

Resum

Aquest document és un recull dels diferents càlculs que s'han realitzat per dissenyar el *balloon car*. S'ha optat per posar-los en un document apart per no alterar l'estructura i l'ordre de la memòria del projecte.

També s'indica la llista de plànols, que per la seva naturalesa, es presenten de forma separada al document.





Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
A. CÀLCULS	5
A.1. Estructura	5
A.1.1. Unions cargolades	5
A.2. Elements interns	6
A.2.1. Rodaments	6
A.2.2. Passador i xaveta	7
A.2.3. Prestacions del <i>balloon car</i>	8
A.2.4. Transmissió per corretja	10
A.2.5. Temps de funcionament de les bateries	13
A.3. Carrosseria	13
B. PLÀNOLS	19
SUMARI DE TAULES	21





A. Càlculs

A continuació es presenten els diferents càlculs realitzats per determinar i dimensionar les diferents parts del *balloon car*. Aquests es separen en diferents apartats en funció de la part del vehicle al que corresponen.

A.1. Estructura

A.1.1. Unions cargolades

Els diferents perfils de l'estructura estan units mitjançant cargols. La seva fallida pot ser deguda a la cisalladura o al seu aixafament. S'ha detectat que per les condicions de càrrega i la geometria dels elements a unir el criteri més restrictiu és el de la cisalladura. Aquest doncs ha sigut el criteri utilitzat per dimensionar i determinar la classe de resistència dels cargols utilitzats.

$$\tau = \frac{T}{A_1} \leq \tau_{adm,r} \quad (\text{Eq. A.1})$$

Sent:

$$A_1 = \pi \times \frac{d^2}{4} \quad (\text{Eq. A.2})$$

$$\tau_{adm,r} = 0,65 \times \sigma_{adm} \quad (\text{Eq. A.3})$$

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_e}{\gamma_s} \quad (\text{Eq. A.4})$$

On τ és l'esforç tallant, T és la força tallant, A_1 és la secció del cargol, d és el diàmetre del cargol, σ_e és el límit elàstic del material del cargol, σ_{adm} és la tensió admissible del material i γ_s és el factor de seguretat.

Els valors utilitzats per realitzar els càlculs són d'una força de 1.000N, un coeficient de seguretat de 3 i un cargol de resistència 5,6, que té un límit elàstic de 300 N/mm².



Combinant les Eq. A.1, A.2, A.3 i A.4 i substituint els valors anteriors s'obté que el diàmetre del cargol ha de ser major que 4,42 mm.

Així doncs, els cargols utilitzats són de mètric 5 i de classe de resistència 5,6.

A.2. Elements interns

A.2.1. Rodaments

Pel càlcul dels rodaments es considera que aquests tenen les següents sol·licitacions: una força radial (F_r) aplicada sobre els dos rodaments de 150 N, degut a la massa del *balloon car*. Una força axial (F_a) de 250 N, que representa la fracció corresponent de la força lateral d'adherència de les rodes. Per les condicions en les que treballen els rodaments no cal aplicar cap factor corrector.

Per les càrregues aplicades i la disposició de l'eix, els dos rodaments suporten la mateixa força radial, com s'indica a l'Eq. A.5.

$$\frac{F_{rA}}{Y_A} = \frac{F_{rB}}{Y_B} \quad (\text{Eq. A.5})$$

Per aquest tipus de sol·licitacions, la força axial que cal considerar pel càlcul de la càrrega dinàmica equivalent del rodament es calcula amb l'Eq. A.6.

$$F_a = K_a + 0,5 * \frac{F_{rB}}{Y_B} \quad (\text{Eq. A.6})$$

Aquesta pren un valor de 381,6 N. La relació entre la força radial i la força axial que suporten els rodaments determinarà la fórmula a utilitzar per obtenir el valor de la càrrega dinàmica equivalent.

$$\frac{F_a}{F_r} = 2,5 > 1,14 \quad (\text{Eq. A.7})$$

En aquest cas, com s'indica a l'Eq. A.7, el valor obtingut és de 2,5.



