

AIRTEAGA

Alcalde Cano, M^a Teresa
Elia Lerida, Elena
Amo Lledó, Ignacio
Fernández Pisón Pilar
Arteaga Palma, José Manuel
Fuentes Navarro, Sergio
Ayuso Martínez, Cristina
Galiano Andrades, Miguel Ángel
Bolaño Cruz, Raquel
García Campos, Octavio Alfredo
Caballero Bello, Miguel
Garrido López, Fermín
Casanueva Martos, Javier
Gómez Mesa, Juan Diego
Colera Rico, Manuel
Salazar Avís, Jesús
Díaz García, Cristina

Objetivo: Modernización del turboprop



AT-C

Características principales:

- Cero emisiones
- Alta comodidad
- Altas prestaciones
- Bajo coste operacional



Nuevas formas de propulsión

- Hidrógeno
 - **Elevado poder calorífico**
 - Combustión produce agua, ni CO ni CO₂
 - Gran número de investigaciones en torno a él
 - Vehículos con hidrógeno:
 - Coches
 - Aviones
 - Mejoras respecto a un turborreactor de queroseno

Nuevas formas de propulsión

- Elevado poder calorífico

Queroseno

Hidrógeno

42 MJ/kg

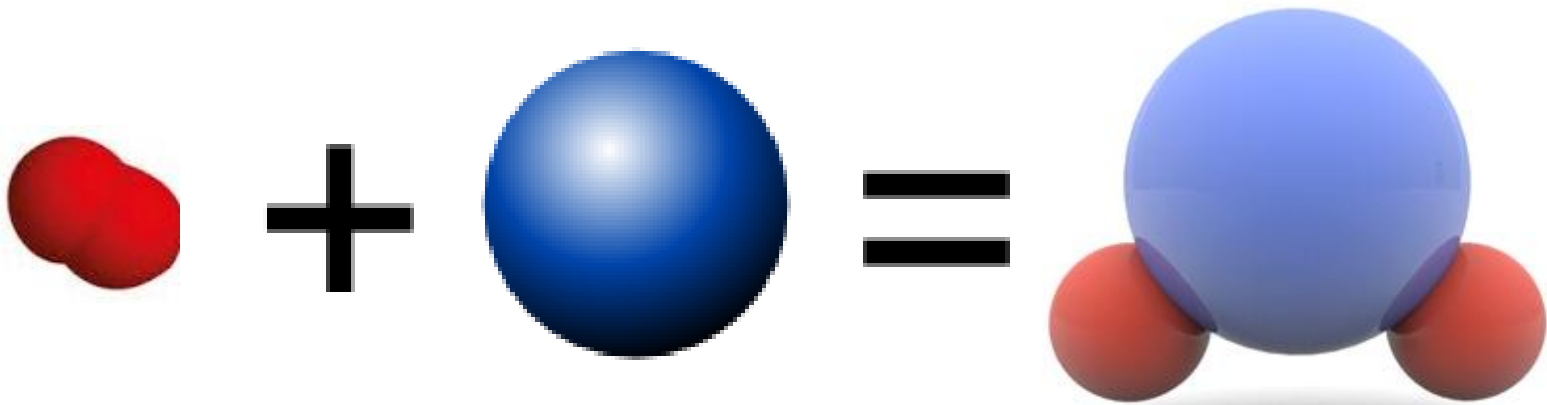
140 MJ/kg

Nuevas formas de propulsión

- Hidrógeno
 - Elevado poder calorífico
 - **Combustión produce agua, ni CO ni CO₂**
 - Gran número de investigaciones en torno a él
 - Vehículos con hidrógeno:
 - Coches
 - Aviones
 - Mejoras respecto a un turborreactor de queroseno

Nuevas formas de propulsión

- Combustión produce agua, ni CO ni CO₂



Nuevas formas de propulsión

- Hidrógeno
 - Elevado poder calorífico
 - Combustión produce agua, ni CO ni CO₂
 - **Gran número de investigaciones en torno a él**
 - Vehículos con hidrógeno:
 - Coches
 - Aviones
 - Mejoras respecto a un turborreactor de queroseno

Nuevas formas de propulsión

- Gran número de investigaciones en torno a él

Boeing Test Hydrogen Fuel Cell Powered Aircraft

Airbus project envisions hydrogen-fueled jet

**Airbus Could Reduce Plane Fuel Consumption 15%
with Hydrogen Fuel Cell**

"En el 2020 y con hidrógeno: de aquí
a Sydney en cuatro horas"

03/04/2012 - 00:00



Nuevas formas de propulsión

- Hidrógeno
 - Elevado poder calorífico
 - Combustión produce agua, ni CO ni CO₂
 - Gran número de investigaciones en torno a él
 - **Vehículos con hidrógeno:**
 - **Coches**
 - **Aviones**
 - Mejoras respecto a un turborreactor de queroseno

Nuevas formas de propulsión

- Vehículos con hidrógeno:
 - Coches



Gen



Boeing Phantom Eye



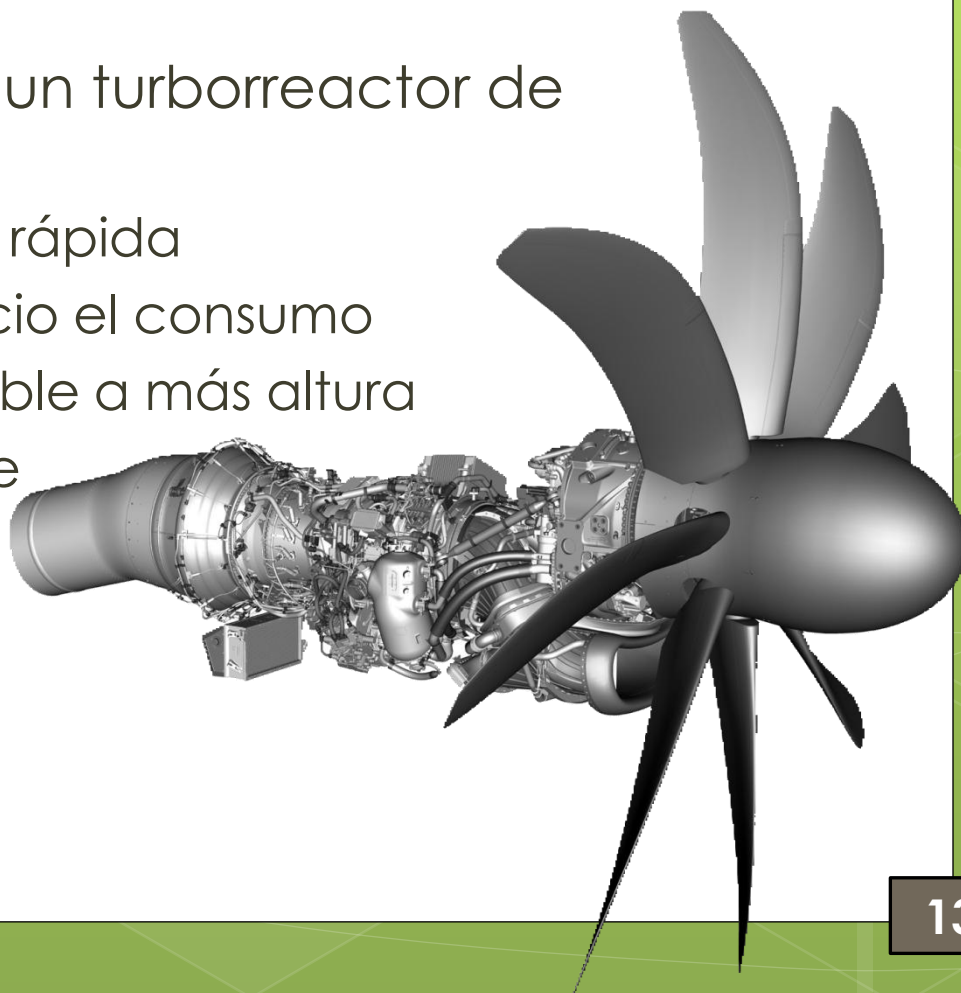
Tupolev Tu-155 y Tu-156

Nuevas formas de propulsión

- Hidrógeno
 - Elevado poder calorífico
 - Combustión produce agua, ni CO ni CO₂
 - Gran número de investigaciones en torno a él
 - Vehículos con hidrógeno:
 - Coches
 - Aviones
 - **Mejoras respecto a un turborreactor de queroseno**

Nuevas formas de propulsión

- Mejoras respecto a un turborreactor de queroseno:
 - Combustión más rápida
 - Reduce a un tercio el consumo
 - Combustión estable a más altura
 - No contaminante



Nuevas formas de propulsión

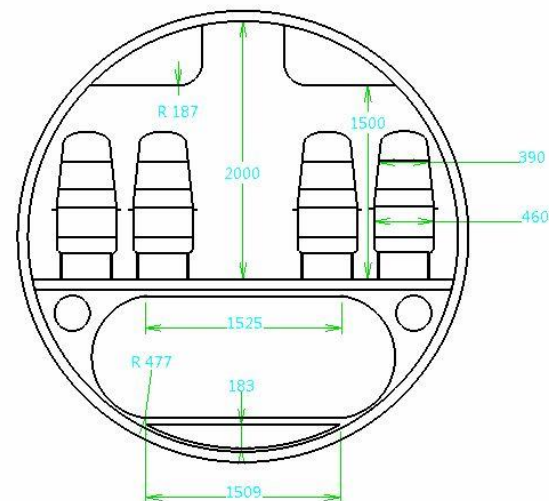
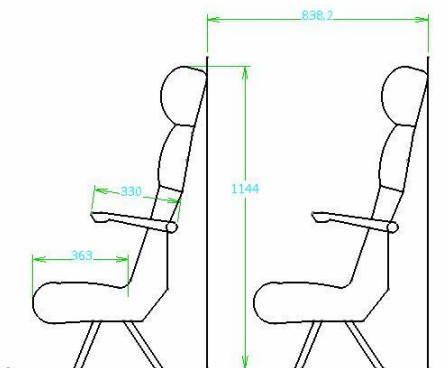
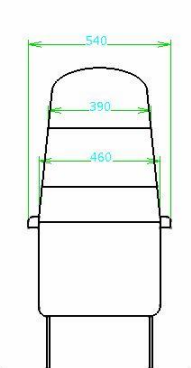
- Taxi eléctrico
 - Sólo 150 kg por rueda
 - Ventajas:
 - Reducción del consumo en un 4%
 - Reducción del ruido en pista
 - Completa independencia de la aeronave en pista
 - Alivia carga de los frenos
 - Aumenta la vida de las gomas

