

# Calidad de Combustibles

JOAQUIN PLAZA,  
*Doctor en Ciencias Químicas*  
 CAMPSA

## INTRODUCCION

**E**L desarrollo de los turbocombustibles utilizados en aviación ha sido paralelo y, en ocasiones, adelantado a la misma.

En sus comienzos, la aviación utilizó los motores disponibles, motores alternativos con potencias limitadas, por su estado incipiente de desarrollo.

Estos motores tenían potencias entre 100 y 150 HP, con bajas relaciones de compresión y, en consecuencia los combustibles utilizados no necesitaban excesivos requisitos, toda vez que las potencias de los motores, para las velocidades y alturas de la época, no imponían limitaciones serias.

De hecho, las primeras especificaciones para las gasolinas de aviación, se reducían a fijar fundamentalmente aspectos relativos a: volatilidad (para facilitar los arranques en frío y evitar la formación de tapones de vapor), índice de octano y curva de destilación en su parte superior (para evitar posibles problemas debidos a la dilución del aceite de engrase del motor).

Posteriormente, y al alcanzarse el total desarrollo de los motores de émbolo durante la Segunda Guerra Mundial, completó prácticamente el desarrollo de las gasolinas utilizadas por estos motores, cuyas exigencias, en cuanto a rendimiento, alturas de vuelo y velocidad, hicieron preciso ir fijando las características de las gasolinas para resolver los problemas que presentaban, como disminuir el contenido de plomo, por necesidad de los motores y la exigencia de reducir los períodos de revisiones y mantenimiento.

El advenimiento del motor de turbina influyó en el desarrollo del motor de émbolo que como ya se ha indicado alcanzó durante los años 1939 y 1945 prácticamente sus máximos "performances".

Las causas que motivaron la utilización masiva del motor de turbina fueron varias, entre las que destacan las siguientes:

1. Mayor rendimiento a igualdad de combustible utilizado.
2. El motor de turbina es más sencillo que el alternativo.
3. Permite mayores velocidades, alturas de vuelo y radio de acción.
4. El combustible utilizado es más estable que las gasolinas.
5. Puede utilizar distintos tipos de combustible, lo que desde un punto de vista logístico es muy importante.
6. La potencia conseguida es enorme; en la actualidad de hasta 50.000 libras de empuje.

Los carburantes empleados en los primeros motores de turbina estaban exentos de requisitos especiales, de tal forma que el primero utilizado fue el petróleo del alumbrado.

Las características exigidas a los combustibles han ido evolucionando, introduciéndose nuevos test, en base a conseguir varios objetivos:

- Mayor economía en el consumo de combustible.
- Menor frecuencia en las revisiones de los motores.
- Mayor fiabilidad en su funcionamiento.
- Mayor rendimiento de los motores.

Las anteriores circunstancias generales para la aviación en general, aunque aplicables a la aviación militar no representan de forma exacta al ámbito en que ambas se desenvuelven. En efecto, muchas aeronaves militares están dotadas de un único motor, con lo que en caso de producirse un fallo en el mismo, el riesgo de pérdida de la aeronave e incluso de vidas humanas aumenta de forma notable.

Se ha de tener en cuenta que si bien la fiabilidad obtenida en los motores que equipan las modernas aeronaves es muy elevada, no lo es menos que las condiciones en que deben efectuar la misión que se les encomienda así como los requerimientos y prestaciones que en determinados momentos se pueden exigir a los motores, son extraordinarios y en cualquier circunstancia muy superiores a los de la aviación civil.

En estas condiciones, se hace preciso disponer de los medios adecuados para mantener la pureza y calidad que los mismos precisan.