La càrrega dinàmica equivalent (P) s'obté substituint els valors adequats a l'Eq. A.8. Aquesta té un valor de 270 N.

$$P = 0,35 * F_r + 0,57 * F_a \quad (\text{Eq. A.8})$$

Els rodaments utilitzats, 7007-B-TVP i 7008-B-TVP, tenen una capacitat de càrrega dinàmica (C) de 22.400 N i 26.000 N respectivament. Suposant que el vehicle es desplaça a una velocitat constant de 100 km/h, sent la rotació de l'eix i de la part interna del rodament de 2088,6 r.p.m, amb l'Eq. A.9, útil per rodaments de boles, s'obté la vida útil per cadascun dels rodaments.

$$\frac{n * 60 * L_h}{10^6} = \frac{C^3}{P^3} \quad (\text{Eq. A.9})$$

Així doncs, sota aquestes condicions de funcionament, la vida útil dels rodaments és molt superior als cent anys.

A.2.2. Passador i xaveta

Per validar les dimensions del passador i les xavetes es consideren que són d'acer, el qual té una pressió admissible de 90 N/mm². El valor considerat del parell de gir de l'eix motriu és el del funcionament nominal, i té un valor de 46,6 Nm.

Passador

El diàmetre del passador (d) és de 6 mm, i el de l'eix foradat (D) de 40 mm. Amb l'Eq. A.10 es comprova que aquest té unes dimensions suficients i no es produeix aixafament ja que s'obté un valor de pressió menor de 30 N/mm², molt inferior a l'admissible pel material.

$$P_{\text{màx}} \approx \frac{6 * \Gamma_t}{D^2 * d} \quad (\text{Eq. A.10})$$



Xaveta

Les diferents xavetes tenen les dimensions normalitzades que varien en funció del diàmetre de l'eix on es troben situades. Aquestes es mostren a la Taula A.1.

Xavetes [mm]	Petita eix roda motriu	Gran eix roda motriu	Eix del motor
Diàmetre eix (d)	30	35	30
Amplada xaveta (b)	8	10	8
Alçada xaveta (h)	7	8	7
Alçada forat eix (t_1)	4	5	4
Alçada forat component (t_2)	3,3	3,3	3,3
Longitud (L)	32	36	32

Taula A.1. Dimensions de les xavetes

Amb l'Eq. A.11 es verifica que el botó no experimenta aixafament.

$$p_{\text{màx}} \approx \frac{\Gamma_t}{(h - t_1) * \frac{d}{2} * L} \quad (\text{Eq. A.11})$$

La xaveta que es veu sotmesa a una pressió més elevada és la gran, amb un valor de 32,4 N/mm², el qual és molt inferior al valor admissible pel material.

A.2.3. Prestacions del *balloon car*

Velocitat màxima

Pel càlcul de la velocitat màxima assolible pel *balloon car* es considera que aquesta es produeix quan el vehicle circula per un terreny amb pendent nul i té una acceleració nul·la. Així doncs, com es mostra a l'Eq. A.12, les úniques resistències que ha de vèncer la força impulsora del vehicle són l'aerodinàmica i la de rodadura.



$$F_i = R_{\text{aerodinàmica}} + R_{\text{rodadura}} \quad (\text{Eq. A.12})$$

$$R_{\text{aerodinàmica}} = \frac{1}{2} * C_x * \rho_{\text{aire}} * A_f * v^2 \quad (\text{Eq. A.13})$$

$$R_{\text{rodadura}} = f * N \quad (\text{Eq. A.14})$$

Coef. resistència aerodinàmica en direcció x (C_x)	0,3
Densitat de l'aire (ρ_{aire})	1,225 kg/m ³
Àrea frontal vehicle (A_f)	1,162 m ²
Coef. resistència a la rodadura (f)	0,015

Taula A.2. Valors utilitzats pel càlcul de la velocitat màxima del vehicle

Substituint els valors de cadascuna de les variables i combinant les Eq. A.12, A.13 i A.14 s'obté que la velocitat màxima assolible pel *balloon car* és de 36,34 m/s², és a dir 130,8 km/h.

