

Richard Nakka's *Experimental Rocketry* Web Site

Propellant Igniteability Experiment

EXPERIMENTOS SOBRE LA IGNICIÓN DE PROPELENTES.

Se había observado durante pruebas *ad hoc* (en condiciones ambientales) que el propulsor KN-Sorbitol no enciende fácilmente, necesitando generalmente calentar de forma continuada y mediante el contacto directo de la llama sobre el combustible, para iniciar la combustión. Esto contrasta con los propulsores tanto de KN-SACAROSA como los de KN-DEXTROSA, que tienden a encenderse mucho más fácilmente. El encendido de un propulsor de cohete tiene suma importancia. Idealmente, todas las superficies del grano expuestas deberían comenzar a quemarse inmediatamente y de forma simultánea a la activación del encendedor del motor. Esto es lo ideal para conseguir la curva de presión y empuje calculada en la fase de diseño. Si cualquier parte del grano sufre algún retraso durante la ignición, el resultado obtenido podría diferenciarse notablemente del esperado. De hecho, "la ignición retrasada" es una causa tratada tras los resultados de funcionamiento obtenidos de la prueba estática del motor cohete Kappa-SB [KSB-001](#).

Objetivo:

Estas pruebas constan de dos partes. El objetivo de la parte A es el de cuantificar la facilidad de ignición que en lo sucesivo llamaremos "Igniteabilidad" relativa a tres tipos de propulsores: KN-SACAROSA (KN-SC), KN-DEXTROSA (KN-DX) Y KN-SORBITOL (KN-SB). La "igniteabilidad" es definida aquí como "el tiempo a la exposición de la llama para el inicio de la combustión".

El objetivo de la parte B es probar experimentalmente el encendido de dichos propulsores, impregnando la superficie expuesta a la llama, con una sustancia denominaremos polvo de ignición, e investigar si el encendido puede ser realizado por este método.

Muestras:

Se realizaron varias muestras en forma de disco, de cada tipo de propulsor, utilizando anillos de tubo de cloruro de polivinilo de 1 pulgada a modo de moldes. El bastidor o soporte para las muestras se fabricó de chapa del acero galvanizado, proporcionado a las mismas una superficie de ensayo adecuada.

La preparación del propulsor fue realizada por el procedimiento estándar. Normalmente las hornadas preparadas fueron de 123 gramos (80 g. G de oxidante/43 de combustible). Para el propulsor KN-DEXTROSA, la dextrosa fue secada en el horno previamente. Todos los componentes fueron micronizados (usando un molinillo de café eléctrico) y las mezclas pulverizadas a fondo fueron mezcladas durante 3 horas antes de la fusión.

El tamaño del disco de combustible de la muestra era de 0.931". (24mm) de diámetro por 0.40". (10mm) de longitud; la masa era de 8 gramos cada una. Las muestras fueron realizadas de este tamaño para que tuvieran una masa y un grosor apreciable, de tal forma que proporcionaran bastante inercia térmica, con el fin de retrasar el inicio de la combustión el tiempo suficiente para obtener medidas razonablemente exactas.

Debido a la naturaleza higroscópica de la KN-SACAROSA, la superficie de prueba estaba ligeramente húmeda. Lo que, fue considerado como aceptable, ya que representaba la condición real de uso. Los otros dos propulsores, sin embargo, tenían las superficies completamente secas.

Se dejaron curar las muestras de KN-Sorbitol un mínimo de 24 horas después de la fusión. Durante la operación de fusión de cada hornada, se realizaron hilos de propulsor como muestras de "control de calidad", necesarias para la medida, a presión ambiental, de la

velocidad de combustión. Ello confirmó que todas las muestras realizadas estaban dentro de los límites normales para este ratio.

No se realizó ninguna preparación superficial a las muestras para esta Parte A del experimento. En la figura 1 pueden verse las muestras, así como los anillos de cloruro de polivinilo.



Fig. 1 Parte superior anillos de PVC, debajo muestras de KN-SB, KN-DX y KN-SC

Para la Parte B del experimento, la superficie de prueba de las muestras de KN-SORBITOL fueron cubiertas con una imprimación de sustancia combustible". Esta imprimación consistió en [Polvora de Ignición](#) (80/20 KN/carbón) diluido en un 70 % Isopropyl Alcohol (alcohol de 90 grados). Mediante el uso de un mortero de mano, primero se pulverizaron los gránulos de Polvora. Después se añadió el alcohol para producir una mezcla de una consistencia similar a pintura espesa. Con un brocha se aplicó la mezcla en una de las caras de la muestra, dejándose secar durante un periodo mínimo de 24 horas. El resultado fue una capa dura y muy bien adherida. Se procedió a la medida del grosor de la misma dando un resultado medio de 0.0075" (200 micrón). La figura 2 ilustra estas muestras.



