

# Richard Nakka's *Experimental Rocketry* Web Site

## A-100M Motor cohete



Traducción de José L. Sánchez

- [Introducción](#)
- [Dimensiones básicas y configuración](#)
- [Tobera](#)
- [Cierre](#)
- [Cuerpo de motor](#)
- [Component masses](#)
- [Propelente](#)
- [Ignición del motor](#)
- [Planos](#)
- [Datos Kn del motor](#)
- [Características.](#)

### Introducción.

El motor cohete *A-100M* es una versión actualizada *del A-100* el motor de clase "G" que fue diseñado hace más de 30 años. Curiosamente, el empleo previsto en principio de este nuevo motor es el mismo que para el motor original - probar nuevas formulaciones de propulsores de azúcar "Candy". El pequeño tamaño, la fiabilidad y la simplicidad del motor *A-100* lo hicieron un candidato ideal para este papel. Algunas modificaciones han sido añadidas en la puesta al día del *A-100M*. En primer lugar, se han incorporado juntas toroidales para sellar la tobera y el cierre, una importante mejora sobre los métodos usados en el diseño original. También, *el A-100M* ha sido diseñado principalmente para el empleo con los *nuevos* propulsores de azúcar, como los KNDX Y KNSB. El propulsor basado en la fructosa KNFR, de nuevo desarrollo, también es utilizable en el *A-100M*. El empleo de estas formulaciones de quemado lento hizo necesario una reducción del diámetro de la garganta de la tobera para aumentar el Kn de acuerdo con las exigencias de estos propulsores. Otra modificación implica el método de montaje del inyector y el mamparo, que incorpora la misma filosofía de diseño usada para motores más recientes como *el Kappa, Juno*, etc.



Figura 1. A-100M Motor cohete

También se ha previsto usar el motor A-100M para vuelos, cuyo objetivo principal sea lanzar pequeñas cargas útiles como una pequeña cámara. Las simulaciones realizadas con el programa [SOAR](#) predice que el motor es capaz de elevar un cohete de 3 libras. (1.4 kg.), con un diámetro de 2 " (5 cm.) a una altitud de más de 1000 pies (300 m).

Ver ficheros de simulación en estos enlaces: [A-100M KNDX](#) [A-100M KNSB](#)

Hasta el momento, el motor A-100M ha sido encendido 15 veces usando varias formulaciones estándar y experimentales. El motor ha funcionado según las expectativas y no fueron observadas ningunas anomalías en su funcionamiento. Tampoco se ha observado erosión alguna en la tobera u otros efectos adversos.



Figura 2 A-100M encendido estático en el banco de pruebas STS-5000

## Dimensiones Básicas y Configuración.

El grano de propulsor es completamente libre, sin restricciones de quemado. La geometría del mismo es básicamente un cilindro hueco, aunque un extremo tenga forma tronco cónica debido a la operación de moldeado, ya que el grano se moldea usando el motor como matriz y por ello, la sección tronco cónica es producida por la parte convergente de la tobera. Las ventajas de quemado sin restricción incluyen la simplicidad de preparación de grano, y su alta fiabilidad, dado que no hay inhibidor, no existe la posibilidad de fallo del mismo, del mismo modo se aumenta el área de quemado (así como la presión de cámara). Una desventaja es que la cubierta está expuesta a una temperatura extrema de convección, y hace necesario el empleo de acero como material de la misma.

El motor está diseñado para romperse, en caso de la sobrepresurización, de manera "axial". Los dos tornillos del cierre superior han sido dimensionados para cizallarse a una presión de aproximadamente 2000 psi (136 atm), salvo el cierre superior, la cubierta tiene una presión de explosión considerablemente más alta.

Una vista en sección del motor *A-100M* montado se muestra en la Figura 2. Con el nombre de los componentes principales.