Acceleració màxima

L'equació per calcular l'acceleració màxima del *balloon car*, depreciant les resistències, és l'Eq. A.15.

$$F_i = M * a \quad (\text{Eq. A.15})$$

Sent:

$$M = m + m' \quad (\text{Eq. A.16})$$



$$F_i = \Gamma * \eta * \frac{i}{r_d} \quad (\text{Eq. A.17})$$

A l'Eq. A.18, que correspon a l'equació de l'energia cinètica, apareixen termes de massa desplaçant-se a velocitat v i termes d'elements en rotació.

$$E_c = \frac{1}{2} * m * v^2 + \frac{1}{2} * I * \omega^2 \quad (\text{Eq. A.18})$$

Cada element en rotació ho fa a la velocitat de l'eix al que pertany, i es pot diferenciar entre la de l'eix del motor i la de les rodes motrius. Les Eq. A.19 i A.20 relacionen aquestes velocitats amb la velocitat lineal del vehicle.

$$\omega_r = \frac{v}{r_d} \quad (\text{Eq. A.19})$$

$$\omega_m = \frac{i * v}{r_d} \quad (\text{Eq. A.20})$$

Substituint aquestes dues equacions a l'Eq. A.18, i assimilant-la a l'Eq. A.21, s'obté el valor de m' , com es mostra a l'Eq. A.22.

$$E_c = \frac{1}{2} * (m + m') * v^2 \quad (\text{Eq. A.21})$$

$$m' = \left[\frac{I_r}{r_d^2} \right] + \left[\frac{I_m * i^2}{r_d^2} \right] \quad (\text{Eq. A.22})$$

Pel càlcul de l'acceleració del *balloon car* s'han considerat dos punts de funcionament del motor, el nominal i el màxim, i es calcula el valor mitjà. Substituint els valors de cada variable s'obté una acceleració del *balloon car* de $5,8 \text{ m/s}^2$, és a dir $0,59 \text{ g}$.

A.2.4. Transmissió per corretja

A continuació es presenta el mètode de càlcul seguit per determinar la transmissió per corretja.



Potències i tipus de perfil		
Concepte	Càlcul	Valor
Potència nominal motor (P_n)	-	11 kW
Factor de servei (c_2)	Accionament càrrega lleugera/mitjana i menys de 10h de servei. Dades tabulades.	1,1
Potència corregida (P_B)	$P_B = P_n \cdot c_2$	12,1 kW
Selecció tipus perfil	Gràfics selecció tipus de perfil	XPA

Taula A.3. Càlcul de la transmissió per corretja. Part 1

Velocitats de rotació, relació de transmissió i diàmetres de les politges		
Concepte	Càlcul	Valor
Velocitat rotació politja petita (n_1)	ω_{\max} motor	5.000 r.p.m
Velocitat rotació teòrica politja gran (n_2)	Velocitat angular perquè el <i>balloon car</i> pugui assolir els 100 km/h	2.088 r.p.m
Relació transmissió teòrica (i)	$i = n_1 / n_2$	2,395
Diàmetre politja petita (d_{w1})	Taules amb valors estandarditzats	90 mm
Diàmetre teòric politja gran (d_{thw2})	$d_{thw2} = d_{w1} \cdot i$	215,517 mm
Diàmetre politja gran (d_{w2})	Taules amb valors estandarditzats. Elecció d'un valor proper al teòric.	200 mm
Relació transmissió real (i_{real})	$i_{real} = d_{w2} / d_{w1}$	2,222
Velocitat rotació politja gran ($n_{2\ real}$)	$n_{2\ real} = n_1 / i_{real}$	2.250 r.p.m

Taula A.4. Càlcul de la transmissió per corretja. Part 2



Entreeix i desenvolupament de la corretja		
Concepte	Càlcul	Valor
Entreeix (e)	Elecció valor dins del rang recomanat. $0,7 \cdot (d_{w1}+d_{w2}) < e < 2 \cdot (d_{w1}+d_{w2})$	203 mm
Desenvolupament primitiu teòric de la corretja (L_{wth})	$L_{wth}=2 \cdot e+1,57 \cdot (d_{w1}+d_{w2})+[(d_{w2}-d_{w1})^2]/(4 \cdot e)$	876,201 mm
Desenvolupament primitiu de la corretja (L_{wst})	Taules amb valors estandarditzats. Elecció d'un valor proper al teòric.	882 mm
Entreeix nominal real (e_{nom})	Per $L_{wth} \geq L_{wst} \rightarrow e_{nom} = e - (L_{wth} - L_{wst}) / 2$	205,899 mm
Recorregut de tensatge	Segons taules	x=15 mm y=15 mm