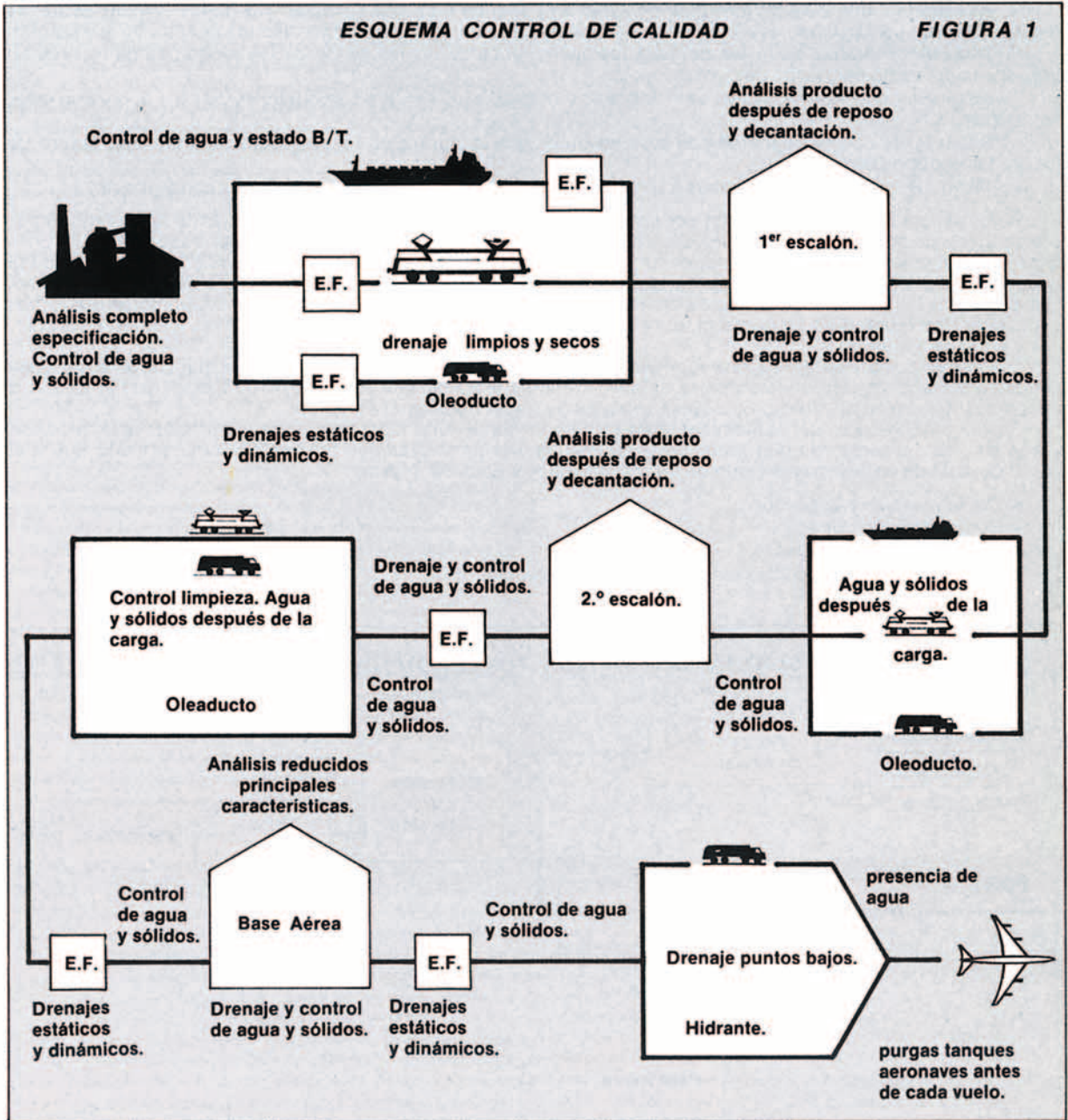
La elevada calidad requerida por los turbocombustibles de uso en aviación es debido no sólo a garantizar un correcto funcionamiento del motor dentro de una amplia flexibilidad, sino de los otros complicados sistemas auxiliares, sin los cuales sería difícil obtener los "PERFORMANCES" que estos motores y aeronaves son capaces de dar, entre los que pueden mencionarse entre otros: refrigeración de la célula y de los aceites de engrase y fluidos hidráulicos; fluido térmico de intercambio de calor, etc.

Por lo mencionado, un exigente y riguroso control de calidad se hace preciso para garantizar que los combustibles llegan a las aeronaves en óptimas condiciones para ser utilizados por los motores; ignorar estas circunstancias equivale a aumentar de forma no asumible las probabilidades de anomalías de funcionamiento de los motores.



## ESQUEMA CONTROL DE CALIDAD

FIGURA 1



El concepto de calidad abarca un marco muy amplio y aunque de forma intuitiva se sabe lo que ello implica o mejor todavía las consecuencias de la no calidad, en el caso de los turbocombustibles de aviación la misma puede enfocarse básicamente desde tres puntos de vista:

1. La del propio combustible. En este sentido la calidad viene garantizada por el cumplimiento de todas y cada una de las características tanto físicas como químicas que definen un determinado producto, de acuerdo con las especificaciones establecidas para el mismo. Figura 1.

2. De las impurezas que el mismo pueda llevar. La pureza queda asegurada por los límites fijados (no siempre por las especificaciones) para el contenido de contaminantes: agua, sólidos, etc., dentro de los cuales deben estar situados en todo momento los productos que se suministran a las aeronaves.

3. Del diseño de las instalaciones y de los equipos utilizados para la manipulación, almacenamiento, distribución de los combustibles desde que son producidos en las refinerías, hasta que son puestos a bordo de las aeronaves. Un inadecuado diseño de las instalaciones o de los equipos dificulta de forma decisiva la protección de la calidad, hasta tal punto que puede hacer inefectivo el Control de Calidad implantado por imposibilidad de poderlo llevar a cabo. Figura 2.