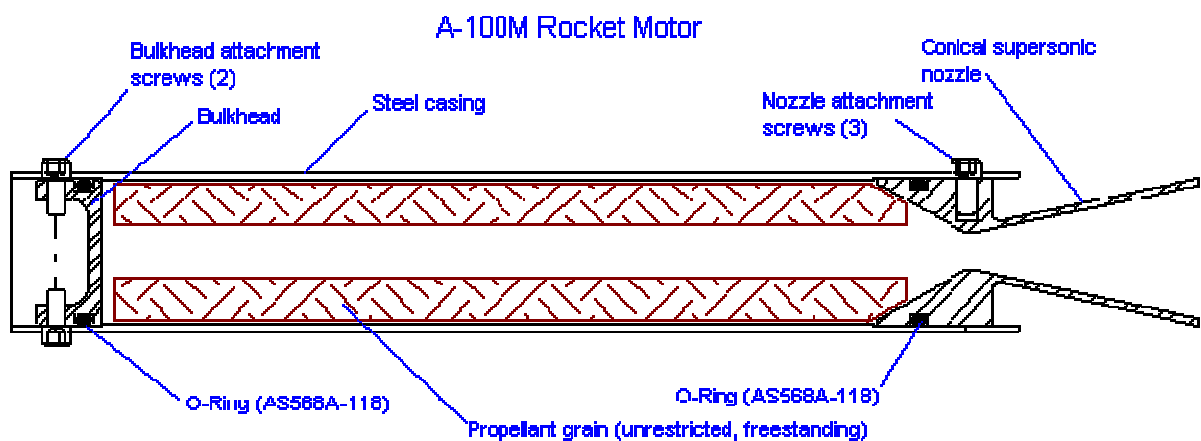


Figura 3. Vista en sección del motor *A-100M* montado

## Tobera.

La tobera es de perfil cónico, del tipo supersónico de Laval mecanizada en acero bajo en carbón (AISI 1018). Los medios ángulos son de 30° convergente y 12° divergente, son los mismos que los usados para el original *A-100*. El ratio de expansión es de 12.4, y la presión normal de funcionamiento está entre

1000 psi y 1200 psi (6.9 MPa y 8.3 MPa), con MEOP son 1600 psi (11 MPa.) . El inyector se fija con tres tornillos de 8-32 x 1/4 de acero inoxidable (18-8). Los tornillos de acero inoxidable son necesarios debido a su alta resistencia al cizallamiento 70 kip/in<sup>2</sup> (480 MPa), mientras que los tornillos normales de acero, tienen una resistencia de 45 kip/in<sup>2</sup> (300 MPa). Las cabezas cilíndricas estandar de los tonillos se mecanizan reduciendo su diámetro para conseguir un sellado eficaz y fiable a la presión, se utiliza una sólo junta toroidal impregnada en grasa de silicona. En los encendidos de prueba efectuados hasta ahora se han usado exclusivamente juntas toroidales estandar de nitrilo de butadieno. Se ha constatado que la junta de tobera puede ser reutilizada varias veces si esta han sido lubricada con grasa protectora. No obstante es considerada como una buena práctica la sustitución de las juntas despues de cada disparo.

Para un funcionamiento óptimo, es importante que la entrada de la garganta esté [bien redondeada](#) para acelerar más gradualmente los productos de combustión. Esto reduce la perdida de rendimiento asociada al retraso de la velocidad de flujo de dos fases (ver la sección [SRM Theory](#) para mas detalles).

### **Cierre superior.**

El cierre superior está mecanizado en acero bajo de carbón (AISI 1018). Este se fija con dos tornillos 8-32 x 1/4 de acero inoxidable (18-8). Las cabezas estandar de los tornillos son mecanizadas a un diámetro menor. Para la lubricación de la junta toroidal se utiliza grasa de silicona. Es apropiado el uso de juntas toroidales estandar de nitrilo de butadieno Se ha constatado que la junta de la tapa superior puede ser reutilizada varias veces si esta han sido lubricada con grasa protectora.

### **Cubierta.**

La cubierta del motor está hecha de tubo de acero de 1" [EMT](#) ( Tubería Metálica Eléctrica). Este tipo de tubería es de costura soldada. Para proporcionar un buen sellado en las zonas de contacto con las juntas tóricas, el tubo deberá ser torneado en su interior en ambos extremos para eliminar totalmente las imperfecciones superficiales provocadas por la costura. El tubo EMT está recubierto de zinc plateado. Este revestimiento tiende a producir ampollas y descoloración cuando se expone a las altas temperaturas de funcionamiento del motor. Aunque no es realmente necesario, el revestimiento puede ser eliminado mecanizando la superficie exterior con un torno.

Los taladros para los tornillos del cierre superior estan sometidos a una alta tensión de estiramiento. Después del primer encendido del motor es posible apreciar alguna pequeña deformación de los mismos. Esto no es perjudicial y ocurre sólo una vez, ya que el material por efecto del estiramiento se endurece en sea zona evitando posteriores deformaciones.

### **Peso de los Componentes.**

Lo siguiente es un análisis de la masa típica de cada componente del motor A-100M.

