

# ESTUDI DEL COMPORTAMENT D'UNA ESTRUCTURA DE RIGIDITZACIÓ D'UN GLOBUS AEROSTÀTIC

## PROJECTE DE FINAL D'ESTUDIS

Grau en Enginyeria de disseny industrial i desenvolupament del producte  
Grau en Enginyeria mecànica



AUTOR: Ferran Vilà Gay  
DIRECTOR: Javier Álvarez del Castillo  
CO-DIRECTOR: Joan Antoni López Martínez

ESEIAAT, Juny 2021



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Escola Superior d'Enginyeries Industrial,  
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa



*A tota la gent que estimo, gràcies.*

*Sara, Aleix, M<sup>a</sup> Lluïsa, M<sup>a</sup> Pilar, Jaume.*

*Aquest treball el vull dedicar a la meva família i a la meva gent, que m'han acompanyat i donat tot el suport que els hi he demanat, i el que no, en els moments complicats.*

*Perquè n'hi ha hagut.*

*A tot el conjunt de docents que m'han format i acompanyat fins a dia d'avui; amb una menció especial a tots aquells que han tingut converses per correu electrònic amb mi.*

*I per a l'enginyer que en surt d'aquesta bonica època, a mi, per que ens espera una etapa professional emocionant i plena de nous coneixements i aventures.*

## RESUM

---

Per poder gaudir plenament de les espectaculars vistes de les grans extensions de neu i gel que té la localitat de Svalbard, cal fer-ho a vista d'ocell, i la forma més especial de realitzar aquesta experiència és a bord d'un globus aerostàtic.

Aquesta activitat, en creixement arreu del món, permet viure moments inoblidables des d'un punt de vista totalment diferent al que estem acostumats a veure amb els peus a terra. Però alhora, porta amb ella uns riscos que sovint són inapreciables i remots, tot i que quan succeeixen són devastadors, ja que qualsevol impacte per un o altre motiu sobre la vela, pot crear uns efectes indesitjats, que poden comprometre la integritat dels tripulants i fins i tot provocar la precipitació al buit de l'aerostació.

Per tal d'evitar la reacció anterior, es planteja una proposta d'estructura tubular acoblada a la vela (descrita en la patent ES-2538595-B1, a nom del director d'aquest treball), i per mitjà de diversos anàlisis d'estàtica estructural simulats amb el programari de ANSYS, que volen reproduir amb un alt nivell de fidelitat vers a la interacció real, es vol comprovar la seva viabilitat.

Finalment es demostra que l'estructura plantejada en la patent compleix adequadament els requisits, però amb l'objectiu de millorar els bons resultats dels desplaçaments, vers el disseny anterior, es planteja un re-disseny que presenta un major nombre de tubs, tant en direcció perimetral com en la direcció perfilar, que asseguri la indeformabilitat del globus aerostàtic front el xoc directe d'un flux d'aire a gran velocitat.



# ABSTRACT

---

If you want to enjoy the stunning views of the extension of ice and snow that Svalbard has, it is necessary to do it with an eagle eyesight point of view, and the unique way to enjoy this experience is to do it on board a hot air balloon.

This activity, growing tremendously around the world, allows us to experience unforgettable moments from a point of view completely contrary to what human beings are used to. But at the same time, it can be extremely risky. If the cloth gets damaged by an impact, the integrity of the crew is in danger, even it can provoke the fall of the hot air balloon, which would cause undesired effects.

To prevent this class of rare events, a proposal was presented. It was a tubular structure pegged to the cloth (which was described as ES-2538595-B1, work in the name of the director of this project), and through different analysis of structural aesthetics simulated in the schedule of ANSYS, which they are intended to reproduce with a high level of fidelity compared to the real interaction, done to carefully check its visibility.

Finally, it is shown that the structure proposed in the adequately meets de requirements, but in order to improve the good results of the displacements compared with the previous design, its ambitious proposal was to present a redesigned model that has a large number of tubes, in perimetric management and even profiling direction, that will make sure the non-deformability of the hot air balloon when a huge flux of air comes in great speed.



# LLISTA DE CONTINGUT

---

MOTIVACIÓ PERSONAL.....	17
OBJECTIUS.....	17
PRINCIPALS.....	17
ESPECÍFICS.....	17
PLANIFICACIÓ.....	19
METODOLOGIA.....	19
CRONOGRAMA.....	21
APARTAT 1. TEORIA.....	23
EL GLOBUS AEROSTÀTIC.....	24
DESCRIPCIÓ.....	24
EVOLUCIÓ HISTÒRICA.....	25
PRINCIPI FÍSIC DEL GLOBUS AEROSTÀTIC.....	33
REGULACIÓ VIGENT DE GLOBUS AEROSTÀTICS I COM PONENTS RELACIONATS.....	35
CONDICIONS METEOROLÒGIQUES.....	37
ACTUALITAT DEL GLOBUS AEROSTÀTIC.....	39
PARTS DEL GLOBUS.....	43
MESURES GENERALS.....	44
CONSTRUCCIÓ I FUNCIONAMENT DEL GLOBUS.....	50
TEMPORITZACIÓ I DADES SOBRE LA FABRICACIÓ DEL GLOBUS AEROSTÀTIC.....	60
LA SINISTRALITAT DEL GLOBUS.....	61
ESTUDI DE MERCAT.....	65
SIMULACIÓ COMPUTACIONAL.....	74
MÈTODE D'ELEMENTS FINITS.....	75
DINÀMICA DE FLUIDS COMPUTACIONAL.....	77
INTERACCIÓ FLUID-SÒLID.....	78
ESTRUCTURA.....	81
PATENT ES-2538595-B1.....	81
PATENTS ASSOCIADES.....	84
APARTAT 2. MÈTODE.....	90
ANSYS.....	91
PREVI A LA CONFIGURACIÓ DELS CASOS.....	94

ELECCIÓ DEL MODEL REAL A COPIAR .....	94
MODEL 3D.....	96
PRESSIONS APLICADES .....	106
MATERIAL.....	107
CASOS D'ESTÀTICA ESTRUCTURAL.....	109
CAS 1. Primer contacte i verificació del 3D.....	110
CAS 2. Comprovació de les restriccions.....	113
CAS 3. Variació de la vela sense paracaigudes .....	116
CAS 4. Patent ES-2538595-B1 .....	119
CAS 5A. Millora dels contactes .....	123
GRANS DESPLAÇAMENTS .....	127
CAS 5B. Patent i grans desplaçaments .....	130
CAS 6A. Re-disseny amb més tubs a l'equador .....	134
CAS 7A. Disseny final de xarxa .....	138
RIGIDITZACIÓ DELS TUBS .....	142
CAS 5C. RÍGID. Patent i grans desplaçaments .....	143
CAS 6B. RÍGID. Re-disseny amb més tubs a l'equador .....	147
CAS 7B. RÍGID. Disseny final de xarxa .....	151
APARTAT 3. DISCUSSIÓ .....	156
VALIDACIÓ FINAL DEL DISSENY .....	157
CONCLUSIONS FINALS DEL TREBALL .....	161
FUTURES VIES D'INVESTIGACIÓ .....	162
CONCLUSIONS .....	163
BIBLIOGRAFIA .....	166
 ANNEXES	
ANNEX 1. FITXES TÈCNIQUES .....	2
ANNEX 2. <i>REPORTS</i> DE ANSYS .....	13
ANNEX 3. PLÀNOLS DELS DISSENYS.....	239
 PRESSUPOST	
AUTOINFORME DE QUALITAT	

# LLISTA DE FIGURES

Fig 1. Globus aerostàtic tipus. ....	24
Fig 2. Rei Bladud, amb ales fetes de plomes.....	25
Fig 3. Llinterna Kongming.....	26
Fig 4. Giovanni Fontana, disseny de coet. ....	26
Fig 5. Prototip del coet de Giovanni Fontana, per Richard Windley.....	26
Fig 6. Barca voladora, Francesco deTerzi.....	27
Fig 7. Model de Passarola, Museu Nacional Aeronàutic i de l'espai de Xile.....	28
Fig 8. Gravat de l'enlairament de Jean-Françoise i el marquès d'Arlandes. ....	30
Fig 9. Gravat del 1887, que plasma el moment en que Jacques Charles s'enlaira.....	31
Fig 10. Globus Raven N II 979. ....	32
Fig 11. Força de flotació (FB) front el pes W en un cos submergit en un fluid. ....	33
Fig 12. Forces generals presents en el globus aerostàtic. ....	33
Fig 13. Parts principals del globus aerostàtic actual.....	39
Fig 14. Xemeneies de fades, Capadòcia (Turquia).....	40
Fig 15. Globus publicitari de Movistar (ULTRAMAGIC )......	41
Fig 16. United Kingdom Competition Ballooning (2020). ....	42
Fig 17. Esquema bàsic de les parts d'un globus.....	43
Fig 18. Planta i alçat de la Sèrie H. ....	45
Fig 19. Decoració de la vela. Sèrie H.....	48
Fig 20. Resum de paràmetres del globus H-77 seleccionat.....	49
Fig 21. Descomposició en 3 parts principals del globus aerostàtic.....	50
Fig 22. Cistella. ....	51
Fig 23. Cremador MK 21 - Doble. ....	51
Fig 24. Sèrie V, 24 seccions. ....	51
Fig 25, Sèrie H, 12 seccions. ....	51
Fig 26. Cosit dels rectangles de tela per a fer una secció de la vela.....	52
Fig 27. Anella on s'uneixen les cintes.....	53
Fig 28. Unió de seccions amb cintes de polièster. ....	53
Fig 29. Zones on s'utilitza el Nomex®.....	54
Fig 30. Vista des de dins de la tela, paracaigudes del globus.....	54
Fig 31. Sistema de rotació del cremador. ....	55

Fig 32. Sistema de combustió de 2 cremadors.....	56
Fig 33. Sistema de combustió de 4 cremadors.....	56
Fig 34. Fusta nàutica a la cistella.....	57
Fig 35. Construcció de l'estructura de la cistella.....	58
Fig 36. Trenat del vímet.....	58
Fig 37. Model 1 de cistella.....	59
Fig 38. Model 2 de cistella.....	59
Fig 39. Globus de Jean-Francois Pilatre de Roizer abans d'estavellar-se, 1785.....	61
Fig 40. Esquema del sistema que es vol arribar a simular.....	74
Fig 41. Discretització, restriccions i càrregues aplicades en un sòlid.....	75
Fig 42. Cos sòlid amb restriccions i càrregues aplicades.....	76
Fig 43. Subdivisió en partícules de la geometria del sòlid anterior.....	76
Fig 44. Mapa de tensions resultants de l'estudi amb MEF.....	76
Fig 45. Volum de control.....	77
Fig 46. Exemple de quin aspecte té un anàlisi DFC.....	78
Fig 47. Mallat del sistema per un anàlisi de mecànica de fluids segons DFC.....	79
Fig 48. Mallat del sistema per un anàlisi estructural segons MEF.....	79
Fig 49. Dispositiu de rigidització tubular. (pàg. 9 - patent:ES-2538595_B1).....	82
Fig 50. Disposició dels tubs horitzontal-perimetral. (pàg. 9 - patent:ES-2538595_B1).....	83
Fig 51. Disposició dels tubs horitzontal-perimetral. (pàg. 9 - patent:ES-2538595_B1).....	83
Fig 52. Unions proposades entre els tubs. (pàg. 10 - patent:ES-2538595_B1).....	84
Fig 53. Imatge resum de la patent US- 5362017-A.....	84
Fig 54. Imatge resum de la patent US-5697579-A.....	85
Fig 55. Imatge resum de la patent WO- 2000036953-A1.....	86
Fig 56. Imatge resum de la patent CN- 101417705-B.....	86
Fig 57. Imatge resum de la patent CN- 201999197-U.....	87
Fig 58. Logotip de l'empresa ANSYS.....	91
Fig 59. Simulació del cicle respiratori humà.....	91
Fig 60. Pantalla d'inici de ANSYS Workbench 2021 R1.....	93
Fig 61. Planta i alçat de la Sèrie T.....	94
Fig 62. Resum de paràmetres del globus T-180 seleccionat.....	95
Fig 63. Disseny 3D complet, vela simple, cistella i cordes.....	96
Fig 64. Disseny 3D de vela simple.....	97
Fig 65. Disseny 3D vela complexa.....	98