Un adecuado Control de Calidad debe vigilar en sus diferentes etapas que se cumplan todas y cada una de las prescripciones en cuanto a calidad y pureza requiere. De forma general, para lograrlo será necesario:



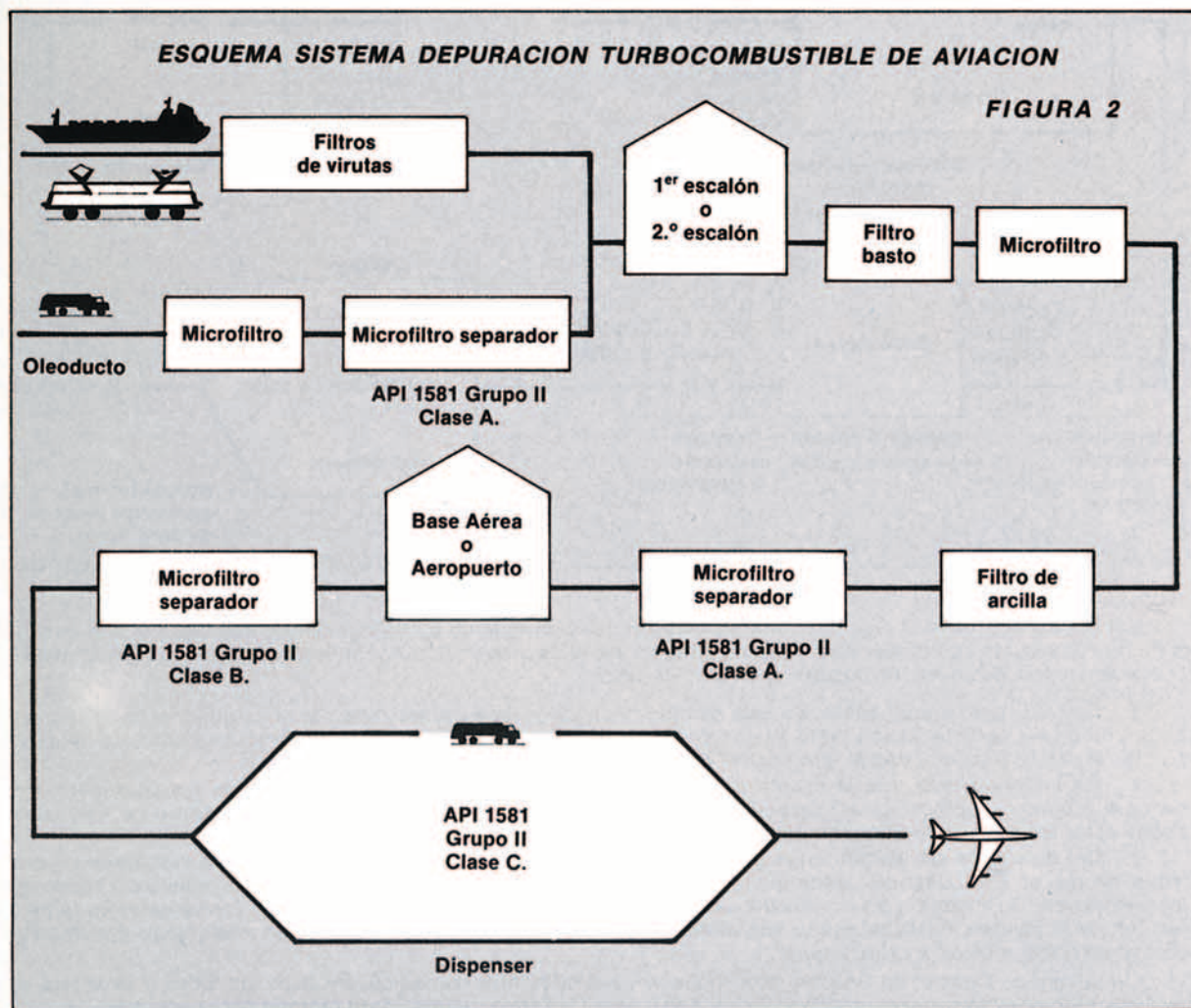
- Asegurarse, que los combustibles de aviación cumplan con todas y cada una de las exigencias de las respectivas especificaciones, desde refinería hasta avión, mediante los correspondientes análisis de laboratorio.
- Disponer y realizar de forma correcta las operaciones de manipulación de los productos de manera tal que se elimine cualquier riesgo de contaminación.
- Asimismo, que los materiales sean idóneos y compatibles con los combustibles con los que van a estar en contacto.
- Realizar los controles periódicos para asegurar que la pureza de los productos se mantiene dentro de los límites especificados.
- Mantener los equipos destinados a proteger la calidad de los productos en óptimas condiciones.