Comodidad de los pasajeros

- Diseño

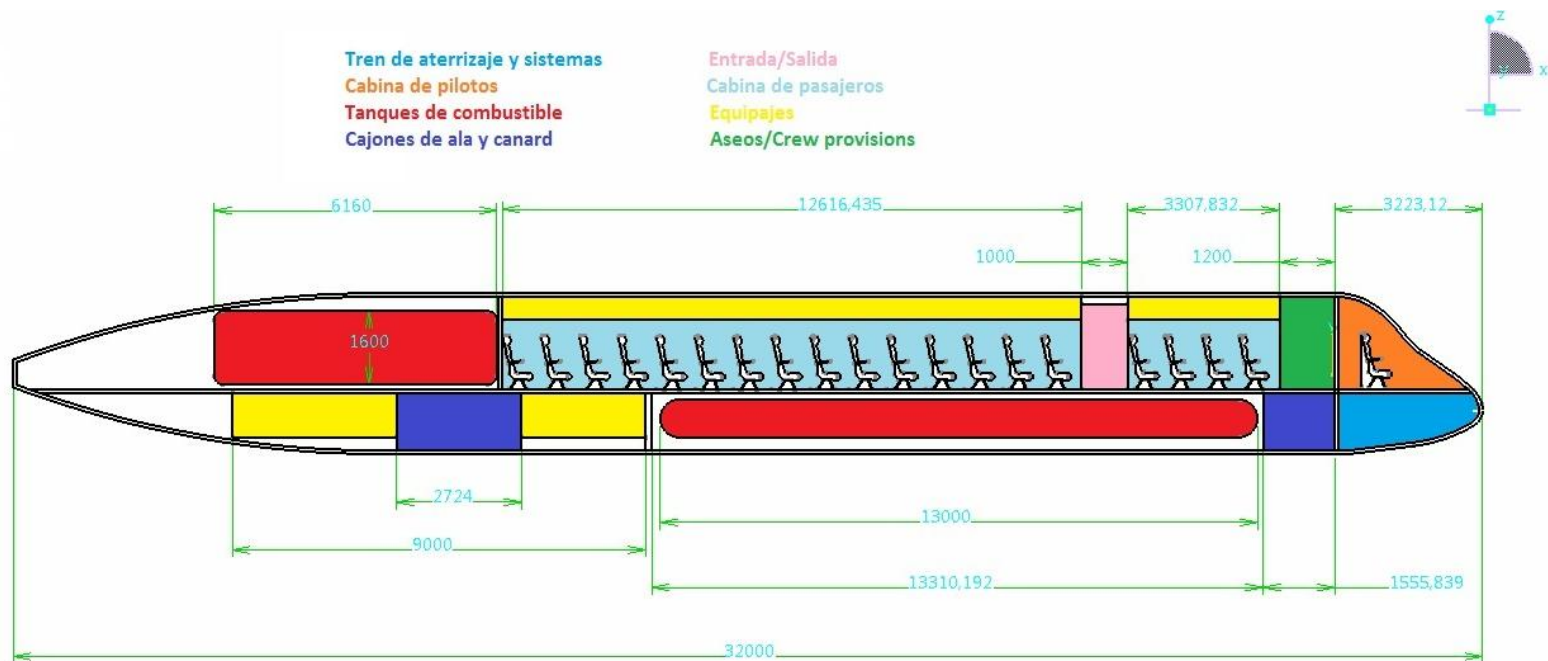
- Amplio espacio para los pasajeros

- Seat pitch
 - Ancho asientos
 - Ancho pasillos
 - Altura pasillos



Comodidad

- Distribución de los elementos internos



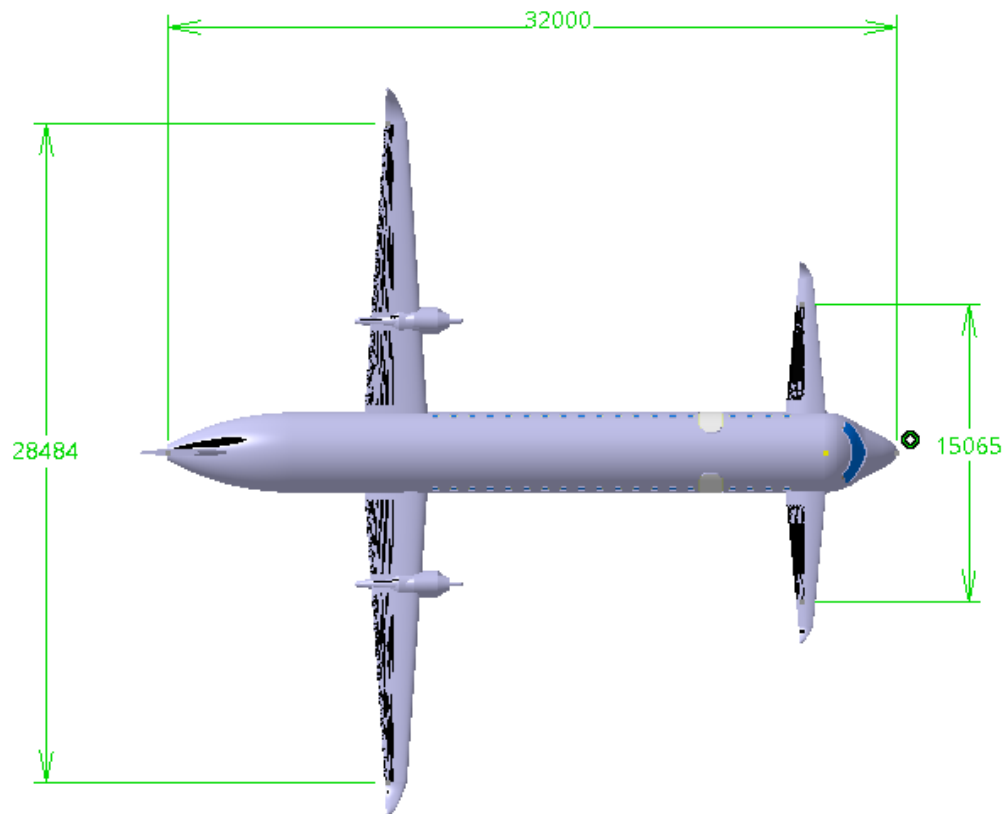
Comodidad

- Reducción de ruido
 - Ala trasera
 - Recubrimientos aislantes
 - Micrófonos para cancelación de ruido
- WIFI

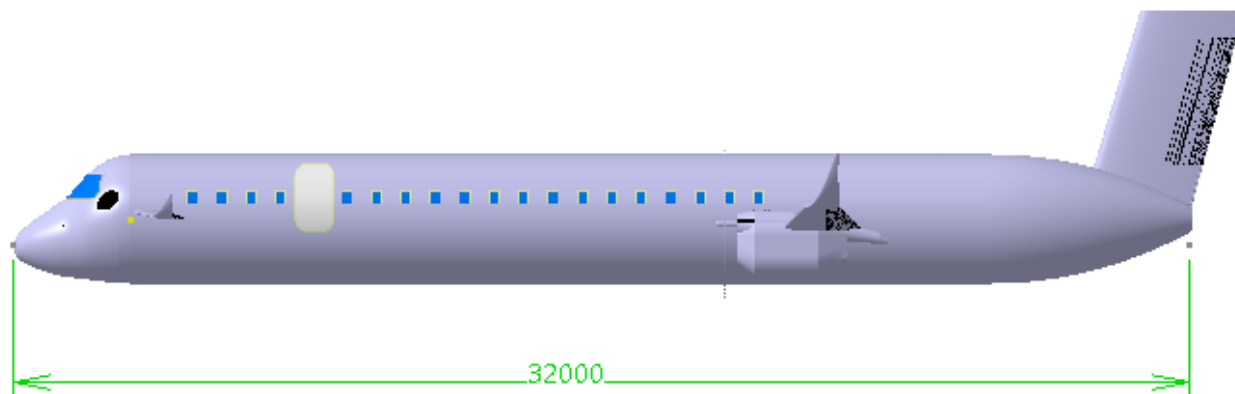
Prestaciones

- Diseño
- Aerodinámica
 - Alta eficiencia
- Estabilidad
 - Control del centro de gravedad
- Distribución de pesos
- Actuaciones