Fig 66. Disseny 3D vela i patent – contacte irregular.....	99
Fig 67. Estructura tubular – contacte irregular.....	99
Fig 68. Detall del contacte, model 3D vela i patent – contacte irregular.....	100
Fig 69. Disseny 3D vela i patent – amb contacte.....	101
Fig 70. Estructura tubular – amb contacte.....	101
Fig 71. Detall del contacte, model 3D vela i patent – amb contacte.....	102
Fig 72. Re-disseny 3D vela i més tubs.....	103
Fig 73. Estructura tubular, amb augment de tubs.....	103
Fig 74. Re-disseny 3D xarxa tubular.....	104
Fig 75. Estructura tubular, de xarxa tubular.....	104
Fig 76. Vista superior del globus, amb el paracaigudes recollit.....	105
Fig 77. Cas 1-Mallat.....	110
Fig 78. Cas 1-Fixacions.....	110
Fig 79. Cas 1-Càrregues.....	111
Fig 80. Cas 1-Mapa de deformacions.....	111
Fig 81. Cas 1-Mapa de intensitat de tensió.....	112
Fig 82. Cas 1-Mapa de factor de seguretat.....	112
Fig 83. Cas 2-Mallat.....	113
Fig 84. Cas 2-Fixacions.....	113
Fig 85. Cas 2-Càrregues.....	114
Fig 86. Cas 2-Mapa de deformacions.....	114
Fig 87. Cas 2-Mapa de intensitat de tensió.....	115
Fig 88. Cas 2-Mapa de factor de seguretat.....	115
Fig 89. Cas 3-Mallat.....	116
Fig 90. Cas 3-Fixacions.....	116
Fig 91. Cas 3-Càrregues.....	117
Fig 92. Cas 3-Mapa de deformacions.....	117
Fig 93. Cas 3-Mapa de intensitat de tensió.....	118
Fig 94. Cas 3-Mapa de factor de seguretat.....	118
Fig 95. Cas 4-Mallat.....	119
Fig 96. Cas 4-Contacte vela.....	120
Fig 97. Cas 4-Contacte tubs.....	120
Fig 98. Cas 4-Fixacions.....	120
Fig 99. Cas 4-Càrregues.....	120



Fig 100. Cas 4-Mapa de deformacions.....	121
Fig 101. Cas 4-Mapa de intensitat de tensió. ....	122
Fig 102. Cas 4-Mapa de factor de seguretat.....	122
Fig 103. Cas 5A-Mallat.....	123
Fig 104. Cas 5A-Contacte vela.....	124
Fig 105. Cas 5A-Contacte tubs.....	124
Fig 106. Cas 5A-Fixacions. ....	124
Fig 107. Cas 5A-Càrregues.....	124
Fig 108. Cas 5A-Mapa de deformacions. ....	125
Fig 109. Cas 5A-Mapa de intensitat de tensió. ....	126
Fig 110. Cas 5A-Mapa de factor de seguretat. ....	126
Fig 111. Problema de biga encastada, petits desplaçaments. ....	127
Fig 112. Problema de biga encastada, grans desplaçaments. ....	128
Fig 113. Problema de biga encastada, correcció. ....	128
Fig 114. Solució per steps.....	129
Fig 115. Substeps i steps. ....	129
Fig 116. Paràmetres de ANSYS amb substeps. ....	129
Fig 117. Cas 5B-Mallat.....	130
Fig 118. Cas 5B-Contacte vela.....	131
Fig 119. Cas 5B-Contacte tubs.....	131
Fig 120. Cas 5B-Anàlisis Settings.....	131
Fig 121. Cas 5B-Fixacions. ....	131
Fig 122. Cas 5B-Càrregues. ....	132
Fig 123. Cas 5B-Mapa de deformacions. ....	132
Fig 124. Cas 5B-Mapa de intensitat de tensió.....	133
Fig 125. Cas 5B-Mapa de factor de seguretat. ....	133
Fig 126. Cas 6A-Mallat.....	134
Fig 127. Cas 6A-Contacte vela.....	135
Fig 128. Cas 6A-Contacte tubs.....	135
Fig 129. Cas 6A-Anàlisis Settings. ....	135
Fig 130. Cas 6A-Fixacions. ....	135
Fig 131. Cas 6A-Càrregues.....	136
Fig 132. Cas 6A-Mapa de deformacions. ....	136
Fig 133. Cas 6A-Mapa de intensitat de tensió.....	137

Fig 134. Cas 6A-Mapa de factor de seguretat. ....	137
Fig 135. Cas 7A-Mallat.....	138
Fig 136. Cas 7A-Contacte vela.....	139
Fig 137. Cas 7A-Contacte tubs.....	139
Fig 138. Cas 7A-Anàlisis Settings. ....	139
Fig 139. Cas 7A-Fixacions. ....	139
Fig 140. Cas 7A-Càrregues.....	140
Fig 141. Cas 7A-Mapa de deformacions. ....	140
Fig 142. Cas 7A-Mapa de intensitat de tensió. ....	141
Fig 143. Cas 7A-Mapa de factor de seguretat. ....	141
Fig 144. Exemple d'estructura, pont, rigiditzada amb tubs pressuritzats.....	142
Fig 145. Cas 5C-Mallat.....	143
Fig 146. Cas 5C-Contacte vela.....	144
Fig 147. Cas 5C-Contacte tubs.....	144
Fig 148. Cas 5C-Anàlisis Settings. ....	144
Fig 149. Cas 5C-Fixacions. ....	144
Fig 150. Cas 5C-Càrregues.....	145
Fig 151. Cas 5C-Mapa de deformacions.....	145
Fig 152. Cas 5C-Mapa de intensitat de tensió. ....	146
Fig 153. Cas 5C-Mapa de factor de seguretat. ....	146
Fig 154. Cas 6B-Mallat.....	147
Fig 155. Cas 6B-Contacte vela.....	148
Fig 156. Cas 6B-Contacte tubs.....	148
Fig 157. Cas 6B-Anàlisis Settings. ....	148
Fig 158. Cas 6B-Fixacions. ....	148
Fig 159. Cas 6B-Càrregues. ....	149
Fig 160. Cas 6B-Mapa de deformacions. ....	149
Fig 161. Cas 6B-Mapa de intensitat de tensió.....	150
Fig 162. Cas 6B-Mapa de factor de seguretat. ....	150
Fig 163. Cas 7B-Mallat.....	151
Fig 164. Cas 7B-Contacte vela.....	152
Fig 165. Cas 7B-Contacte tubs.....	152
Fig 166. Cas 7B-Anàlisis Settings. ....	152
Fig 167. Cas 7B-Fixacions. ....	152

Fig 168. Cas 7B-Càrregues. ....	153
Fig 169. Cas 7B-Mapa de deformacions. ....	153
Fig 170. Cas 7B-Mapa de intensitat de tensió. ....	154
Fig 171. Cas 7B-Mapa de factor de seguretat. ....	154
Fig 172. Només la pressió d'impacte del vent, la d'inflat i la exterior s'igualen. ....	157
Fig 173. Impacte del vent, sense estructura. ....	158
Fig 174. Cas 5C, amb només força del vent. ....	158
Fig 175. Cas 7B, amb només força del vent. ....	159

# LLISTA DE TAULES

---

Taula 1. Cronograma. ....	21
Taula 2. Manual de vol – ULTRAMAGIC (pàg. 40). ....	44
Taula 3. Valors relacionats amb el model de la sèrie H (web).....	45
Taula 4. Descripció detallada de les mesures del globus (pàg. 63). ....	46
Taula 5. Informació addicional, selecció de barqueta i de cremador (pàg. 46).....	46
Taula 6. Descripció detallada dels cremadors (pàg. 71).....	47
Taula 7. Descripció detallada de la barqueta (pàg 72). ....	47
Taula 8. Descripció detallada de les ampolles de combustible (pàg 72).....	48
Taula 9. Models de globus ULTRAMAGIC . ....	67
Taula 10. Models de globus Kubicek Balloons.....	69
Taula 11. Models de globus Lindstrand.....	71
Taula 12. Models de globus Cameron Balloons. ....	73
Taula 13. Propietats material ABS, biblioteca de ANSYS.....	108
Taula 14. Propietats material PA 6 (niló), biblioteca de ANSYS. ....	108
Taula 15. Propietats de Niló Ripstop, segons dades de la fitxa tècnica (veure Annex 1).....	108



## MOTIVACIÓ PERSONAL

Aquest projecte neix de l'ambició i de les **ganes d'obtenir més coneixement en dues branques de l'enginyeria** – que donat la titulació que s'ha cursat no han estat abordades amb molt detall – com són l'enginyeria de fluids – específicament de pneumàtica aplicada a sistemes mecànics – i l'anàlisi per simulació computacional basada en elements finits en casos d'interacció entre fluids i sòlids.

A més a més – tot i tenir un pre-disseny de l'estructura de rigidització del globus – es té **la il·lusió de poder aplicar els coneixements** de mecànica i de disseny de producte, i d'estructures, a millorar aquesta proposta inicial de disseny d'un "esquelet" que eviti que el globus aerostàtic pateixi un desplaçament del fluid que conté, fet que provoca la seva caiguda al buit.

## OBJECTIUS

### PRINCIPALS

L'objectiu principal d'aquest projecte és: **simular amb un elevat nivell de precisió la interacció fluid-sòlid** que es produeix en els casos de xoc entre globus o d'impacte d'un flux puntual de fluid en el globus, per després introduir en l'equació una estructura de rigidització de l'aeronau, i veure si d'aquesta manera es minimitzen les deformacions que pateix i per tant es redueix la possibilitat de que col·lapsi.

### ESPECÍFICS

1. Reunir la informació necessària per **definir adequadament els elements** que participen en la interacció, es a dir, els paràmetres necessaris per descriure l'aire de l'entorn on es mou el globus (com podria ser el cas de conèixer la velocitat que agafa el vent a l'altura on viatge el globus) i els paràmetres lligats al funcionament del globus aerostàtic (per exemple, la temperatura que s'assoleix a l'interior del globus o el mòdul de Young de la tela que conforma l'embolcall).

2. Realitzar un "recorregut" on **partint d'un cas més senzill al que s'ha de simular i anar implementant nova informació de manera progressiva, per assimilar objectius i plantejar nous requisits**; amb l'objectiu final d'aconseguir la simulació més acurada possible a la realitat, utilitzant adequadament la informació obtinguda en l'objectiu 1.

3. Treure unes **conclusions sobre l'eficàcia d'introduir aquesta innovació** en el cos de l'aeronau i valorar la seva aportació – per tant contraposar-ho al cas on no hi ha estructura.

4. Desenvolupar un **disseny d'estructura amb una geometria respectuosa amb l'essència bàsica del globus aerostàtic i que alhora sigui simple**, i sobretot que presenti una millora substancial en evitar el desplaçament del fluid de l'interior del globus.

A partir d'aquí, segons la satisfacció vers el lloc on s'ha arribat amb el treball i el temps que quedi abans de l'entrega (i si es veu adequat), es plantegen més objectius a estudiar per incrementar el valor d'aquest document.

5. Seleccionar el **conjunt de materials o d'elements comercials** en base a criteris econòmics i de funcionament, per a la construcció i implementació real de l'estructura finalment proposada.

6. **Desenvolupar l'estructura a nivell de fabricació**, acotació de plànols, estudi deaprovisionament i muntatge, elaboració de pressupostos i llista de costos associats.

7. **Plantejament d'una marca i de material comercial.**



# PLANIFICACIÓ

Per tal de fer un recorregut amb un sentit lògic al llarg d'aquest treball de final de carrera és necessari explicar com es farà aquest camí, ja que han de confluïr en un mateix treball tres elements (globus aerostàtic, estructura innovadora i simulació computacional) els quals s'ha d'evitar aprofundir en ells particularment, ja que l'objectiu principal és la simulació de tots tres. Però alhora tampoc es pot començar amb la simulació global sense donar unes pinzellades de cada un dels elements per fer més comprensible els apartats que venen a continuació, per tot això s'explicarà la metodologia que es seguirà en el treball i el marc cronològic que és planteja per assolir tots i cada un dels objectius.

## METODOLOGIA

El fet de treballar amb tres elements els quals particularment podrien tenir un treball de final de grau com a element principal, pot generar que els temes no es toquin amb prou precisió o que es generi un fals aspecte de no buscar prou informació per definir-los independentment; és per això que el plantejament que es fa és el de buscar aquella informació rellevant dins del marc de la simulació, que és l'element on és cohesionen tots ells i l'objectiu principal del treball, per tant:

**Del globus aerostàtic** – és vol aconseguir definir de manera molt acurada tots els aspectes de gran importància relacionats amb la seva forma i geometria, amb la construcció (incloent materials i elements constructius específics, per tal de recrear una geometria prou pròxima al model real, amb el funcionament (a quina velocitat es projecta l'aire escalfat des de el sistema d'ignició cap al'interior del globus, quina pressió genera, quina temperatura s'assoleix a l'interior de l'embolcall, etc), per tal d'introduir-los dins del programa de simulació.