Bajo este punto de vista, y dando por sentado que todo combustible de aviación, cuando es entregado por una refinería cumple todas y cada una de las especificaciones que establece la norma correspondiente, la principal preocupación va a ser el mantener su pureza, es decir, evitar por todos los medios a nuestro alcance la contaminación de los combustibles de aviación. Se entiende por contaminación toda una serie de situaciones que provocan la captura de sustancias de composición y naturaleza diversa por parte del combustible, cuyas consecuencias repercuten de forma global en anómalos comportamientos en las aeronaves y en las instalaciones y equipos. Figura 3.

Las contaminaciones de los turbocombustibles, en su mayoría se deben al proceso que sufren los crudos desde su extracción, refinado y transporte de los productos terminados a los centros de almacenamiento. Estos contaminantes hacen que los combustibles se vayan degradando progresivamente.

Se van a considerar, las contaminaciones que de forma general afectan a todos los productos de aviación y que son los causantes de la gran mayoría de las posibles anomalías que pueden presentarse tanto desde el punto de vista de las aeronaves como de las instalaciones y equipos. A saber:

- Contaminación por sólidos.
- Contaminación por agua.
- Contaminación microbiana.
- Contaminación por agentes tensoactivos o surfactantes.





## CONTAMINACION POR SÓLIDOS

La contaminación por sólidos, históricamente, fue la primera en desarrollarse, toda vez que ésta era conocida por los motores alternativos de émbolo, aunque su verdadero estudio comenzó con la introducción del motor de turbina.

Varias fueron las razones para profundizar en el análisis de este tipo de contaminación, tales como los requerimientos en cuanto a presiones y caudales de combustible utilizados por estos motores de turbina, así como sus delicados sistemas de regulación y control tanto del motor como de su sistema de combustibles, lo cual hace que los mismos sean mucho más sensibles a la suciedad que sus homólogos alternativos; además existe otra diferencia fundamental que no radica en los motores sino en el producto utilizado como combustible. En efecto, las gasolinas de aviación son radicalmente distintas a los turbocombustibles y su diferencia es muy acusada en características que afectan directamente a la decantación, tales como viscosidad y densidad, de tal forma que, frente al mismo tipo de contaminantes sólidos el período de decantación, para los segundos, sufre un importante aumento al disminuir grandemente su velocidad de decantación. Figura 4.

La otra diferencia fundamental radica en la extraordinaria capacidad de penetración, que por fenómenos de capilaridad y fluencia, tienen los turbocombustibles de aviación, que hacen posible la incorporación de suciedad a los mismos en forma de costras y polvillo, etc., por desalojo de estos compuestos de los tanques de almacenamiento y de sus sistemas de transporte y distribución.

La principal causa de contaminación por sólidos procede de las superficies en contacto con los productos, cuando dichas superficies se encuentran sin proteger, entendiendo como tal que carecen de pintura resistente e inalterable a los productos que van a contener. Por lo tanto, la existencia de áreas metálicas desprotegidas, en contacto directo con los productos, no sólo en tanques de almacenamiento, sino en todas las redes de tuberías, oleoductos e hidrantes, incorporan constantemente productos de oxidación y los problemas que plantean la presencia de sólidos depende de una serie de factores entre los que destacan:

- Cantidad y tamaño.
- Estructura, composición y dureza.
- Forma de presentación.