Vistas 3-D

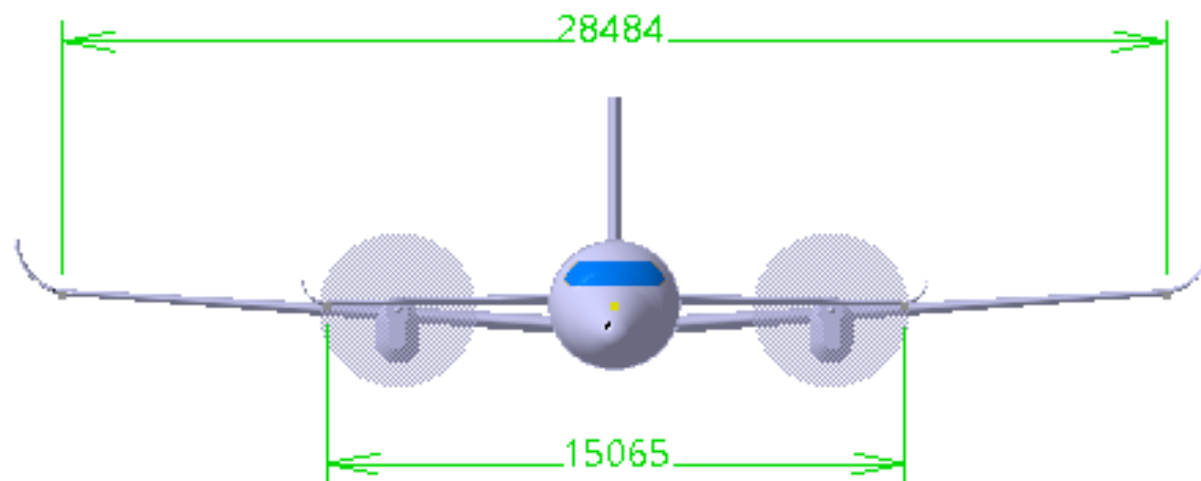


Vistas 3-D



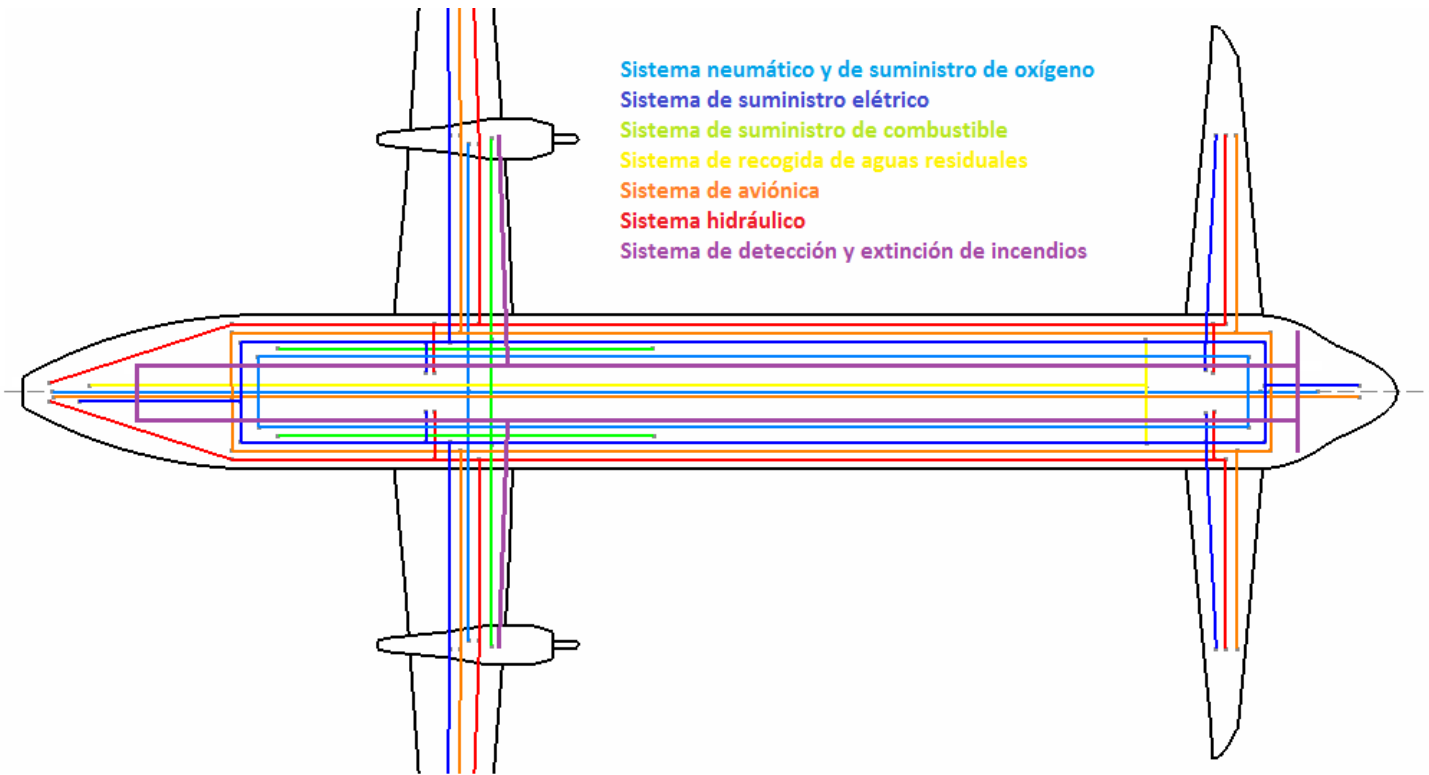
Longitud: 32 m
Diámetro: 3.5 m

Vistas 3-D



Envergadura: 28.484 m

Interior - Sistemas

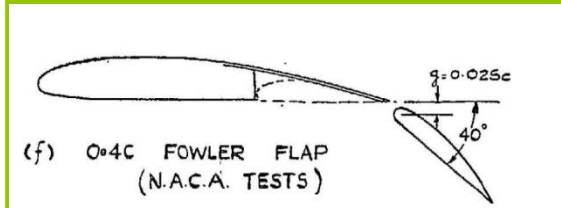


Eficiencia

	AR	λ	WINGLETS	FORMA	DIEDRO
ALA	14	0.35	"Raked"	Hexag.	4°
CANARD	10	0.35	"Raked"	Hexag.	

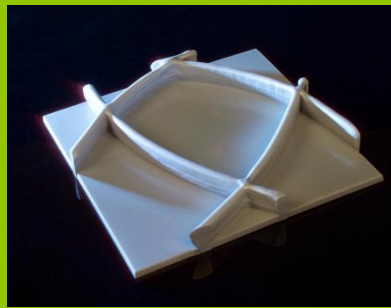
GRAN ALARGAMIENTO: MAXIMIZA EFICIENCIA

FLAPS "FOWLER":



MENOR RESISTENCIA EN DESPEGUE

MAT. COMPUESTOS:

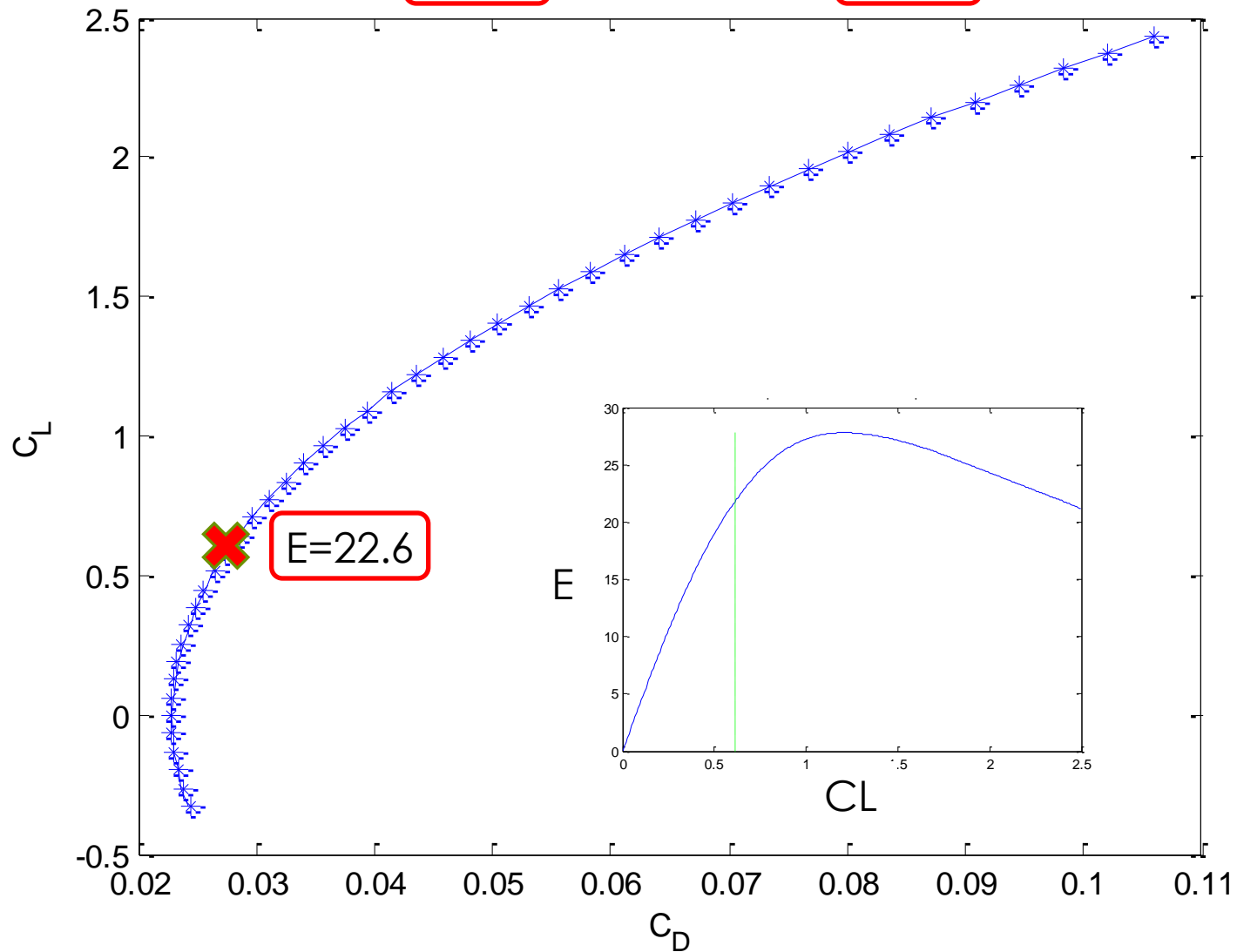


CAPA LÍMITE LAMINAR



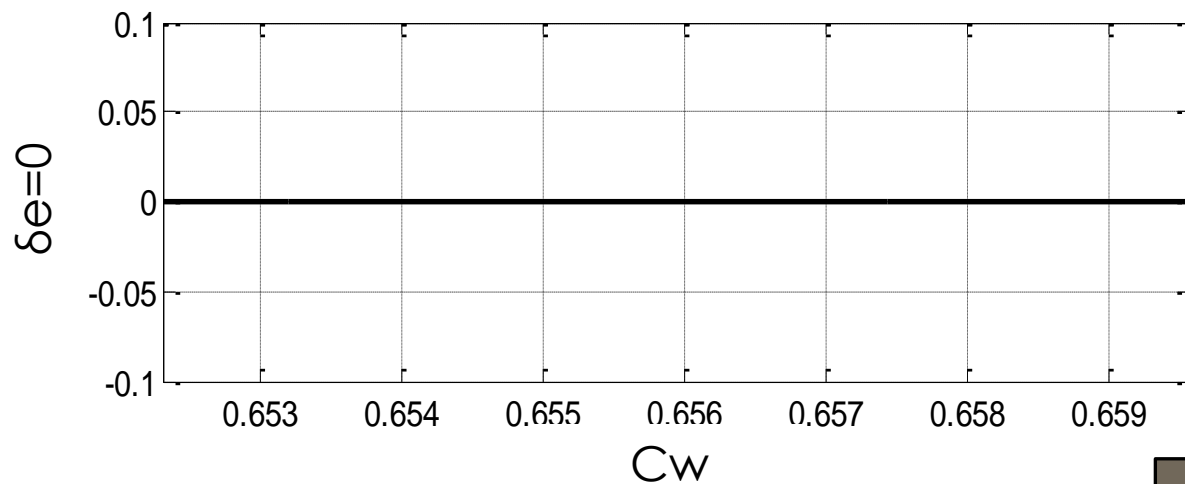
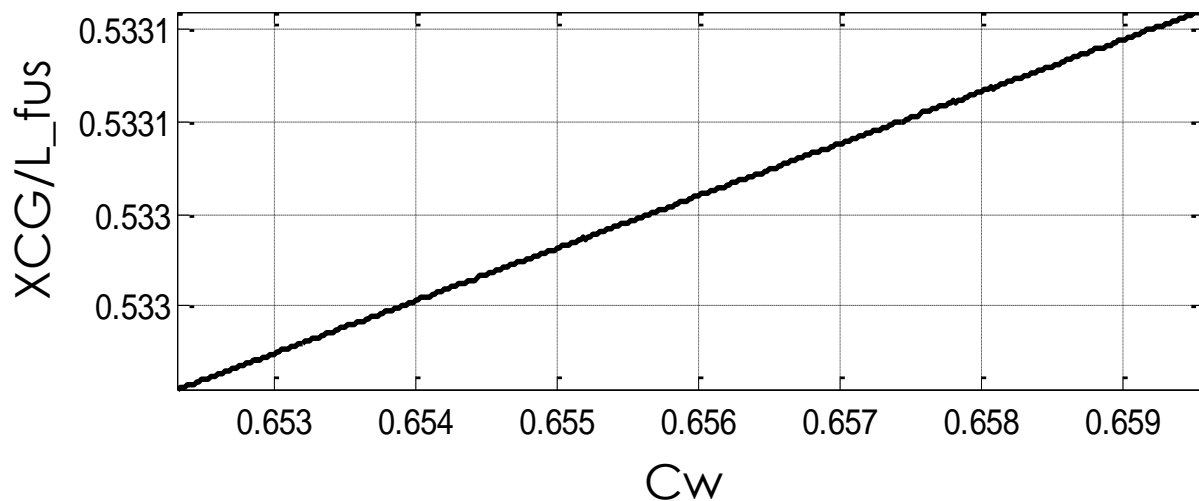
Eficiencia

$$C_D = 0.0158 - 0.0036 C_L + 0.0170 C_L^2$$



Trimado con el centro de gravedad

SE JUEGA CON EL
**VACIADO DE LOS
 DEPÓSITOS**
 PARA MANTENER
 EL **TIMÓN SIN
 DEFLECTAR**



Comportamiento dinámico

- Corto período



$$t_{1/2} = 0.565 \text{ s} \quad \xi = 0.799$$

$$\omega_n = 1.534 \text{ rad/s}$$

- Fugoide



$$t_{1/2} = 191.11 \text{ s} \quad \xi = 0.058$$

$$\omega_n = 0.058 \text{ rad/s}$$

- Modo espiral



$$t_2 = 70.15 \text{ s}$$

- Convergencia en balance



$$t_{1/2} = 0.249 \text{ s}$$

$$T_{BC} = 0.36 \text{ rad/s}$$

- Balanceo Holandés



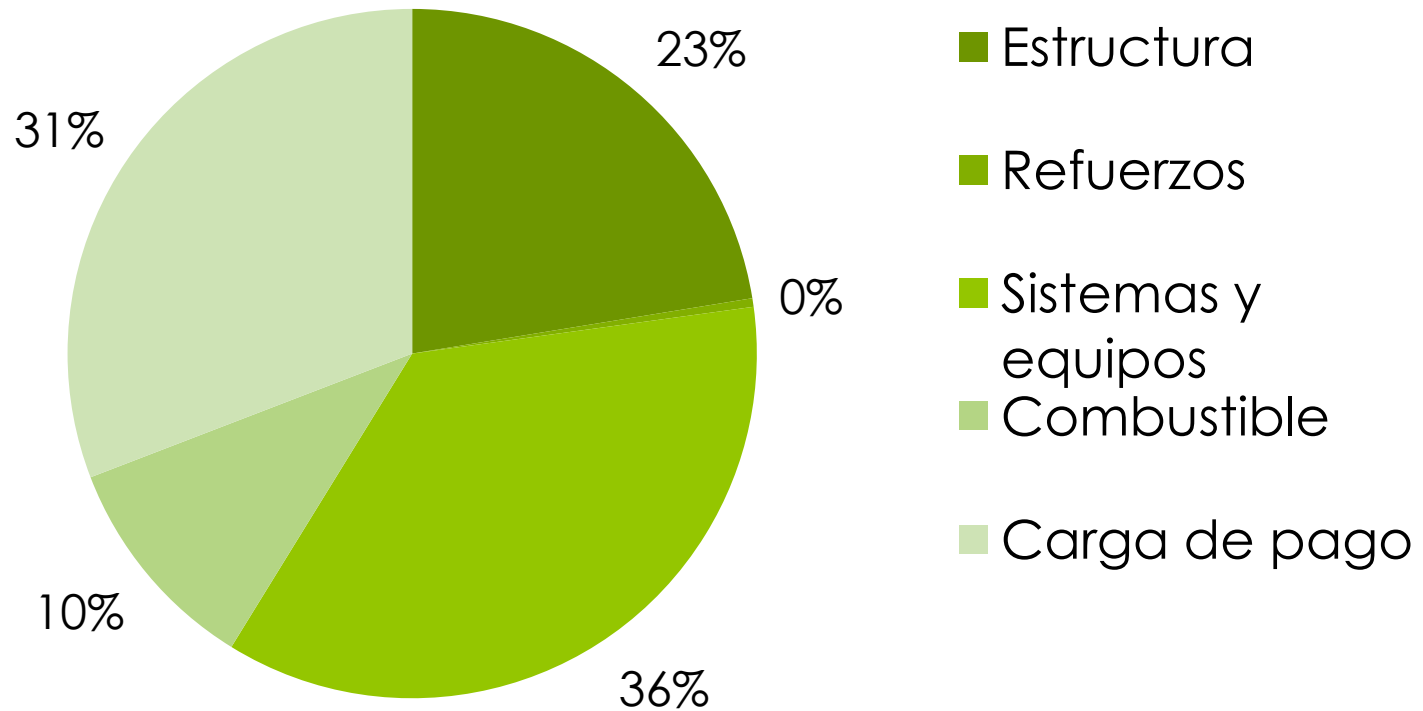
$$t_{1/2} = 1.642 \text{ s} \quad \xi = 0.091$$

$$\xi \omega_n = 0.15 \text{ rad/s}$$

SE CUMPLE NIVEL 1 EN TODOS LOS MODOS, SEGÚN LA NORMA MIL-F-8785C (1980)

REALIMENTACIÓN $\delta_e = K q$ PARA FUGOIDE

Distribución de pesos



	Misión de diseño	Misión económica	Misión óptima
● Peso de combustible [kg]	2548	1090	2690
● Peso en despegue [kg]	28642	27979	28784

Despegue y aterrizaje

	Misión de diseño	Misión de diseño (high-hot)	Misión económica
Distancia de despegue (m)	1346.6	1497.05	1330.79
Distancia de aterrizaje(m)	1113.90	1261.7	1179.11

Crucero

	Misión de diseño	Misión económica	Misión óptima
M_{cruise}	0.68	0.68	0.72
$h_{\text{cruise}}(\text{m})$	9448.8	9448.8	9448.8
$V_{\text{cruise}}(\text{m/s})$	205.24	205.24	217.32
$D_{\text{cruise}}(\text{km})$	2675.6	453.6	2675.6
$t_{\text{cruise}}(\text{h})$	3.62	0.61	3.42

		Misión de diseño	Misión económica
Máxima autonomía	$t_{A,\text{máx}}(\text{h})$	10.67	4.57
Máximo alcance	$R_{\text{máx}}(\text{km})$	4648.9 5	1951.27

