

LUBRICANTES Y COMBUSTIBLES

Propiedades y Especificaciones de los Lubricantes

Los lubricantes en la actualidad deben realizar su función bajo condiciones mecánicas y medioambientales mucho más severas que hace unos años. Los primeros aviones propulsados por turbinas de gas operaban con aceites minerales ligeros, pero hoy día quedan muy pocos motores, si es que queda alguno en servicio, que necesiten esos tipos de aceite. Además, los requisitos de bajas temperaturas impuestos por los vuelos de gran altitud, junto con las más altas temperaturas de funcionamiento, no se satisfacen por los aceites de base de petróleo existentes. Debido a que generalmente un aceite mineral no es capaz de dar resultados satisfactorios a temperaturas muy bajas y muy altas, los motores turborreactores y turbohélices modernos se lubrican con aceites sintéticos. Los aceites sintéticos también se usan en algunos accesorios del motor, tal como puestas en marcha y unidades de velocidad constante, para evitar la posibilidad de usar el aceite equivocado en estas unidades. Estos aceites también pueden encontrarse en algunos instrumentos y sistemas hidráulicos de aviones modernos.

Las características de los aceites derivados del petróleo natural y de los aceites sintéticos se han dado en las especificaciones MIL-O-6081 para el aceite natural y MIL-L-7808 junto con MIL-L-23699 para los aceites sintéticos.

MIL-O-6081

El aceite MIL-O-6081 es un aceite fluido obtenido del refinado de las fracciones lubricantes del petróleo crudo que contiene aditivos para intensificar la resistencia a la oxidación y mejorar las propiedades de viscosidad – temperatura. Generalmente tiene un bajo punto de descongelación, baja viscosidad a bajas temperaturas, y estabilidad razonable en presencia de calor, no es corrosivo para los metales normalmente usados en los motores. Se usó en aplicaciones donde las temperaturas del cojinete estaban alrededor de los 300° F [148.9° C] o menos. A temperaturas elevadas este aceite sufre grandes pérdidas por evaporación e inadecuada viscosidad y crea grandes depósitos carbonosos. El lubricante se procesa a partir del petróleo crudo obtenido de diferentes partes del mundo. El petróleo crudo puede dividirse en general en dos grupos — los petróleos parafínicos y los petróleos nafténicos. La división se basa en la forma en que los átomos de hidrógeno y carbono están enlazados. Los petróleos parafínicos son relativamente estables a altas temperaturas, tienen un alto índice de viscosidad, y contienen un alto porcentaje de cera disuelta. Los petróleos nafténicos son menos estables a temperaturas elevadas, pero tienen poca o ninguna cera, y por lo tanto tienden a permanecer líquidos a bajas temperaturas. El índice de viscosidad de los petróleos nafténicos es pobre. La mayoría de los aceites de petróleo natural empleados en motores de reacción son una mezcla de ambos.

MIL-L-7808 (Tipo I)

Este aceite es un lubricante sintético ampliamente usado en los Estados Unidos. Las especificaciones para los dos aceites el natural y el sintético se catalogan en -65° F [-53.9° C] para los requisitos de puesta en marcha, pero el lubricante sintético está clasificado para temperaturas por encima de los 400° F [204.4° C]. Aunque existen muchos lubricantes sintéticos en el mercado, el más comúnmente usado está clasificado como un ester bibásico – ácido. Puede fabricarse usando sebo animal o aceites vegetales (semilla de ricino) como materia prima en una reacción con alcohol o a partir de síntesis de petróleo hidrocarbonado. La identidad exacta de los compuestos usados en la fabricación de estos aceites se guarda bajo secreto de propiedad. Dado que el procesamiento requerido para un aceite sintético es complejo, se entiende que su precio por galón sea del orden de cuatro veces superior que el del aceite natural. A los aceites que cumplen la especificación MIL-L-7808 se les llama algunas veces aceites Tipo I.

