



Clase 1: Propulsión

← Ing. Esteban Jiménez Sánchez



ACC
ASOCIACIÓN COSTARRICENSE DE COHETERÍA

¿Qué es la ACC?



Misión

Fomentar el aprendizaje, la seguridad y la innovación en la cohetería, promoviendo la colaboración y proporcionando un entorno seguro para lanzamientos experimentales

Cronograma



Fecha	Teoría	Práctica
10/Mar/2025	<u>Clase 1:</u> Conceptos Fundamentales	Intro. a taller / Prueba de motor?
17/Mar/2025	<u>Clase 2:</u> Propelentes	Preparación de Candy Fuel
24/Mar/2025	<u>Clase 3:</u> Diseño de Motores 1 (Flujo Compresible)	Construcción de motor de PVC Prueba de motor?
31/Mar/2025	<u>Clase 4:</u> Diseño de Motores 2 (Diseño de Tobera)	Diseño de motor metálico
7/Abr/2025	<u>Clase 5:</u> Diseño para Resistencia de Materiales	Construcción inicial de motor metálico
14/Abr/2025	SEMANA SANTA	
21/Abr/2025	Semana Universitaria	
28/Abr/2025	<u>Clase 6:</u> Diseño de Proyecto	Sesión para construcción de Proyecto

Proyecto



Diseño, Construcción y Prueba de un motor de cohete

- Motor puede ser en Aluminio o PVC
- Debe ser de clasificación G o inferior (certificados pueden hacerlo tan grande como su nivel de certificación lo permita)
- Debe tener empuje suficiente para levantar el peso del motor.

Seguridad



1. A ROCKET PROPELLANT IS ONLY A HAIR'S BREADTH AWAY FROM BEING AN EXPLOSIVE COMPOUND. UNDER THE PROPER CONDITIONS OF HEAT AND PRESSURE IT *IS* AN EXPLOSIVE COMPOUND.
2. THERE IS NO ESSENTIAL DIFFERENCE BETWEEN A ROCKET AND A BOMB, EXCEPT THAT THE ROCKET HAS A HOLE IN ONE END (AND THIS HOLE CAN BECOME BLOCKED).
3. A ROCKET IS A FREE-FLIGHT PROJECTILE. IT FLIES FAST ENOUGH TO KILL.

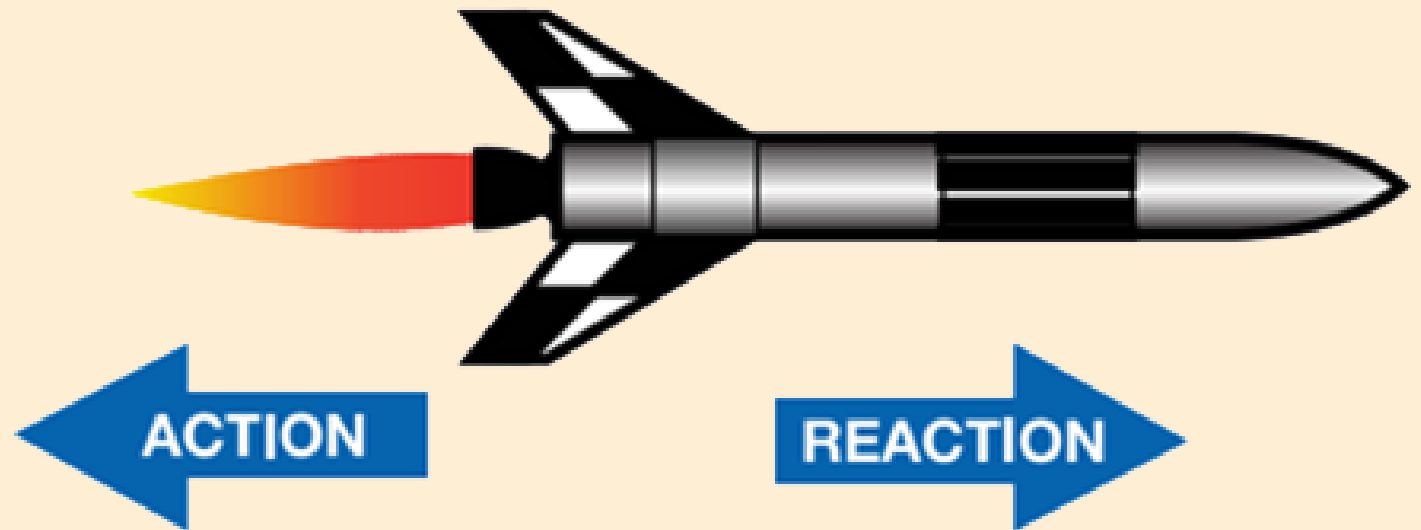
- Rocket Manual for Amateurs

¿Qué es un cohete?

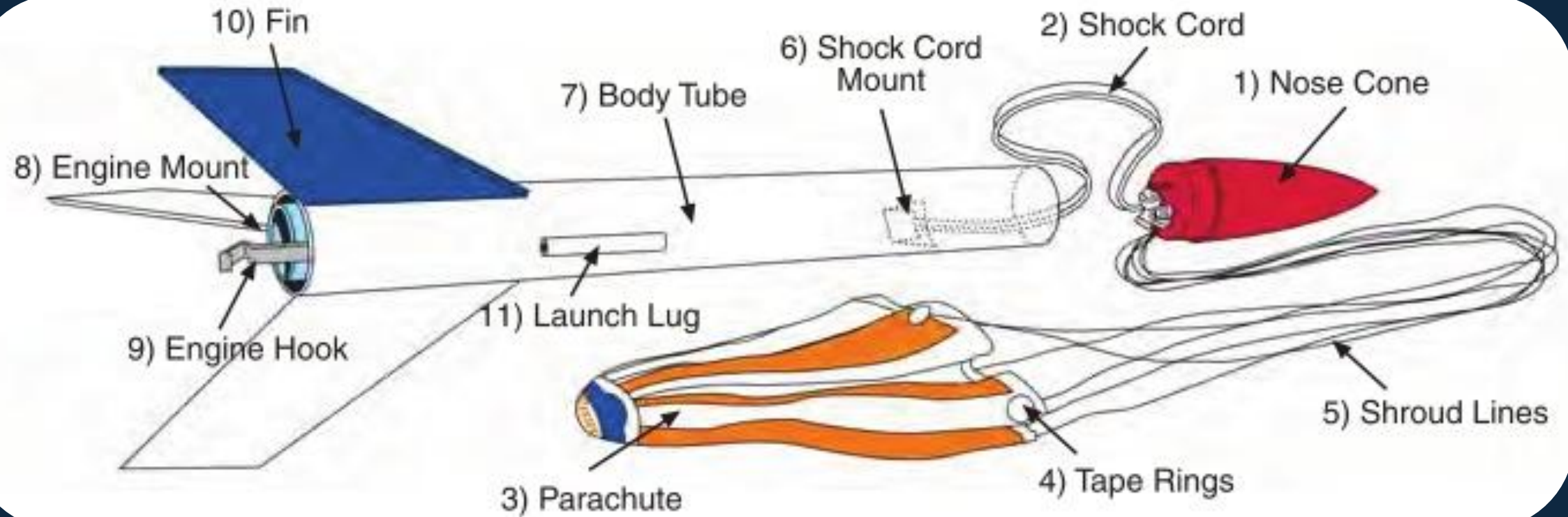


“Un cohete es todo vehículo que obtiene su empuje mediante la expulsión de masa en la dirección contraria a su movimiento”

↓
III Ley de Newton



Componentes de un cohete



Escala de Cohetería



**Modelo
Amateur**



Sub-Orbital



Orbital

Tipos de Propulsión



Química

Sólida
Líquida
Híbrida

Eléctrica

Estática
Magnética
Térmica

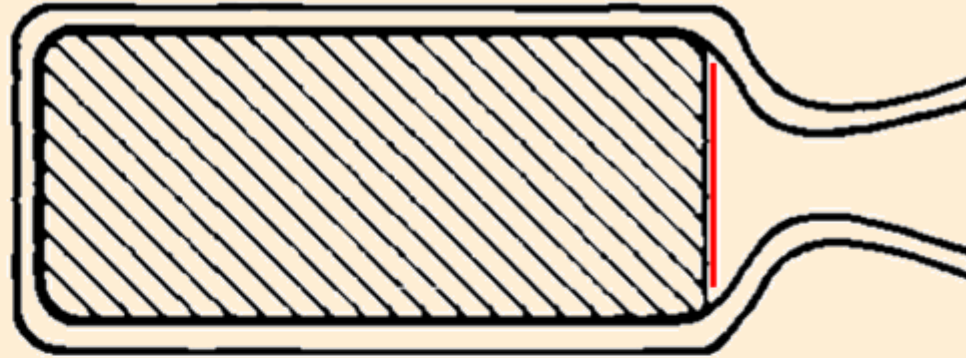
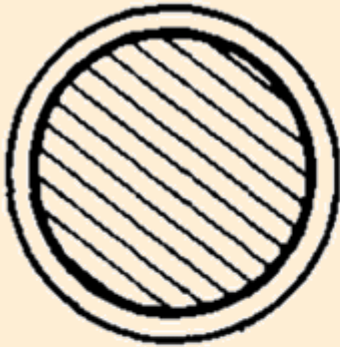
Otros