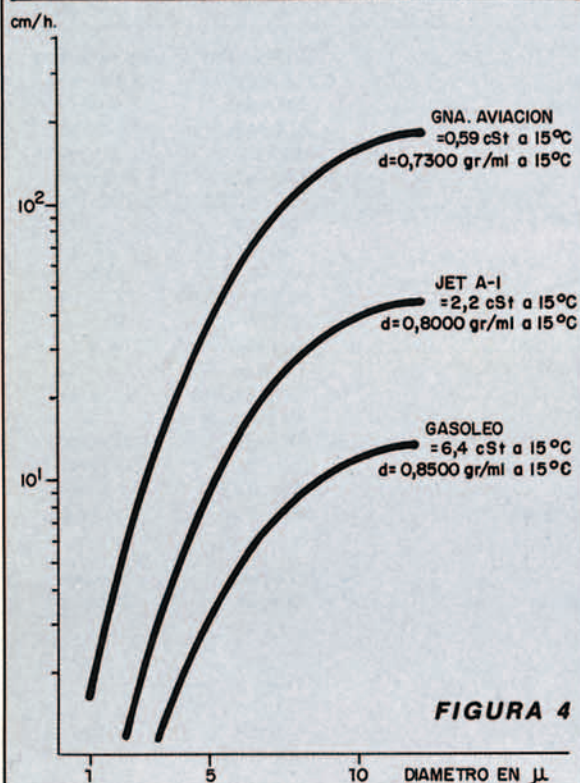
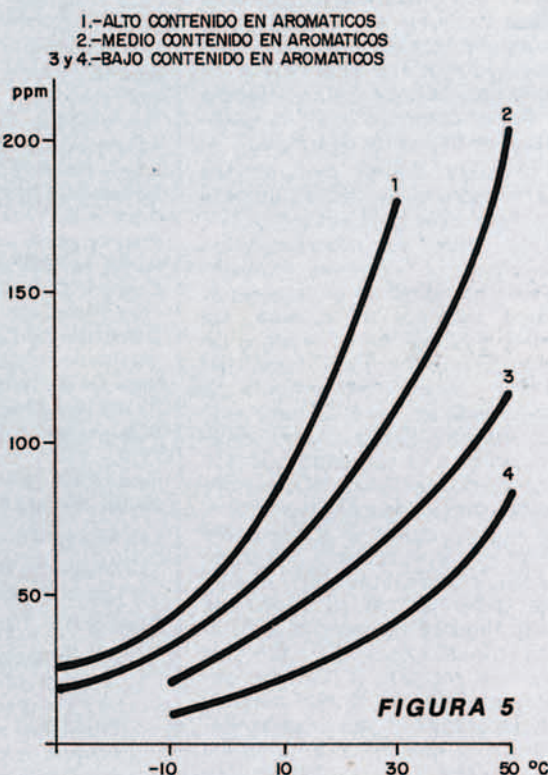
Pueden resumirse los mismos en generar corrosiones debidas al establecimiento de micropilas electroquímicas, que dan lugar a células galvánicas de corrosión entre los sólidos depositados y el metal base. Asimismo corrosiones salinas debidas a la presencia de depósitos de sal (C1Na). Dan lugar a fenómenos de erosión-abrasión; producen el cegamiento de los cartuchos coalescentes de los microfiltros separadores, impidiendo que efectúen la coalescencia del agua pudiendo pasar ésta a los depósitos de las aeronaves, así como de los filtros final de manguera, bastos, microfiltros, etc. Puede ser particularmente dramática la obstrucción de los filtros del motor de las aeronaves toda vez que puede producirse la parada del motor con lo que ello representa y alteraciones de los delicados mecanismos que componen el sistema de combustible y de regulación del mismo.

Las soluciones adoptadas para que la influencia de este tipo de contaminación sea mínima pasan por la instalación de filtros bastos y microfiltros, el establecimiento de adecuados períodos de sedimentación de los productos y de un preciso mantenimiento de los filtros de motor de las aeronaves.

FIGURA 3

CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS COMBUSTIBLES JP-4 Y JP-8		
	JP-4	JP-8
Color Saybolt .....	no se limita	no se limita
Acidez total, mg/KOH/gr. ....	0,015 máximo	0,015 máx.
Contenido en Olefinas, % V. ....	5,0 máx.	5,0 máx.
Contenido en Aromáticos, % V. ....	25,0 máx.	25,0 máx.
Azufre Mercaptano, % P. ....	0,001 máx.	0,001 máx.
Azufre Total, % P. ....	0,40 máx.	0,3 máx.
Densidad, a 15°C Kg/1 .....	0,751 - 0,802	0,775 - 0,840
Presión de Vapor Reid, a 37,8°C kPa .....	14 - 21	—
Punto de Cristalización, °C .....	—58 máx.	—50 máx.
Punto de Inflamación, °C .....	—	38 mín.
Calor de Combustión Neto, MJ/Kg. ....	42,8 mín.	42,8 mín.
Punto de Humo, mm. ....	20,0 mín.	19 mín.
Corrosión del Cobre, 2 h. a 100°C .....	1b máx.	1b máx.
Gomas actuales, mg/100 ml. ....	7,0 máx.	7,0 máx.
Materias Extrañas, mg/l. ....	1,0 máx.	1,0 máx.
Tiempo de Filtración, min. ....	10 máx.	—
Tolerancia al Agua .....	1b máx.	1b máx.
I.S.A. ....	70 - 85	70 - 85
Inhibidor Antihielo, % V. ....	0,10 - 0,15	0,10 - 0,15
Conductividad Eléctrica, pS/m .....	200 - 600	200 - 600
<b>Estabilidad Térmica:</b>		
Depósitos formados .....	3 máx.	3 máx.
Caída de presión, mm. ....	25 máx.	25 máx.
<b>Destilación, °C:</b>		
20% recuperado máx. ....	145	205
50% recuperado máx. ....	190	—
90% recuperado máx. ....	245	—
Punto final máx. ....	270	300
Pérdida, % V. ....	1,5	1,5
Residuo, % V. ....	1,5	1,5



**VELOCIDAD DE SEDIMENTACION PARA UNA PARTICULA ESFERICA DE  $Fe_2O_3 \cdot H_2O$  DE DENSIDAD  $4,28 \text{ gr/cm}^3$** 

**CURVA DE SOLUBILIDAD DEL AGUA EN TURBOCOMBUSTIBLE JET A-1 A DISTINTOS CONTENIDOS DE AROMATICOS**

**CONTAMINACION POR AGUA**

La contaminación por agua ha sido quizás junto con la debida a los sólidos, una de las primeras en ser tenidas en cuenta y en adoptarse medidas para su control.