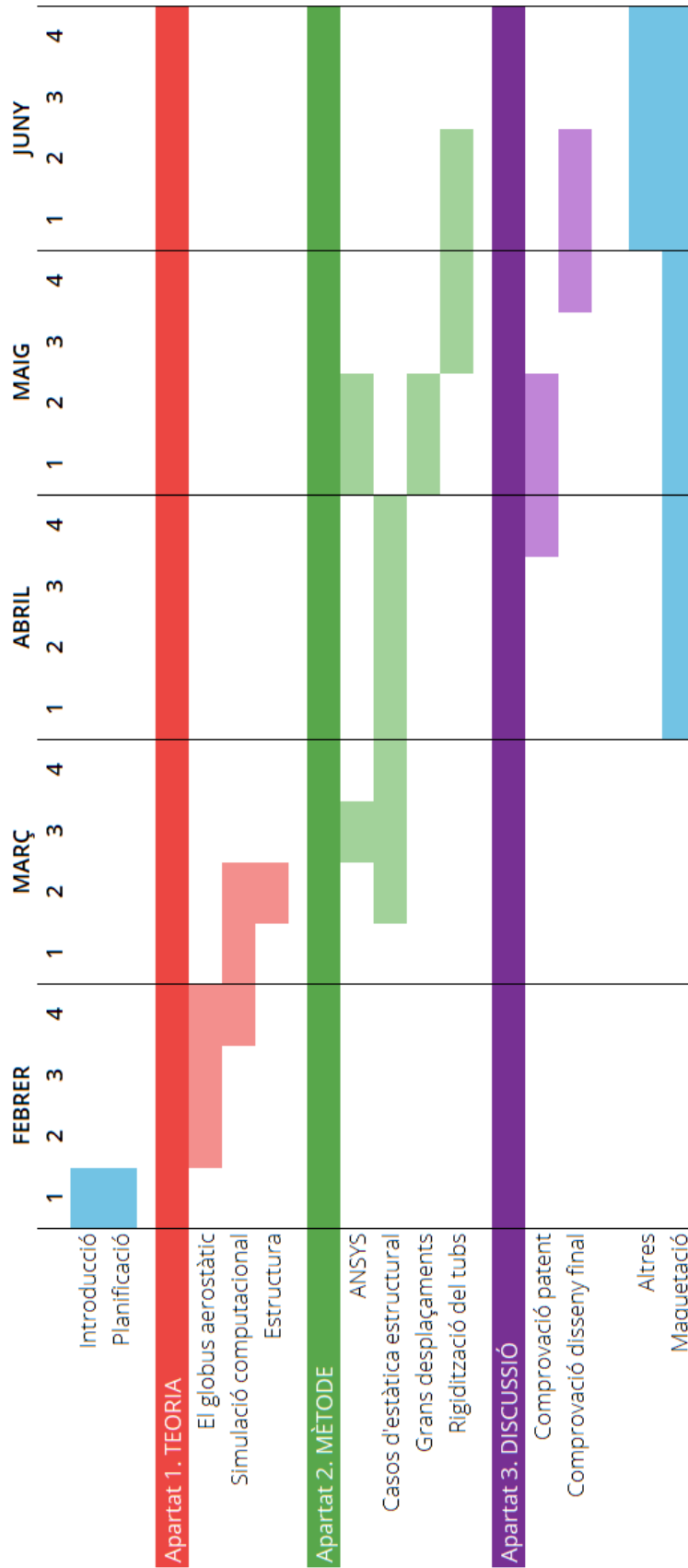
**De l'estructura** – quin és el pre-disseny proposat en la patent i quines dimensions s'especifiquen, quin mecanisme de funcionament (i si s'escau més endavant també quin mecanisme d'accionament) utilitza per realitzar la funció de rigidització, com expressem aquesta estructura dins del programari i quina valoració n'extrèiem del càlcul computacional. Quina informació ens dona els resultats dels anàlisis sobre el pre-disseny i quines accions se'n deriven, petits canvis o replantejament de l'estructura.

**Del programari de simulació** – quina és la manera i la forma en que podem definir aquest cas d'interacció fluid-sòlid real a una simulació computacional (quines dades són necessàries, com s'han de definir els agents que interaccionen segons les bases del programari, de quina manera plantejem una aproximació de la veritable interacció que es dona, quina interpretació fem dels resultats obtinguts, etc).

Tota aquesta informació i càlculs s'han separat en tres grans apartats, per presentar la informació d'una manera més ordenada: **Teoria**, el qual engloba tota la informació purament teòrica i extreta de les diferents fonts d'informació consultades per tal de dotar dels coneixements necessaris per entendre els continguts que venen a *posteriori* a tot aquell qui llegeixi el següent treball, i per tal d'evitar d'haver d'explicar-ho més endavant. **Mètode**, un cop presentat tot el contingut explicatiu, es passa a elaborar les simulacions amb el *software*, per tant es descriurà i s'executarà la construcció dels diferents casos d'anàlisis estructural i de mecànica de fluids. **Discussió**, en aquest apartat es recullen els resultats dels diferents anàlisis desenvolupats en l'apartat anterior i es realitza un estudi de quina informació aporten.

Finalment es realitzaran unes **conclusions finals** i **s'hipostatitzaran només línies d'investigació**.

## CRONOGRAMA



Taula 1. Cronograma.



## APARTAT 1. TEORIA

Aquest apartat pretén ser una recopilació d'informació de caràcter purament teòric i educatiu, per presentar i explicar els diferents conceptes que es creuen importants per a desenvolupar molt detalladament aquest projecte de final de grau.

Es per això que aquí s'engloben temes referents al globus aerostàtic i l'estructura innovadora, a la branca científica on hi incideix, la mecànica de fluids, i sobre el mecanisme que es vol utilitzar per a fer els càlculs de simulació computacional, el programari ANSYS i la anàlisi per elements finits.

# EL GLOBUS AEROSTÀTIC

## DESCRIPCIÓ

El globus aerostàtic és una aeronau que la Gran Enciclopèdia Catalana defineix com: <<Aeròstat sense motor, consistent en un receptacle que conté un gas més lleuger que l'aire en condicions normals (hidrogen, heli o aire calent), que s'eleva a causa de la força ascensional (principi d'Arquímedes) i que sol anar proveït d'una barqueta per a portar-hi tripulants o instruments.>><sup>1</sup>

Per una altra banda, la *Real Academia de Ingeniería* el defineix com: <<Aeronave que principalment, se sostiene en el aire en virtud de la fuerza ascensional.>><sup>2</sup>

I per últim, el *Cambridge Dictionary*, el defineix de la següent manera: <<Una aeronau tal com un globus d'aire calent o un dirigible, que s'eleva del terra utilitzant un gas més lleuger que l'aire. [traduït]>><sup>3</sup>

Per tant, agrupant la informació de les fonts citades anteriorment, es pot descriure al globus aerostàtic com **aquell aparell que utilitza un gas més lleuger que l'aire, en condicions normals, fet que provoca que s'elevi del terra i que li permet mantenir-se suspès en l'aire que l'envolta.**

Aquesta definició s'ajusta també a la descripció d'un globus meteorològic, però en aquest document només es treballarà amb el globus aerostàtic que inclou en el seu disseny un receptacle per a porta-hi tripulants i/o passatgers, com podem veure a la imatge següent:



Fig 1. Globus aerostàtic tipus.

<sup>1</sup> La Gran Enciclopèdia catalana (2021). Definició: baló aerostàtic

<sup>2</sup> La Real Academia de Ingeniería (2021). Definició: aeróstato

<sup>3</sup> Cambridge Dictionary (2021). Definició: aerostat

## EVOLUCIÓ HISTÒRICA

Una de les aptituds més arrelades a l'escènica de l'esser humà és la capacitat de ser curiosos i el sentiment de voler anar més enllà, de no estar prou satisfets amb el que es té i voler més. Un cas molt clar és la fixació que es té com a espècie amb l'espai exterior, l'univers, un entorn que és molt desconegut i que desperta aquesta voluntat de conèixe'l millor; ara bé, abans de posar la mirada més enllà del planeta que s'habita, es va posar la mirada en el cel, d'aquí s'inicià una cursa a nivell mundial per aconseguir conquerir-lo.

Per tal d'explicar el recorregut que ha experimentat l'enginy humà fins a desenvolupar el globus aerostàtic que es coneix avui dia, és necessari mirar el camí que ha seguit l'aviació, com a sac on es fan cabre tots els aparells voladors que s'han dissenyat en la història, no obstant arribat un cert període històric es deixarà el camí que ha recorregut l'avió i/o el coet per seguir el que han fet les aerostacions, també anomenades globus aerostàtics o de gas.

El primer indici, del qual es té documentació, d'aquesta curiositat el va desenvolupar el rei Bladud, rei dels britons (any 843 aC) qui va intentar volar amb unes ales fetes amb plomes d'ocell. No va tenir èxit i va morir.

Uns anys més tard, el filòsof xinès Mo Ti, conegut com a Mozi, inventa i construeix el primer estel.

A Grècia, Arquites de Tàrent, construeix una au, de 2 metres d'envergadura a base de fusta, plomes i pell, i comenta la creença que, amb alguna mena de vent, aquest ocell podria volar.



Fig 2. Rei Bladud, amb ales fetes de plomes.



Però les primeres passes que van realitzar els futurs globus aerostàtic com a tal, van ser gairebé 500 anys més tard, es tenen referències d'ús de **llanternes de paper (fanalets)** també anomenades **Llanternes Kongming** – llanternes del cel – com a primer pre-disseny d'un embolcall que gràcies a una flama, que escalfa l'aire de l'interior, feia ascendir tot el conjunt.

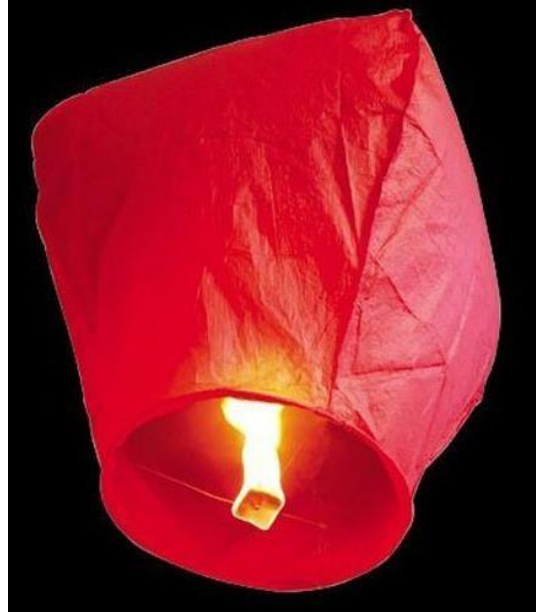


Fig 3. Llinterna Kongming

Ja a l'any 1020, Oliver de Malmesbury, conegut com *el monjo volador*, intenta volar a l'Abadia de Malmesbury, com a resultat es trenca les dues ams.

A l'època del Renaixement, l'italià Giovanni Fontana, dissenya el primer coet propulsat. Altres personatges del renaixement de renom com Leonardo Da Vinci, projecten dissenys de paracaigudes, ornitòpters, helicòpters i avions. Però cap disseny aconsegueix ser funcional.

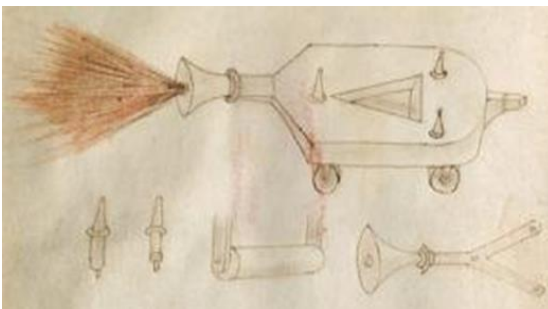


Fig 4. Giovanni Fontana, disseny de coet.



Fig 5. Prototip del coet de Giovanni Fontana, per Richard Windley.

Gairebé 200 anys més tard, el 1655, Robert Hooke, qui va elaborar la llei que duu el seu cognom, la llei de Hooke, que descriu el comportament de cossos elàstics sotmesos a força externa, **va inventa el primer disseny d'ornitòpter<sup>4</sup> totalment operatiu.**

Pocs anys després, al 1670, i gràcies a Francesco Lana de Terzi, es comença a separar el camí que desenvoluparà el futur globus aerostàtic de la resta d'aparells voladors, amb el disseny d'una **barca voladora, màquina que utilitza quatre esferes de coure, on a l'interior d'aquestes hi fem el buit, i en ser més lleuger que l'aire de l'entorn s'eleva**. Aquest disseny té el problema que per fer el buit a aquest cossos esfèrics i que tinguin un pes més lleuger que l'aire, cal un espessor molt petit, i això alhora permetria que l'aire de l'exterior pogués deformar les esferes, i per tant no farien la seva funció de sustentació en l'aire.



Fig 6. Barca voladora, Francesco deTerzi

150 anys més tard, es dona el tret de sortida a l'evolució del globus aerostàtic. **És el 1708, Bartolomeu de Gusmao**, un sacerdot brasiler, presenta i fa funcionar amb èxit un model predecessor de globus aerostàtic a la cort del rei Juan V de Portugal, de nom **Passarola** – no es posseeix gaire més informació donat la persecució que va rebre en els propers anys per part de la inquisició .