Comp.	Gram.	lbs.
Tobera	80	0.18
Cierre	60	0.13
Cuerpo	155	0.34
Tornillos (5)	5	0.01
Juntas (2)	1	0.002
Total	301	0.663

Tabla 1. Peso de los componentes del motor.

### Grano Propulsor.

El grano propulsor es libre, cilíndrico hueco sin inhibidores de combustión. El final inferior del mismo es cónico, como consecuencia de moldearlo en el propio cuerpo del motor. El grano deberá entrar con una ligera holgura dentro del motor para facilitar la combustión de la superficie externa del mismo. La masa nominal es 100 gramos. Sin embargo, el motor seguramente puede admitir un grano de hasta el 115 % del nominal. Para mejorar el encendido y el funcionamiento total, el grano deberá ser cubierto de una imprimación de nitrato potásico/carbón (Ver el enlace [COMBUSTION PRIMER](#)).

El moldeado del grano para este motor se detalla en [Propellant Casting and Grain Preparation](#) (Ver enlace). Debido a las inevitables pérdidas de mezcla por derrame u otros, es necesario preparar aproximadamente un 50 % más de material propulsor que el necesario para el tamaño final del grano. Por ejemplo, para hacer un grano de KNDX, por lo general deberá prepararse 150 gramos de material de los cuales, 97.5 gramos son de nitrato de potasio y 52.5 gramos de anhídrido de dextrosa.

El diseño del motor *A-100M* fue optimizado para el propelente a base de dextrosa [KNDX](#). Sin embargo, este motor se puede usar con muchas otras formulaciones de base de azúcar. Hasta el momento, el motor también ha sido probado satisfactoriamente con variaciones basadas en sorbitol y fructosa así como estos mismos propulsores dopados con aditivos tales como el óxido de hierro (RÍO) y glicerina. Estos dos aditivos son eficaces tanto en reducir la viscosidad de la mezcla fundida del propulsor, como para facilitar la operación de moldeado del grano. También, los granos de baja viscosidad producidos con las proporciones de 60/40 O/F (oxidante/combustible) han sido moldeados y sometidos a las pruebas de encendido. La Tabla. 2 muestra algunas formulaciones que, han sido satisfactoriamente testeadas en pruebas estáticas con el motor *A-100M* y para cuyo fin han sido obtenidas. Las formulaciones han sido catalogadas por orden facilidad de moldeo desde "1" la más fácil de moldear hasta la " 7" la más exigente (requiere pala, apisonado y embalado).

Acronyrr	Casting index	Formulatioir
KN-FR40	1	60% KN, 40% Fructose
KN3D-R O	2	65% KN, 35% Sorbitol + 0.5% Red Iron Oxide
KNFR	3	65% KN, 35% Fructose
KN-DX-GLY	4	65% KN, 35% Dextrose + 6.5% Glycerine
KNSB	5	65% KN, 35% Sorbitol
KN-DX4C	6	60% KN, 40% Dextrose
KNDX	7	65% KN, 35% Dextrose