Esta contaminación se produce por la incorporación de agua a los turbocombustibles, en cantidad tal, que no pueda ser disuelta por el producto afectado y aparece en forma de agua libre, decantada en el fondo de los tanques o formando emulsiones o suspensiones más o menos estables.

La presencia de agua puede ser debida a múltiples factores, entre ellos se pueden mencionar la inadecuada construcción de los fondos de los tanques de almacenamiento, tanques subterráneos y de techo flotante; en los buques tanques en las operaciones de limpieza y lastrado, en los camiones y vagones cisternas por un incorrecto diseño de sus fondos; en los oleoductos por la existencia de sifones.

No debe olvidarse que, independientemente de que el agua pueda penetrar desde fuera, todo turbocombustible tiene una cierta cantidad de agua disuelta, dependiendo de la temperatura a que se encuentra, y en un momento determinado puede desprenderse del combustible.

Una fuerte caída de temperatura, durante el almacenamiento o transporte, puede crear una niebla de agua, la cual decantará lentamente, siempre que no existan factores que lo impidan (agentes tensoactivos).

La condensación de agua es otra forma de incorporarla, que puede ser especialmente importante en almacenamientos próximos a la costa, o en cualquier otro lugar en que pueda haber elevada humedad relativa.

En aeronaves la principal causa de incorporación de agua tiene su origen en la disuelta que incorpora el combustible, de acuerdo con la curva de solubilidad que varía de forma muy rápida con la temperatura.

La solubilidad del agua en los turbocombustibles de aviación depende, además de la temperatura y presión, de la composición del producto, pudiendo afirmarse que disminuye según aumenta el peso molecular y según disminuye el contenido en aromáticos. Figura 5.

La reversibilidad del proceso de solubilidad hace que éste se repita constantemente durante el vuelo de una aeronave; el agua separada del turbocombustible al descender su temperatura, lo va a ser en forma de microgotas que decantarán de forma continua hacia el fondo de los tanques de donde será introducida en el sistema de combustibles por las bombas que lo alimentan.

Este fenómeno ocurre especialmente a partir del combustible frío que se encuentra en los tanques de las aeronaves, después de un prolongado vuelo a elevadas altitudes, seguido de un rápido descenso y aterrizaje; puede ponerse de manifiesto al obtener una muestra del producto contenido en los tanques, la cual revelará agua en el turbocombustible.

Por último existe otra fuente que incorpora agua a los tanques de las aeronaves y que no es debida al combustible. Cuando una aeronave desciende se produce, por efecto de los cambios de presión un aumento



en el venteo de los tanques, produciéndose la condensación del agua que tiene disuelta el aire, al entrar en contacto con las superficies metálicas frías de la aeronave y de combustible frío. Figura 6.

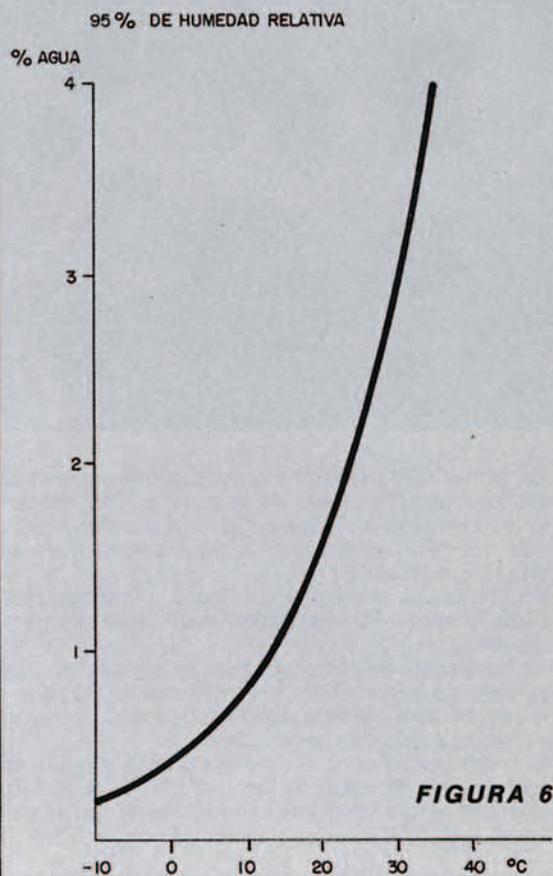
Los problemas que plantea el agua están asociados a la forma en que se presenta y que puede ser como agua disuelta, decantada y emulsionada o suspendida. El agua disuelta, al ser agua de constitución que estabiliza el sistema líquido-líquido formado por las moléculas del turbocombustible y del agua no causa ningún tipo de problema. El agua libre decantada presenta serios problemas, sino es eliminada, al provocar corrosiones y ser el medio imprescindible para el desarrollo y proliferación de la contaminación microbiana y si su cantidad es apreciable, puede provocar serias alteraciones y pérdidas de potencia en los motores de las aeronaves al interferir el proceso de combustión.