Gas
Solar
Nuclear
Alcubierre warp drive

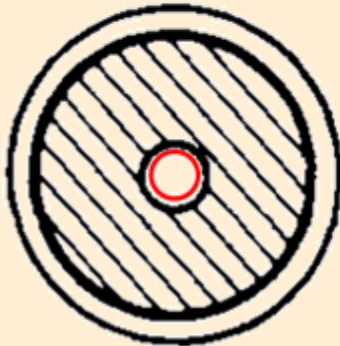
Tipos de motor



Propellant



End-burner

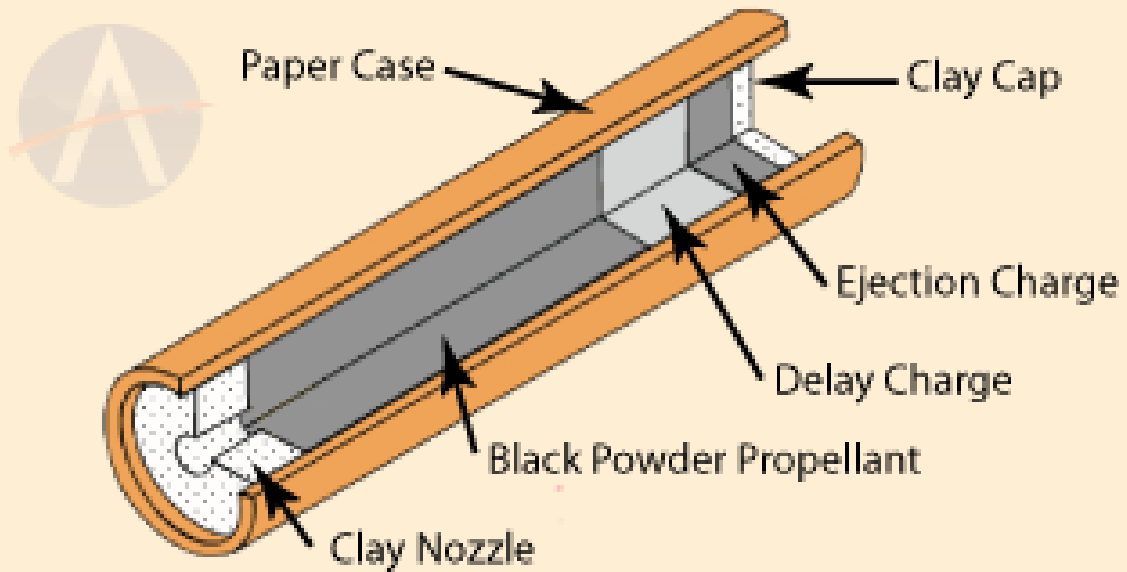


Internal burning tube

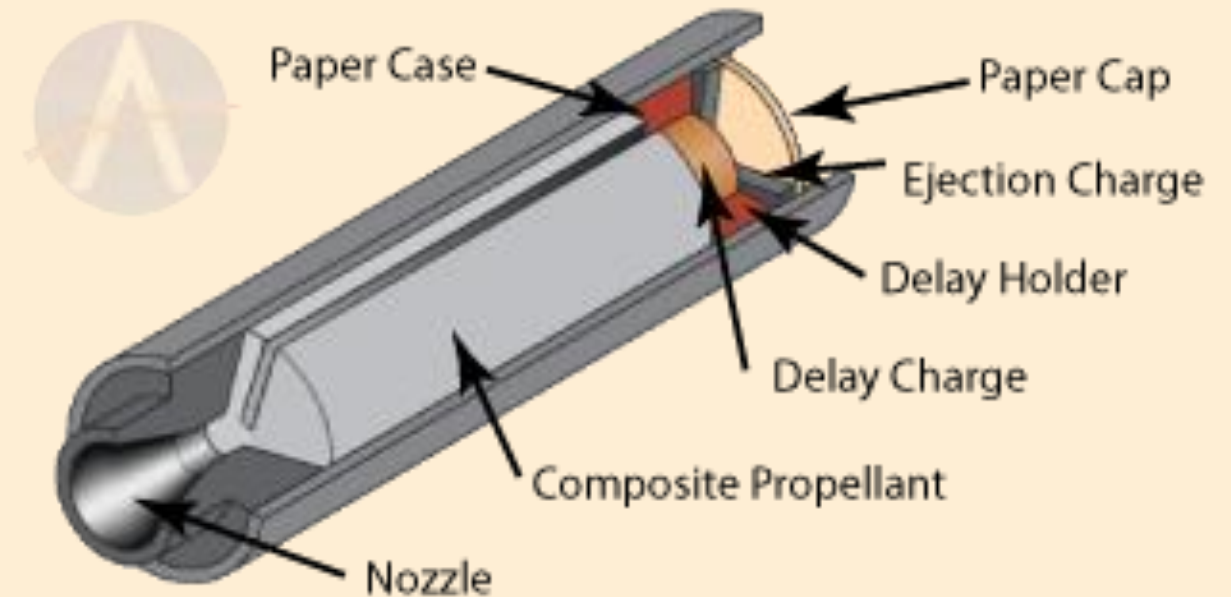
Tipos de motor



Motor de Pólvora Negra



Motor de Combustible Compuesto



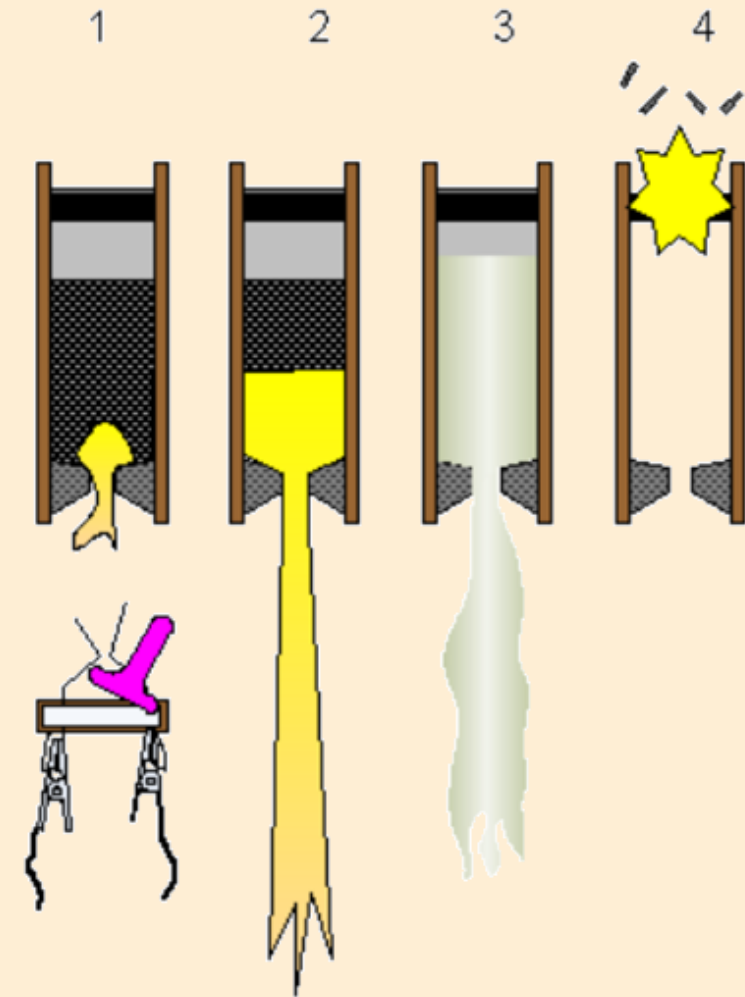
Comportamiento de Motor - Endburner



Fases de motor



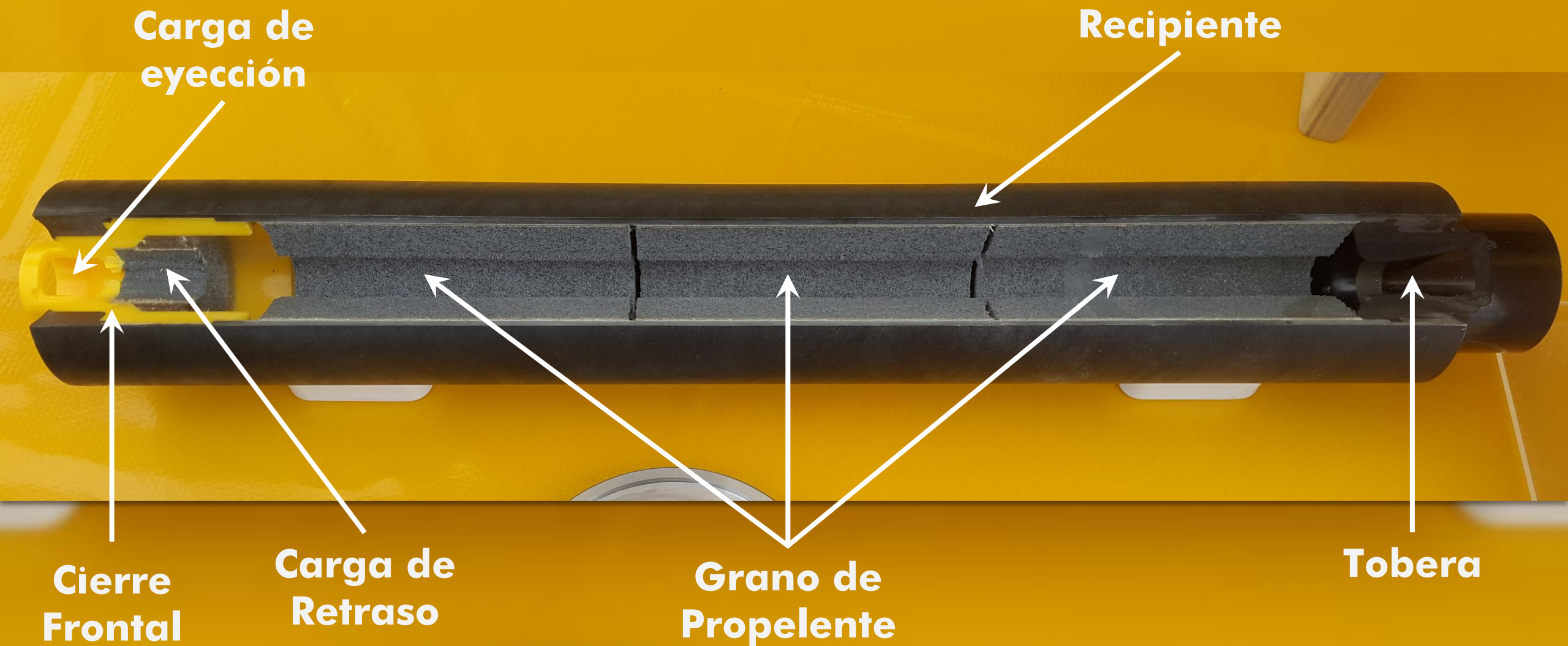
1. Ignición
2. Combustión
3. Fase Inercial (Quemado de Retraso)
4. Detonación de Carga de Eyección