MIL-L-23699 (Tipo II)

Varias compañías han desarrollado un lubricante Tipo II que cumple la Especificación Militar N°. MIL-L-23699. El aceite Tipo II, que se produce bajo distintos nombres comerciales, tal como Mobil Jet Oil II, Exxon 2380, Aeroshell 500, y Castrol 5000, usa una nueva base sintética y

nuevas combinaciones de aditivos para afrontar las condiciones operativas más severas de los motores de reacción de segunda y tercera generaciones. Está ampliamente adoptado por los operadores civiles y militares. Las principales ventajas del nuevo aceite sobre los aceites del Tipo I son las siguientes:

1. Más alta viscosidad (5 centistokes contra 3 centistokes) e índice de viscosidad.
2. Más altas características de soporte de cargas.
3. Mejor estabilidad de oxidación a alta temperatura
4. Mejor estabilidad térmica

El MIL-L-7808 puede mezclarse con el MIL-L-23699 ya que la especificación exige que sean compatibles el uno con el otro, pero esta práctica debería evitarse dado que el aceite MIL-L-7808 tiende a degradar al aceite MIL-L-23699 al nivel del MIL-L-7808 y anular los beneficios del nuevo aceite indicados arriba.

Aceite Tipo III

Un aceite mas nuevo, el Tipo III, fabricado como Mobil Jet Oil 254 y Aeroshell 560, es básicamente el mismo que el Tipo II, con un aditivo para mejorar la actuación en alta temperatura reduciendo la formación de carbón y los depósitos carbonosos sobre las manchas calientes en el motor. El aceite ha sido aprobado para algunos motores más pequeños como el Allison, el AlliedSignal Garrett, y el AlliedSignal Lycoming. Este aditivo hace al aceite Tipo III más oscuro cuando es nuevo; por lo tanto no debería confundirse con los aceites Tipo I o Tipo II viejos o deteriorados, puesto que en general, cuando los aceites sintéticos envejecen, se hacen más viscosos y oscuros.

Características de los aceites lubricantes

Los aceites lubricantes deben manifestar ciertas características físicas y funcionales para comportarse satisfactoriamente. Lo que sigue es una lista de pruebas realizadas en aceites de turbina de gas para determinar sus propiedades físicas y funcionales.

Propiedades Físicas

- *Índice de viscosidad* se refiere al efecto de la temperatura sobre la viscosidad. Todos los productos del petróleo se hacen menos densos con el aumento de la temperatura y se espesan con el descenso de la temperatura.
Un número alto de índice de viscosidad indica un régimen de cambio comparativamente alto.
- *Viscosidad* es la medida de la capacidad del aceite para fluir a una temperatura específica.
- *Temperatura de descongelación (Pour point)* se refiere al efecto de las bajas temperaturas sobre la fluidibilidad del aceite.
- *Temperatura de inflamabilidad (Flash point)* es la temperatura más baja a la cual el aceite emite vapores que se prenderán cuando una pequeña llama se pase periódicamente sobre la superficie del aceite.
- *Temperatura de inflamabilidad espontánea (Fire point)* es la temperatura más baja a la cual un aceite se prende y continúa ardiendo durante por lo menos cinco segundos.
- *Volatilidad* es la medida de la facilidad con que un líquido se convierte al estado gaseoso.
- *Acidez* es la medida de las tendencias corrosivas del aceite.

Factores de rendimiento

- *Formación de espuma (Oil foaming)* es la medida de la resistencia del aceite a separarse del aire ocluido.
- *Dilatación de gomas (Rubber swell)* es la medida de cuanta dilatación producirá el aceite sobre un compuesto de goma en particular.
- *Oxidación y estabilidad térmica (Oxidation and thermal stability)* es la medida de cómo un aceite puede resistir la formación de carbón duro y sedimentos a altas temperaturas.
- *Corrosividad para metales (Corrosivity to metals)* es una prueba para determinar la corrosividad del aceite por sus efectos sobre una pequeña tira de cobre pulido. También se pueden usar otros metales.
- *Pruebas de engranajes o de presión (Gear or pressure tests)* muestran la capacidad del aceite para soportar una carga.
- *Pruebas de formación de residuos carbonosos (Coking tests)* mide la cantidad de residuo carbonoso que permanece en el aceite tras someterlo a un calentamiento extremo en la ausencia de aire.
- *Pruebas de motor (Engine tests)* demuestra las características del aceite en un motor real.

Otras pruebas adicionales tal como la prueba de emulsión de agua, la prueba de compatibilidad, la prueba de estabilidad en almacenamiento, la prueba de tensión interfacial, y varias otras pueden realizarse para determinar otras propiedades físicas y de comportamiento de un aceite.