El agua libre emulsionada o en suspensión causa, además de los problemas generales mencionados, otros adicionales como pueden ser los debidos a los prolongados tiempos de decantación de tal forma que es necesario el empleo de elementos mecánicos especiales y técnicas operativas adecuadas para su eliminación.

En aeronaves se presentan los mismos problemas, aumentados con otro que afecta directamente a la seguridad en vuelo cual es la posible congelación de la misma en filtros y sistema de combustible; esta formación de hielo va a provocar paradas en los motores por obturación de los filtros y conductos del sistema de combustible de la aeronave.

La gravedad de los problemas causados por el agua hace preciso el adoptar medidas tendentes a su control y eliminación, las cuales contemplan el disponer de adecuados periodos de decantación y drenaje y sobre todo la instalación de elementos mecánicos capaces de eliminar el agua cuales son los microfiltros separadores de agua.

### SOLUBILIDAD DEL AGUA EN EL AIRE EN CONDICIONES SATURANTES



### CONTAMINACION MICROBIANA

**A**UNQUE es conocida desde tiempos remotos, la intervención de los microorganismos en procesos fermentativos, tales como la producción del vino, fermentación del pan, etc., el primer reconocimiento de que los mismos podían crecer utilizando como fuente el carbono y energía las cadenas hidrocarbonadas presentes en los hidrocarburos data de principios de nuestro siglo.

Sin embargo, hasta fechas recientes no se ha procedido a su estudio en profundidad, debido en parte a que la misma se ha asociado a otro tipo de fenómenos que hasta hace no más de una década no eran conocidos como tales (corrosión), y por otra parte a la evidente dificultad que entraña su estudio.

La contaminación microbiana está causada por el desarrollo de distintos tipos de microorganismos en el seno de la interfase agua-combustible, utilizando a la primera como medio para llevar a cabo todo su complejo mecanismo metabólico y al segundo como única fuente de carbono y energía.

Tres tipos de microorganismos están asociados a la contaminación microbiana, siendo causantes de la misma: Hongos, Bacterias y Levaduras.

De todos ellos quizás el que mayor problema causa es el hongo *Cladosporium Resinae* siendo la especie dominante en los turbocombustibles de aviación, aunque se han censado muchos más entre otros: *Aspergillus Niger*, *Penicillium Notatum*, *Cándida Tropical*, *Cándida Guillermondia*, *Bacillus Subtilis*, *Pseudomonas Aureginosa*, *Thiobacillus*, etc. Figura 7.

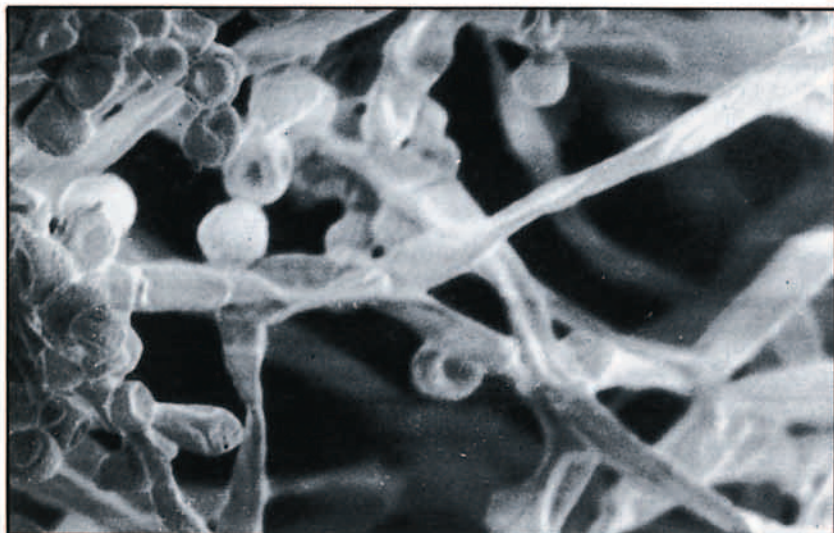
Las fuentes de contaminación son múltiples, estando íntimamente relacionadas con la presencia de agua contaminada, capturada e incorporada al combustible.

