

Richard Nakka's *Experimental Rocketry* Web Site

PROPELENTES DE COMPOSITE FORMULACIONES

Traducido por José L. Sánchez

Actualmente se presentan tres formulaciones. Estas son las formulaciones "básicas" que, como se considera, son las más simples y las más fáciles de hacer. Estas ofrecen un funcionamiento razonable para motores de hasta la clase "J". Otras formulaciones están siendo desarrolladas para operar en la gama de motores de la clase "K" y superiores

Las tres formulaciones básicas RNX son: Note: todos son porcentajes en peso

Formula	Marca de epoxi	Resina/ Endurecedor	Nitrato potásico	Epoxi %	Oxido Férrico %
RNX-57	East Syst	6:1	70.0	22.0 {2}	8.0
RNX-71V	West Syst	6:1	68.0	24.0 {3}	8.0
RNX-73	Mr.Fiberg.	3:1	69.0	23.0 {4}	8.0

[1] Por peso.

[2] 18.9 % resina, 3.1% endurecedor

[3] 19.7 % resina, 3.3 % endurecedor

[4] 17.2 % resina, 5.8 % endurecedor

Las tres formulaciones de propulsor son muy similares, incluyendo propiedades físicas mecánicas, funcionamiento y características de combustión. La formulación RNX-71V tiene el ratio más alto de combustión de los tres, El RNX-73 tiene el más bajo. Hay una diferencia clave, sin embargo, con respecto a la preparación de estos propulsores. Las formulaciones del RNX-57 y RNX-73, fueron realizadas con epoxi de las firmas *EAST SYSTEMS* y *MR. FIBERGLASS*, respectivamente, son los dos más fáciles de preparar. Los ingredientes simplemente son pesados, mezclados, e introducidos en el molde del grano. La formulación RNX-71V, hecha con el epoxi de *WEST SYSTEMS*, requiere una intervención adicional en su preparación, es decir la desgasificación al vacío.

En mi trabajo experimental pronto descubrí que las formulaciones RNX realizadas con la utilización de epoxi de *EAST SYSTEMS* reaccionaron de tal manera que se generaba una pequeña cantidad de gas cuando se mezclaba con el nitrato de potasio. Esto es probablemente el resultado de una reacción entre un componente del endurecedor y la pequeña cantidad de humedad residual que permanece en el nitrato de potasio, aún después de secado en el horno. El resultado es un propulsor con una profusión de vacíos microscópicos o burbujas, no menos de 4000 por centímetro cúbico, que constituyen del 10-15 % del volumen total del grano. La consecuencia de tales vacíos es un propulsor con un ratio de combustión tal que incrementa peligrosamente la presión en la cámara de combustión. El exponente de presión (n) se hallaba en la gama de 0.75 a 0.90, considerablemente demasiado alta para un propulsor de cohete seguro y fiable.

Más tarde con la experiencia he aprendido que la desgasificación de la mezcla del propulsor antes de curar, en un contenedor estanco y evacuando la mayor parte del aire (próximo al vacío), extrae eficazmente de la mezcla el gas no deseado. La densidad del propulsor curado aumenta al 94 % o 95 % TMD por encima del 88 % al 89 % TMD que es obtenido sin la desgasificación. El exponente de presión por consiguiente se disminuye a un nivel más práctico y seguro en el orden de 0.4. El aparato requerido y el procedimiento para la desgasificación son, por suerte, bastante simples y se describen en la sección [de Desgasificación al Vacío](#)

Nitrato de Potasio



El grado de pureza del nitrato de potasio requerido para los propulsores RNX no tiene porque ser mejor que el grado "técnico" de pureza del 98-99 % o así. Como tal, el grado de fertilizante o de ciertas marcas como **STUMP REMOVER** son totalmente validos. El nitrato de potasio, sin embargo, debería ser desecado antes del uso (para reducir al mínimo la formación de gas al contacto con la resina de epoxi). Esto se hace extendiendo el material en un recipiente plano, y colocándolo en un horno precalentado a 150oC. durante aproximadamente 2 horas. El nitrato de potasio, que normalmente se suministra en

forma de gránulos, debe ser molido a polvo fino. Esto se logra en un molinillo de café eléctrico, normalmente a 30 segundos por cucharada.

Esto provocará en gran parte una distribución del tamaño de partícula en la gama de 60 a 125 micrones. Como el ratio de combustión de los propulsores basados en nitrato de potasio no es muy afectado por el tamaño de partícula (como lo es para los propulsores basados en perclorato amónico), no es necesaria gran exactitud en el proceso de micronización.

Óxido Férrico



He usado dos fuentes diferentes de Óxido Férrico, el grado químico (utilizado en cosmética), y el grado de pigmento. Este último **GRANASTAR Rojo de ladrillo** es el pigmento usado para colorear el hormigón, comprado en la ferretería local HOME DEPOT. Tome nota de que químicamente, estos son tanto Oxido férrico rojo, como anhydrous (Fe_2O_3). Existen otras formas de óxidos de hierro como el óxido marrón de hierro ($Fe_2O_3 \cdot H_2O$), y óxido negro de hierro (Fe_3O_4). Actualmente desconozco la eficacia de los mismos como sustitutos. Sepa que el óxido marrón de hierro puede ser convertido a rojo (anhydrous) calentándose en un crisol a alta temperatura.