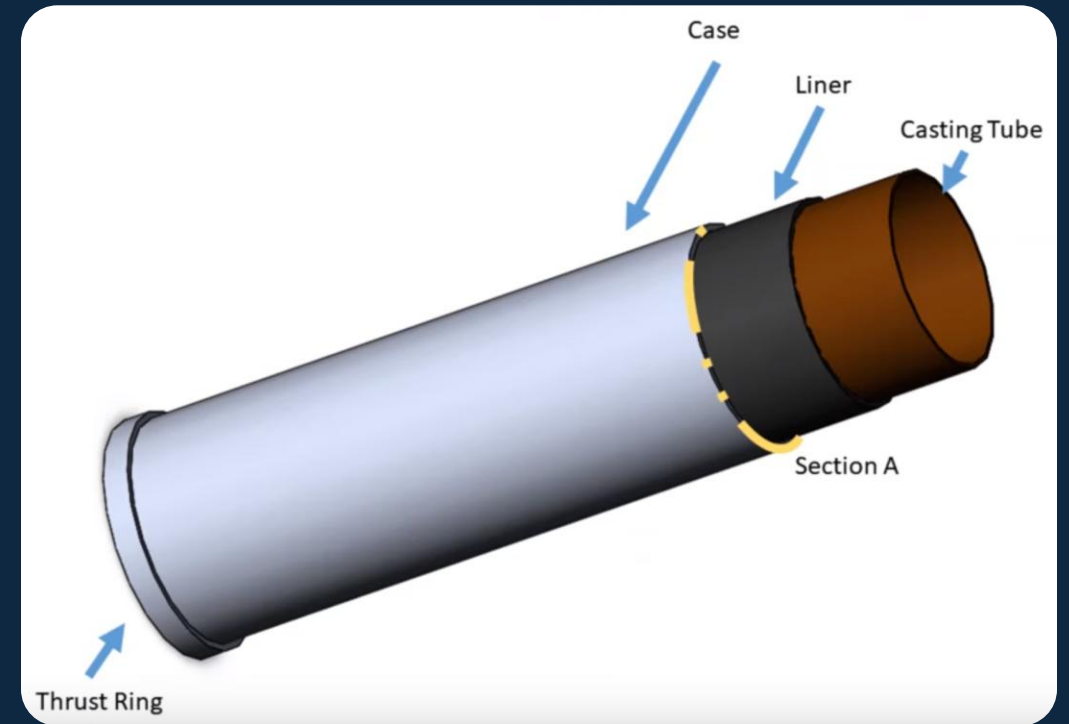
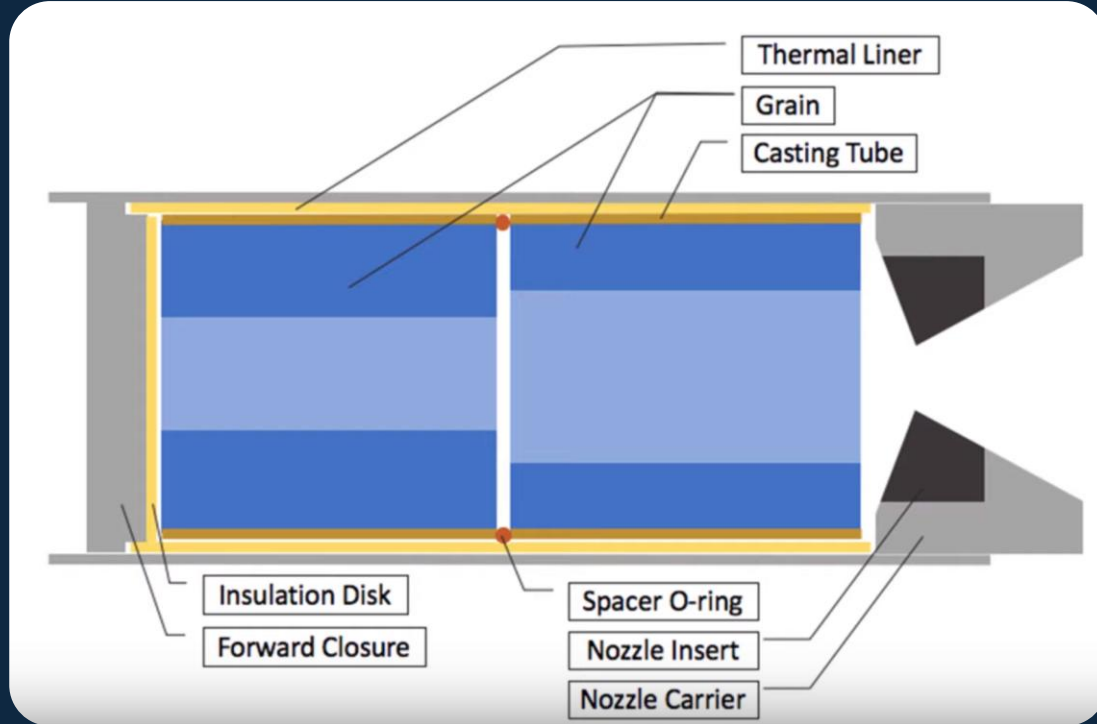
Comportamiento de Motor - Coreburner



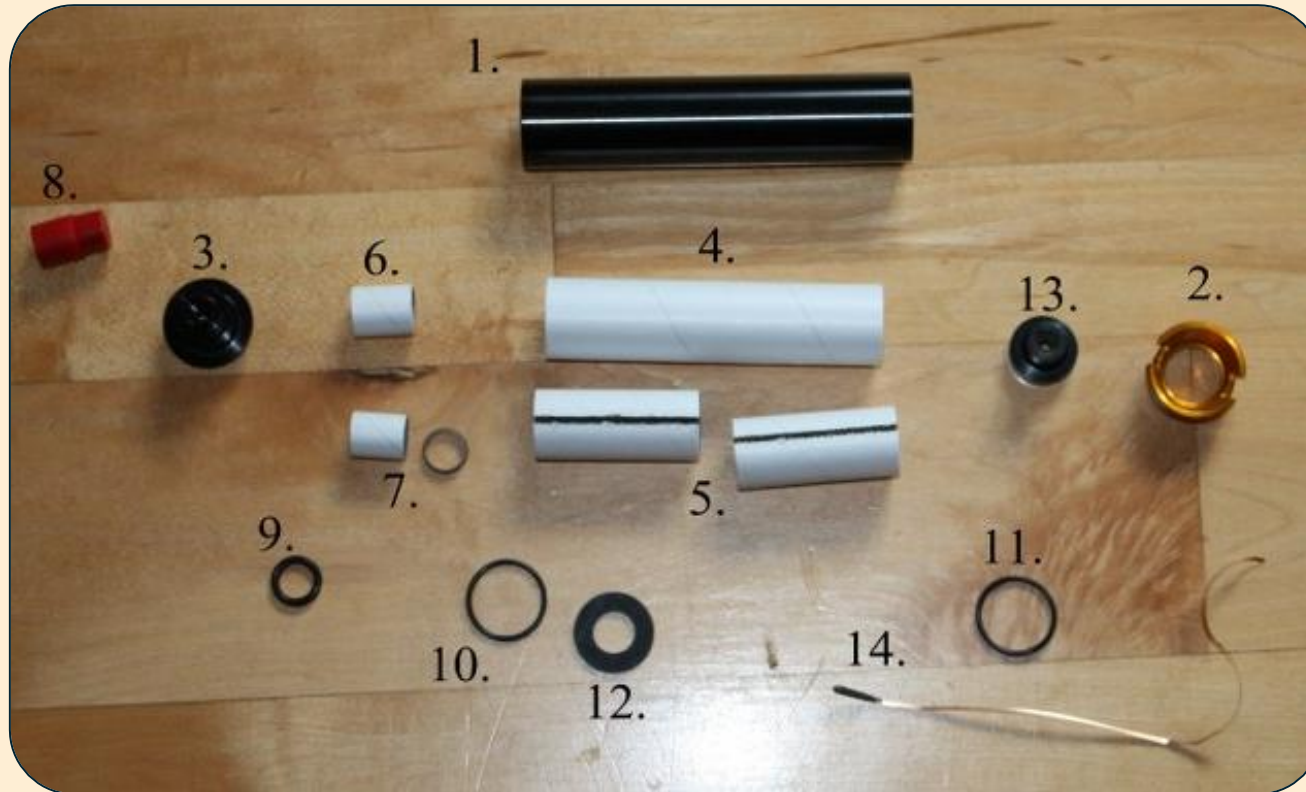
Estructura



Estructura



Estructura



1. Motor Casing
2. Aft Closure
3. Forward Closure (Header)
4. Liner
5. Propellant Grains (with casting tubes)
6. Delay Insulator
7. Delay Grain
8. Black Powder Charge
9. Delay O-Ring
10. Forward O-Ring
11. Aft O-Ring
12. Forward Insulator
13. Nozzle
14. Electric Igniter



Repaso de Física

Momento



- El momento es una cantidad física asociada a la velocidad y la masa de un objeto.