Fig. 2 Muestras de KN-SB, con la imprimación de la polvora de ignición para la prueba B

Bastidor:

El soporte de la muestra consistió en una placa acero de 3.7" x 3.7" (94 x 94 mm) de 0.060" (1.5 mm) de espesor montada verticalmente con un taladro de 21/32 " (17mm) en el centro. La muestra fue pegada con cola caliente en el lado posterior de la placa concentrica al taladro. La intención de este particular diseño era la de minimizar los efectos divisorios con respecto a la iniciación de la combustión. Se utilizó un encendedor de butano como fuente de calor, colocandose a 25 mm. de distancia de la superficie de prueba del disco de muestra. Un soporte en forma de escuadra mantenía la salida de la llama enfrentada al taladro de forma precisa. En todas las pruebas, la llama fue ajustada a máxima intensidad de tal forma que esta chocara frontalmente con la superficie de prueba. Una hoja de chapa de acero servía de escudo temporal entre la llama y la superficie de la muestra para tener un control exacto del inicio del cronometraje del calentamiento de la muestra.

El sistema para el experimento se muestra en la Figura 3.

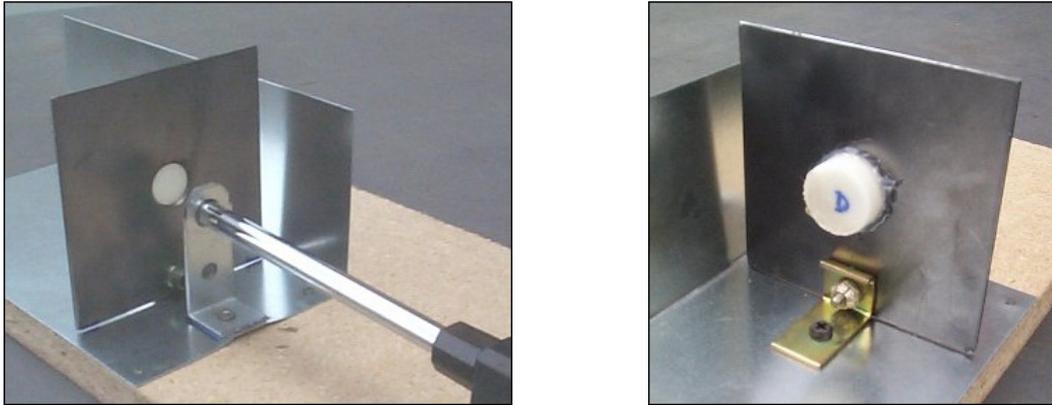


Fig. 3 Soporte utilizado en el experimento con la muestra situada en posición

Método:

El procedimiento empleado fue idéntico para todos los test realizados. La muestra se pegó frente al taladro, el encendedor se instaló en la posición adecuada, así como el escudo parallamas. El mechero fue encendido y se esperó un momento para que la llama se estabilizara. Fue entonces cuando el escudo fue rápidamente separado, permitiendo a la llama entrar en contacto con la superficie de la muestra. El tiempo transcurrido entre la retirada del escudo y el inicio de la combustión fue cronometrado. Una grabación en vídeo del procedimiento nos proporcionó un cronometraje exacto de esta duración. El proceso fue repetido para cada una de las muestras. Limpiando los residuos de combustión y enfriando la placa de soporte entre prueba y prueba.

Resultados:

Parte A

Para las muestras no tratadas con imprimación de pólvora, el inicio de la combustión siguió un modelo similar. Al principio, el calentamiento no producía ningunos efectos visibles sobre la muestra. Unos segundos antes de la combustión, comenzaba a formarse "una ampolla" sobre la superficie de prueba en una posición aislada (y aparentemente arbitraria), caramelizándose después con colores oscuros hasta que apareció un pequeño punto de carbón. El tamaño de la ampolla para el combustible KN-Sorbitol era considerablemente más grande que para los otros dos tipos de propulsor, con una descomposición algo diferente a la caramelización (quizás mejor descrita como la carbonización). Casi inmediatamente después de que el punto de carbón apareció, la combustión se produjo en ese mismo punto. La llama se extendió de forma inmediata sobre toda la superficie, debido a la temperatura ya caliente de la capa superficial del propulsor.