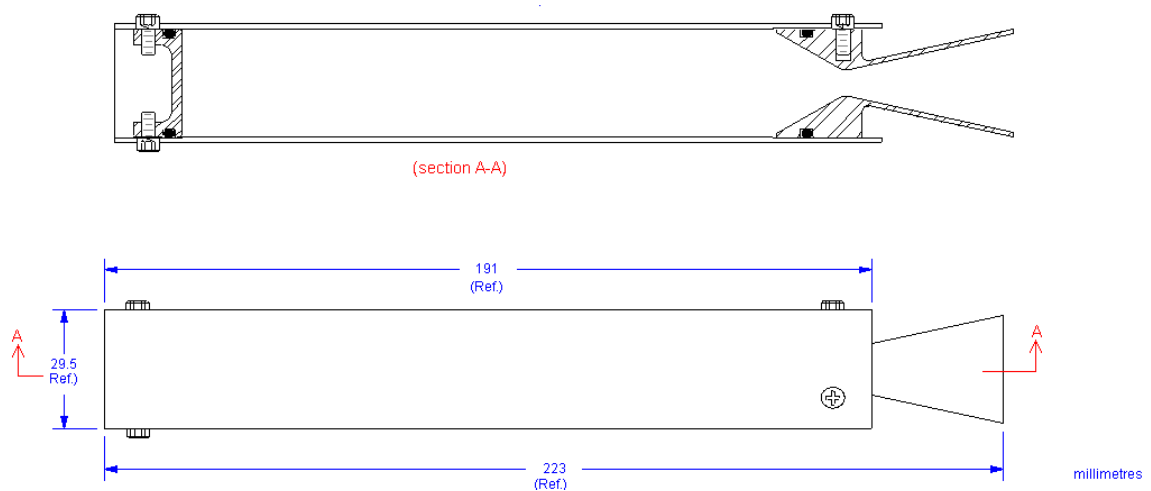
Tabla 2. Algunas formulaciones probadas

Aunque no haya sido proyectado para su empleo con propulsores a base de sacarosa (KNSU), el motor *A-100M* puede usarse satisfactoriamente con esta formulación, aumentando el diámetro de la garganta de la tobera, tal como se indica en el plano de la misma.

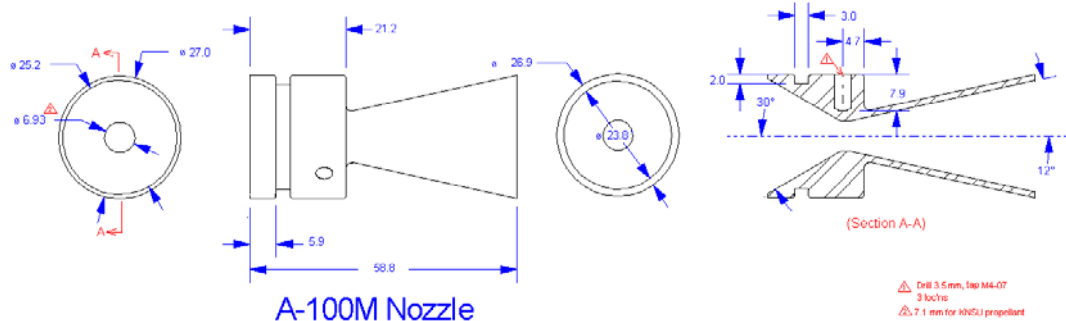
### Ignición del motor.

Para obtener el máximo rendimiento de funcionamiento del motor, deberá usarse un ignitor de pólvora negra (BP). El diseño de tal encendedor es detallado en [Igniters & Ignition Systems](#) (Ver enlace). La ventaja de este tipo de encendedor consiste en su combustión casi instantánea con la consiguiente presurización del motor. Ello facilita la ignición de todas las superficies expuestas del grano. El ignitor se instala en el extremo superior del corazón del mismo.

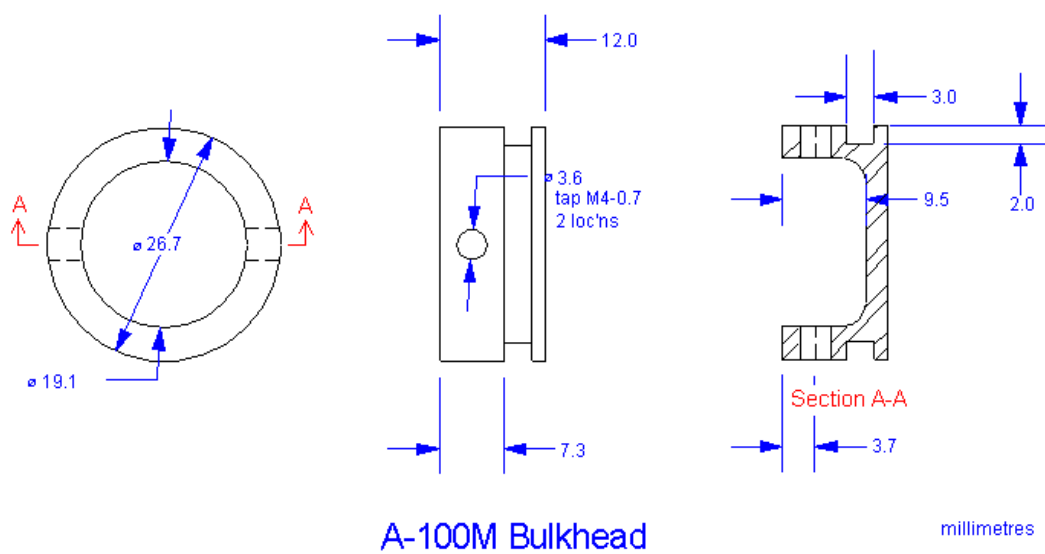
### Planos.