El disseny que avui dia es relaciona amb el *Passarola* és una interpretació que s'ha fet *a posteriori* d'algunes cròniques de la època, però és desconegut el disseny verdader.

És sabut, que utilitzava una "cúpula" feta a partir d'un paper molt gruixut i que gràcies

---

<sup>4</sup> Ornitòpter: Aerodina que s'aguanta per la reacció de l'aire sobre superfícies sostenidores dotades d'un moviment semblant a l'aleteig dels ocells i que constitueixen l'únic sistema de propulsió de l'aparell.

a una font d'ignició és fa ascendir l'aparell. Per tant d'alguna manera utilitza el mateix mecanisme que emprenen els globus aerostàtics en l'actualitat.

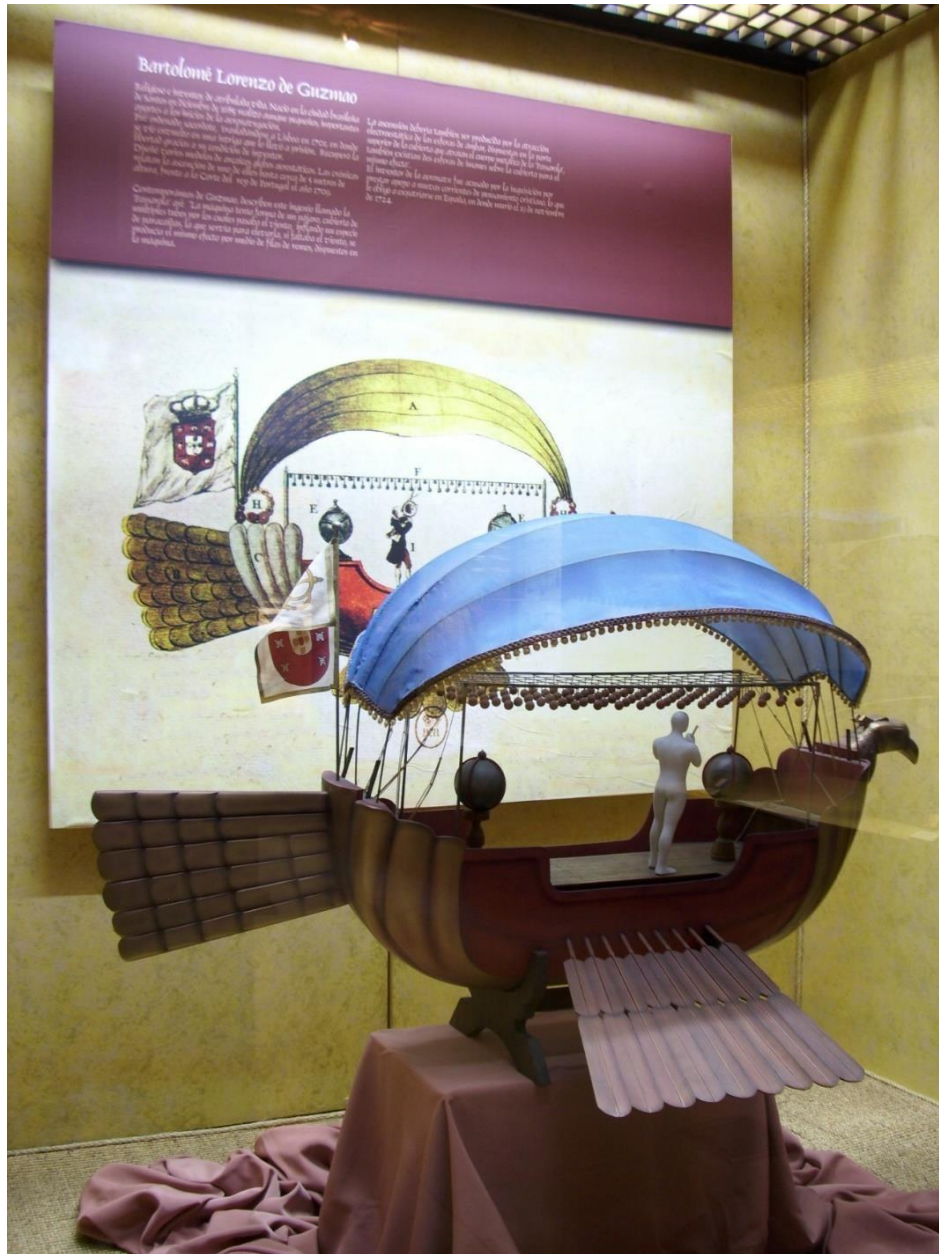


Fig 7. Model de Passarola, Museu Nacional Aeronàutic i de l'espai de Xile.

No obstant el títol de “pares del globus aerostàtic” el tenen Joseph i Étienne **Montgolfier**, nascuts a Annonay (Lyon, França), la família posseïa una fabrica de paper. Van basar les seves primeres investigacions sobre el globus aerostàtic en l'observació de l'ascensió del fum que sortia de les xemeneies de les fàbriques.

El 4 de Juny de 1783, els Montgolfier fan la primera mostra pública de l'ascens d'un globus – encenen una foguera alimentada amb palla i llana, sota d'un gran globus

que tenia una obertura en un extrem, vuit homes subjecten el globus el quan s'anava inflant amb l'aire calent, fins que en deixar anar les cordes, el globus va ascendir ràpidament. El globus estava fabricat a partir d'un sac de lli que el van folrar amb paper, feia 11 metres de diàmetre i tenia un pes de 226 kg. Va arribar a recórrer 1830 metres. Es considerat el primer enlairament d'un globus no tripulat.

Uns mesos després van ser cridats a la Cort de Versalles de Lluís XVI, on van fer una altre demostració, però aquest cops van posar un cabrit, una gallina i una oca dins una cistella que van lligar al globus – van ser els primers “tripulants” d'un globus aerostàtic, no van patir cap dany.

El mecanisme dels globus dels Montgolfier, consistia en escalfar aire i introduir-lo en el globus, mentre l'aire era calent, aquest ascendia, i quan l'aire de l'interior es refredava, el globus descendia, els globus que utilitzen aquest mecanisme per a funcionar, fins i tot avui dia, són anomenats “*montgolfiere*” o “*montgolfiera*”.

El 15 d'octubre, Jean-François Pilâtre de Rozier, esdevé el primer home en enlairar-se en un montgolfiere, utilitzant un globus que estava subjectat a terra.

El 21 de novembre el mateix Jean-François i el marquès d'Arlandes, fan el primer vol lliure en un montgolfiere, un vol de 25 minuts. Ambdós tripulants anaven en una passarel·la que hi havia en el coll del montgolfiere, des de on alimentaven el cremador del centre del globus amb palla.



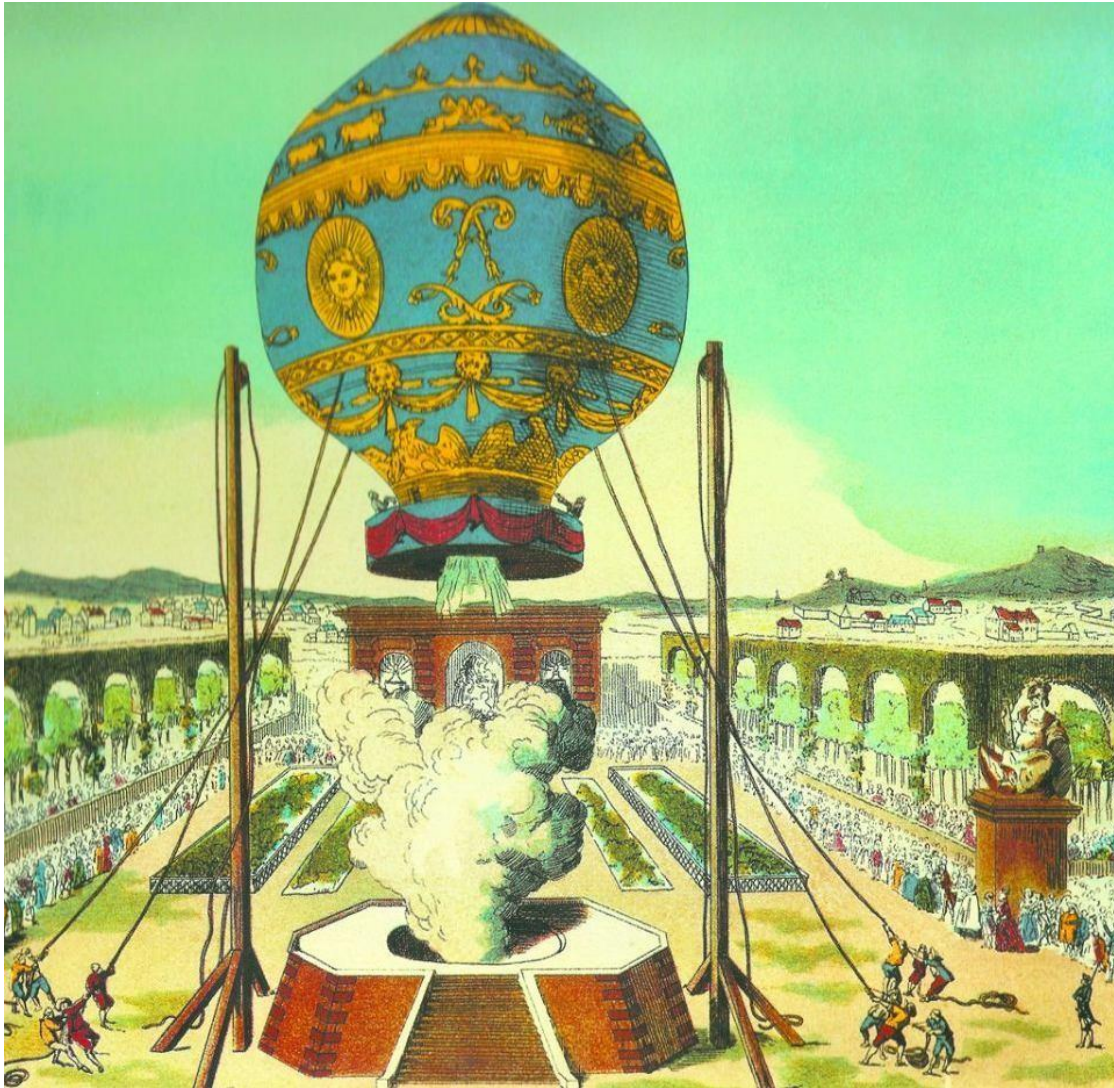


Fig 8. Gravats de l'enlairament de Jean-François i el marqués d'Arlandes.

Captivat per aquest succés, el professor **Jacques Charles** — qui va desenvolupar la llei del volums que duu el seu nom, la Llei de Charles — coneixia els treballs que havien fet Robert Boyle — creador de la Llei de Boyle — i els de Henry Cavendish on utilitzaven l'element **hidrogen** per als seus treballs, **un element més lleuger que l'aire**. Així doncs Charles va pensar en que podria omplir d'hidrogen un globus i seguint el mateix sentit que a les *montgolfiere*, **fer volar un globus de gas**. **Neix el globus de gas**.

Charles va fer el disseny del globus i els germans Robert — Anne-Jean i Nicolas-Louis — van fabricar una bossa lleugera i hermètica on introduir-hi l'hidrogen, la bossa estava construïda a partir de dissoldre cautxú en una solució de trementina (aiguarràs), aquesta dissolució la van utilitzar com a vernís per aplicar-lo a unes tires de seda, van



cosir les tires de seda entre elles elaborant així l'embolcall. Per tal de permetre descendir amb el globus aquesta bossa estava prevista d'una vàlvula que permetés expulsar l'hidrogen de l'interior fent que el globus perdés altura de manera més controlada.

El primer vol d'una persona en un globus d'hidrogen el va realitzar Jacques Charles i el seu ajudant Nicolas-Louis Robert, el 1 de desembre de 1783. El globus tenia franges roses i grogues, mesurava 9 metres d'altura, i duia una xarxa quadrada que el retenia, als extrems es va lligar una barqueta de vímet, on anirien els "pilots".



Fig 9. Gravats del 1887, que plasma el moment en que Jacques Charles s'enlaira.

A partir d'aquí els globus aerostàtics i de gas ja es troben totalment descrits i dissenyats, i durant els propers anys (i fins avui dia) aquestes aeronaus no patiran re-dissenyos revolucionaris o replantejaments profunds; només s'introduiran innovacions tecnològiques adaptades a aquests dissenys inalterables.