Se probaron cinco muestras de cada tipo de propulsor, con los resultados tabulados en la Tabla 1. Estos resultados se representan también en la Figura 4 en forma de "gráfico radar".

| Tabla 1 -- Resultados: Tiempo de ignición sg. | | | |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|
| Test | KN-Sacarosa | KN-Dextrosa | KN-Sorbitol |
| 1 | 4.7 | 7.4 | 17.7 |
| 2 | 5.9 | 8.0 | 22.0 |
| 3 | 4.3 | 8.1 | 16.4 |
| 4 | 4.8 | 7.2 | 22.8 |
| 5 | 4.3 | 8.6 | 20.4 |
| Med. | 4.8 | 7.9 | 19.9 |

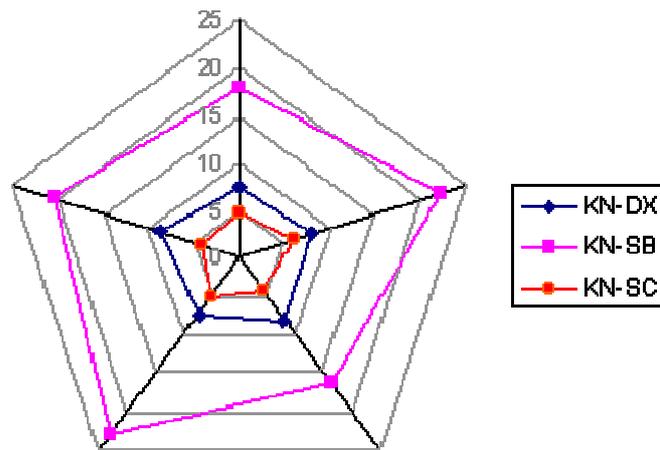


Figure 4 Comparación de la igniteabilidad de los tres propelentes.

Parte B

Para las muestras cubiertas de mezcla de ignición, el inicio de la combustión siguió una pauta diferente que para las muestras no tratadas. El inicio del calentamiento causó un rápido derretimiento de la mayor parte de la superficie de prueba, seguido de un no menos rápido burbujeo. Poco tiempo después, la combustión se inició. La extensión de la llama sobre la superficie era algo menos rápida que para las muestras no tratadas.

Se probaron cinco muestras de propulsor del tipo KN-Sorbitol, con los resultados tabulados en la Tabla 2. Estos resultados también se representan en la Figura nº 5 en forma de "grafico de radar". Los resultados de las muestras no tratadas se trazan, también, a efectos comparativos. Como se ve en la Tabla 2, el tiempo medio para la ignición de las muestras dopadas es de 5.8 segundos. Si se excluyen los resultados de uno de los test cuyos datos no son concordantes, se reduce el tiempo medio a 4.0 segundos.

| Tabla 2 Resultados: Tiempo de ignición sg. | KN-Sorbitol |
|---|--------------------|
| Test de discos tratados | |
| 1 | 2.9 |
| 2 | 4.8 |
| 3 | 5.0 |
| 4 | 12.8 |
| 5 | 3.3 |
| Tiempo medio | 5.8 |

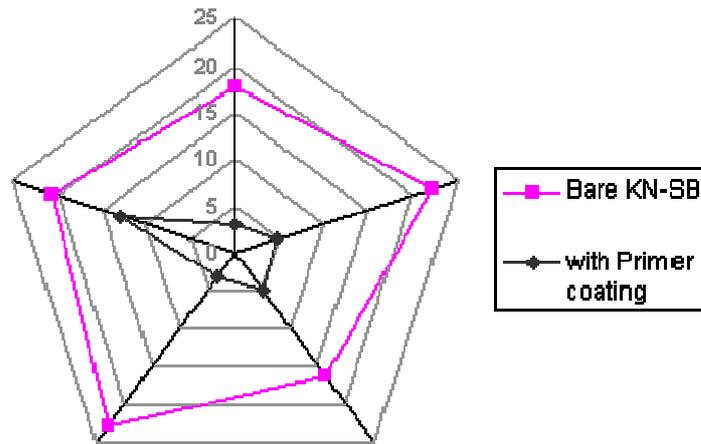


Figure 5 Comparación de la Igniteabilidad del propelente KN-SO con y sin tratamiento.