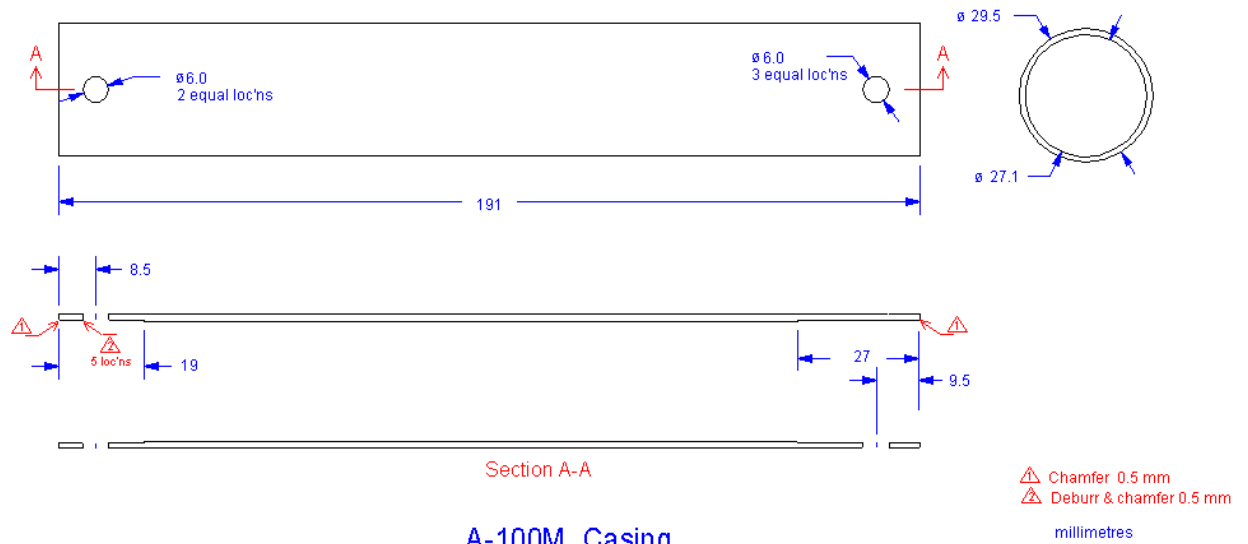
Montaje del motor



**Tobera**

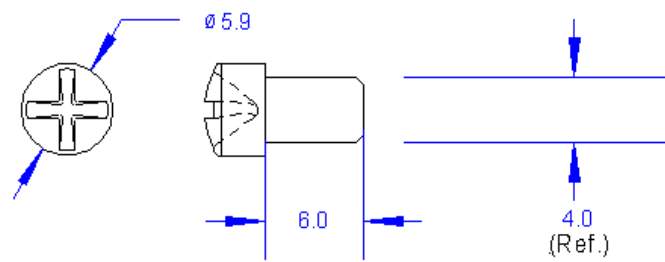


**Cierre superior**



A-100M Casing

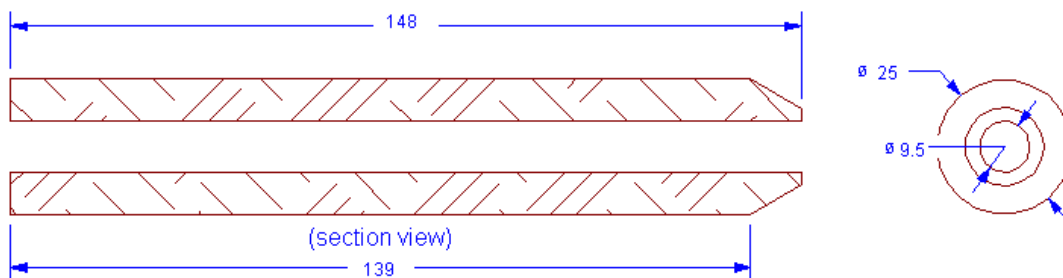
Cuerpo de motor



Make from M4-0.7 x 6  
 pan head machine screw  
 Material: 18-8 stainless steel

A-100M Nozzle & Bulkhead attachment screws

Tortillería



A-100M Propellant Grain (110%)

millimetres

Grano



### Datos $Kn$ del motor.

El  $Kn$  de un motor es de fundamental importancia, representa la proporción **entre el área de la superficie de combustión y el área transversal de la garganta**. El  $Kn$  normalmente variará durante el tiempo de combustión de un motor, debido a los cambios de geometría del grano como consecuencia de regresión de las superficies en combustión. Para el motor *A-100M*, el  $Kn$  es casi neutro, aunque ligeramente regresivo. Ciertamente un grano cilíndrico hueco con sólo la superficie diametral externa y el corazón expuesto a la combustión es de combustión totalmente neutra. Dado que ambos extremos del grano *A-100M* están expuestos a la combustión, y por tanto la longitud de grano se está continuamente reduciendo debido a la combustión del mismo, el perfil  $Kn$  es regresivo.