Anys més tard es va introduir un panell de sustentació, posteriorment anomenat paracaigudes, localitzat a l'interior de l'embolcall el qual per mitjà d'unes cordes es pot obrir per tapar la part superior del globus i donar sustentació a aquest, o es

pot tancar i deixar al descobert l'obertura de la vela, amb una altra corda, com a mètode d'escapament d'aire ràpidament, per contribuir a un descens més ràpid del globus.

També es va implementar la corda d'arrastrat o compensadora (s. XIX) és una corda llarga i pesada que arrastra el globus i que serveix per a reduir les velocitats en les operacions d'enlairament i aterratge, abans d'utilitzar sorra o d'alliberar aire.

Durant els segles XIX i XX, els globus d'hidrogen – eren el més utilitzats, ja que permetien sobrevolar distàncies més grans i no requerien d'estar subministrant “carburant” constantment – servien sobretot per a tasques de reconeixement militar o per a usos recreatius.

Buscant d'aconseguir un major control sobre el direccionalment del globus aerostàtic i sobre el d'hidrogen, es va afegir una hèlix per poder influir sobre la orientació i es va topiar amb el primer disseny d'un zepelí – aquest alhora també suposarà una ovella negra per les aerostacions de gas, ja que els nombrosos accidents amb zepelins que es donen durant els anys propers; provoquen el desprestigi del globus de d'hidrogen.

No és fins els anys 60' que l'empresa *Raven Industries* implementa els cremadors de propà – com a dispositiu d'ignició – i la fabricació de la vela dels globus amb fibra de niló, fets que tornen a impulsar el globus aerostàtic.

El 1 de Març de 1999, el Breitling Orbiter 3, pilotat per Bertrand Piccard i Brian Jones, aconseguixen donar la volta al món en 20 dies.

A partir d'aquí els globus només han anat implementant noves millores tècniques tant en cremadors més potents i eficients com amb materials més innovadors i resistents per a les veles.



Fig 10. Globus Raven N II 979.



## PRINCIPI FÍSIC DEL GLOBUS AEROSTÀTIC

El globus aerostàtic te la capacitat d'enlairar-se pel compliment del Principi d'Arquímedes, on es diu que:

*La força de flotació ( $F_B$ ) que actua sobre un cos submergit en un fluid és igual al pes del fluid desplaçat pel cos i actua en sentit ascendent, passant pel centroide<sup>5</sup> del volum desplaçat.*

Per tant, dit amb altres paraules; sabent que l'aire ambient és un fluid, tots els cossos que es troben en contacte amb ell, reben una força ascendent igual al pes del volum d'aire que desplacen, ara bé, normalment aquesta força és tant dèbil en front d'altres de presents, com el propi pes de l'objecte, que els cossos no acaben flotant. Per això les persones no floten en l'aire, però un globus inflat amb la boca sí, degut que rebent una força de flotació (tot i que diferent, perquè el volum desplaçat no és igual) el pes d'un i altre cos són molt diferents.

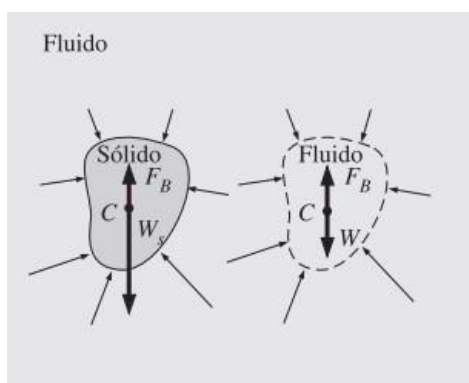


Fig 11. Força de flotació ( $F_B$ ) front el pes  $W$  en un cos submergit en un fluid.

Aleshores, un cos acabarà flotant en l'aire quan la força de flotació que aquest rep coma reacció del desplaçament de volum d'aire provocat pel propi cos sigui més gran que la resta de forces amb sentit contrari que presenta l'element.

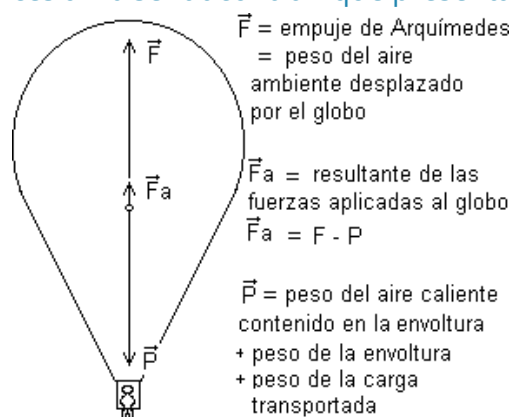


Fig 12. Forces generals presents en el globus aerostàtic.

<sup>5</sup> Centroide: fa referència al centre geomètric de la figura en un pla de dues dimensions.

Si tractem aquest cas real com un problema d'estàtica de fluids hipotètic d'estudi, i especifiquem que la velocitat d'ascensió és constant, es compleix que el  $\Sigma F = m \cdot a$  (segona llei de Newton), sent  $a=0$  per la condició de la velocitat, per tant la suma de totes les forces presents en el sistema del globus han de quedar igualades a zero, en equilibri.

$$-W_{globus} - W_{aire\ calent} + F_B = 0$$

L'aire ambient (a 1 atm i 20 °C) té una densitat de 1.204 kg/m<sup>3</sup>, per tant el volum d'aire que hem de desplaçar per que la força de flotabilitat superi el pes del globus aerostàtic amb tripulants ha de ser molt gran.

$$-W_{globus} - W_{aire\ calent} + \rho_{20^\circ C} \cdot V_{globus} \cdot g = 0$$

Sabent que s'escalfa l'aire de l'interior de la vela, i s'arriba fins els 100 °C a l'interior, la densitat de l'aire contingut passa a ser de 0.945 kg/m<sup>3</sup>. I sabent que  $W_{aire\ calent} = m_{aire\ calent} \cdot g$ , i que  $m = d \cdot V$ , es pot expressar tot com:

$$-W_{globus} - (\rho_{100^\circ C} \cdot V_{vela} \cdot g) + (\rho_{20^\circ C} \cdot V_{globus} \cdot g) = 0$$

Si es considera que el  $V_{vela}$  és tant proper al  $V_{globus}$  que els igualem.

$$-W_{globus} - (\rho_{100^\circ C} \cdot V_{globus} \cdot g) + (\rho_{20^\circ C} \cdot V_{globus} \cdot g) = 0$$

Que de arreglant-ho una mica pren la forma:

$$V_{globus} \cdot g (\rho_{20^\circ C} - \rho_{100^\circ C}) = W_{globus} \quad | \quad V_{globus} \cdot g (1,204 - 0,945) = W_{globus}$$

$$V_{globus} \cdot g (0,259) = W_{globus}$$

El que s'aconsegueix escalfant l'aire de l'interior de la vela es generar una correlació de densitats diferents, que donen com a resultat un únic factor positiu que multiplica a la gravetat i al volum de la vela, per enfrontar-se al pes de tot el conjunt. Aleshores, tenint com a única variable el volum, si anem augmentant-lo, s'arribarà a igualar al pes, però si continuem augmentant el volum, es superarà la força que evita que el globus floti, i per tant l'aerostació s'enlairarà.

A mode de síntesis, s'utilitza una vela per agafar un cert volum d'aire i escalfant-lo aconseguim que la força de flotabilitat que rep el globus superi el seu propi pes i s'elevi de manera ininterrompuda dins l'aire que l'envolta.

## **REGULACIÓ VIGENT DE GLOBUS AEROSTÀTICS I COM PONENTS RELACIONATS**

### **EUROPEA**

**Reglament delegat N° 2020/570** – modificació i correcció del reglament DOUE-L-2014-83699 · **Reglament N° 2014/1321**

**Reglament executiu N° 2019/1747** – sobre els requisits per a llicències i certificats de tripulació de vol i les normes sobre les organitzacions formatives i les autoritats competents.

**Reglament N° 2018/395** – pel qual s'estableixen normes detallades per a l'operació de globus en virtut del Reglament (CE) n° 2008/216 del Parlament Europeu i del Consell.

**Reglament N° 2014/1321** – sobre el manteniment de la aeronavegabilitat de les aeronaus i productes aeronàutics, components i equips i sobre l'aprovació de les organitzacions i personal que participen en les tasques citades.

**Reglament N° 2012/748** – pel qual s'estableixen les disposicions d'aplicació sobre certificats d'aeronavegabilitat i mediambiental de les aeronaus i els productes, components i equips relacionats amb elles, així com la certificació de les organitzacions de disseny i producció.

### **ESTATAL**

**BOE-A-2010-835 · Reial Decret 200 9/1919** – sobre la regulació vers la seguretat aeronàutica en demostracions aèries civils.

La regulació i normativa relacionada amb organismes i institucions de la Unió Europea o de l'Estat Espanyol incideixen sobre aspectes administratius, de seguretat i de certificació de qualitat, sense entrar en aspectes constructius, de materials o de requisits mecànics. Aquesta normativa més enginyeril l'elaboren agències de seguretat aèria i d'aviació tals com la Agència Europea de Seguretat Aèria (EASA), l'Agència Estatal de Seguretat Aèria (AESA) i/o l'Organització de l'Aviació Civil Internacional (OACI), entre moltes d'altres – tant a nivell territorial com estatal.

Així doncs en moltes de les empreses que s'ha consultat fan referència al document: [Regles de fàcil accés per globus d'aire calent \(aerostàtics\) CS-31HB \(esmena 1\)](#)[Traduït] de l'agència EASA, on s'especifiquen aspectes tals com:

### **REGLES DE FÀCIL ACCÉS PER GLOBUS D'AIRE CALENT (AEROSTÀTICS) CS-31HB (ESMENA 1)**

Rang de massa per a un funcionament segur del globus – Pag. 10

El factor de càrrega, en la determinació de les càrregues límit que rep el globus quan està en suspensió ha de ser de com a mínim 1:4.

Factors de seguretat de l'embolcall de 5, dels components de suspensió (fibrosos o no-metàl·lics) de 2,25, dels components de suspensió metàl·lics de 1,50 i de la resta de components de 1,50.

A aspectes de disseny s'ha d'assumir una massa per ocupant de 77 kg. L'estructura del globus ha de ser capaç d'aguantar les càrregues límit durant com a mínim 3 segons seguits d'aplicació.

Definició detallada dels requeriments tècnics que se li han de sol·licitar a cada una de les parts que conformen l'embolcall del globus per obtenir uns resultats correctes i segurs.

Descripció dels requeriments sobre els controls i elements de seguretat que ha d'incorporar el globus.

## CONDICIONS METEOROLÒGIQUES

El globus aerostàtic és una de les aeronaus que més els hi afecten les condicions a les quals es troba l'aire del seu voltant, tenint en compte que és aquest mateix fluid el mitjà que els fa moure i on es troben en suspensió, per tant si l'aire pateix canvis, el globus també els experimenta.

Existeixen cert trets generals que sovint són un factor de pes durant la valoració sobre la viabilitat d'enlairar-se, com són: fer-ho a ple estiu o hivern és més senzill per fer pronòstics meteorològics, mentre que fer-los a la primavera o tardor sol ser més complicat; fer enlairaments a primera hora o a última hora del dia, presenta unes condicions més estables (sobretot pel que fa al vent) i per tant és molt comú veure ascensos a aquestes hores.

Per altra banda, el fet de que els globus volin a unes altures compreses de entre 150 i 180 metres sobre la superfície – tot i que poden arribar als 1.000 metres – fa que fenòmens com el vent, la pluja i la boira siguin més perillosos.

**La boira:** és potser el fenomen menys previsible dels tres. El problema que presenta en el vol és la supressió d'una part o de total la visibilitat, no obstant es pot contrarestar fàcilment, canviant la zona d'aterratge o es pot ascendir per sortejar zones emboirades.

**La pluja:** tant si plou abans, durant o després (un cop ja s'ha enlairat) pot ser un clar motiu per a cancel·lar un vol. La pluja un cop s'ha enlairat comporta sovint que s'hagi de fer un aterratge d'urgència. No obstant el major afectat amb la pluja és la tela del globus, primer perquè l'embolcall absorbirà l'aigua i la nau pesarà molt més (un globus per a 10 persones sol tenir una superfície de 1.800 m<sup>2</sup> de tela) i segon perquè el fet de que la temperatura a la qual es troba l'embolcall durant el vol, sigui pròxima als 100 °C condiona que pot dur a ebullició l'aigua de la pluja i això repercuteix en la vida útil de la tela.

**El vent:** és el fenomen més transcendental i al qual cal parar més atenció. En l'etapa d'inflat un vent a ràfegues i molt canviant ens pot fer impossible aquesta tasca. Ja enlairats poca cosa és pot fer per contrarestar el vent, la velocitat d'aquest serà la que durà el globus, i serà responsabilitat del pilot valorar en tot moment si les condicions de vol són segures o no. Durant l'aterratge, un vent fort pot dificultar molt fer una maniobra tranquil·la i segura pels tripulants.