Taula A.5. Càlcul de la transmissió per corretja. Part 3

Factors i potència nominal corretja		
Concepte	Càlcul	Valor
Angle de contacte (β)	$(d_{w2} - d_{w1}) / e_{nom}$	0,534
Factor angle de contacte (c_1)	Taules valors de c_1	0,98
Factor de longitud (c_3)	Taules valors de c_3	0,83
Potència nominal corretja (P_N)	Taules potencia nominal. Considerant l'augment en funció de i.	8,49
Nombre de corretges (z)	$z = (P_n \cdot c_2) / (P_N \cdot c_1 \cdot c_3) = 1,752$ Arrodonit a l'enter superior	2

Taula A.6. Càlcul de la transmissió per corretja. Part 4



A.2.5. Temps de funcionament de les bateries

Per determinar la durada de les bateries es consideren dos escenaris de funcionament, en el primer el motor treballa a potència nominal, i en el segon a potència màxima.

$$P_{\text{consumida}} = V * I \quad (\text{Eq. A.23})$$

$$\eta = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{consumida}}} \quad (\text{Eq. A.24})$$

$$\text{Capacitat}_{\text{bateria}} = I * t \quad (\text{Eq. A.25})$$

Combinant les equacions Eq. A.23, A.24 i A.25 i substituint els valors de cada variable s'obté la bateria pot treballar un període de 2 minuts en condicions de funcionament nominal del motor i de 48 segons quan aquest treballa a màxima potència. Aquest temps es considera suficient ja que els assaigs pels que ha estat dissenyat el *balloon car* tenen una durada menor.

A.3. Carrosseria

Per determinar la geometria i les dimensions de la carrosseria, en concret de la pell exterior, s'ha estudiat el balanç d'energia que es produeix en l'impacte entre el vehicle test i el *balloon car*. Aquest xoc es considera inelàstic, i part de l'energia cinètica inicial dels vehicles es transforma en energia de deformació. La quantitat de moviment, Eq. A.26, es conserva, com s'indica a l'Eq. A.27.

$$P = m_c * v_c + m_b * v_b \quad (\text{Eq. A.26})$$

$$P_i = P_f \quad (\text{Eq. A.27})$$

$$E_c = \frac{1}{2} * m_c * v_c^2 + \frac{1}{2} * m_b * v_b^2 \quad (\text{Eq. A.28})$$



Combinant les Eq. A.26, A.27 i A.28 s'obtenen els diferents valors de les velocitats dels vehicles i els valors de la variació d'energia cinètica i de quantitat de moviment, els quals es recullen a la Taula A.7 i A.8

XOC FRONTAL	Unitats	Vehicle test (c)	<i>Balloon car</i> (b)	Conjunt
Massa (m)	[kg]	1300	100	1400
Velocitat inicial (v_i)	[km/h]	100	-50	
Velocitat inicial (v_i)	[m/s]	27,78	-13,89	
Energia cinètica inicial (E_{c_i})	[J]	501543,21	9645,06	511188,27
P inicial (P_i)	[kg*m/s]	36111,11	-1388,89	34722,22
Velocitat final (v_f)	[km/h]	89,29	89,29	
Velocitat final (v_f)	[m/s]	24,80	24,80	
Energia cinètica final (E_{c_f})	[J]	399827,18	30755,94	430583,11
P final (P_f)	[kg*m/s]	32242,06	2480,16	34722,22
$\Delta P = P_f - P_i$	[kg*m/s]	-3869,05	3869,05	0,00
$\Delta E_c = E_{c_f} - E_{c_i}$	[J]	-101716,03	21110,87	-80605,16

Taula A.7. Càlcul del xoc frontal

En el cas del xoc lateral, com que hi ha direccions diferents, s'han descomposat els diferents termes en coordenades x i y.