El  $Kn$  es un parámetro clave en el diseño de motor, ya que este determina su presión de funcionamiento. La Figura 4 muestra el  $Kn$  versus recesión de web en para un grano nominal (100 %).

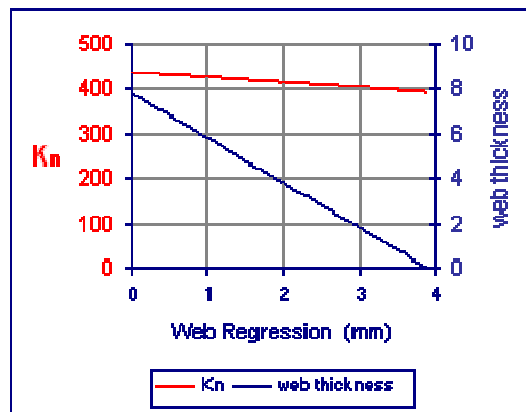
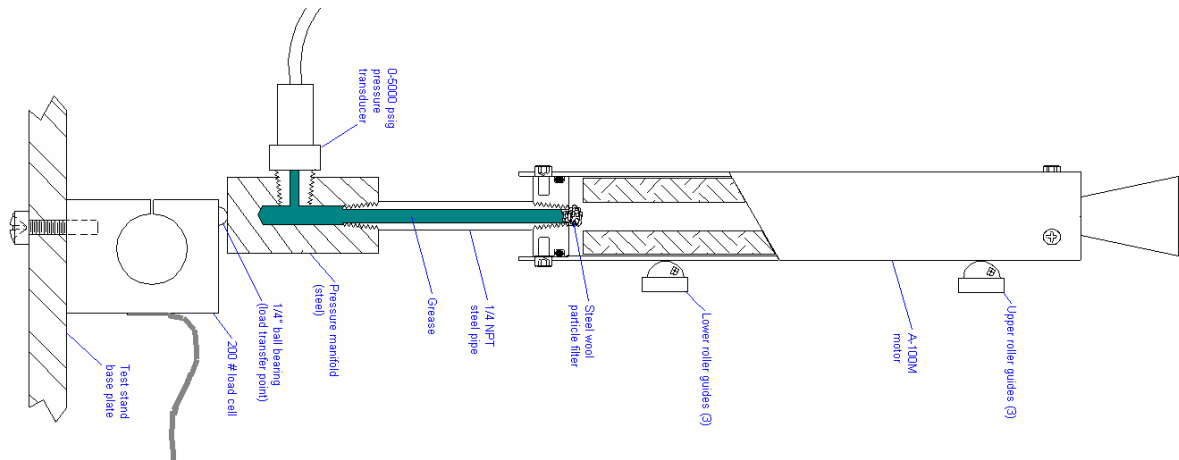


Figura 4.  $Kn$  en función del grosor de web.

### Rendimiento del motor.

Las curvas de rendimiento del motor *A-100M* han sido obtenidas de varias pruebas estáticas realizadas utilizando el [SS 5000](#), banco de pruebas electrónico de adquisición de datos. Tanto el empuje del motor como la presión de cámara fueron registrados. El empuje fue medido con el empleo de una célula de carga de 200 libras. (900 N.) de capacidad y la presión fue medida usando transductor de presión Omega PX300 0-5000 psig . La célula de carga estaba dotada de cuatro sensores de tensión, dos activos y dos pasivos, en configuración puente de Wehatstone y un aplicador de tensión basado en el aplicador de instrumentación INA 122. Ambos sensores fueron conectados a un convertidor analógico-digital de varios canales DATAQ 154RS y los datos obtenidos grabados en una computadora portátil. El transductor de presión fue

protegido de los gases calientes de la combustión del motor por un colector lleno de grasa, tal como se ilustra en la siguiente figura.



Varias curvas de empuje para distintas formulaciones de propulsor se presentan en la Figura. 5. Las curvas correspondientes a la presión de cámara del motor se presentan en la Figura 6.