### **SEGONS EL MANUAL DE VOL DE DIVERSES EMPRESES, ES DONEN LES SEGÜENTS LIMITACIONS EN CONDICIONS METEOROLÒGIQUES:**

La velocitat del vent no ha de superar els 7,5 m/s durant el vol del globus, i no pot arribar als 5 m/s en les etapes d'inflat, d'enlairament o d'aterratge.

Assegurar de que no hi hagi activitat tèrmica o que sigui molt dèbil.

Assegurar que no hi ha una tempesta activa o que s'està formant una, ni vent a ràfegues o altres fenòmens meteorològics que puguin provocar turbulències en el vol.

Evitar volar prop de núvols cumulonimbus, ja que sovint provoquen tempestes, a més de que puguin provocar turbulències que alhora derivin en un desinflat del globus.

Evitar dur el globus a altitud on hi hagi poca quantitat d'oxigen o temperatures baixes.

### **VOLS NOCTURNS:**

Cal dona'ls-hi més importància als aspectes meteorològics que durant els vols diürns.

No fer aterratges abans de la sortida del sol, només es permet amb cas d'emergència.

Els vols nocturns s'han de plantejar en base al moment d'enlairar-se i el d'aterrar (tal i com s'ha comentat anteriorment); per tant s'ha d'assegurar de dur prou fuel per aguantar per, com a mínim, una hora després de la sortida del sol.

En tot cas és decisió del pilot de l'aeronau decidir si un vol es tira endavant o es cancel·la per les condicions meteorològiques i de seguretat del trajecte, en qualsevol moment.

## ACTUALITAT DEL GLOBUS AEROSTÀTIC

Així doncs, el *montgolfiere* d'avui dia s'anomena globus aerostàtic o globus d'aire calent, ara bé ni el principi físic al qual respon ha canviat de manera substancial, ni tampoc ho ha fet la seva estructura bàsica o construcció, s'han implementat materials nous i metodologies més avançades, però encara avui dia la vela es cus amb màquina de cosir i la cistella es fabrica amb canyes, tot s'elabora manualment.

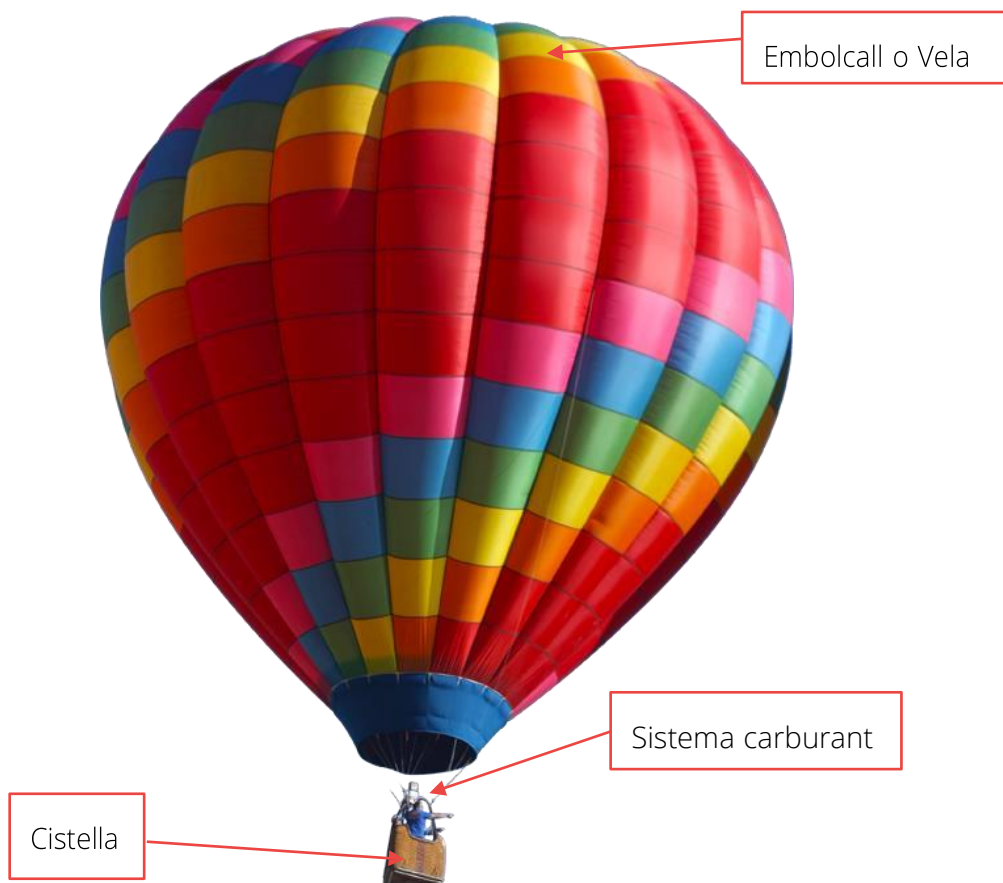


Fig 13. Parts principals del globus aerostàtic actual.

El globus continua utilitzant una font d'ignició (sistema de carburació) que escalfa l'aire de l'interior de la vela, i pel sentit físic de que en escalfar-lo és més lleuger que l'aire a temperatura ambient, i retenint-lo dins una "bossa" – també anomenada embolcall, o vela – provoca la força ascendent de tot el conjunt. També dur una cistella de fusta per transportar el pilot i els passatgers. Per tant no ha patit canvis estructurals importants, ara bé les teles que en un principi eren amb capes de paper o elaborades amb un sac de lli, actualment es componen de capes de polièster d'alt impacte o de niló, entre d'altres canvis substancials que s'explicaran més endavant.

Per una altra banda la “febre del *balloning*” s’ha assentat en àmbits molt concrets com són el turístic (principalment), però també l’esportiu i el publicitari.

Pel que fa a **vols d’entreteniment o turístics**, els passejos en globus permeten una experiència diferent per observar des de un punt de vista únic molts territoris i paisatges naturals de gran bellesa, i és per aquest motiu que estan tant estesos arreu del món. Localitzacions com: Capadòcia (Turquia) amb les formacions rocoses anomenades “xemenies de fades”, Svalbard un arxipèlag noruec que conté l’últim poblat del planeta en direcció nord – ofereix un entorn àrtic sense precedents – Châteu d’Oex (Suïssa), Angkor Wat (Cambodja), entre moltes altres, posseeixen un atractiu turístic el qual només es pot experimentar en la seva plenitud amb un globus aerostàtic, per tal de viure una experiència única a la vida.



Fig 14. Xemenies de fades, Capadòcia (Turquia).



Des del s.XX els aparells voladors van ser àmpliament utilitzats com un suport molt atractiu per a fer publicitat dinàmica i en viu, donat que la visió d'un cos suspès en l'aire on en moviment causa una atracció incomprendible a tothom qui el veu, i perquè es més fàcil veure la publicitat des del terra al cel, que no pas a un mateix nivell de terra. Així doncs és molt comú veure estructures aerostàtiques sobretot en esdeveniments i festivals dirigits a un gran volum de públic.



Fig 15. Globus publicitari de Movistar (ULTRAMAGIC).

En el món competitiu potser és l'últim espai en el qual s'ha establert com una opció esportiva més, existeixen festivals d'exhibició – els quals sovint són de petit format i amb un gran caràcter amistós, on els premis no tenen més pretensions que un petit trofeu o una suma considerable de diners, o fins i tot un globus nou; es realitzen proves tals com “atrapar unes claus” o el joc “el gos i la llebre” – però també existeixen competicions a diferents nivells (local, nacional o internacional), carreres o Grans Premis, on sovint s'avalua la destresa que té el pilot per a conduir el globus i és proclama un campió.



Fig 16. United Kingdom Competition Ballooning (2020).

## PARTS DEL GLOBUS

Tal i com s'ha dit anteriorment l'estructura del globus no ha patit grans modificacions més enllà d'utilitzar millores en mecanismes i sistemes o nous materials per a la seva construcció, però és manté les divisions en tres grans parts: embolcall, sistema de combustible i cistella, presents en els dissenys de 1783.

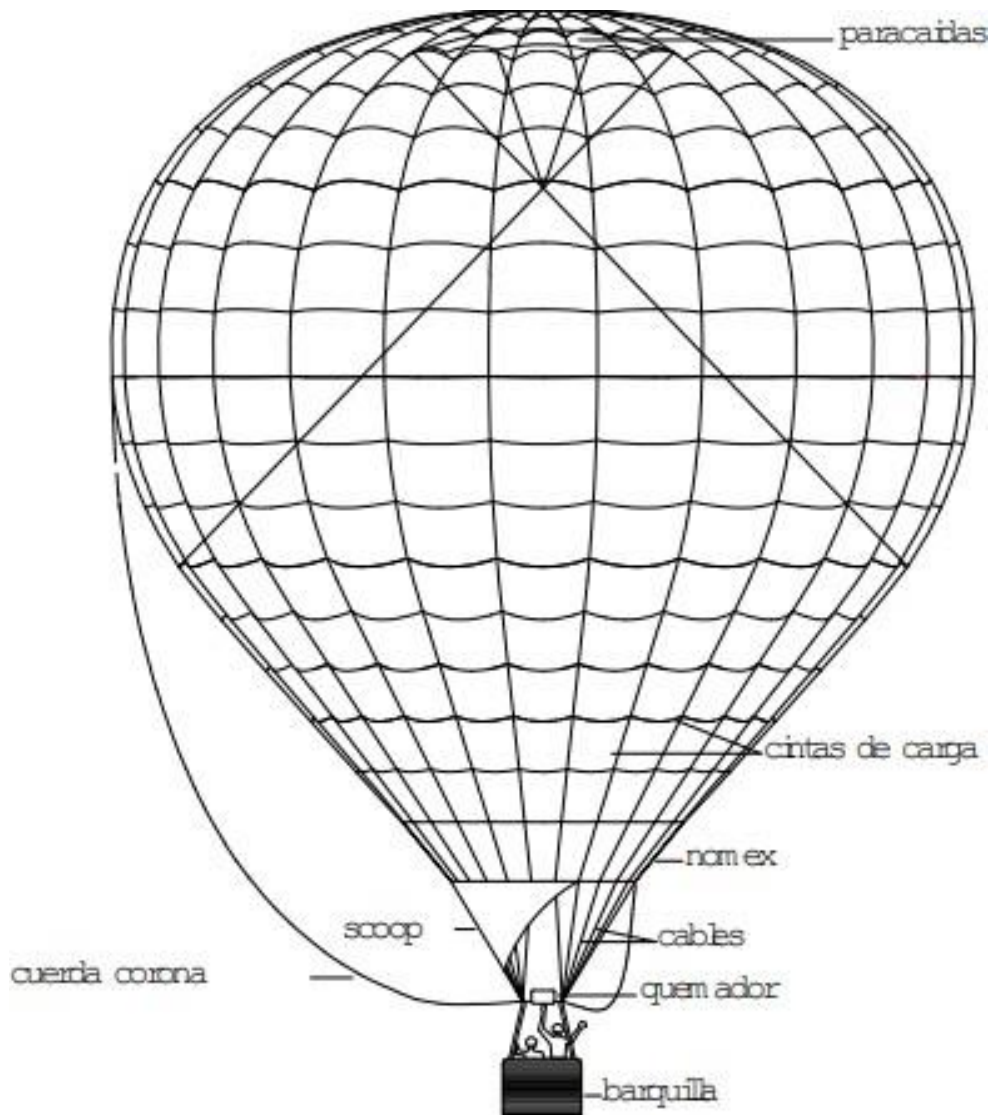


Fig 17. Esquema bàsic de les parts d'un globus.

Per tal de presentar aquesta informació més clarament, es seleccionarà un model del catàleg de l'empresa ULTRAMAGIC i s'indicaran tots aquest paràmetres, que de manera general s'adjunten a cada model. Tot seguit s'exposen en base al model H 77.