En muchos casos se mezclan sustancias químicas adecuadas para obtener las características deseables. Estos aditivos incluyen materias tales como detergentes, antioxidantes, colorantes, anticorrosivos, inhibidores de espuma, mejoradores del índice de viscosidad, sustancias para rebajar la temperatura de descongelación, y muchos otros aditivos para mejorar el comportamiento y comunicarle nuevas propiedades a los lubricantes. La mayor parte de la investigación sobre lubricantes se concentra en esta área.

Requisitos del lubricante de turbina de gas

Como se mencionó en algún momento de este curso, las temperaturas de los motores de reacción pueden variar desde -60 a mas de 400° F [-51'1 a 204'4° C]. Puesto que el aceite debe ser lo suficientemente fluido en las bajas temperaturas extremas para permitir puestas en marcha rápidas y un flujo de aceite inmediato hacia las piezas a lubricar, los aceites del motor de reacción deben tener una más bien baja viscosidad y temperatura de descongelación. Por otra parte, el índice de viscosidad debe ser tan alto como sea posible, o el aceite se hará demasiado poco denso para soportar las cargas de los cojinetes y engranajes cuando el motor alcance las temperaturas de funcionamiento.

La temperatura de inflamabilidad, la temperatura de inflamabilidad espontánea, la resistencia a la oxidación, la estabilidad térmica, y la volatilidad de un aceite también son muy importantes a la vista de las altas temperaturas operacionales en la sección caliente del motor, y la baja presión ambiente a gran altitud en la cual el motor normalmente opera. Las temperaturas de los cojinetes más calientes de algunos motores de turbina de gas llegan desde 400 a 500° F [204'4 a 260° C] o más alta durante el funcionamiento. Los relativamente pocos galones de aceite en el sistema circulan a un alto régimen desde el depósito a través de los radiadores, hasta los cojinetes y engranajes, y luego de vuelta al depósito. La mayor parte de las temperaturas de aceite en algunos motores puede llegar hasta ligeramente menos de 300° F [148'9° C], con cierto aceite calentado localmente hasta las temperaturas mucho más altas de las superficies de los cojinetes. Estas condiciones extremas, emparejadas con el hecho de que el aceite de

recuperación está completamente mezclado con aire usado para presurizar los sumideros de los cojinetes, fomentan la descomposición térmica, la oxidación, y la volatilización del medio de lubricación. Los resultados de estos procesos perjudiciales incluyen la formación de sedimentos, materiales corrosivos, y otros depósitos. Estos también aumentan la viscosidad y el consumo de aceite. Además, el exceso de depósitos puede aumentar la fricción y temperatura del cojinete, obstruir los filtros e inyectores de aceite, interferir con el flujo de aceite, y ser causa de un incremento del desgaste de los sellos. Los depósitos de sedimentos pueden recubrir las superficies de los tubos en los radiadores de aceite y evitar la eliminación normal del calor en el aceite.

La resistencia a la formación de espuma también es una propiedad importante de un aceite. En el párrafo anterior se indicó que se añade una gran cantidad de aire al sistema a través de las bombas de recuperación y de los sumideros de los cojinetes. Esta mezcla de aire y aceite se lleva al depósito de suministro de aceite o al separador especial de aire – aceite, donde, con buen aceite, tiene lugar una rápida separación, y el exceso de aire puede ventilarse sin causar daños. Por otra parte, un aceite inadecuado en este aspecto formará espuma, y mucha de la mezcla aire – aceite se ventilará al exterior. De esta forma puede perderse una cantidad substancial de aceite. Es mas, una mezcla de aire – aceite suministrada a los cojinetes no eliminará el calor ni lubricará tan eficientemente como un flujo sólido de aceite.

Manejo de los lubricantes sintéticos

Los aceites sintéticos no son tan estables para el almacenamiento como los aceites convencionales del petróleo. Deberían evitarse las temperaturas extremas; el aceite almacenado debería usarse tan pronto como se pueda, y el sobrante parcial no debería usarse porque los aceites sintéticos son higroscópicos y absorberán la suficiente humedad del aire como para hacerlos inservibles. Para el aceite en uso no existe el problema higroscópico. En general, la mayoría de los operadores del motor comercial bien limitan o prohíben totalmente mezclar marcas distintas de aceite, aunque las especificaciones del aceite requieran que cada aceite sea compatible con los aceites aprobados previamente.