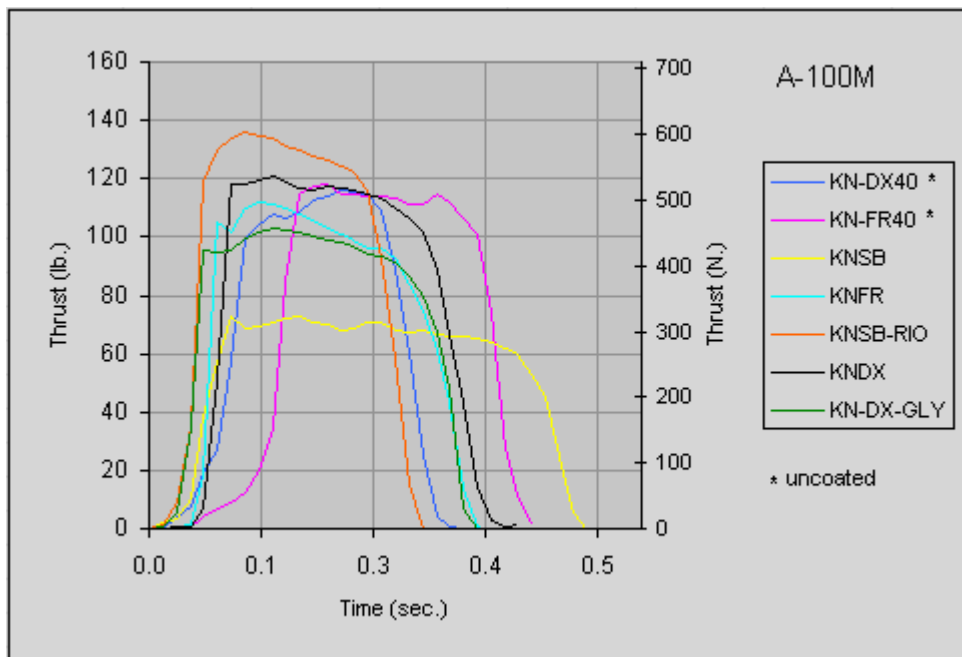


Figura 5. Empuje/tiempo

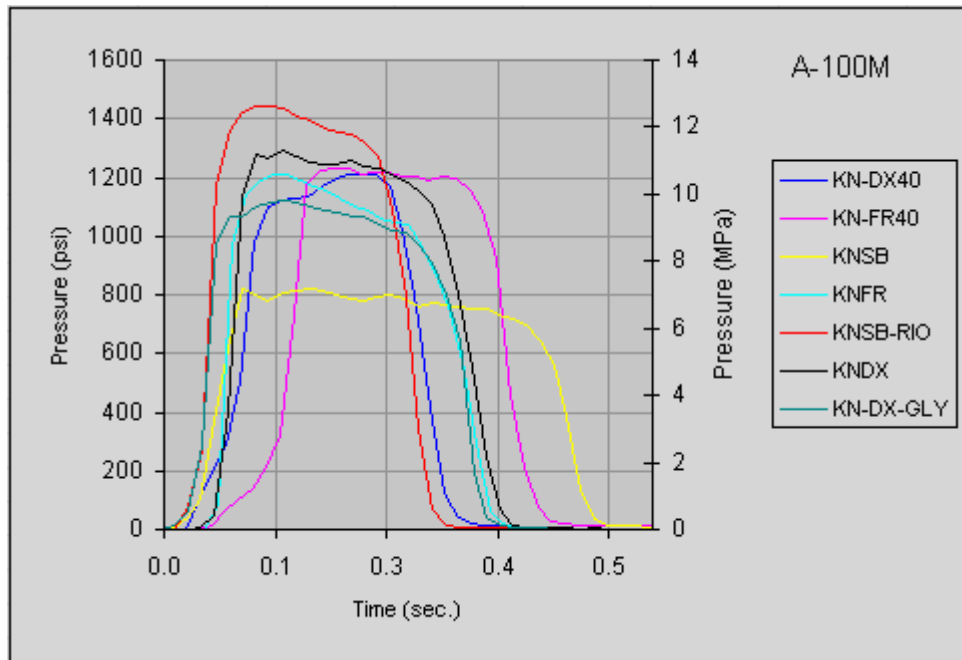


Figura 6. Presión de cámara/tiempo.