Radio operativo



Misión de diseño

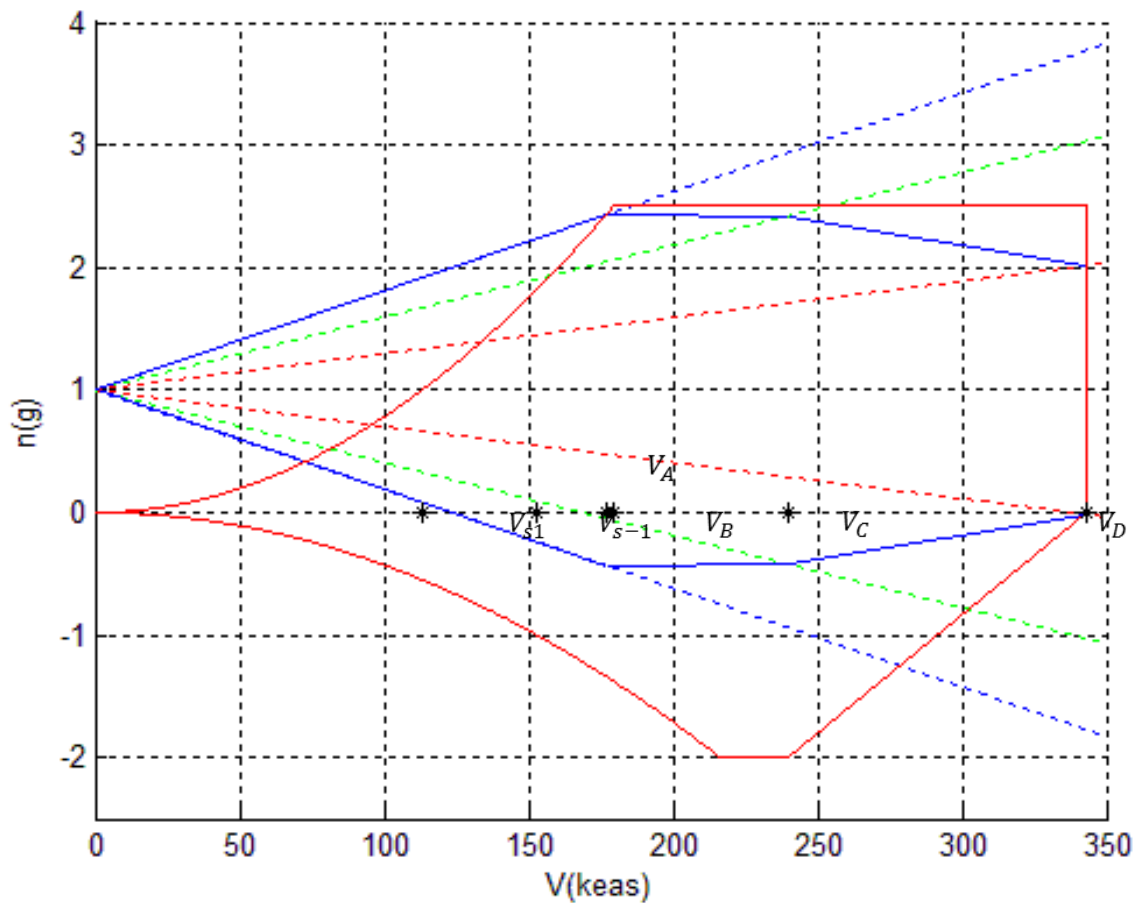


Misión económica



Misión máxima

Envolvente de vuelo



Velocidad máxima

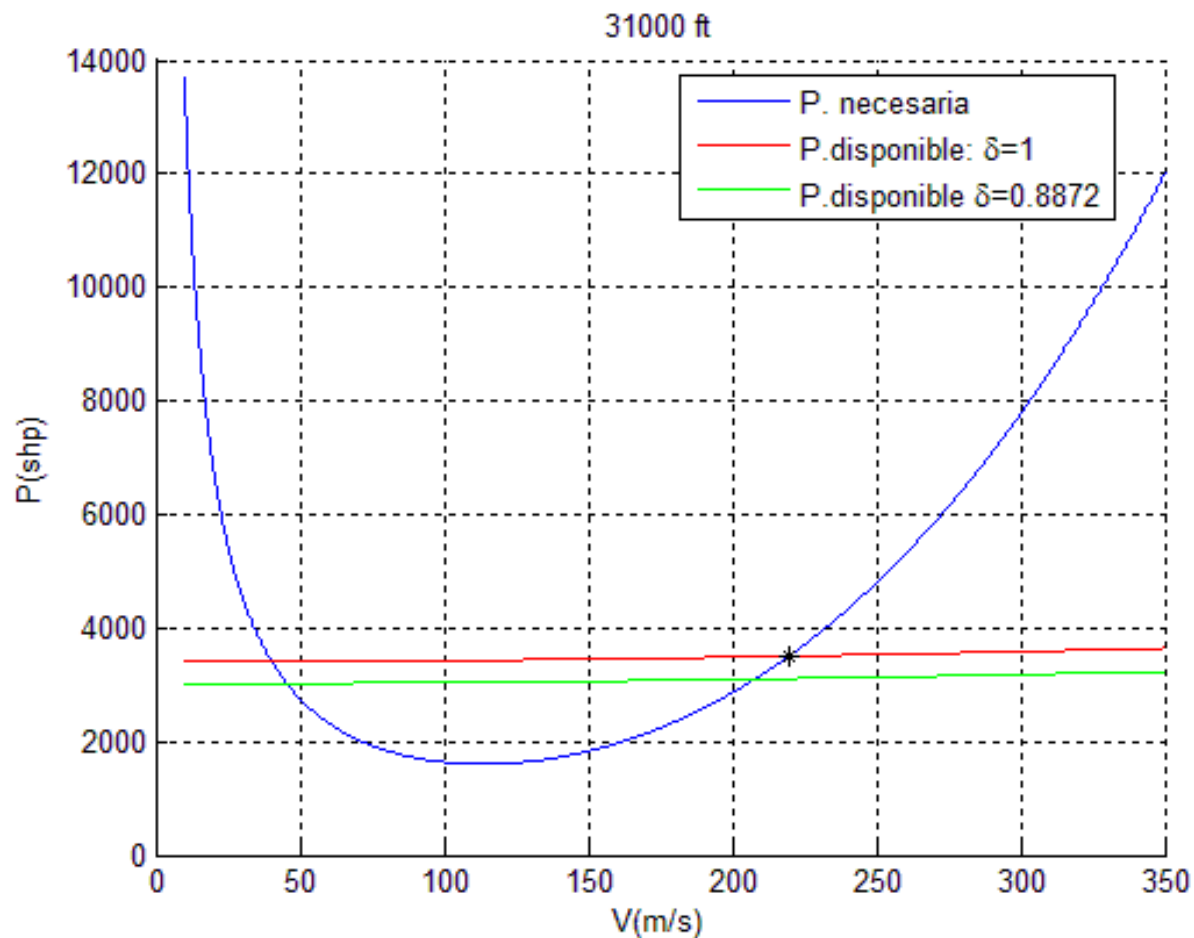
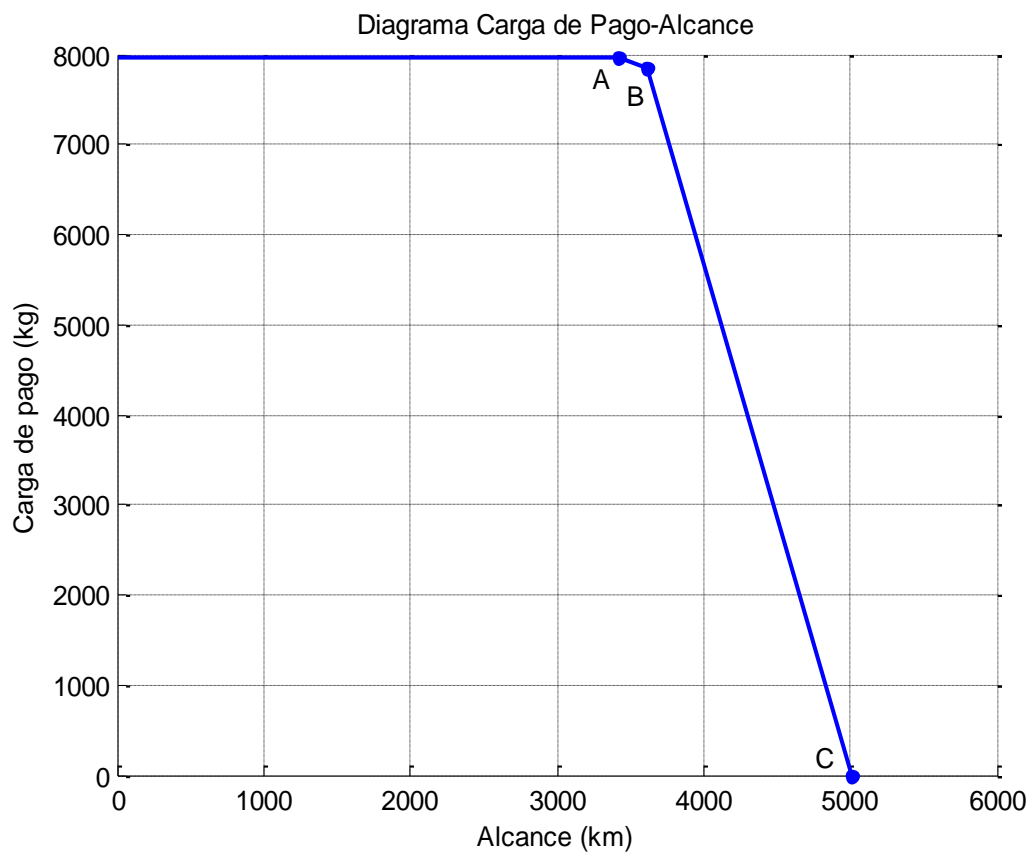