Los lubricantes sintéticos tienen un efecto perjudicial sobre algunos tipos de pinturas, aislamientos eléctricos, y materiales elastómeros usados en sellos, aunque en algunos casos es deseable un ligero ensanchamiento de los sellos de goma para evitar pérdidas de aceite. Algunas personas muestran sensibilidad en la piel a este tipo de lubricante, pero en general, los aceites sintéticos pueden clasificarse en la misma categoría que los aceites minerales, lo mismo en estado líquido que en vapor, en lo que respecta a la toxicidad. Igual que en los aceites minerales, deberían evitarse la ingestión y el contacto prolongado con la piel.

Propiedades y Especificaciones de los Combustibles

Se pueden efectuar diversas clasificaciones atendiendo a muy distintos factores: origen, estado natural, riqueza calorífica, etc. En principio, se puede decir que los combustibles se dividen en naturales y artificiales y, unos y otros, a su vez, en sólidos, líquidos y gaseosos. Dentro de los naturales, los hay que son combustibles fósiles y otros que no lo son. Atendiendo a su poder calorífico, pueden ser ricos y pobres. La mayor parte de los combustibles son fósiles; así por ejemplo, el carbón, el petróleo o sus derivados. Las escasas excepciones únicamente son importantes para usos muy restringidos. Ocurre por ejemplo con el aluminio metálico en aluminotermia; con el azufre en algunos procesos de tostación, etc. Tampoco es un combustible fósil la madera, así como su derivado el carbón vegetal, y la turba se puede decir que es un carbón que se encuentra en el límite entre vegetal y fósil.

Combustibles Sólidos.- Entre ellos destacan las hullas, lignitos y turbas, pero ninguno de ellos tiene una aplicación directa en aviación.

Combustibles Líquidos.- Según su empleo se distinguen en combustibles para motores ciclo Otto (Gasolina), para motores ciclo Diesel (Gas-oil), para motores de aviones a reacción y aceites para las calderas u hornos.

El petróleo es una mezcla de sustancias químicas orgánicas, derivadas principalmente de los restos de plantas y animales microscópicos que vivían en el mar hace millones de años. Fue necesario que se dieran condiciones especiales y pasará muchísimo tiempo para que esos restos sufrieran complejos cambios químicos y se transformaran en petróleo y gas. A veces, estos hidrocarburos se encuentran concentrados en acumulaciones que pueden detectarse y explotarse.

La exploración en busca de petróleo comenzó hace más de cien años, cuando se perforó cerca de afloramientos petrolíferos que indicaban que había petróleo bajo la superficie. Hoy en día se emplean técnicas mucho más avanzadas, como los estudios sísmicos y las imágenes tomadas desde satélites. Poderosas computadoras ayudan a los geólogos a interpretar sus descubrimientos. Sin embargo, después de todo esto, solo la perforación puede confirmar la presencia de petróleo subterráneo.

El petróleo en bruto, raramente empleado, se refina en general por fraccionamiento y por otros procesos, obteniéndose diversas fracciones que se destinan a variados usos. La fracción más ligera, el gas natural, se encuentra a menudo disponible en gran cantidad en los campos petrolíferos; este gas se conduce a las zonas industriales cuando las circunstancias lo permiten, pudiendo también licuarse y trasladarse a grandes distancias en tanques. Las fracciones pesadas son las que se usan más frecuentemente en la industria metalúrgica; a menudo son tan pesadas que es preciso calentarlas para que puedan ser bombeadas por las conducciones. Del mismo modo, el alquitrán residual se utiliza como combustible. Alemania, rica en carbón pero pobre en yacimientos petrolíferos, desarrolló durante la Segunda Guerra Mundial dos métodos para obtener combustibles líquidos a partir del carbón: en el *proceso Bergius*, un 50 a 60 % del carbón puede convertirse en aceites combustibles por hidrogenación a altas temperaturas y presiones (450°C y 250 atmósferas) y en presencia de un catalizador formado por sulfuros metálicos. En el *proceso Fischer-Tropsch*, el gas de agua se calienta a unos 200-300°C y a presión de 5 a 15 atmósferas, en presencia de un catalizador formado por níquel cobalto y hierro, con óxido de magnesio, manganeso y torio. Se produce así una mezcla de hidrocarburos análoga a la gasolina, aunque de poco poder antidetonante. Por destilación de esquistos bituminosos, depósitos pizarrosos más o menos ricos en materia orgánica, se obtiene un aceite mineral análogo al petróleo. También la síntesis del metanol (alcohol metílico) realizada a unos 400°C y 300 atmósferas de presión, según la reacción $\text{CO} + 2\text{H}_2 = \text{CH}_3\text{OH}$, fue punto de partida para la fabricación de productos químicos, pero hoy en día, el metanol ya no se emplea. La síntesis de los alcoholes superiores no interesa para obtener combustibles.