La Tabla 3 presenta una relación de los rendimientos de funcionamiento obtenidos de varias pruebas del motor. Los impulsos totales varían en parte, debido a la diferencia de masas entre los distintos granos utilizados para las mismas. Es interesante observar como los valores de impulso específico para las formulaciones 60/40 de O/F (Oxidante/combustible) no son significativamente menores que las del estándar 65/35. Para los propulsores de dextrosa, por ejemplo, la formulación 60/40 tiene aproximadamente un 5 % Isp más bajo que el estándar KNDX. Las pérdidas de inyector para el primero son notablemente inferiores, como puede verse mirando los valores del [Coeficiente de Empuje](#), que para las formulaciones más ricas de combustible 60/40. Esto evidentemente podría ser debido a bajas pérdidas de flujo de dos fases, el porcentaje de partículas de condensación en los productos de gases de combustión es una cantidad inferior al 40.9 % para la proporción 60/40, contra el 42.5 % para la proporción estándar 65/35 (basado en el análisis GUIPEP). Observe que el Coeficiente de Empuje muestra valores promediados, valores constantes.

Formulation:	KN-DX40	KN-FR40	KNSB	KNFR	KNSB-RIO	KNDX	KN-DX-GLY
Grain mass (g.):	89	110	108	103	110	113	109
Total impulse (N-sec)	111	138	129	130	139	148	133
Isp (sec.)	127	126	122	129	129	133	124
c* (m/s)	838	848	861	873	858	881	847
Thrust Coefficient, Cf	1.63	1.62	1.50	1.56	1.59	1.59	1.55

Tabla 2. Rendimientos

Las figuras de rendimiento para el propulsor KNSB sufren las consecuencias de un motor optimizado para el propulsor KNDX. Como tal, KNSB produce una

presión de cámara inferior, con el resultado de un empuje medio mas bajo, un tiempo de combustión más largo y un impulso específico mas bajo. Si el motor *A-100M* se optimizara para KNSB, el tamaño de garganta de la tobera tendría que ser reducido para aumentar la presión de cámara a un valor similar al del KNDX.

Es interesante comparar los resultados reales de las pruebas con los resultados calculados con el software de diseño para motores *SRM*. La Figura 7 muestra una comparación del empuje y curvas de presión reales para el KNDX representadas en la Tabla 3 y las curvas correspondientes previstas con el *SRM*. La eficacia asumida es la eficacia de combustión "estándar" del 95 % y los valores de eficacia de la tobera son del 85 %. La correlación está muy bien, sobre todo para la presión de cámara. El empuje está por debajo de lo previsto. Esto es debido probablemente a la aproximación simplificada tomada por el *SRM* con respecto a la eficacia del inyector, con todas las pérdidas del mismo agrupadas como una sola entidad. El resultado es una baja predicción del Coeficiente de Empuje, con la previsión del *SRM* de  $C_f = 1.50$ , mientras el valor obtenido en las pruebas era de  $C_f = 1.59$ .

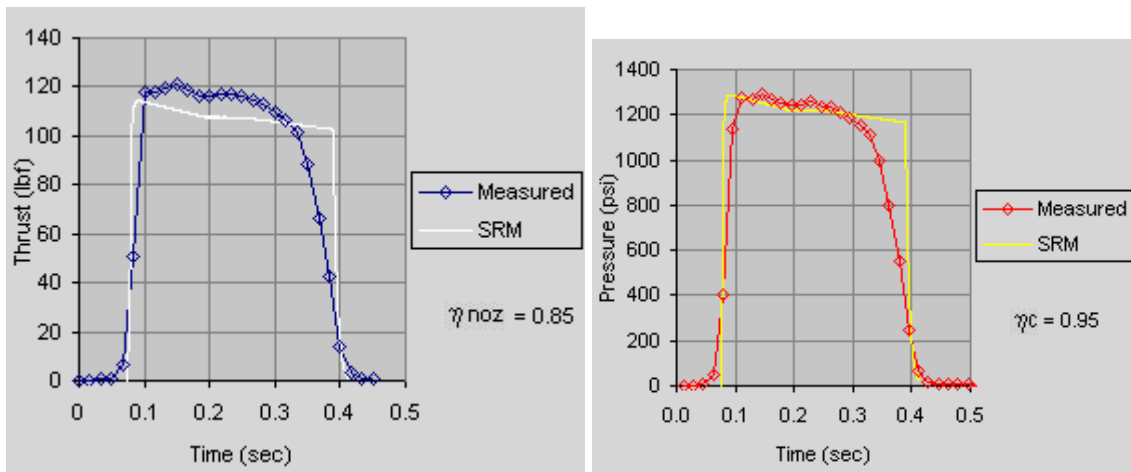


Figura 7. Comparación de valores reales y previstos

Ultima actualización 14 de Febrero de 2006