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

- **Ley de Conservación del Momento:**

$$\sum \vec{p}_1 = \sum \vec{p}_2$$

Flujo másico (Caudal)



Cantidad de masa trasladada por unidad de tiempo

$$\dot{m} = \frac{m}{t}$$

Segunda Ley de Newton



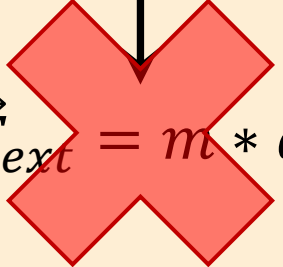
$\vec{p}$: Momento

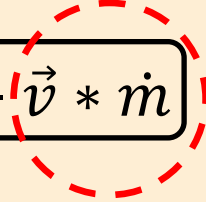
$$\vec{p} = m * \vec{v}$$

$$\sum \vec{F}_{ext} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

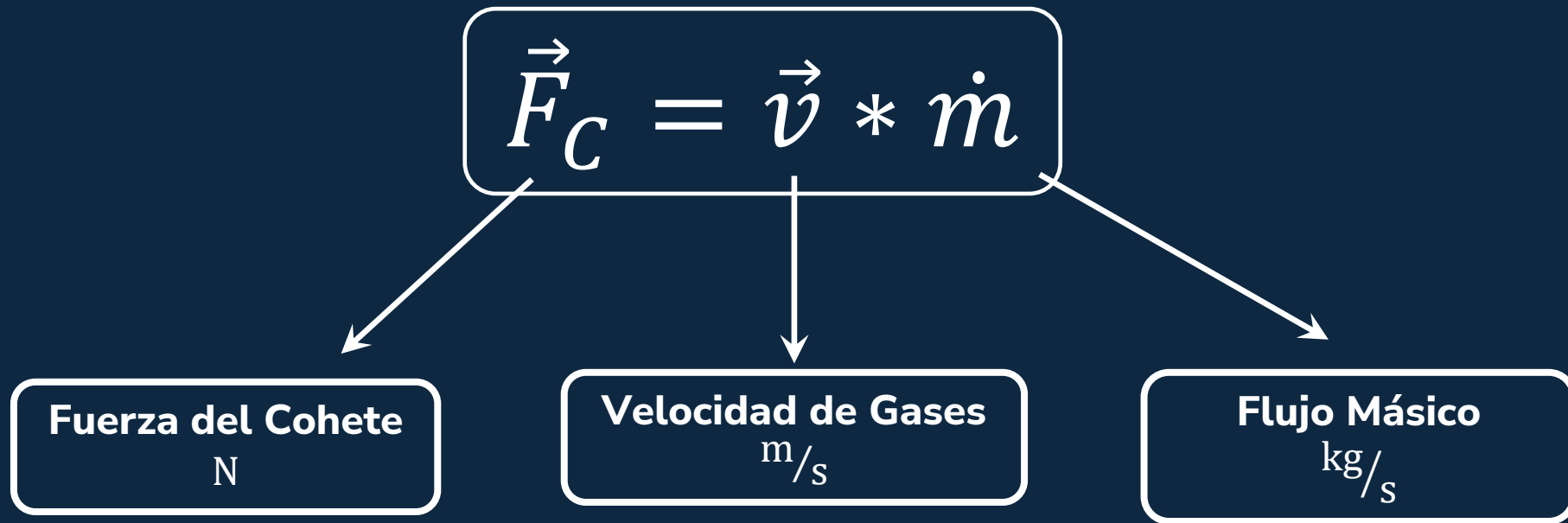
Masa Constante

Masa Variable


$$\vec{F}_{ext} = m * \vec{a}$$

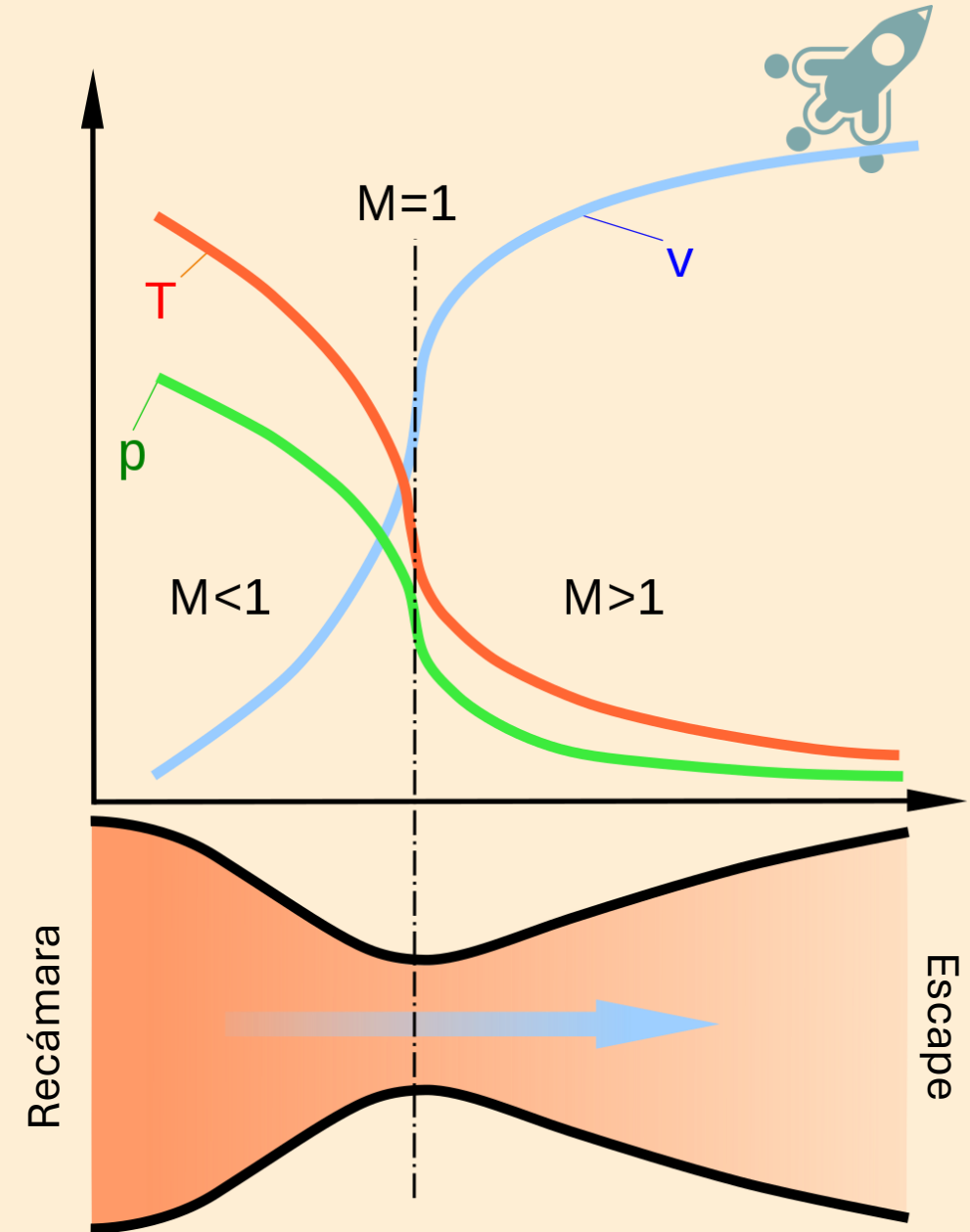
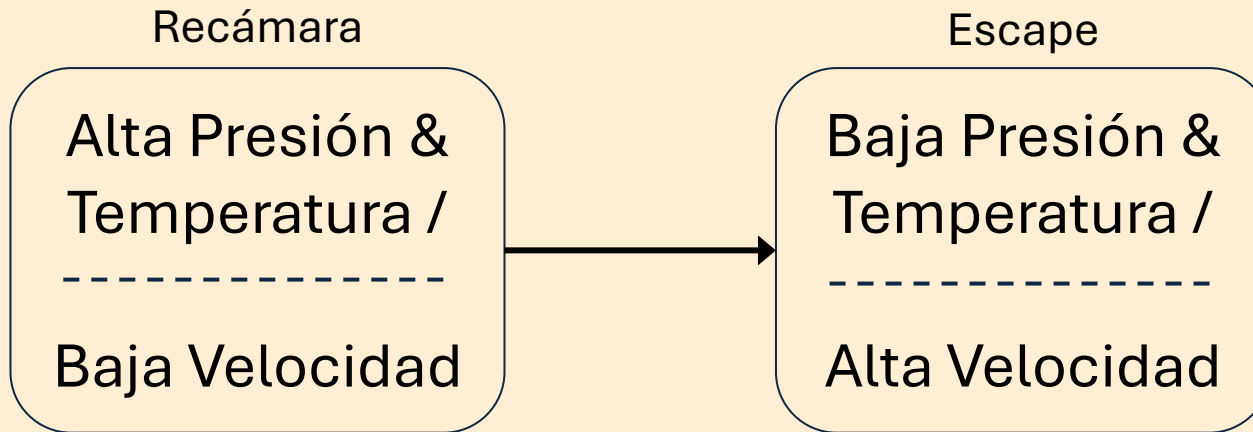