Los vapores que se desprenden de la hulla al convertirla en coque se condensan en forma de alquitrán, cuya destilación da *aceites pesados de alquitrán* y pez como residuo. Además, del gas que destila el carbón se extrae (por disolución con aceite de lavado o por absorción con carbón activo) el benzol que contiene. El benzol en bruto, recuperado del gas y del aceite ligero se depura por lavado con ácido sulfúrico diluido o, modernamente, por refino catalítico a presión, para obtener el benzol para motores. Además de benzol contiene tolueno, y no se emplea en los motores como combustible propiamente dicho sino para elevar el poder antidetonante de la gasolina (por su alto número de octano de mezcla). De los alquitranes de lignito destilados a baja temperatura pueden obtenerse también fracciones adecuadas para dar gasolina y combustible Diesel, que deben refinarse bien con ácido sulfúrico y subsiguiente redestilación. Otro tanto ocurre con las fracciones de los aceites de esquistos.

Combustibles líquidos de origen vegetal. Con destino a la preparación de combustibles para motores ha adquirido importancia la obtención de alcohol etílico por fermentación de soluciones azucaradas o feculentas. Como materias primas se utilizan melazas de caña, el sorgo sacarino (Italia), las lejías sobrantes de las fábricas de celulosa al sulfito (Escandinavia), los mostos de la sacarificación de las patatas. También se ha fabricado alcohol etílico para combustibles de motores, por sacarificación de madera por el método Scholler. La adición de alcohol, hoy como antes, puede estar justificada económicamente.

Comparación de combustibles líquidos. Todos los combustibles líquidos contienen gran proporción de hidrógeno y pocas cenizas, comparados con los combustibles sólidos. En el cuadro que se da a continuación figuran reflejadas algunas propiedades de este tipo de combustibles, cuyas aplicaciones en muy diversas técnicas de todo tipo son tan importantes:

COMBUSTIBLE	FÓRMULA	PESO ESPECÍFICO a 20°C (Kg/dm ³)	POTENCIA CALORÍFICA Superior – Inferior (Kcal/Kg)		C – H – O % en peso		
Alcohol etílico	C ₂ H ₅ OH	0,794	7.140	6.440	52	13	25
Benzol	C ₆ H ₆	0,879	10.020	9.610	92,2	7,8	
Aceite de lignito	Compuesto	0,860.....0,900	10.500	9.800	87	9	4
Aceite Diesel	Compuesto	0,850.....0,880	10.700	9.950	87	13	
Gasolina aviación	Compuesto	0,700.....0,740	11.350	10.150	85	15	
Gas líquido	C ₃ H ₈ y C ₄ H ₁₀	0,580	11.950	10.950	82,5	17,5	
Gas-oil	Compuesto	0,840.....0,860	10.750	10.250	86	14	
Fuel-oil de petróleo	Compuesto	0,950.....1,010	10.750	10.250	86	14	
Alcohol metílico	CH ₃ OH	0,792	5.330	4.660	37,5	12,5	50
Gasolina automóvil	Compuesto	0,720.....0,750	11.150	10.150	85	15	
Keroseno	Compuesto	0,800.....0,820	10.250	9.750	85,5	14,5	
Aceite alquitrán hulla	Compuesto						
Aceite alquitrán motores	Compuesto	0,950.....0,970	9.350	8.950	87	9	4
Aceite alquitrán hogares	Compuesto	1,040.....1,080	9.400	9.150	89	7	4

Combustibles Gaseosos.- No tienen ninguna aplicación como combustibles de los motores de aviación.

Especificaciones y Control de Calidad.- Con objeto de que un combustible, que va a ser empleado en un determinado tipo de motores, reúna todas las condiciones que se le exige para tal empleo, esto es, que posea la calidad debida, todos los países lo someten previamente a una serie de comprobaciones que permiten asegurar dicha calidad. Las especificaciones describen, de forma precisa y clara, todos los requerimientos técnicos de los combustibles, así como los procedimientos necesarios para comprobarlos, asegurando que cumplen y reúnen todas las condiciones exigidas para su utilización.