## MESURES GENERALS

Per tal d'escollir el globus més adequat per a les especificacions requerides, els fabricants proporcionen diferents valors que permeten entendre amb quins marges treballa cada model, i segons el que es busqui, quin n'és el més adequat; segons la capacitat de passatgers, segons el pes en el buit o el pes màxim de sustentació que es vol tenir, alhora cada model porta relacionat el nombre de "gajos" que duu la vela – i per tant quantes cordes tindrem i de quina manera aniran unides a la barqueta – quin volum en m<sup>3</sup> utilitzarà el globus, l'altura màxima total de l'aeronau, les especificacions de la vela, altura de la tela, diàmetre a l'equador, i també quin model de cistella s'ha d'utilitzar. **L'elecció del cremador és independent de la resta del globus, només depèn del nombre de cremadors que volem tenir i del pes que comporta.**

Modelo	Cesta	Pv	Lmax	Modelo	Cesta	Pv	Lmax
<b>H-31</b>	C-0	132	307	<b>H 42</b> <b>Vol=12.0</b>	C-0	138	396
	C-2	139	307		C-2	145	416
<b>H 56</b> <b>Vol=15.9</b>	C-2	158	549		C-1	150	416
	C-0	151	422	<b>H 77</b> <b>Vol=21.9</b>	C-1	190	756
	C-1	163	549		C-2	185	756
<b>H 65</b> <b>Vol=18.4</b>	C-1	183	638		C-3	202	756
	C-2	178	638		C-10	218	756
	C-3	195	638		C-4	223	756
	C-10	211	638	<b>V 56</b> <b>Vol=15.9</b>	C-2	175	549
<b>V-25</b>	SOLO	61	250		C-0	168	426
	C-1	186	638		C-1	180	549
<b>V 65</b> <b>Vol=18.4</b>	C-2	181	638	<b>V 77</b> <b>Vol=21.9</b>	C-1	193	756
	C-3	198	638		C-2	188	756
	C-10	214	638		C-3	205	756
	<b>V 90</b> <b>Vol=25.5</b>	C-3	224		878	C-10	221
C-1		212	878		C-4	226	756
C-2		207	878	<b>V 105</b> <b>Vol=29.5</b>	C-4	269	1032
C-4		245	878		C-1	236	1032
C-10	240	878	C-3		248	1032	
			C-10		264	1032	

Vol = volumen en cientos de m<sup>3</sup>

Pv = peso en vacío (sin ninguna botella)(Kg)

Lmax = sustentación máxima autorizada (kg)

Taula 2. Manual de vol – ULTRAMAGIC (pàg. 40).

Segons la web de la mateixa empresa, la sèrie H, <<Aquesta atractiva vela de 12 grills prominents està dissenyada i fabricada per una màxima seguretat, econòmica i amb la qualitat que sempre ofereix ULTRAMAGIC en qualsevol globus. Al ser lleugera i maniobrible fa que sigui adequada per vols de caps de setmana i de competició. També és ideal per principiants que pot utilitzar-se per petits anuncis de patrocinadors o bé, per petites pancartes. És el model base de ULTRAMAGIC, el globus d'entrega més ràpida que oferim>><sup>6</sup>, per tant un model senzill per començar amb el *hobby* del *balloning*.

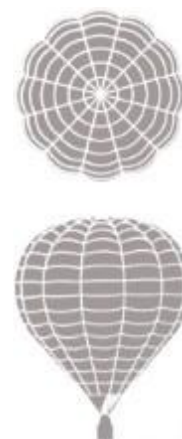


Fig. 18. Planta i alçat de la Sèrie H.

Model	Volume (m <sup>3</sup> feet <sup>3</sup> )	Diameter (m)	Height (m)	Pax
H-31	900 31.000	12,8	12,4	1
H-42	1.200 42.000	13,8	17,3	1
H-56	1.600 56.000	15,5	15,1	2
H-65	1.850 65.000	16,3	16,0	2/3
H-77	2.200 77.000	17,3	17,0	3/4

Taula 3. Valors relacionats amb el model de la sèrie H (web).

Si s'escull el Model H-77, que permet duu 3 o 4 persones, amb un volum de 2.200 m<sup>3</sup>, amb una altura total de l'aeronau de 17 m.

Un cop seleccionat el tipus de globus aerostàtic que es vol, en el catàleg es trobarà la resta d'informació relacionada amb l'elecció: el diàmetre de l'equador, quin és el model estàndard de barqueta, quins cremadors pot incorporar, etc.

<sup>6</sup> ULTRAMAGIC (2021). Inflables, embolcalls, sèrie H.

	SERIE				H
Tipo	31	42	56	65	77
Vol. (m <sup>3</sup> )	900	1200	1590	1840	2190
Numero de gajos	12	12	12	12	12
Clase FAI	AX4	AX5	AX6	AX7	AX7
Altura total (m)	16.2	17.3	19.0	19.9	20.9
Barquilla Standard	C0	C0	C2	C1	C1
<b>Envoltura</b>					
Altura (m)	12.8	13.6	15.0	16.0	17.0
Diámetro en el Ecuador (m)	12.5	13.8	15.5	16.3	17.3
Diámetro en la boca (m)	2.1	2.8	3.6	3.6	3.6
Peso (Kg)	60	66	79	92	99
<b>Paracaídas</b>					
Diámetro (m)	4.0	4.0	5.5	5.5	5.5

Taula 4. Descripció detallada de les mesures del globus (pàg. 63).

VOLÚMEN	25	31	42	56	65	77	90
<b>QUEMADOR MK-2/MK-2 Super MK-10 MK-21 &amp; BMK-008</b>							
<b>SENCILLO</b>	*	*	*	*	x	x	x
<b>DOBLE</b>				x	*	*	*
<b>CESTA</b>							
<b>C0</b>		*	*	*	x		
<b>C1</b>			x	x	*	*	x
<b>C2</b>	x	x	x	*	x	x	x
<b>C3</b>					x	x	x
<b>C4</b>					x	x	
<b>C10</b>					x	x	*
<b>VENTIL ROT.</b>		x	x	x	x	x	x
<b>FDS</b>	x	x	x	x	x	x	x
<b>MIN. BOTELLAS</b>	1	1	1/2	2	2	2	2
- Configuración standard				= *			
- Configuración compatible				= x			
- Solo MK-21, BMK-008 y BMK-050				= ☼			
- Solo BMK-050				= ∅			

Taula 5. Informació addicional, selecció de barqueta i de cremador (pàg. 46).



**QUEMADOR Y CUADRO DE CARGA**

La siguiente tabla proporciona orientación sobre el peso del quemador (cuadro del quemador no incluido)

<b>Modelo MK-2</b>	<b>Simple</b>	<b>Doble</b>	<b>Triple</b>	<b>Cuadruple</b>
Masa Total (kg)	14	19	25	
<b>Modelo MK-2 Super</b>				
Masa Total (Kg)	15	21	28	36
<b>Modelo MK-10</b>				
Masa Total (Kg)	15	21	28	35
<b>Modelo MK-21</b>				
Masa Total (Kg)	17	24	34	43
<b>Modelo PowerPlus BMK-008</b>				
Masa Total (Kg)	12	21		
<b>Modelo Powerplus Maxi BMK-050</b>				
Masa Total (Kg)		20	30	41

Taula 6. Descripció detallada dels cremadors (pàg. 71).

**BARQUILLA**

<b>Modelo</b>	<b>C-0</b>	<b>C-1</b>	<b>C-2</b>	<b>C-3</b>	<b>C-4</b>	<b>C-5</b>	<b>C-6</b>
Longitud (m)	0.7	1.2	1	1.3	1.6	2.2	1.8
Ancho (m)	0.8	1	1	1.1	1.2	1.4	1.3
Altura (m)	1.06	1.10	1.10	1.10	1.15	1.15	1.15
Masa en vacío típica (Kg)	55	67	62	79	100	192	141
<b>Modelo</b>							
	<b>C-7</b>	<b>C-8</b>	<b>C-9</b>	<b>C-10</b>	<b>C-11</b>	<b>C-12</b>	
Longitud (m)	2.0	2.6	3	1.45	3.5	4.25±0.25	
Ancho (m)	1.4	1.5	1.6	1.15	1.7	1.6±0.1	
Altura (m)	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	
Masa en vacío típica (Kg)	174	220	285	95	356	457	

Taula 7. Descripció detallada de la barqueta (pàg 72).

**BOTELLAS DE COMBUSTIBLE**

<b>Modelo</b>	<b>Worthington 4100-U4-27</b>	<b>M 20 M-20D</b>	<b>M 30 M-30D</b>	<b>M 40 M-40D</b>	<b>T-25</b>
<b>Material</b>	Al	Acero Inox	Acero Inox	Acero Inox	Ti
<b>Altura (m)</b>	0.87	0.85	0.92	1.07	0.95
<b>Diàmetre (m)</b>	0.30	0.30	0.35	0.38	0.33
<b>Masa en Vacío (Kg)</b>	14	15	20	24	11.5
<b>Masa Lleno (Kg)</b>	34	35	50	64	36.5

Taula 8. Descripció detallada de les ampolles de combustible (pàg 72).

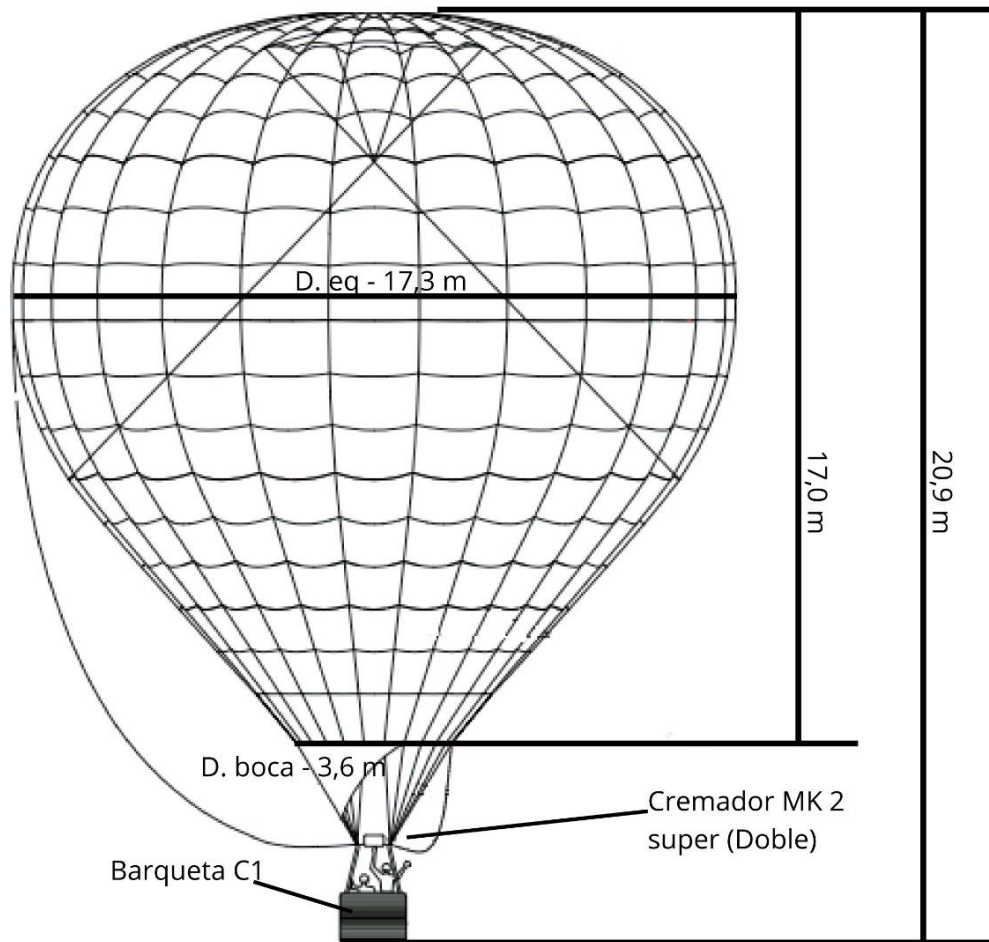
Un cop s'ha escollit el model de globus que es vol obtenir només faltaria afegir-ne la decoració que el client hi vulgui aplicar a la vela per donar-li personalitat o per motius publicitaris, aquest en són uns exemples de decoració en sèrie H.



Fig 19. Decoració de la vela. Sèrie H.



Així doncs, el resum de paràmetres que presentaria el model H-77 segons les diferents eleccions que s'han fet és:



**GENERAL (H-77)**

Vol. (m<sup>3</sup>) - 2190  
 Nombre de divisions - 12  
 Classe FAI - AX7  
 Pv (Kg) - 190  
 Lmax (Kg) - 759



**VELA (H-77)**

Pes (Kg) - 99

**CREMADOR (H-77)**

MK 2 super (Kg) - 21  
 DOBLE  
 2 Ampolles

**PARACAIGUDES (H-77)**

D. paracaigudes - 5.5 m  
 FDS - NO

**BARQUETA (H-77)**

L x A x H (m) - 0,7x0,8x1,06  
 Pes (Kg) - 67

Fig 20. Resum de paràmetres del globus H-77 seleccionat.

## CONSTRUCCIÓ I FUNCIONAMENT DEL GLOBUS

Tot seguit es vol explicar de manera detallada la construcció del globus aerostàtic, incidint en les seves diferents parts, en els seus materials, les tècniques de confecció; quina funció desenvolupa cada una d'elles, com s'uneixen, etc. D'aquesta manera es vol recollir la informació necessària per definir materials i connexions que es voldrà reproduir en la simulació.



Fig 21. Descomposició en 3 parts principals del globus aerostàtic.

El globus és divideix en 3 grans parts: la vela o embolcall, el sistema d'ignició (el cremador i el quadre de carga) i la cistella o barqueta.