$$\vec{F}_{ext} = m * \vec{a} - \vec{v} * \dot{m}$$

Fuerza del Cohete

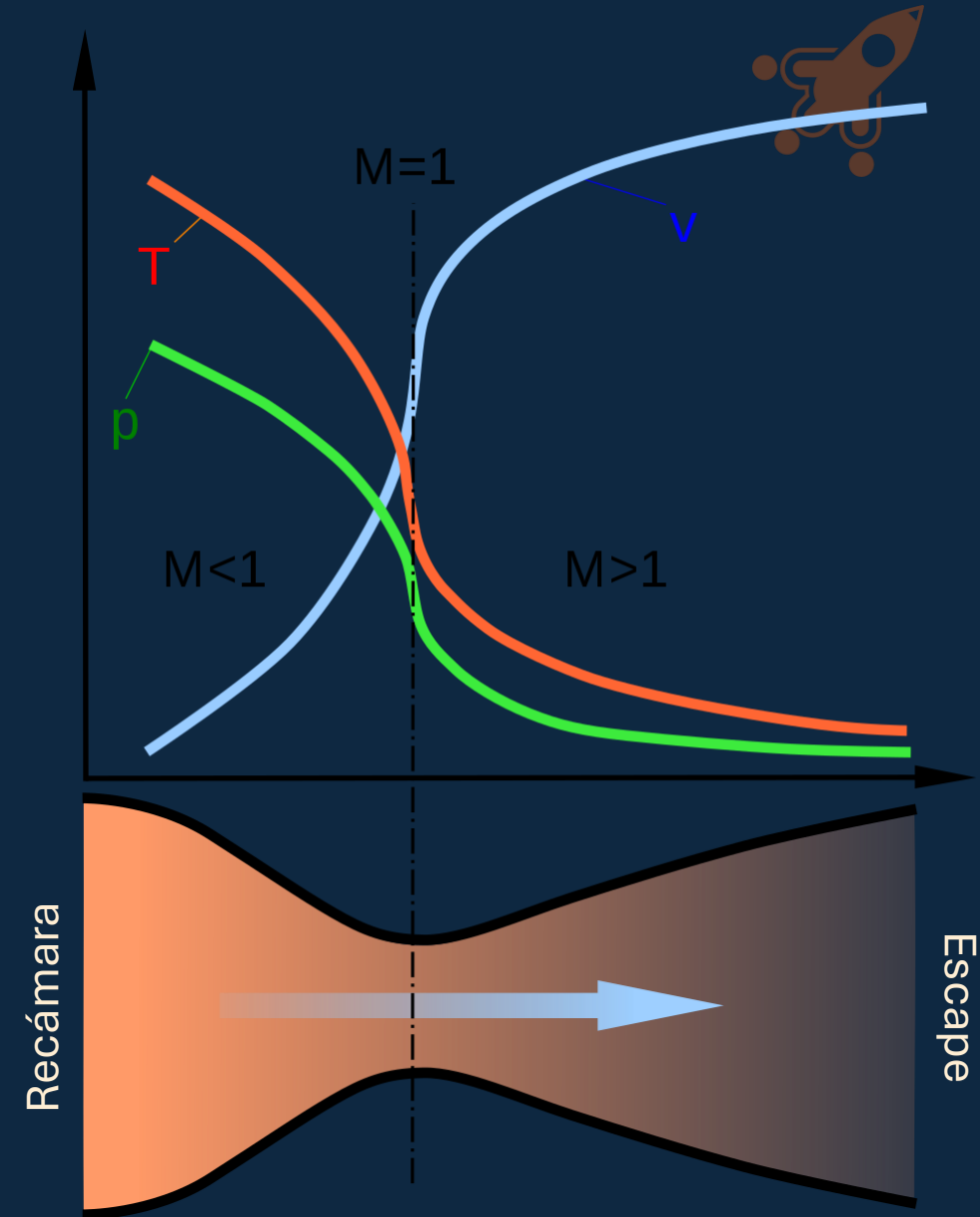
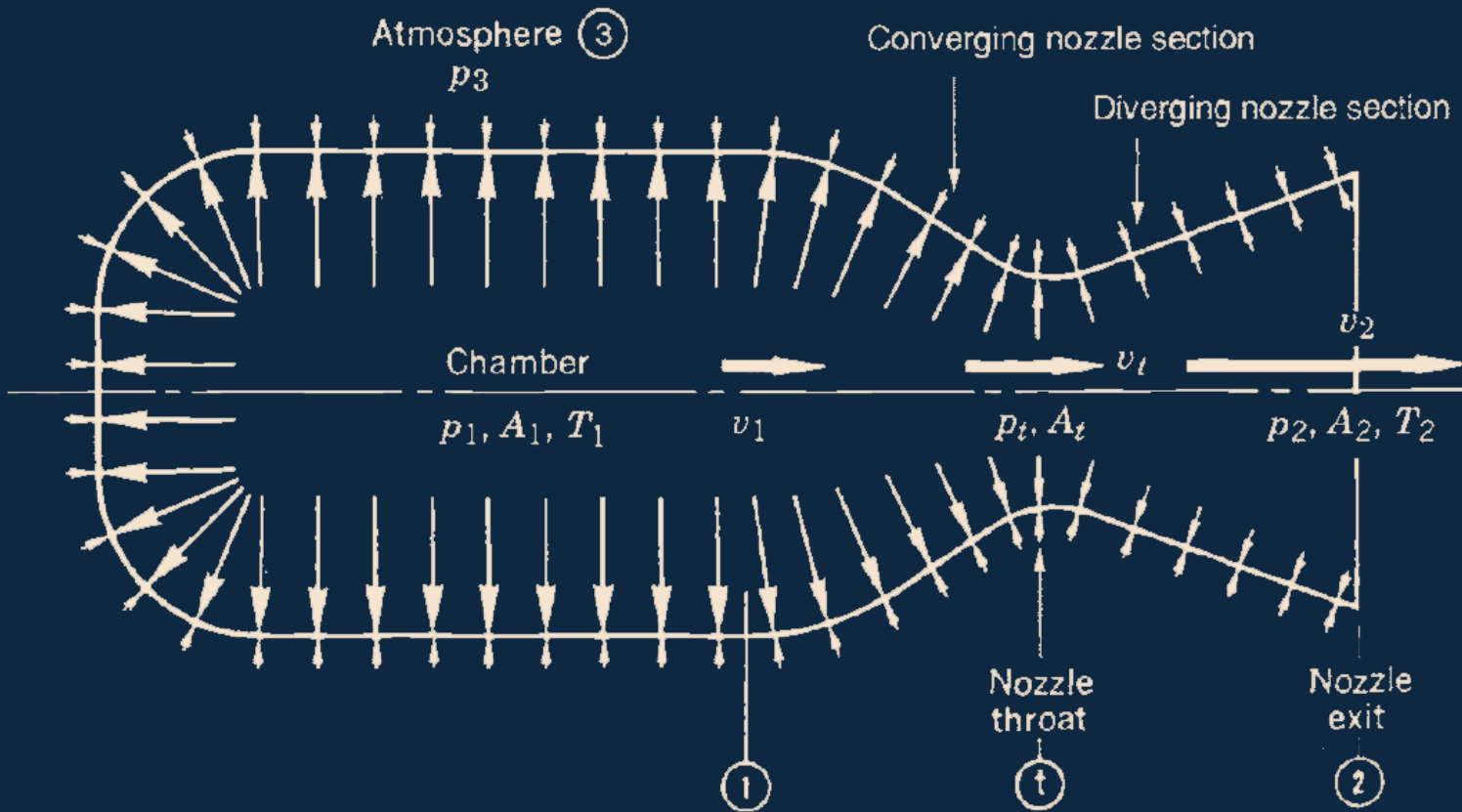