El control de calidad de los combustibles se efectúa mediante una serie de instrucciones que recogen diversos aspectos, así: el empleo de combustibles en tipos de motores distintos a sus habituales de empleo (degradación de gasolinas aviación a gasolinas automóviles, por ejemplo), tomas de muestras, maneras de realizar las cargas y descargas de tanques de almacenamiento, utilización de combustibles en el caso de no reunir algunas especificaciones, etc.

Ensayos de Combustibles.- Al objeto de determinar y poder garantizar el que los combustibles cumplen las condiciones de las normas, son sometidos en los laboratorios adecuados a una serie de ensayos, ya fijados y definidos en dichas normas y especificaciones. Tales ensayos son de tres tipos:

1. *Físicos.* Se realizan para determinar las propiedades físicas tales como: densidad y peso específico, destilación, presión de vapor, poder calorífico, puntos de inflamación, de cristalización, de anilina, etc.
2. *Químicos.* Se realizan para determinar las propiedades químicas tales como: contenidos en azufre, gomas, aromáticos y olefinas, contenido en plomo tetraetilo, etc.
3. *Mecánicos.* Se refieren fundamentalmente a estudios sobre la detonación (gasolinas de aviación), determinación de la estabilidad térmica, esto es, tendencia a depositar productos de descomposición (combustibles para turborreactores) y cálculos del retraso en la ignición (combustibles para motores Diesel).

Muchos de los ensayos se efectúan siguiendo procedimientos empíricos, empleando aparatos especiales que permiten obtener valores comparativos. Esto es debido a que muchas de las propiedades de los productos petrolíferos se determinaron antes de que se tuviera una teoría que fijara valores absolutos y al hecho de que la complejidad de tales productos no permite que los ensayos sean realizados de otra forma.

Combustibles Especiales para Turbomotores.- En este tipo de motores se emplean diferentes combustibles, los cuales se indican a continuación destacando en ellos sus características de volatilidad, en comparación con la de la gasolina de aviación, toda vez que esta cualidad, la volatilidad, es el factor más importante en la selección de estos combustibles.

En un principio, los constructores de motores a reacción creyeron que podrían utilizar cualquier clase de combustible. Hasta hace poco sin embargo, la puesta a punto de este tipo de motores se efectuaba de una manera general con un combustible llamado keroseno o JP-1 por los anglosajones y TRO en Francia. Se trata de un producto procedente de la destilación del petróleo crudo, semejante al petróleo parafínico lampante, que tiene como temperaturas inicial y final de destilación 170 y 300°C, respectivamente. Dos razones motivaron su elección: a) al efectuarse la alimentación de los inyectores a presión, no era necesario, como en los motores con carburador, que el combustible fuese muy volátil; b) aumentaba la seguridad de vuelo al disminuir la volatilidad (peligro de incendio). En la actualidad se reconoce que tanto en el caso de los reactores, como en el de otros tipos de motores de combustión, hay que elegir el combustible según sean las condiciones de utilización. Se emplea ahora un carburante llamado JP-4 o TR4, derivado del petróleo crudo como el keroseno, pero cuyos límites de destilación son mucho más amplios, desde 60 a 240°C. En la aviación embarcada se emplea también algunas veces el JP-5 o TR5, similar al JP-1.

