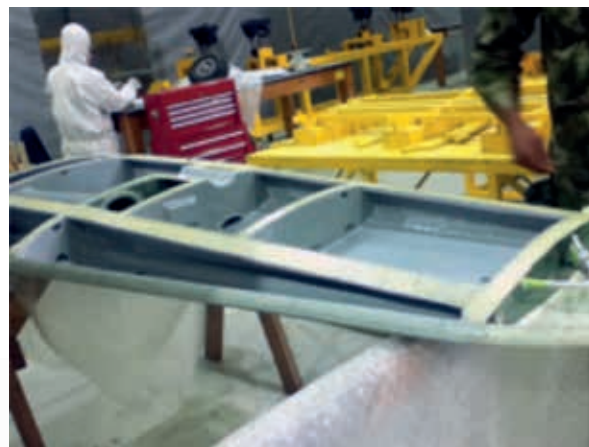


Figura 14. Tanques de combustible del avión Calima T-90.



Figura 15. Capacímetro digital



Figura 16. Conexión del capacímetro a las conexiones de medida de las probetas capacitivas de la aeronave.

Se tomaron medidas iniciando con el tanque vacío, realizando medidas de capacitancia agregando un galón de combustible a la vez, se obtuvieron los siguientes datos:

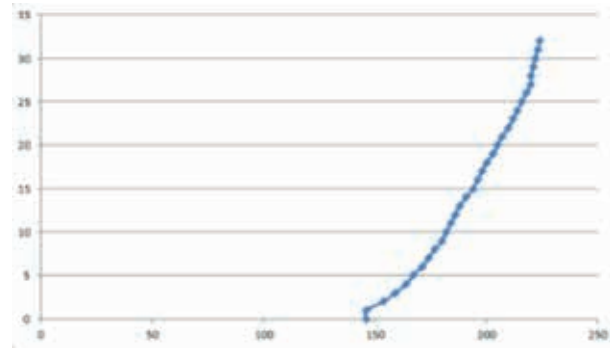


Grafico capacitancia en pF vs Galones de combustible tanque avión T-90

Utilizando métodos de regresión de datos podemos obtener una función la cual representa la relación entre la capacitancia medida y el nivel de combustible en galones del tanque. Así obtenemos la siguiente ecuación:

$$\#Galones = 0.0059C^2 + 0.679 \cdot C + 38.246$$

Gracias a esta ecuación para cada nivel de capacitancia obtenemos el nivel de combustible en galones del tanque, por ejemplo si se mide 200pF, el nivel de combustible sería de 18.4 galones aproximadamente.

Esta ecuación se puede programar en un sistema electrónico digital embebido para establecer el nivel de combustible de la aeronave.

VISUALIZACIÓN DEL NIVEL DE COMBUSTIBLE

La visualización en la cabina de la aeronave se puede realizar por medio de display 7 segmentos

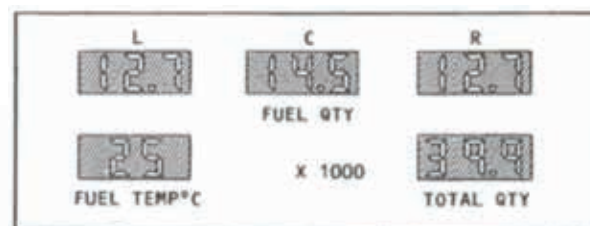


Figura 17. Visualización del nivel de combustible por medio de display 7 segmentos. Nótese que también se muestra la temperatura del combustible. [4]

También se muestra el nivel de combustible en totalizadores:

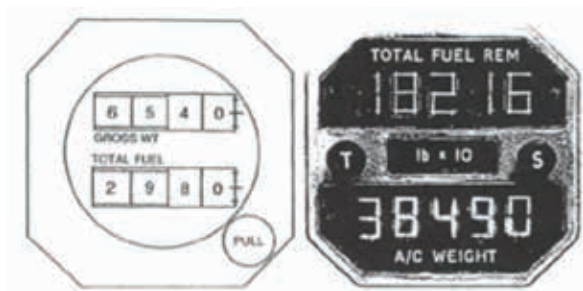


Figura 18. Totalizadores de combustible.

O en el sistema EICAS:

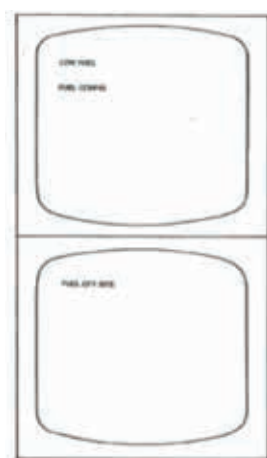


Figura 18. Visualización del nivel de combustible en el sistema EICAS.

TRABAJOS FUTUROS

Se realizó este artículo con el propósito que los estudiantes de la escuela de suboficiales FAC ESUFA comprendan en como los fenómenos eléctricos (variación capacitancia eléctrica) se utilizan en aeronaves reales para la medición de variables (nivel y cantidad de

combustible). Como trabajos futuros se pueden plantear sistemas de verificación de medición de sistemas de combustibles, maletas capacitivas, creación de probetas capacitivas "inteligentes", digitalización e integración de probetas y sistemas análogos a buses de datos digitales como el ARINC 429, etc.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] «<http://proton.ucting.udg.mx/dpto/maestros/mateos/clase/teoria/nivel/nivel2.htm>,» [En línea]. Available: <http://proton.ucting.udg.mx/dpto/maestros/mateos/clase/teoria/nivel/nivel2.htm>
- [2] «<http://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/capacitance-level-transmitter-90836.html>,» [En línea]. Available: <http://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/capacitance-level-transmitter-90836.html>.
- [3] «http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_ultras%C3%B3nico,» [En línea]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_ultras%C3%B3nico.
- [4] P. C. Rodriguez, INTRODUCCION A LAS MEDICIONES ELECTRICAS.
- [5] «<http://mediciondenivelesantech.blogspot.com/2008/12/medidor-de-nivel-de-tipo-desplazamiento.html>,» [En línea]. Available: <http://mediciondenivelesantech.blogspot.com/2008/12/medidor-de-nivel-de-tipo-desplazamiento.html>.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la profesora Alicia Martínez a la profesora Patricia Cadena por su apoyo para la elaboración de artículos para la revista Tecnoesufa y al TS. Omar Morales, Capitán Sierra y demás jefes de las tecnologías por su apoyo a las actividades de investigación.