➤ Maximizar Velocidad y Flujo Másico

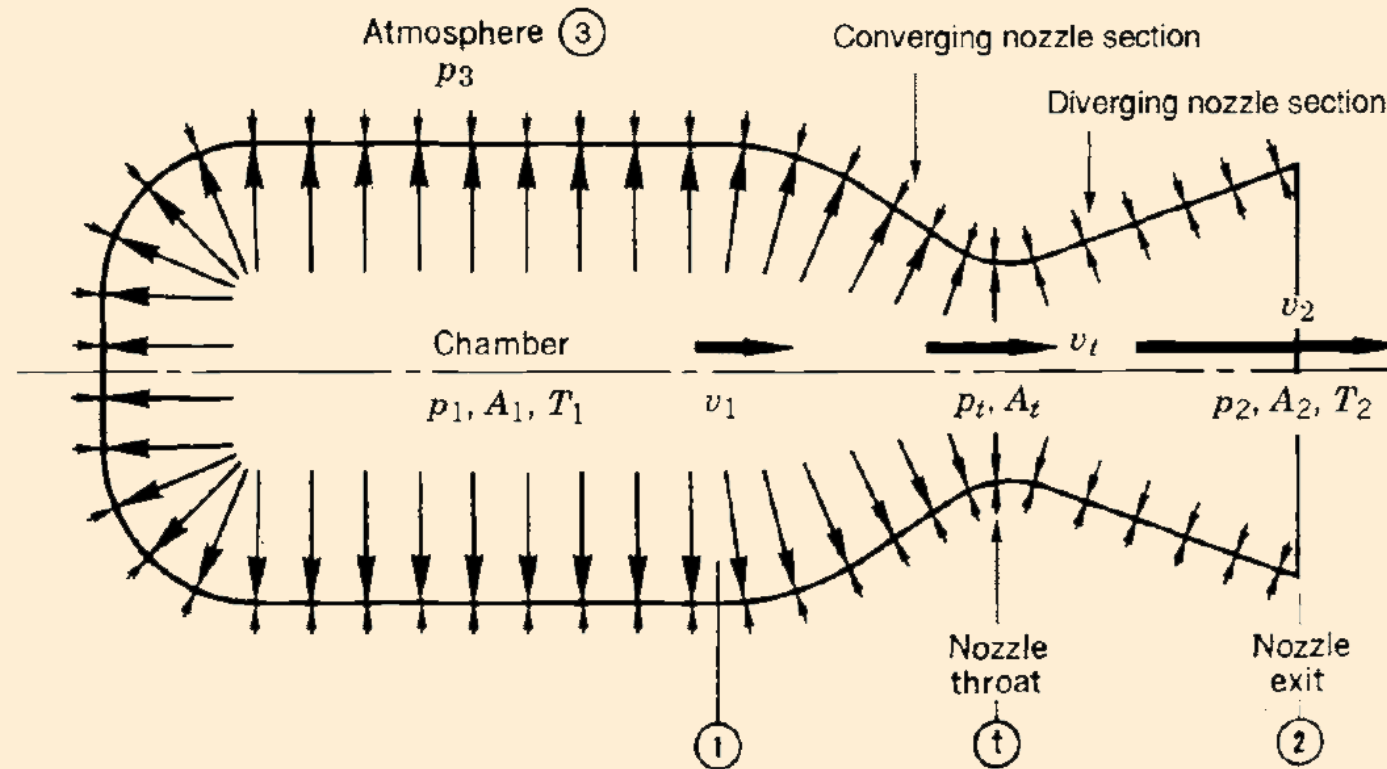
Comportamiento del motor



Comportamiento del motor



Efecto de la Presión



$$\vec{F}_{Presion} = (P_{Escape} - P_{atm}) * A_{Escape}$$

Comparación de Campanas de Tobera



Merlin Engine Evolution

Impulso Total

Cantidad de empuje total de un motor de cohete.

Es aprox. el **empuje promedio** del motor multiplicado por el **tiempo** de quemado.

$$I_T = \int_0^t F(t) dt$$

$$I_T = F \times t$$

Impulso Específico

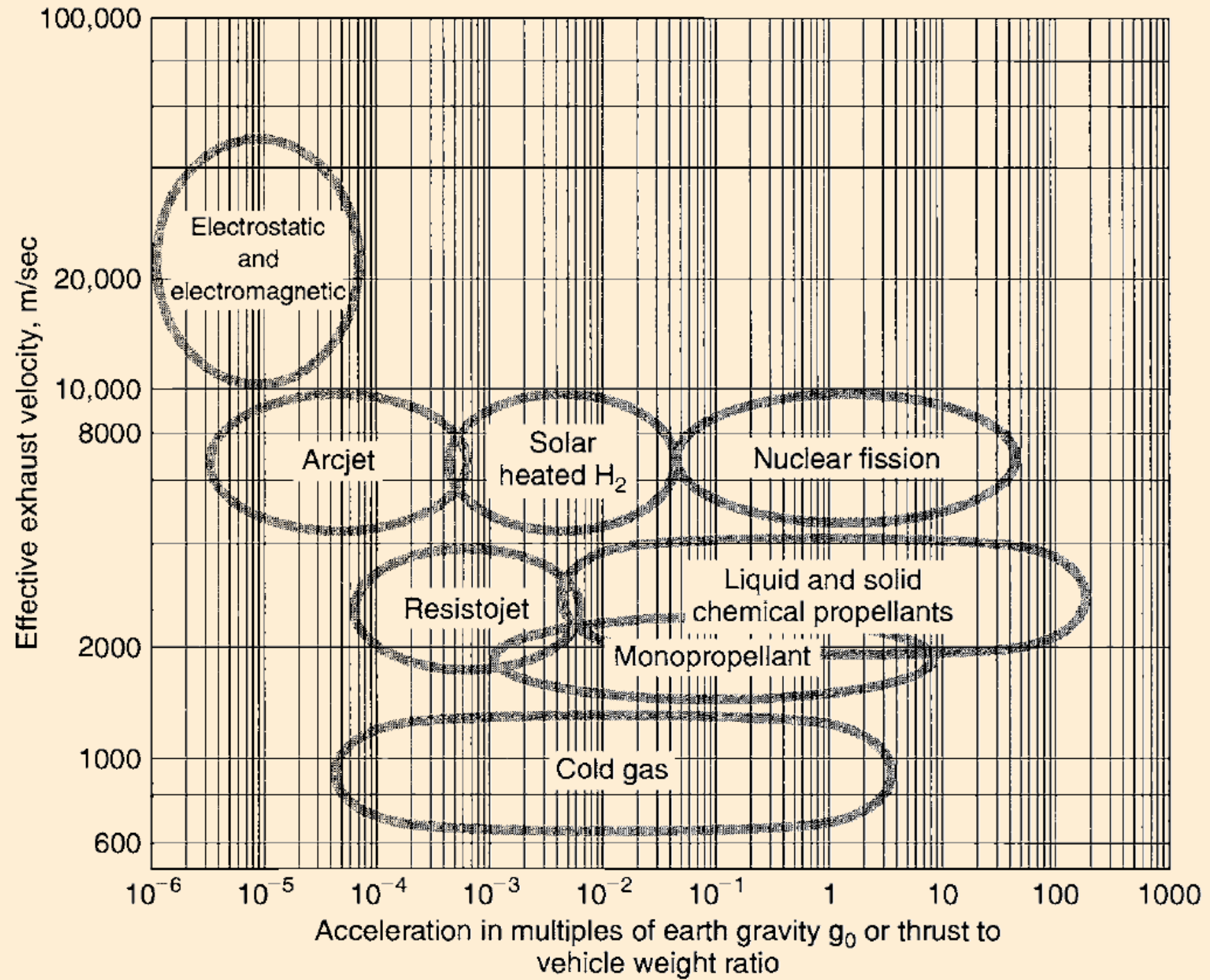
Es el **impulso total** por unidad de **peso** del propelente.

Se usa medida de **eficiencia** del propelente.

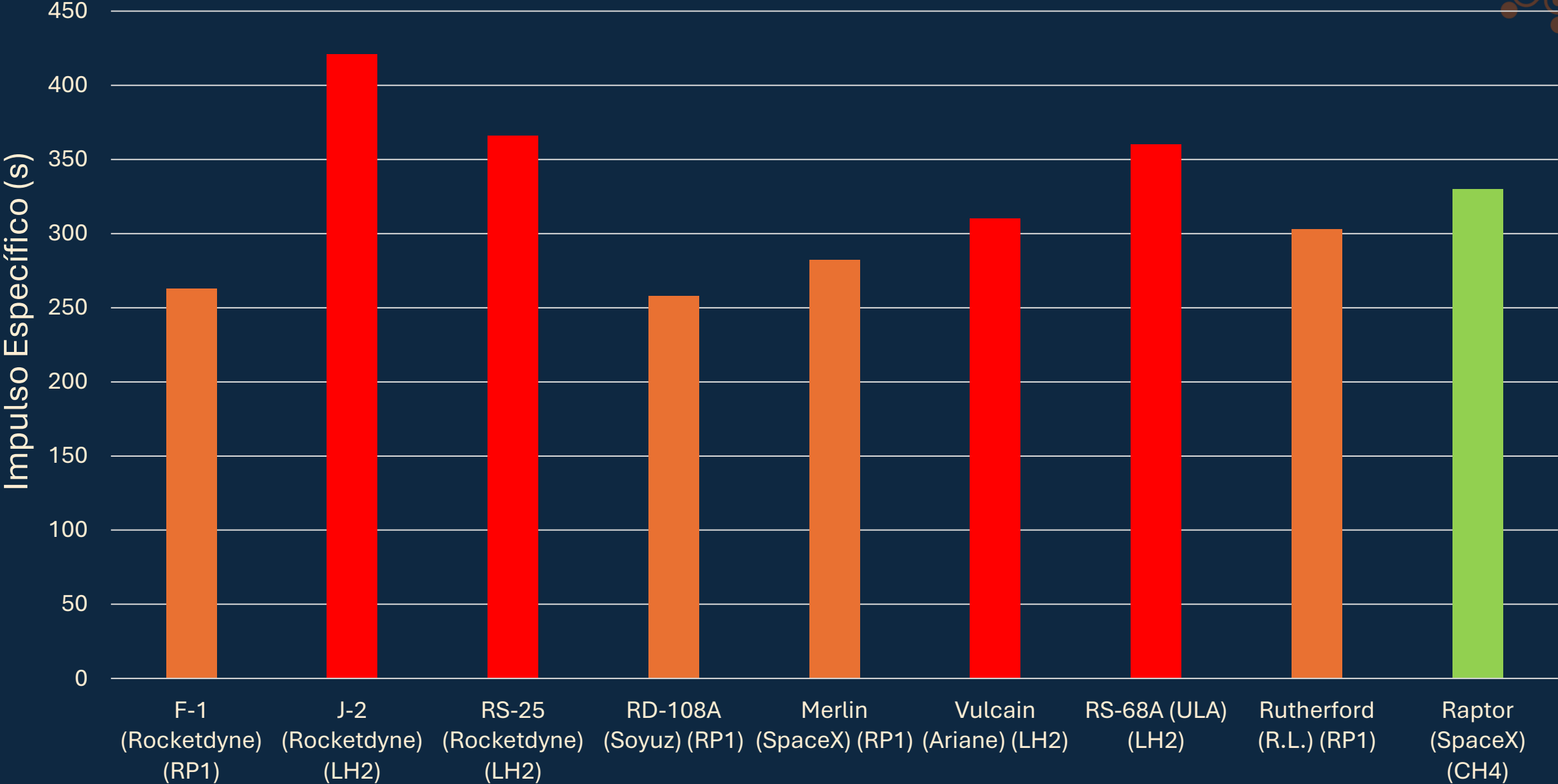
$$I_{sp} = \frac{\int_0^t F dt}{g_0 * \int_0^t \dot{m} dt}$$

$$I_{sp} = \frac{I_T}{W} = \frac{\vec{u}}{g_0}$$

Eficiencia vs. Empuje



Comparación de Impulso Específico



Clase	Impulso Total (N*s)	Certificación
A	1.26 - 2.5	0
B	2.5 - 5	
C	5 - 10	
D	10 - 20	
E	20 - 40	
F	40 - 80	
G	80 - 160	
H	160 - 320	1
I	320 - 640	
J	640 - 1280	2
K	1280 - 2560	
L	2560 - 5120	
M	5120 - 10240	3
N	10240 - 20480	
O	20480 - 40960	