Las características de un avión no son tan sólo función de la concepción mecánica de su motor, sino también y en gran parte, de las del combustible para las cuales se ha proyectado. Las condiciones de utilización del combustible dependen del tipo de avión a que se destina. A priori, podemos clasificar todos los aviones en dos categorías, militar y comercial. Por lo que respecta a los reactores militares, la elección del combustible a utilizar dependerá, en el caso particular de cada nación, de sus posibilidades de aprovisionamiento; todo ello a causa de las cantidades tan enormes de combustible absorbidas en tiempos de guerra. Se estima que estas cantidades podrían alcanzar el 25 % de la provisión mundial de petróleo crudo. La cuestión de disponibilidad es de importancia primordial, incluso a costa de una reducción de la seguridad. Consideraciones de este orden son las que han llevado en la actualidad a diversos países a adoptar combustibles con límites de destilación más amplios, como el JP-4, que ha tenido su principal razón de empleo precisamente a que en los crudos hay mucha mayor cantidad que de keroseno. La norma del JP-4 tolera hasta un 5 % en oléfinas y hasta un 25 % de aromáticos, aunque suele contener del 7 al 17 %. Las necesidades de la aviación civil son incomparablemente más reducidas que las de la aviación militar, lo que permite tener en cuenta en primer lugar, la seguridad y el rendimiento. Cabe observar que en los aviones, el motor de explosión ha heredado el combustible del automóvil, que es generalmente la gasolina. Por el contrario, los motores a reacción pueden funcionar con una gran variedad de combustibles, incluso con gasolinas de baja calidad y gas-oil, lo cual permite elegir un combustible que, ofreciendo un máximo de seguridad, garantice al mismo tiempo un buen rendimiento. No es normal, sin embargo, la utilización indistintamente de keroseno o JP-4. Cada turborreactor está proyectado para consumir un determinado tipo de combustible, y sería preciso que los controles de combustible, bombas y elementos mecánicos que rigen el paso del combustible, estuvieran diseñados para poder utilizar líquidos con viscosidades diferentes. No obstante, existen algunos reactores que pueden alimentarse indistintamente con gasolina de aviación y JP-4.

El JP-3 empezó a utilizarse posteriormente al JP-1 y tiene la ventaja de su gran disponibilidad. En efecto, posee un punto inicial de destilación bastante bajo, y un punto final que hace que comprenda las fracciones de mayor punto de ebullición del keroseno. Su desventaja está en que es demasiado volátil. Puede obtenerse mezclando dos partes de gasolina con una de keroseno. El JP-4, que es menos volátil, se puede obtener con una parte de gasolina y tres de keroseno, con adición de cierta cantidad de productos destilados.

El JP-1 es un combustible de resultados satisfactorios en todos los conceptos, tanto en turborreactores como en turbohélices. No obstante, sólo un pequeño porcentaje del petróleo puede convertirse en combustible que reúna esta especificación. El requisito del punto de congelación de -60°C es el más restrictivo; de ahí que se estableciera el JP-3. El JP-4 es menos exigente respecto a la volatilidad, siendo un combustible muy abundante y satisfactorio en aeronaves subsónicas. Los combustibles JP-5 y JP-6 vienen a satisfacer condiciones de volatilidad más exigentes (vuelos a grandes velocidades) frente a peligrosos calentamientos. Por lo que respecta a la potencia calorífica de los combustibles citados, todos son bastante similares, variando aquélla entre unos límites de 10.200 y 10.400 Kcal. /Kg.

Véanse a continuación las principales condiciones que se exigen a los combustibles para los motores a reacción:

1. El peligro de incendio debe quedar reducido al mínimo. A este efecto se emplearán con preferencia los combustibles de volatilidad relativamente baja.
2. El rendimiento comercial resultante del combustible debe ser lo más elevado posible. Esto presupone un precio de coste reducido, un poder calorífico lo mayor posible, poco consumo y escasas pérdidas por evaporación, y la mínima acción perjudicial sobre las cámaras de combustión, la turbina, etc.
3. La combustión debe efectuarse normalmente y con llama que se mantenga bajo todas las posibles condiciones de funcionamiento (aceleración deceleración, vuelos de altura a baja presión atmosférica, etc.).
4. El poder calorífico del combustible debe ser lo más alto posible.
5. La temperatura máxima a la salida de la cámara o cámaras de combustión debe ser tal, que los álabes guías de entrada en turbina, los álabes de estátor y los álabes del rotor no sufran sobrecalentamientos o deformaciones.

Cierto es que en la actualidad, el gas-oil, carburante más pesado que el keroseno, sería el de mayor seguridad. Pero su empleo daría lugar a complicaciones a causa de que su punto de congelación es relativamente elevado, lo que haría necesario la calefacción del circuito ya que, de otro modo, con las bajas temperaturas reinantes en las grandes altitudes, se presentarían dificultades de bombeo y obstrucciones en los filtros. Además, este combustible suele contener algo de azufre.