Diagrama carga de pago-alcance

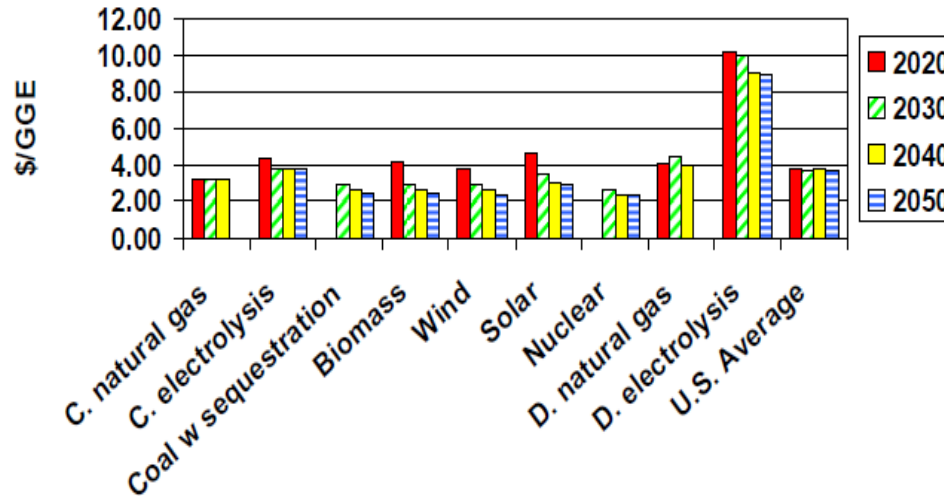
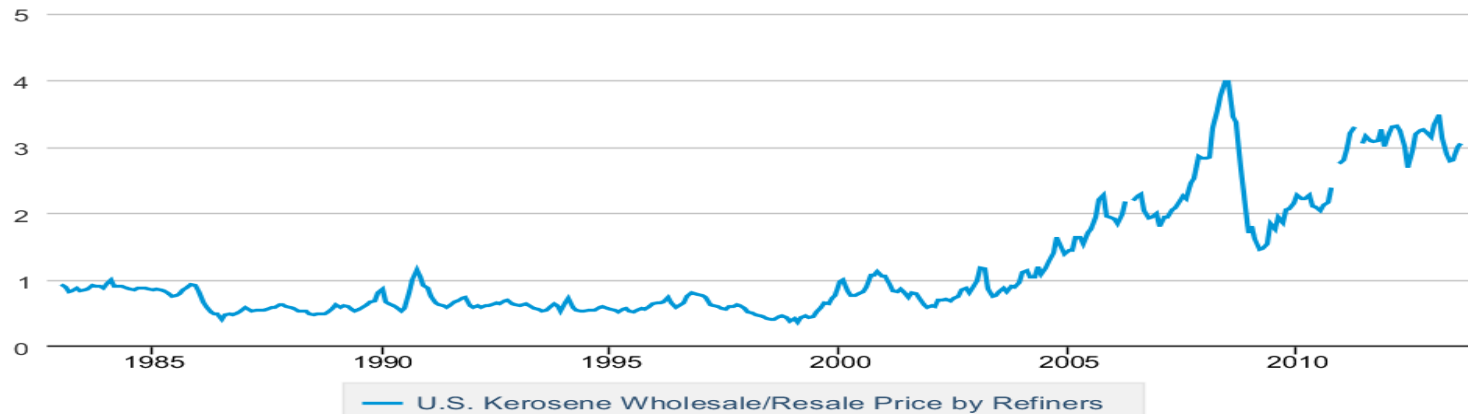


Estudio de costes operacionales

- Evolución de precios
- CASM comparativo
- CASM del AT-C

Evolución de precios

Dollars per Gallon



CASM comparativo

- Incluyendo emisiones

	2020	2025	2030
Keroseno	27,66	30,69	33,48
Bio-SPK	52,89	54,41	55,80
Hidrógeno	29,36	29,37	29,38

- Incluyendo evolución

	2020	2030
Keroseno	28,84	37,96
Bio-SPK	40,65	28,58
H₂ (Electrolisis distribuida)	39,74	37,01
H₂ (Electrolisis centralizada)	24,00	22,54
H₂ (Nuclear)	N/A	19,95
H₂ (Solar)	24,56	21,85

CASM del AT-C

	Misión de diseño	Misión económica	Misión óptima
	Actual		
CASM	24.25	22.01	23.85
	2020		
CASM _{solar}	20.75	18.83	20.26
CASM _{electrolisis}	20.25	18.39	19.75
	2030		
CASM _{solar}	18.65	16.93	18.10
CASM _{nuclear}	17.23	15.64	16.65
CASM _{electrolisis}	19.17	17.40	18.64

Líneas futuras

- Mejoras de almacenamiento del H2
- Uso de materiales autorreparables
- Reducir pesos de sistemas (MEA)
- Diseño de geometría de hélices con punta de pala supersónica para vuelos a alta velocidad
- Modificar cabina pasajeros

Preguntas



Otros datos de interés

Cargas alares - Misión diseño

W/S_{TOF} (Pa)	W/S_{CL} (Pa)	W/S_{CR} (Pa)	W/S_{aut} (Pa)	W/S_D (Pa)	W/S_{LN} (Pa)
4907.32	4902.34	4831.09	4534.05	4516.28	4485.50

Potencias - Misión diseño

P_{TO}	P_{CL}	P_{CR}	P_{LT}	P_D	P_{TO}
13904.00 shp	8956.69 shp	11915.72 shp	8619.09 shp	5561.60 shp	13904.00 shp

Subida

800ft								
V_{cl}	γ	G	h_i	h_f	$V_{v,opt}$	$\gamma_{v,opt}$	$V_{v,aopt}$	γ_{aopt}
m/s	°	%	ft	ft	m/s	°	m/s	°
71.21	21.51	39.41	35	1500	28.06	21.51	15	59.74

5800ft								
V_{cl}	γ	G	h_i	h_f	$V_{v,opt}$	$\gamma_{v,opt}$	$V_{v,aopt}$	γ_{aopt}
m/s	°	%	ft	ft	m/s	°	m/s	°
76.64	16.50	29.62	1500	10000	22.70	16.50	12.53	45.62

15000ft								
V_{cl}	γ	G	h_i	h_f	$V_{v,opt}$	$\gamma_{v,opt}$	$V_{v,aopt}$	γ_{aopt}
m/s	°	%	ft	ft	m/s	°	m/s	°
88.37	9.39	16.53	10000	20000	14.61	9.39	9.23	20.41

25500ft								
V_{cl}	γ	G	h_i	h_f	$V_{v,opt}$	$\gamma_{v,opt}$	$V_{v,aopt}$	γ_{aopt}
m/s	°	%	ft	ft	m/s	°	m/s	°
105.35	4.15	7.25	20000	31000	7.64	4.15	5.22	6.05

Descenso

	Descenso 1	Descenso 2
V_d (m/s)	119.68	94.10
γ_d (°)	1.85	
C_L	0.969	
M_d (kg)	48.82	

Reservas

	100 mn	30 min de espera
M_{cruise}	0.42	0.39
$h_{\text{cruise}}(\text{ft})$	20000	1500
$h_{\text{cruise}}(\text{m})$	6096	457.2
$V_{\text{cruise}}(\text{m/s})$	132.5	132.5
$D_{\text{cruise}}(\text{km})$	185.2	238.5
$D_{\text{cruise}}(\text{mn})$	100	128.78
$t_{\text{cruise}}(\text{min})$	23.3	30

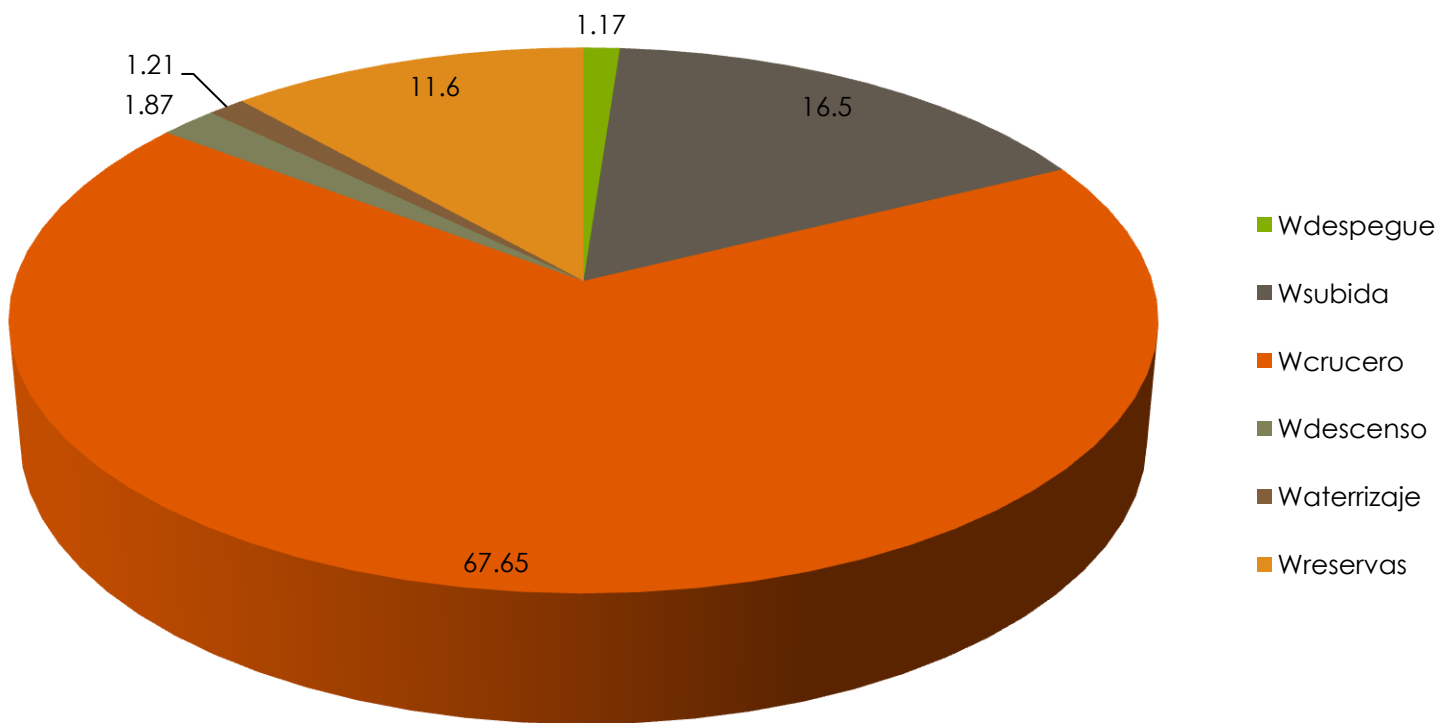
Consumos

	Misión de diseño	Misión económica	Misión óptima
SFC_{despegue} (lb/shp-h)	0.1416	0.1416	0.1416
SFC_{subida} (lb/shp-h)	0.1900	0.1895	0.1920
SFC_{crucero} (lb/shp-h)	0.2402	0.2403	0.2474
SFC_{descenso} (lb/shp-h)	0.2545	0.2542	0.2542
$SFC_{\text{aterrizaje}}$ (lb/shp-h)	0.1464	0.1464	0.1464
SFC_{aut} (lb/shp-h)	0.1947	N/A	0.1920
SFC_{aut} (lb/shp-h)	0.2179	N/A	0.2139