Discusión:

Los resultados del experimento de la Parte A, claramente muestran una diferencia significativa en la ignición de los tres propulsores testeados. El inicio de la de combustión en la composición KN-SACAROSA es el más rápido, con la KN-DEXTROSA requiere mayor tiempo de calefacción y el KN-Sorbitol no se enciende fácilmente, requiriendo mucho mas tiempo de calefacción que los otros dos propulsores. Las observaciones cualitativas hechas durante la fase de calentamiento sugieren que la descomposición del propulsor (efecto caramelización) juega un papel importante. La KN-SACAROSA, que en parte se carameliza durante la operación de fusión, se descompone más fácilmente durante la fase de encendido. La composición KN-DEXTROSA, durante la fusión se carameliza levemente, pero en la fase de encendido se descompone bastante fácilmente. Sin embargo, El KN-Sorbitol no se carameliza durante la fusión, pero tampoco se descompone facilmente durante la operación de cencendido. Tan sólo después de un calentamiento sostenido se produce la descomposición con la formación visible de carbón en lugar de la típica caramelización.

Si los resultados son normalizados en lo que concierne a la KN-SACAROSA, la "igniteabilidad" de los otros dos propulsores puede ser expresada como una proporción "del tiempo de inicio de la combustión ". Para la KN-DEXTROSA, la proporción es 1.64; para la KN-Sorbitol, la proporción es 4.15.

De los resultados obtenidos en la Parte B del experimento, se deduce claramente que la igniteabilidad del KN-SORBITOL puede ser enormemente mejorada. El recubrimiento de la superficie de la muestra con la emulsión de polvora de ignición ha demostrado ser eficaz. La Igniteabilidad aumentó, por regla general, casi por un factor de 5 (si no tenemos en cuenta el dato aberrante obtenido). La eficacia de la capa de polvora diluida, es probablemente debido al mecanismo de descomposición. Tal como se calienta la capa, el nitrato de potasio se derrite fácilmente (333°C), dado que no hay absorción de energía por la descomposición o fusión "del combustible" (carbón) en la mezcla de la capa, a esta temperatura. Sólo un ligero calentamiento posterior produce la descomposición del nitrato de potasio (400°C.), con producción de oxígeno y subsecuente combustión de las partículas al carbón en la capa. Otro factor que probablemente mejora la eficacia de este recubrimiento de BP es su color negro. Facilitando la transferencia del calor radiante de la llama.

Conclusión:

Tanto los propelentes de KN-SACAROSA como los de KN-DEXTROSA se encienden fácilmente, probablemente ayudados por el proceso de caramelización natural que ocurre durante la calefacción. Como tal, estos propulsores es más probable que puedan ser utilizados en un motor cohete sin la preocupación de la "ignición retrasada " del grano.

El KN-Sorbitol, que no experimenta este tipo de descomposición, no se enciende fácilmente. Esto es una consideración importante que ha de tenerse en cuenta para su empleo como un propulsor de cohete. El diseño del sistema de encendedor del motor es muy importante para obtener la ignición rápida del grano. Los parámetros críticos para obtenerla serían, el tamaño del ignitor, su colocación, duración y la temperatura de llama. La clave para una ignición eficaz sería la transferencia de calor de los productos de combustión del encendedor a la superficie de grano mediante *convección* (p. ej. el alto flujo de la velocidad sobre la superficie). Para un motor cuyo grano sea de un solo corazón central, un encendedor tipo *pyrogen** demostraría ser el más eficaz para un arranque rápido. Ciertas configuraciones de grano, sin embargo, plantean un problema. Por ejemplo, un grano BATES, que consiste en segmentos apilados. La ignición oportuna *de los finales* de los segmentos es imperativa para obtener el empuje y el perfil de presión calculados en la fase de diseño. Sin embargo, los finales de los segmentos son lugares de flujo estancado, y la ignición puede plantear problemas, independientemente del diseño del encendedor. El empleo de la emulsión de combustión bien puede ser la solución. Esta emulsión puede ser aplicada en ciertas superficies del grano para asegurar la ignición rápida. Por ejemplo, con un grano BATES, los finales de cada segmento deberían cubrirse, así como las zonas del corazón central cercanas a dichos finales. La emulsión de combustión, probada en este experimento, parece ser muy eficaz por esta razón. Además, la capa demostró ser duradera respecto al manipulado, y es simple de formular y aplicar.

*Esencialmente, un pyrogen es un pequeño motor cohete. Los productos de reacción del grano del pirógeno son expulsados por el inyector del pyrogen a alta velocidad y afectan a la superficie del propulsor de motor.

Traducción libre By José L Sanchez