En un esfuerzo por satisfacer un suministro adecuado y unas prestaciones satisfactorias, durante el desarrollo de los motores de reacción se han producido varios grados de combustible para reactores. La serie JP se ha usado por los militares y su comportamiento se explica en términos generales en la Especificación MIL-J-5624. Para el uso comercial, la Sociedad Americana de Materiales y Pruebas (American Society for Testing and Materials) (ASTM) tiene la Especificación D-1652, que cubre los combustibles Jet A, A-1, y B.

Combustibles JA y JA-1

Los combustibles comerciales mas comúnmente usados son el Jet A y el Jet A1. Ambos son combustibles tipo keroseno, y ambos son similares excepto que el Jet A tiene un punto de fluidez (*freezing point*) a partir de -40°F [-40°C], y el Jet A-1 tiene un punto de fluidez a partir de -58°F [50°C]. otra especificación del keroseno usada por los fabricantes británicos es D. Eng. R-D-2482.

Combustible JB

Los combustibles Jet B y JP-4 son básicamente similares. Son combustibles de amplia gama de ebullición que cubren la profunda zona gasolina – keroseno. Algunas veces se le llama combustibles tipo gasolina. Tienen un punto de ebullición inicial considerablemente por debajo del keroseno. También tienen un peso específico más bajo.

Aditivos de Combustibles

Como regla general, los combustibles del motor de turbina son mucho más viscosos que los combustibles para motor alternativo. Esto le permite al combustible actuar como un lubricante en las bombas y unidades de control de combustible. Sin embargo, la alta viscosidad también le permite al combustible para el motor de turbina retener agua y materiales sólidos que no se asientan fácilmente. En el momento en que el agua esté presente en el combustible existe la posibilidad de formación de hielo o desarrollo microbiológico. Debido a esto, muchos fabricantes de aviones y motores recomiendan el uso de aditivos anticongelantes y antimicrobianos. Excepto para temperaturas muy bajas, los aditivos anticongelantes ayudan a evitar que se hiele el agua retenida en el combustible. Por otra parte, los agentes antimicrobianos exterminan los microbios, hongos, y bacterias que tienden a formar lodos o residuos apelmazados dentro de los depósitos de combustible. Estos microorganismos pueden acumularse y obstruir los filtros y líneas del combustible así como crear compuestos corrosivos que atacan a los depósitos de combustible.

Con frecuencia, los aditivos de combustible se mezclan previamente por el distribuidor. No obstante, cuando el combustible se suministra sin aditivos, el tipo de aditivos correspondientes se dosifica en el combustible mientras se reposta el avión. Si no está disponible la dosificación, los aditivos se vierten en los depósitos de combustible justo antes del repostado. De esta forma, la turbulencia creada por el proceso de repostado mezcla los aditivos suficientemente con el combustible. El tipo y cantidad de aditivos usados debe estar aprobados por el fabricante del avión para mantener la aeronavegabilidad del sistema de combustible. El combustible y los aditivos aprobados para cada motor de turbina de gas se encuentran en el manual de operaciones del avión o en la Hoja de Datos del Certificado Tipo.

Precauciones de Seguridad

Cuando se maneja o almacena combustible para motores de reacción debe tomarse precauciones especiales:

- Las cargas eléctricas estáticas se acumulan muy rápidamente con los altos regímenes de flujo de combustible en combustibles de alta densidad y de amplia gama de ebullición. Los regímenes de flujo deben restringirse a un máximo específico, dependiendo del diámetro de la manguera. La puesta a masa o tierra es esencial.
- Obsérvense todos los requisitos de "NO FUMAR".
- Puesto que los combustibles para reactores tienden a ablandar el asfalto y no se evaporan enseguida, deberían evitarse los derrames. Elimínense las pequeñas cantidades de combustible para reactores con un agente absorbente comercial. Lávense los derrames grandes con copiosas cantidades de agua.
Deberían observarse las precauciones para evitar que el combustible se eche por los sanitarios o sistemas de alcantarillado.
- Siempre debería estar disponible un equipo de extinción de incendio aprobado.
- Los combustibles para reactores no deberían usarse para propósitos de limpieza.
Debería evitarse la inhalación excesiva y el contacto con la piel. Tras el contacto, la piel debería lavarse completamente con agua y jabón, y la ropa debería quitarse y enviarse a la lavandería tan pronto como sea posible. Dado que los combustibles para reactores son menos volátiles que la gasolina, no se evaporan tan pronto, y por lo tanto son más difíciles de eliminar de la ropa.