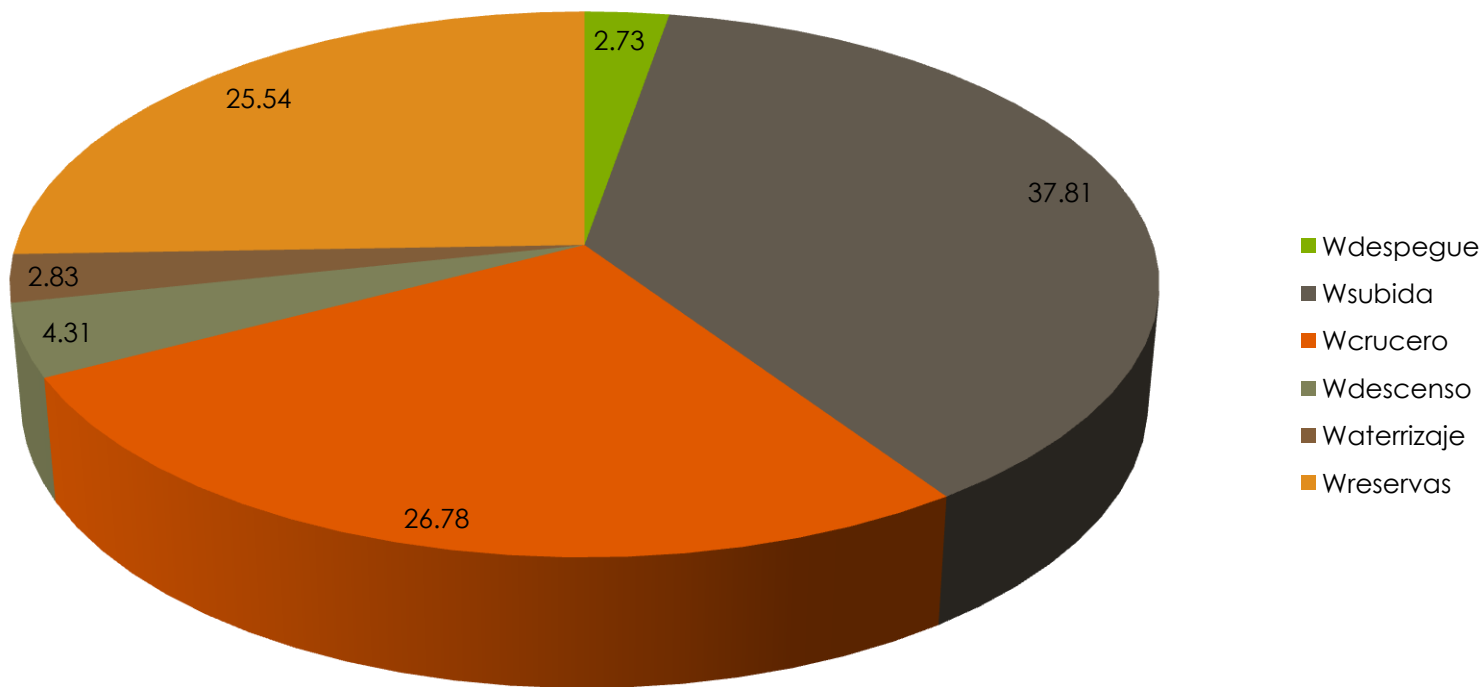
Masas de combustible

	Misión de diseño	Misión económica	Misión óptima
$W_{\text{despegue}}(\text{kg})$	29.77	29.77	29.77
$W_{\text{subida}}(\text{kg})$	420.55	412.26	458.24
$W_{\text{crucero}}(\text{kg})$	1723.70	291.94	1823.90
$W_{\text{descenso}}(\text{kg})$	47.64	47.03	47.65
$W_{\text{aterrizaje}}(\text{kg})$	30.82	30.82	30.82
$W_{\text{reservas}}(\text{kg})$	264.26	254.26	252.13
$W_{\text{total}}(\text{kg})$	2548.10	1090.33	2690.00

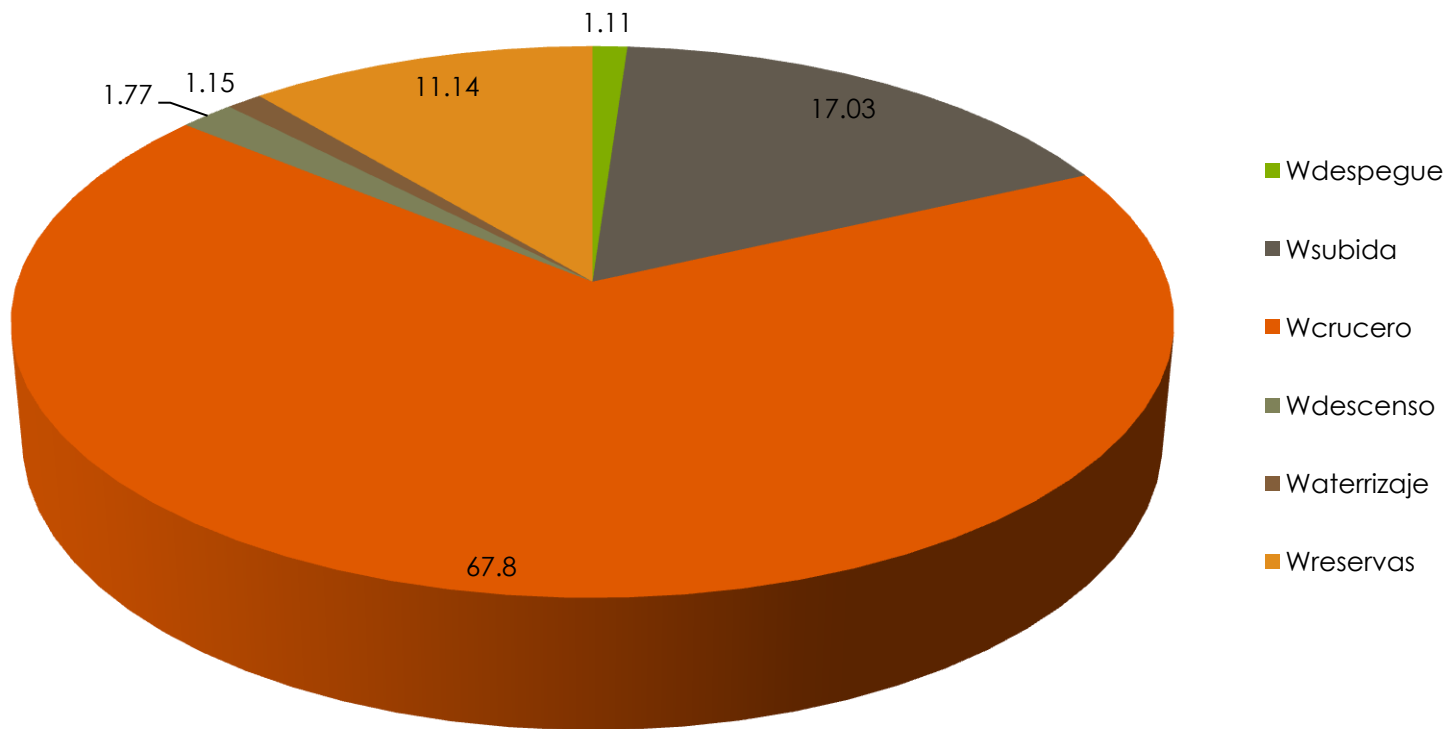
Misión de diseño



Misión económica



Misión óptima



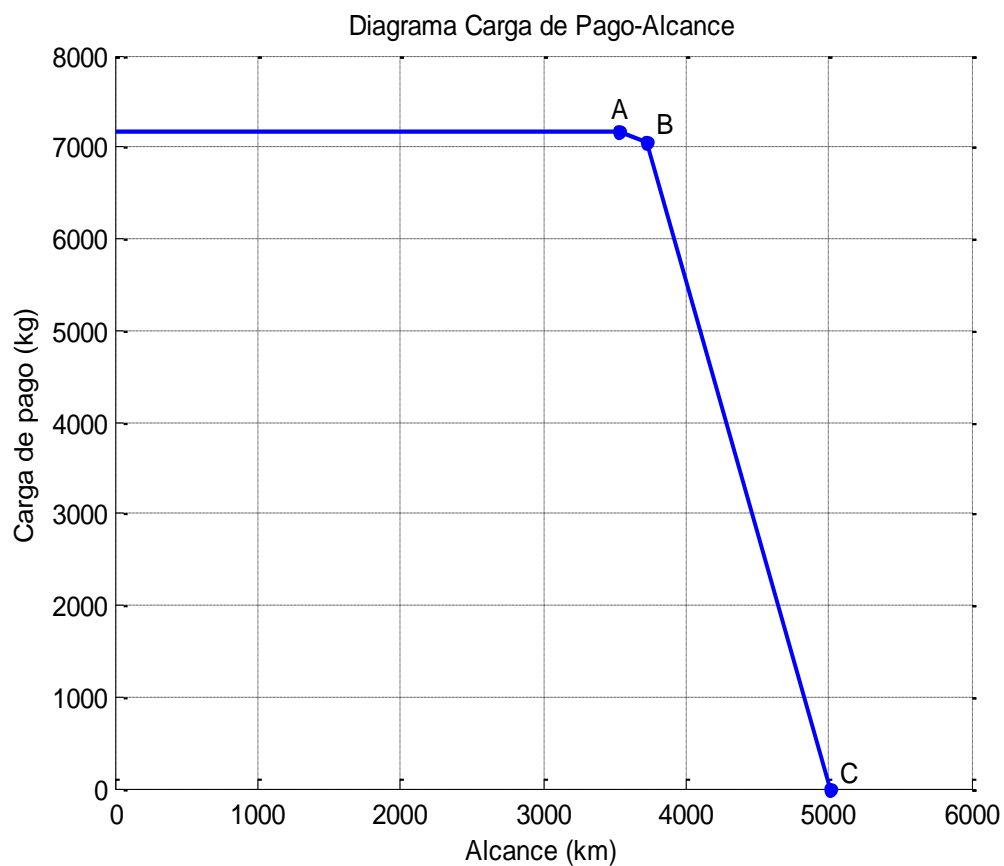
Máxima autonomía

	Misión de diseño	Misión económica
$M_{\text{óptimo}}$	0.37	0.37
$h(\text{m})$	9448.8	9448.8
$V_{\text{óptima}}(\text{m/s})$	112.53	112.46
$t_{A,\text{máx}}(\text{h})$	10.67	4.57