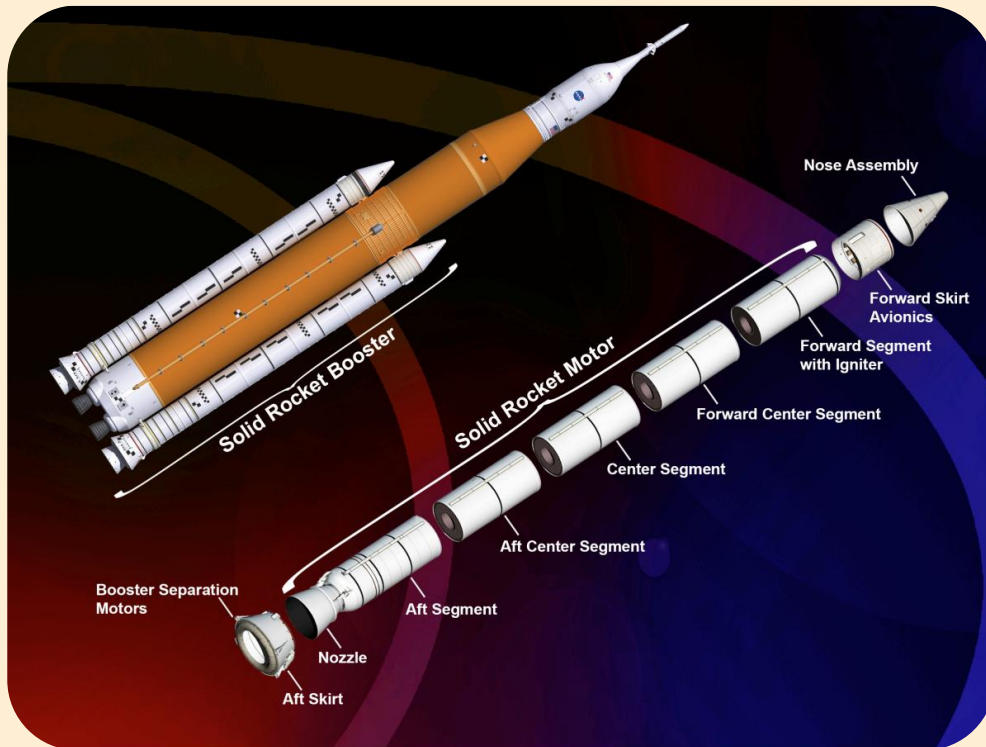
Potencia
Baja

Potencia
Media

Potencia
Alta



Ejercicio



El Booster del SLS, conocido como SRB, tiene un empuje promedio de **10 MN**. Adicionalmente tiene un tiempo de quemado de **126 s**

¿Cuál es el Impulso Total del SRB?

Suponiendo que el propelente del SRB pesa 635 toneladas métricas

¿Cuál es el Impulso Específico?

Solución



$$I_T = F_{prom} * t$$

$$I_T = 10MN * 126s$$

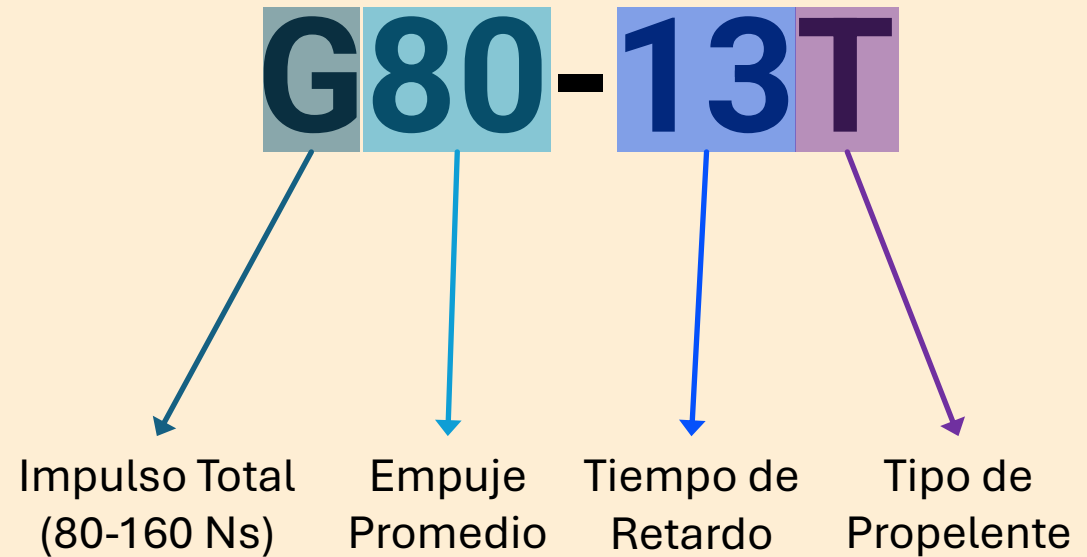
$$I_T = 1.26 \cdot 10^9 \text{ Ns}$$

$$I_{SP} = \frac{I_T}{W} = \frac{I_T}{m_p * g}$$

$$I_{SP} = \frac{1.26 \cdot 10^9 \text{ Ns}}{635\,000 * 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$I_{SP} = 202.27s$$