Los problemas que causa la contaminación microbiana abarcan cuatro aspectos fundamentales:

- Ataque directo a los materiales en contacto con ellos.
  - Problemas causados por los productos metabólicos secundarios.
- Efectos derivados de la biomasa generada.  
Consecuencias sobre el combustible que soporta la contaminación.

El segundo de los puntos es la fuente de mayores problemas para los sistemas de combustibles, debido a la fuerte actividad superficial y corrosividad de los productos metabólicos. La actividad superficial provoca nieblas con el agua presente, a la vez que causa el fracaso de los microfiltros separadores de agua, haciendo posible el paso del agua y de la contaminación microbiana a la siguiente etapa, pudiendo llegar hasta la propia aeronave.



**FIGURA 7**

*Esporas  
y micelio  
del hongo  
Cladosporium  
Resinae  
obtenido  
por microscopia  
elec tronica  
de barrido y aislado  
de una muestra de  
turbocombustible  
de aviación JP-4.*

De forma más específica provocan corrosiones por picado tanto en hierro y acero como en aleaciones de aluminio de aviación, caso de la 2024 y 7075, estas últimas causadas por los ácidos que se acumulan en el medio procedentes del metabolismo microbiano; producen saturaciones de los cartuchos coalescentes y fracaso de los mismos tanto por la tensoactividad de los productos metabólicos como por la biomasa generada durante su crecimiento.

En los turbocombustibles produce degradaciones de los hidrocarburos que lo componen de forma que el producto final que ha soportado crecimiento microbiano no responde a las características fijadas por las especificaciones.

En las aeronaves los problemas se pueden resumir en la aparición de corrosiones de los tanques y bombas de trasiego de combustible y ataques generalizados a los sellantes y recubrimientos protectores; bloqueo de los filtros de baja presión del motor; obturaciones de tuberías del sistema de combustible y alteraciones de instrumentos en especial aforadores.

Las soluciones a los problemas planteados por la contaminación microbiana pasan por la eliminación del agua por medio de decantación y el uso de microfiltros separadores de agua y la esterilización de los medios de almacenamiento y aeronaves mediante el uso de biocidas.

#### **CONTAMINACION POR AGENTES TENSOACTIVOS**

**L**OS agentes tensoactivos o surfactantes son compuestos de estructuras químicas caracterizados por tener grupos hidrofílicos o hidrofóbicos coexistiendo en la molécula. Se generan en muy pequeñas cantidades, a menudo del orden de pocas partes por millón (p.p.m.), en todos los productos petrolíferos, y pueden producir diversos tipos de problemas particularmente graves en los turbocombustibles.

El efecto de trazas de estos compuestos es la causa de que el agua libre emulsionada o en suspensión pueda estar presente en los turbocombustibles por prolongados periodos de tiempo, aumentando extraordinariamente el tiempo de decantación estabilizando las suspensiones del agua. En otras palabras, la suspensión de agua puede ser estabilizada debido a que las gotas no son coalescidas por los efectos que causan estos productos sobre la tensión superficial. Estos mismos efectos sobre la tensión superficial del combustible reducen la efectividad de los microfiltros separadores de agua, interfiriendo e incluso anulando la coalescencia, arrastre y separación de agua, haciendo posible que agua libre se incorpore a los tanques de combustible de las aeronaves con lo que ello supone.

Estos compuestos son tan sumamente activos que en proporciones tan pequeñas como 1 p.p.m. pueden causar los problemas descritos. Algunos de ellos están presentes de forma natural en el crudo y posteriormente se incorporan a los productos determinados, debido a que no son totalmente eliminados en el proceso de refinado; otros son generados durante los procesos de refinado que producen los turbocombustibles, algunos provienen de oxidaciones y polimerizaciones generados en los propios turbocombustibles durante su almacenamiento, sobre todo si éste es muy prolongado y el producto no es muy estable a la oxidación ni térmicamente y la mayoría son añadidos ex-profeso para mejorar ciertas propiedades de los productos, pues de no hacerlo así, podrían crearse otros problemas más severos de resolver, son los aditivos. De todos ellos los de acción más agresiva como agentes tensoactivos son los aditivos anticorrosivos y los antiestáticos.

Es posible evitar la presencia de los agentes tensoactivos mediante el establecimiento de rigurosos programas de drenaje y controlando y evitando las posibles fuentes que pueden incorporar estos agentes. Como ello no siempre es factible, la solución es instalar filtros de arcilla, los cuales son capaces de eliminar toda traza de compuestos tensoactivos de los turbocombustibles. Después del paso por los filtros de arcilla es preciso volver a readitivar el producto, a fin de que cumpla las especificaciones previstas en su respectiva normativa.

Puede suponerse una contaminación por agentes tensoactivos cuando se contrastan dificultades de decantación de los turbocombustibles, ante fracasos, bajos rendimientos o anomalías en los equipos de microfiltración y separación de agua o bien por la formación de espumas persistentes. ■