Máximo alcance

	Misión de diseño	Misión económica
$M_{\text{óptimo}}$	0.49	0.49
$h(\text{m})$	9448.8	9448.8
$V_{\text{óptima}}(\text{m/s})$	148.09	148.00
$R_{\text{máx}}(\text{km})$	4648.95	1951.27

Diagrama carga de pago-alcance misión de diseño



Condición OEI (operativo sólo motor izquierdo)

$Cn\delta_r$ (potencia de control direccional) = -0.2605

$Cl\delta_a$ (potencia de control lateral) = 0.0542

$\beta_{max} = -0.46[\text{deg}]$

$\delta_a = -0.77[\text{deg}]$

- $\beta = 0 \rightarrow$

$\delta_r = 0.98[\text{deg}]$

$\delta_a = -1.53[\text{deg}]$

$\phi = -0.02 [\text{deg}]$

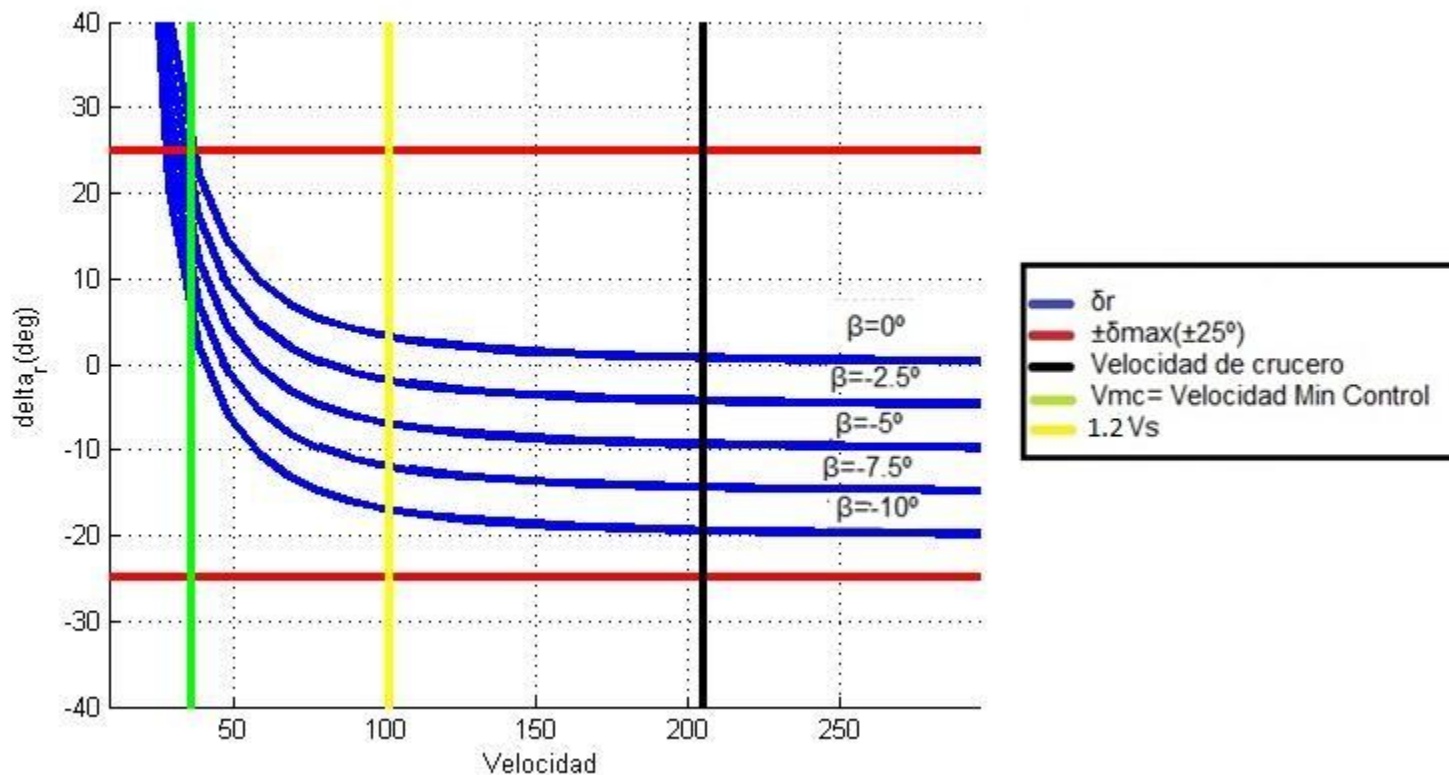
$V_{mc} = 36.08[\text{m/s}]$

$V_s = 84.64 [\text{m/s}]$

$1.1V_s = 93.1[\text{m/s}]$

$V_{mc} < 1.1V_s$

Estudio de sensibilidad, variación β , U_1 , δ_r



Estructuras

W [kg]	Misión de diseño	Misión económica
Peso en despegue	28641.1	27979.3
Peso en aterrizaje, MLW	26364	
Peso Estructuras	5613.61	5613.61
Peso de Sistemas	8024.12	8024.12
Planta motora	4872.50	4872.50
Combustible	2548.1	1090.3
Carga de pago	7583	8379

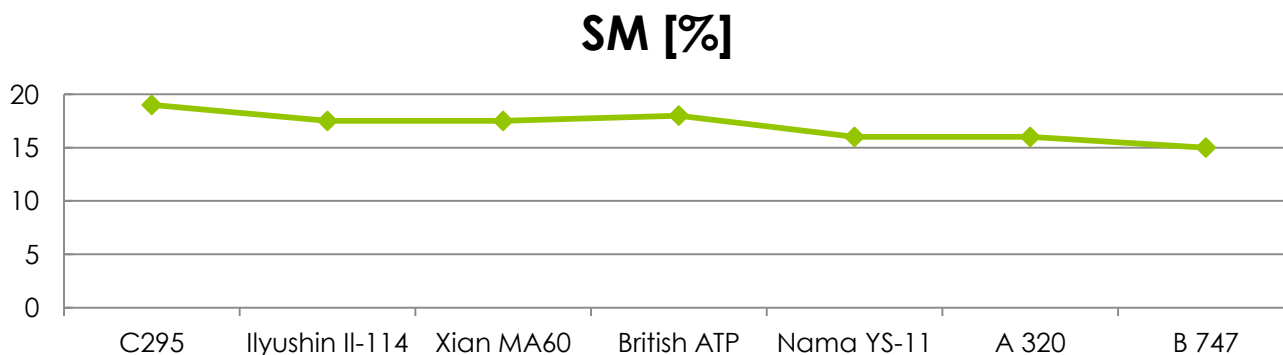
Estudio SM altos (I)

- Diseño con cuerda del ala pequeña.
 - Peso bajo debido al uso de H.
 - Carga alar por encima de la media.
 - Configuración con canard
 - Alargamiento alto.
- Margen Estático muy sensible a variaciones del c.d.g.

Estudio SM altos (II)

Modelo	L_{fus} [m]	S [m ²]	b [m]	c_w [m]	SM* [%]
C295	24.50	59	25.85	2.28	19
Ilyushin Il-114	26.88	81.9	30	2.73	17.5
Xian MA60	24.71	75	29.2	2.56	17.5
British ATP	26	78.3	30.03	2.61	18
Nama YS-11	26.3	94.83	32	2.693	16
A 320	31.44	122.6	34.1	3.595	16
B 747	70.6	510.95	59.6	8.557	15

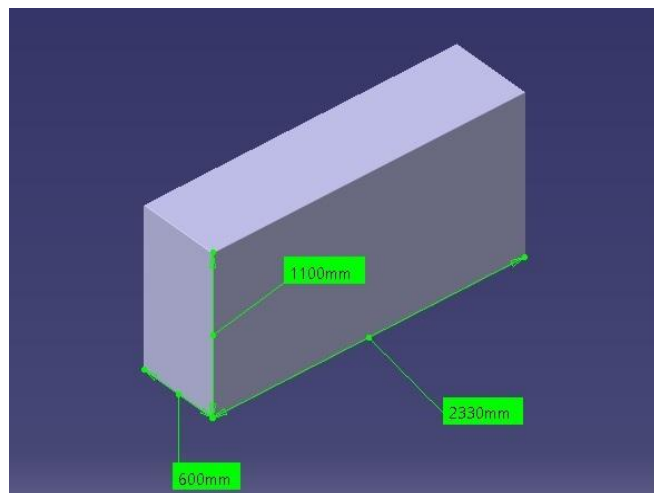
Estudio SM altos (III)



**SM del 35% equivalen a
SM del 16-18%**

Lastrado en vuelo de entrega

Configuración	x_{CG}/L_{fus} [-]	x_{CG} [m]	SM [%]
En vacío (sin combustible ni carga de pago)	0.5732	18.343	-38%
Vuelo de entrega (100% de combustible y sin carga de pago)	0.5705	18.258	-34%
En vacío (lastrado)	0.5469	17.5	8.36%
Vuelo de entrega (lastrado)	0.5435	17.39	9.75%



- Depósito de 1,5 m³ de agua

Realimentación fugoide

$$t_{1/2} = 295 \text{ s} \quad \xi = 0.0298$$

$$\omega_n = 0.07881 \text{ rad/s}$$



$$t_{1/2} = 191.1192 \text{ s} \quad \xi = 0.0617$$

$$\omega_n = 0.06171 \text{ rad/s}$$

MIL-F-8785C (1980)
 $\xi \geq 0.04$

Nivel 2



Nivel 1

$$\delta e = -0.5 q$$