Códigos de Motores



Tamaños de motores

Motor Size Comparison



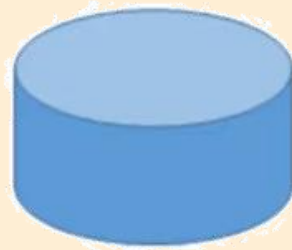
Tamaños estándar



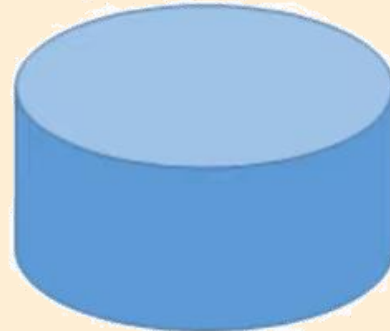
J-L Motors
A reasonable
rocket



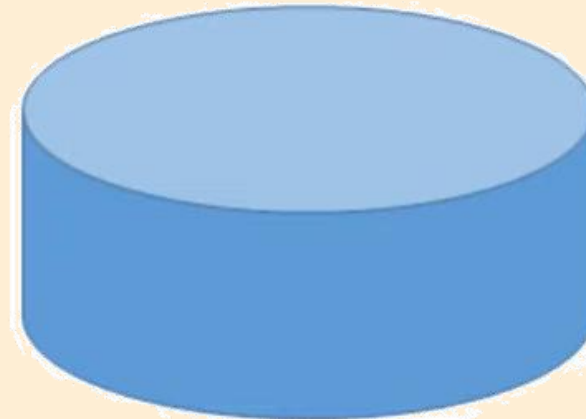
54 mm



75 mm



98 mm



152 mm

O+ Motors
Class 3 Waivers
Big Explosions

G-J Motors
A good place
to start



38 mm



29 mm



24 mm



18 mm

A-C Motors
Your Backyard

Ecuación Ideal del Cohete

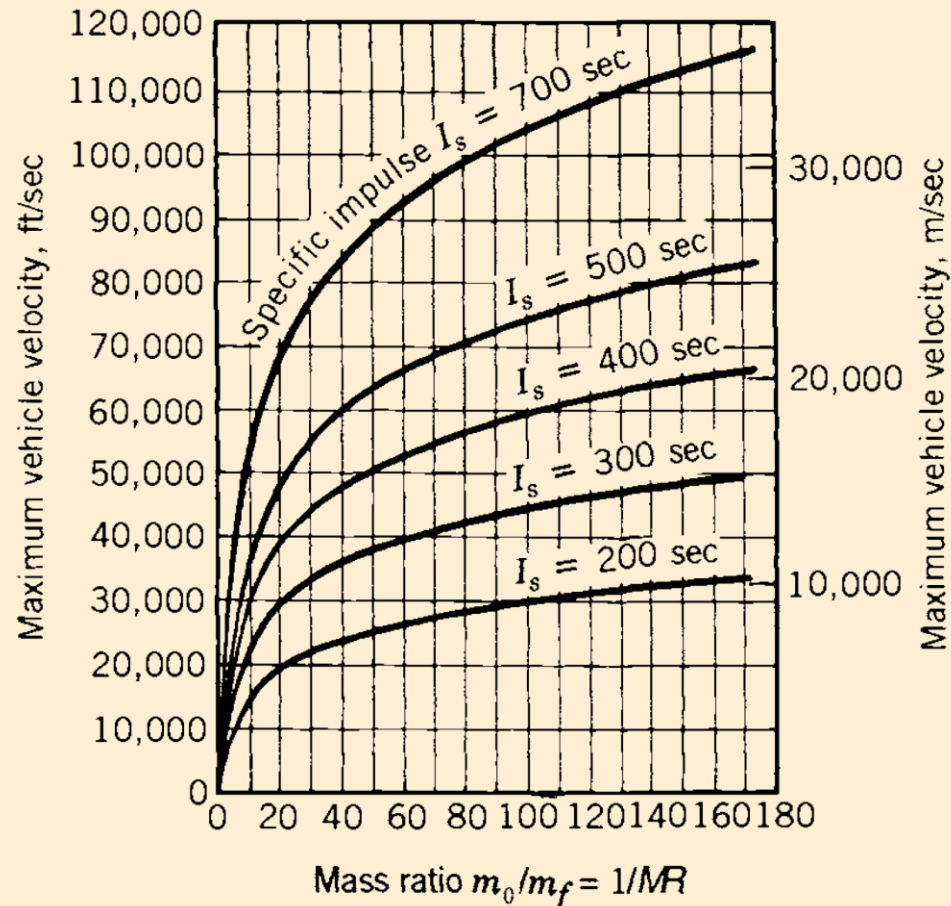


La ecuación del cohete permite determinar, en condiciones ideales, cuanta cantidad de combustible se necesita para lograr un cambio de velocidad.

$$\Delta \vec{v} = \vec{u} * \ln \frac{m_i}{m_f}$$

$$\frac{m_i}{m_f} = e^{\Delta \vec{v} / \vec{u}}$$

Razón de Masa Vs. Delta V



Aumentar la velocidad del cohete requiere:

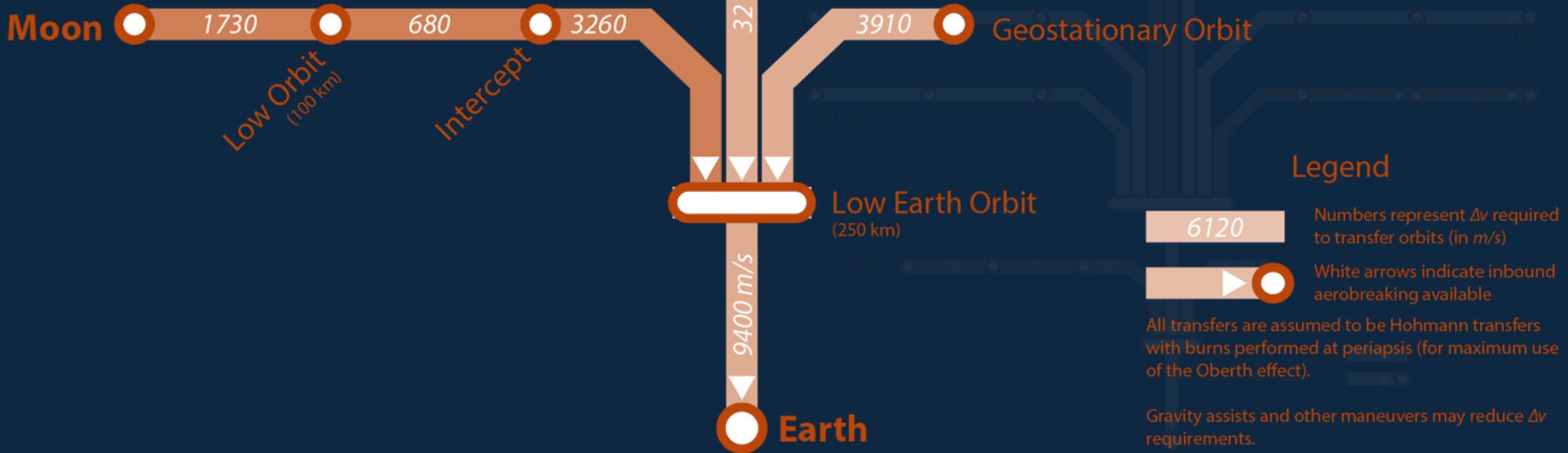
- Mejorar la razón de masa
 - Disminuyendo masa final
 - Aumentando masa de propelente
- Mejorar la eficiencia de combustión (I_{sp})

Mapa de ΔV

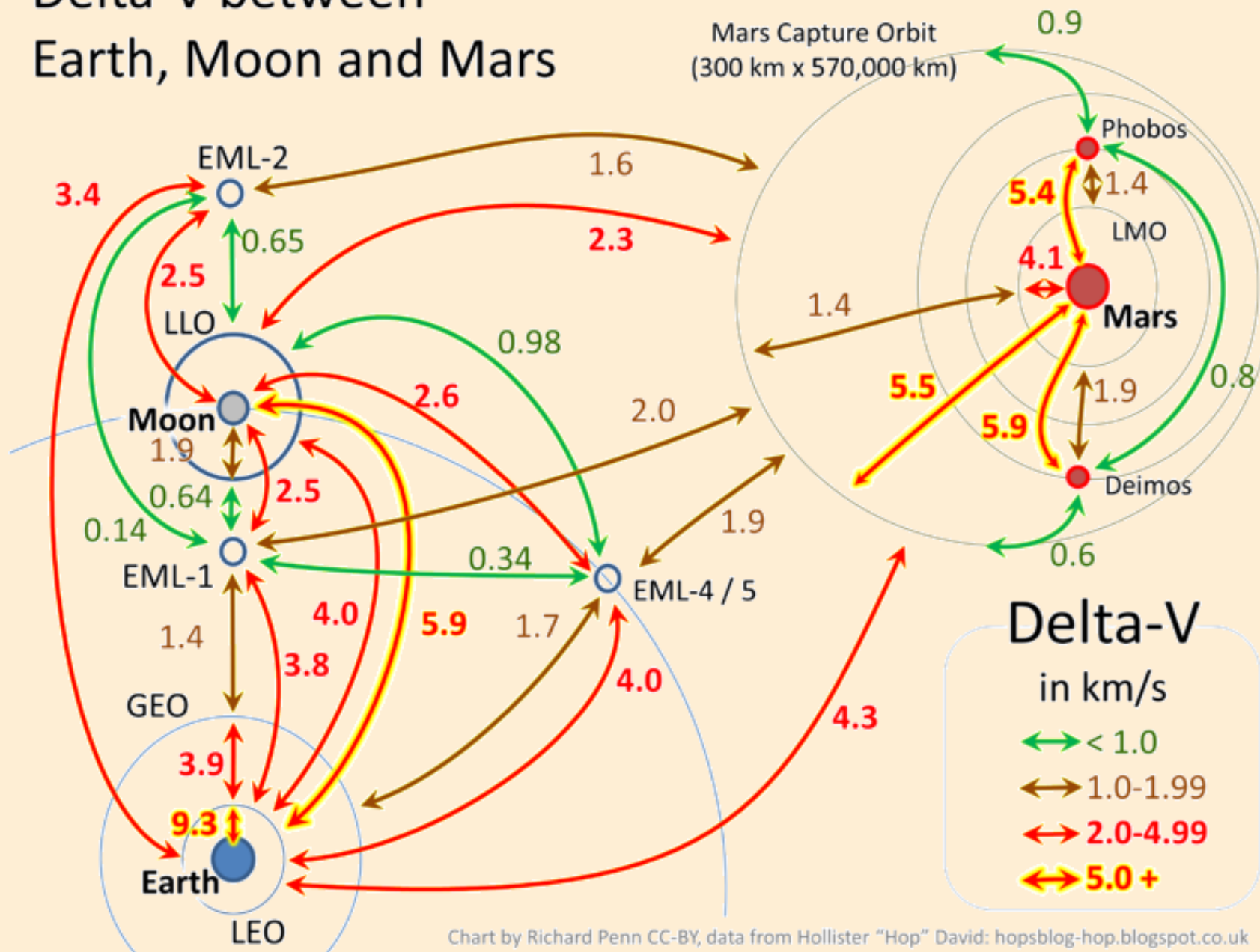
The Solar System

A subway map

Artwork by Ulysse Carion.
Original calculations by /u/CuriousMetaphor.



Delta-V between Earth, Moon and Mars



Ejercicio

1. Determine cuanto propelente (masa) seria necesario para depositar el rover Curiosity (899 kg) en la superficie de Marte.

Suponga un Impulso Específico de 348s y un peso seco de cohete de 3000 kg

2. Cuanto propelente sería necesario si se lanza desde la superficie lunar?



Tarea



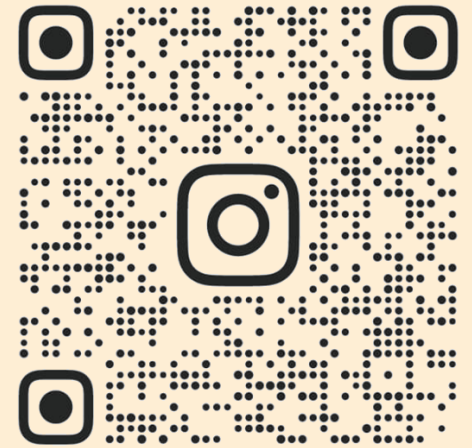
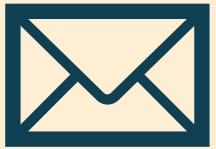
1. Ver el siguiente video:

<https://youtu.be/72VkAoYt8mk>

2. Ejercicio de Curiosity

3. Concepto de Proyecto

iTrabajemos Juntos!



@COHETERIACR