XOC LATERAL	Unitats	Vehicle test (c)	Balloon car (b)	Conjunt
Massa (m)	[kg]	1300	100	1400
Velocitat inicial eix x (v_{ix})	[km/h]	50	0	
Velocitat inicial eix y (v_{iy})	[km/h]	0	50	
Velocitat inicial eix x (v_{ix})	[m/s]	13	0	
Velocitat inicial eix y (v_{iy})	[m/s]	0	13	
Energia cinètica inicial (E_{ci})	[J]	125385,80	9645,06	135030,86
P inicial eix x (P_{ix})	[kg*m/s]	18055,56	0	18055,56
P inicial eix y (P_{iy})	[kg*m/s]	0	1388,89	1388,89
Velocitat final eix x (v_f)	[km/h]	46,43	46,43	
Velocitat final eix y (v_f)	[km/h]	3,57	3,57	
Velocitat final eix x (v_f)	[m/s]	12,90	12,90	
Velocitat final eix y (v_f)	[m/s]	0,99	0,99	
Energia cinètica final (E_{cf})	[J]	108752,99	8365,61	117118,61
P final eix x (P_{fx})	[kg*m/s]	16765,87	1289,68	18055,56
P final eix y (P_{fy})	[kg*m/s]	1289,68	99,21	1388,89
$\Delta P_x = P_{fx} - P_{ix}$	[kg*m/s]	-1289,68	1289,68	0,00
$\Delta P_y = P_{fy} - P_{iy}$	[kg*m/s]	1289,68	-1289,68	0,00
$\Delta E_c = E_{cf} - E_{ci}$	[J]	-16632,81	-1279,45	-17912,26

Taula A.8. Càlcul del xoc lateral

$$\Delta E_c = E_{\text{deformació}} \quad (\text{Eq. A.29})$$

$$E_{\text{def.}} = E_{\text{def.veh. Test}} + E_{\text{def.carrosseria Balloon}} + E_{\text{def.estructura Balloon}} \quad (\text{Eq. A.30})$$



Com es mostra a l'Eq. A.29, la variació de l'energia cinètica que experimenten els dos vehicles es transforma en energia de deformació. Aquesta es reparteix entre el vehicle test, la carrosseria i l'estructura del *balloon car*.

$$E_{\text{def,vehicleTest}} = F * \frac{d}{2} \quad (\text{Eq. A.31})$$

L'energia de deformació del vehicle test és la que experimenta el frontal del vehicle, i té un valor de 4.700 J. De l'Eq. A.31 s'obté el valor de la força, que si es substitueix a l'Eq. A.32 s'obté l'energia de deformació de l'estructura del *balloon car*.

$$E_{\text{def,estructuraBalloonCar}} = F * \frac{d}{2} \quad (\text{Eq. A.32})$$

L'energia restant és la que ha d'absorbir la carrosseria del *balloon car*.

Energies de deformació [J]	Xoc frontal	Xoc lateral
Vehicle test	4.700	4.700
Estructura <i>balloon car</i>	359,08	588,44
Carrosseria <i>balloon car</i>	75.546,08	12.623,82

Taula A.9. Energies de deformació de les diferents parts

$$E_{\text{def,carrosseriaBalloonCar}} = \frac{F^2 * L}{2 * A * E} \quad (\text{Eq. A.33})$$

L'Eq. A.33 representa l'energia de deformació d'una peça sotmesa a esforç axial. Aquesta permet calcular les seccions dels perfils de la pell externa de la carrosseria del *balloon car*.



Carrosseria del <i>balloon car</i>	Xoc frontal	Xoc lateral
Mòdul elàstic E [Pa]	868.000	1.224.000
Longitud (L) [m]	1,4	0,5
Àrea (A) [m ²]	0,3773	0,5719

Taula A.10. Característiques de la carrosseria del *balloon car*



B. Plànols

A continuació es fa un llistat dels plànols, que per la seva naturalesa es presenten de forma separada al document.

Plànols de peces:

- Suport rodament extern (SRE-1)
- Eix (E-1)

Plànol de subconjunts:

- Conjunt Eix (CE-1)

Plànol de conjunt:

- Conjunt *balloon car* (CBC-1)





Sumari de taules

Taula A.1. Dimensions de les xavetes _____	8
Taula A.2. Valors utilitzats pel càlcul de la velocitat màxima del vehicle _____	9
Taula A.3. Càlcul de la transmissió per corretja. Part 1 _____	11
Taula A.4. Càlcul de la transmissió per corretja. Part 2 _____	11
Taula A.5. Càlcul de la transmissió per corretja. Part 3 _____	12
Taula A.6. Càlcul de la transmissió per corretja. Part 4 _____	12
Taula A.7. Càlcul del xoc frontal _____	14
Taula A.8. Càlcul del xoc lateral _____	15
Taula A.9. Energies de deformació de les diferents parts _____	16
Taula A.10. Característiques de la carrosseria del <i>balloon car</i> _____	17