El oxido férrico del tipo cosmético viene en forma de un polvo muy fino y como tal, no requiere ningún tratamiento posterior. El pigmento **GRANASTAR** viene en forma de gránulos, sin embargo, estos gránulos se rompen en un polvo fino cuando se mezcla con el nitrato de potasio en el tambor del mezclador eléctrico (la inclusión de pequeños guijarros oblongos o mármoles de cristal durante el proceso de mezcla facilita esta labor).

Epoxi



RNX-57: EAST SYSTEMS

1032 Resina y 834 endurecedor lento 6:1 proporción de peso

RNX-71. WEST SYSTEMS

105 Resina y 206 endurecedor lento 6:1 proporción de peso



RNX-73 MR. FIBERGLAS

636 resina fluida y 3:1 endurecedor Medio 3:1 proporción de peso

Aunque otras marcas de epoxi puedan ser adecuadas para su uso como propulsor, he observado que las características del ratio de combustión pueden variar considerablemente de una marca a otra. Como tal, no hay actualmente ningún sustituto directo de los epoxies usados en RNX-57, RNX-71V Y RNX-73. Otros epoxies candidatos se comentan posteriormente



Note que la proporción de resina/endurecedor para **EAST SYSTEMS** y para **WEST SYSTEMS** es diferente de la proporción 5:1 sugerida por los fabricantes. La proporción de peso 6:1 se usa para prolongar el tiempo de curado, reducir la viscosidad y reducir al mínimo la autocalentamiento durante la curación.

La temperatura afecta enormemente al tiempo de curación de los epoxies. En teoría, un cambio de temperaturas de 10 grados C (18 grados F.) doblará o reducirá a la mitad el tiempo de curación de un epoxi. Temperaturas más altas bajarán la viscosidad del epoxi, pero también reducirán el tiempo de trabajo. Como el epoxi se autocalienta cuando se mezcla, extendiendo el epoxi en vez de mantenerlo concentrado se ampliará el tiempo de curado

Generalmente los epoxies se hacen demasiado espesos para ser mezclados a temperaturas por debajo 10o C (50o F.). Una mezcla a temperatura de aproximadamente 15-20o C (60-70o F.) es el mejor compromiso.

Otros sistemas de epoxi están también disponibles en ciertas tiendas de arte o tiendas al menudeo como el Wal-mercado. Dos ejemplos son **NU-LUSTRE-55** (en el Wal-mercado local) y **ENVIROTEX LITE**, vendidos en un supermercado de artesanía local. Los dos vienen en forma de kit que contiene dos botellas de 8 onz. (235 ml.) (BPA resina y endurecedor de poliamida). Estos equipos normalmente se usan para crear una superficie gruesa, duradera sobre mesas u otros muebles. El coste para el **NU-LUSTRE-55** es de de 12.84 dólares Canadienses (=\$9.63 USD), el precio de una libra de combustible puedes ser de 7.86 dólares, que es menos caro que el de **WEST SYSTEMS** o el epoxi **de EAST SYSTEMS**. La calidad parece ser similar a la de otros epoxies que se usan actualmente para las formulaciones RNX. Hasta la fecha , estos sistemas de epoxi alternativos no han sido testeados para su uso en una formulación de propulsores RNX.

Aunque no son tan económicos de hacer como a los propulsores de azúcar, los propulsores RNX son relativamente baratos, especialmente cuando se compara con el alto rendimiento de los propulsores basados en AP. El componente más costoso es la resina de epoxi y el endurecedor. El epoxi de **WEST SYSTEMS** actualmente cuesta aproximadamente 96 dolares/1.20 galones. (4.55 litros). Esta cantidad tiene un peso de 11.5 libras. (5.23 kilogramos), suficiente para producir más de 48 libras. (21 kilogramos) de propulsor RNX-71V. El coste unitario sería de 8.35 dólares US/libra. (18.40 \$/kilogramo). El epoxi de **EAST SYSTEMS** tiene un coste similar. El

epoxi de MR. FIBERGLASS es mucho más económico, 49 dólares para 1.33 galones. (5.litros), el coste unitario sería de 3.89 dólares US/libra (8.57 \$/kilogramo).

El coste del óxido férrico rojo depende mucho del proveedor y la calidad. Uso la marca **GRANASTAR** " el colorante de cemento ", que es óxido férrico esencialmente puro y ha funcionado muy bien. El coste de este material, en **HOME DEPOT**, es de de 14 dólares canadienses (= \$10.5 USD) para un envase de 700 gramos (1.54 libras.), lo que da un coste unitario de 6.82 dólares US/libra.(15 \$/kilogramo).

El nitrato de potasio varía considerablemente en el coste dependiendo del proveedor fuente y la calidad. La calidad de fertilizante, que es absolutamente valida, puede costar mas o menos 0.50 dólares la US/libra. Sin embargo, un coste más usual es el de aproximadamente 1 dólar la US/libra. (2.20 \$/kilogramo).

Basándonos en estos datos de costo de componentes, el coste unitario para el RNX-71V Y RNX-73 puede ser calculado como:

RNX-71V

Coste unitario = $0.68 (1.00) + 0.24 (8.35) + 0.08 (6.82) = 0.68 + 2.00 + 0.55 = 3.23$ dólares US/libra. (7.10 \$/kilogramo).

RNX-73

Coste unitario = $0.69 (1.00) + 0.23 (3.89) + 0.08 (6.82) = 0.69 + 0.89 + 0.55 = 2.13$ dólares US/libra. (4.70 \$/kilogramo).

Como se puede ver, el componente mas caro es el epoxi.