Fig 22. Cistella.



Fig 23. Cremador MK 21 - Doble.

## EMBOLCALL O VELA

L'embolcall és la part que reté l'aire calent i que permet la sustentació de l'aerostació, esta dividida en diferents talls i en la unió d'aquests s'hi col·loca una cinta de reforç de polièster, d'aquesta manera s'aconsegueix la forma distintiva del globus a "gajos", depenent de la quantitat de seccions, la vela és més bombada o menys. La seva funció és la de retenir en el seu interior un gran volum d'aire calent que provoqui una forta força d'ascensió que faci pujar tot el globus.



Fig 24. Sèrie V, 24 seccions.



Fig 25, Sèrie H, 12 seccions.

La tela amb la que es fabrica la vela és un teixit de poliamida d'alta resistència (PA 6.6<sup>7</sup> o similars) o en altres casos de niló, que porta un recobriment de silicona en una de les seves cares. Aquesta silicona dona permeabilitat a l'embolcall i permet l'autoreparació del teixit quan pateix rallades o punxades poc severes.

Abans de procedir a tallar les peces del globus, es verifica que la tela no te cap forat ni desperfecte.

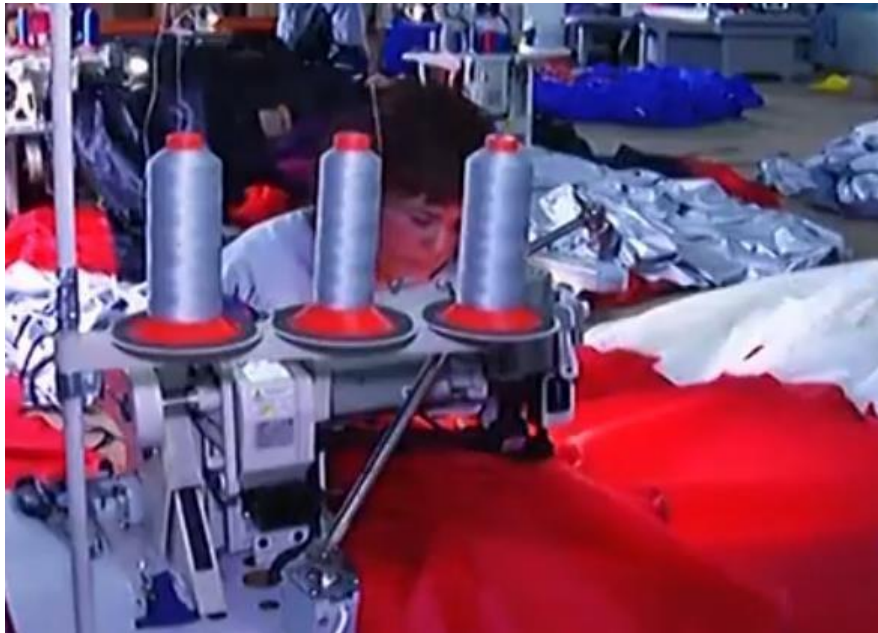


Fig 26. Cosit dels rectangles de tela per a fer una secció de la vela.

Els panells de teixit es tallen segons el *mapejat*<sup>8</sup> per a realitzar el disseny que es demana. Posteriorment amb màquines de cosir de quatre agulles es van cosint des d'avall cap amunt les seccions, per separat. Un cop estan confeccionades s'uneixen amb les cintes i/o cordes de polièster.

Aquestes cintes reben la força de la carga que duu el globus i la transmeten mitjançant els cables d'acer que uneixen la vela amb la resta de globus cap al quadre de carga. Totes les cintes acaben unides a una anella a la part superior del globus.

<sup>7</sup> Fitxa tècnica de PA 6.6 – Annex 1.

<sup>8</sup> *Mapejat*: traspàs del disseny que es vol a la vela a un mapa 2D amb rectangles que representen els retalls de teixit i la seva posició per realitzar la imatge sol·licitada.



Fig 28. Unió de seccions amb cintes de polièster.



Fig 27. Anella on s'uneixen les cintes.

La part més inferior de la vela esta fabricada amb teixit Nomex<sup>®9</sup> resistent a la calor, és un material amb gran resistència a l'acció tèrmica (tant a la calor com al contacte de la flama directe), per tant ideal per a ser emprat en la zona de l'embolcall més pròxima al cremador i a la flama.

---

<sup>9</sup> Nomex<sup>®</sup>: és una fibra de meta-aramida creat per l'empresa Du Pont<sup>™</sup> al 1961, es produeix a partir de la reacció de m-fenilendiamina i clorur de isoftaloil. És un material amb grans propietats d'aïllament elèctric a altes temperatures; no fon ni flueix i no es degrada a temperatures de fins 370 °C, te elevadíssima resistència a la calor i a la flama directe, alta resistència química, contracció tèrmica baixa, baix deformació plàstica abans de ruptura, etc. L'uniforme dels bombers està elaborat en un 95% de Nomex<sup>®</sup> i un 5% de Kevlar<sup>®</sup>.



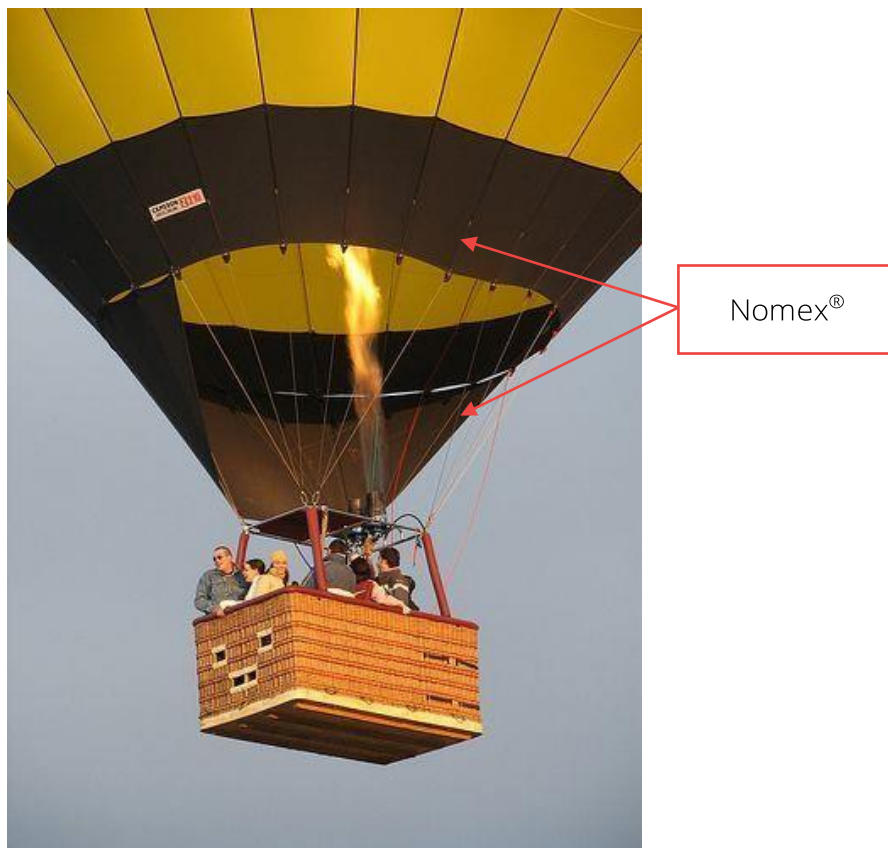


Fig 29. Zones on s'utilitza el Nomex®.

La part superior del globus hi ha un gran forat el qual no esta tapat, però si que hi continuen passant les cintes de polièster. Ara bé, això no és del tot cert, en aquesta posició hi ha una tela que fa la funció de un diafragma, depenent de la maniobra que es va a realitzar es desplega o es recull – que te la forma d'un paracaigudes (una tela amb cordes). També anomenat Sistema de desinflat ràpid (FDS) és un teixit que permet manipular el flux d'aire calent que circula a través de la vela per evacuar l'aire i que el globus descendeixi (tancant o recollint la tela, tirant d'una corda vermella) o retenint l'aire dins el globus perquè aquests ascendeixi (estenant o obrint la tela, tirant d'una corda vermella-blanca).



Fig 30. Vista des de dins de la tela, paracaigudes del globus.

Alhora també serveix com a paracaigudes pròpiament dit, si l'embolcall pateix alguna estripada o la vela rep un impacte sobtat que provoqui un desplaçament d'aire fora de l'embolcall, aquest element serveix com un sistema de seguretat per realitzar un descens de l'aeronau més suau.

## QUADRE DE CARGA I CREMADOR

El quadre de carga és una estructura d'acer que serveix com a enllaç entre la vela, el sistema del cremador i la cistella. El cremador està situat al centre de l'estructura permetent el gir en ambdós sentits. El quadre està unit a la barqueta per mitjà d'uns tubs d'acer que s'introdueixen dins de la pròpia estructura de la cistella; i s'uneix amb la vela per mitjà d'uns cables d'acer que es lliguen a uns mosquetons.

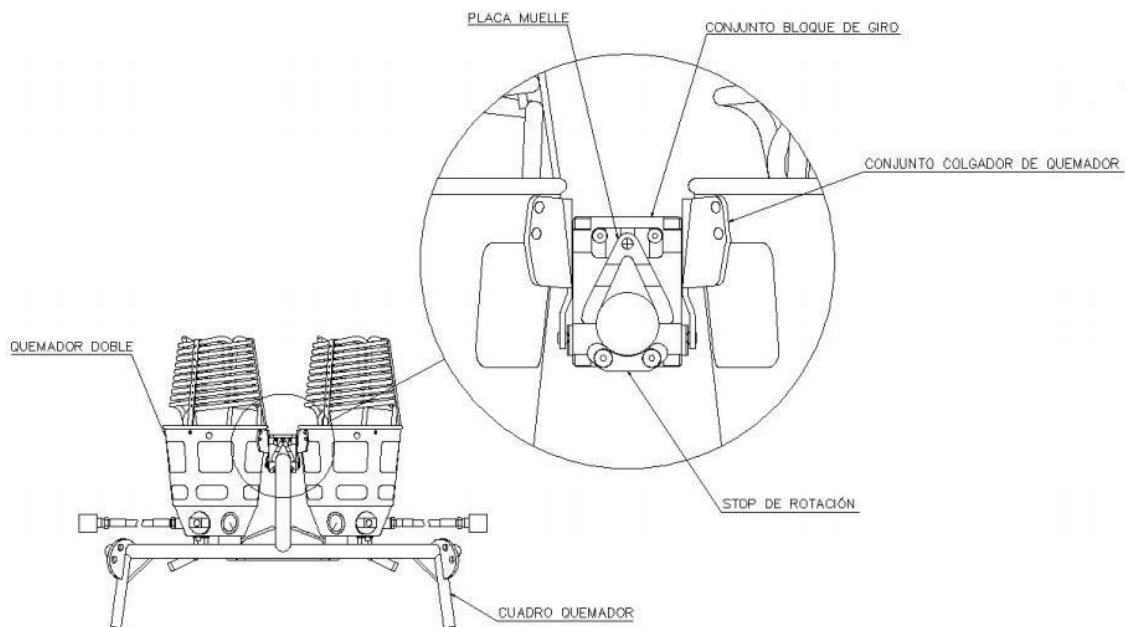


Fig 31. Sistema de rotació del cremador.

**El cremador** és el sistema que permet que el globus aerostàtic funcioni com a tal. Es tracta d'un equip que la seva funció és la de crear una flama prou gran i potent per escalfar un gran volum d'aire dins de la vela i provocar una força d'ascensió; regulant la potència del cremador i per tant de la flama, es pot controlar la velocitat en que puja o baixa l'aeronau.

El seu funcionament és el següent: es genera un flama pilot mitjançant un encenedor piezoelèctric (semblant a una flama olímpica) i mitjançant una vàlvula reguladora es fa córrer el propà líquid per tot el serpentí, provocant el seu canvi d'estat a gas. Un cop volem incrementar aquesta flama per ascendir, obrim el pas de gas propà i provoquem una altura de flama que pot arribar als 3 metres.

En funció del model que tenim de vela i del volum d'aire que es requereix, però també de la força d'ascensió i la seva velocitat s'escull un o altre model, existeixen sistemes d'ignició amb 1, 2, 3 i fins a 4 cremadors:



*Fig 32. Sistema de combustió de 2 cremadors.*



*Fig 33. Sistema de combustió de 4 cremadors.*



Independentment es seleccionen les ampolles de propà adequades pel sistema de combustió escollit, però sobretot segons les hores de vol i el volum de propà que consumeix.

### CISTELLA O BARQUETA

És el lloc on es col·loquen els passatgers i el pilot de l'aeronau, així com l'element més pròxim al terra, tot i trobar-se a més de 200 metres d'altura. La seva fabricació segueix l'estil de la resta de components del globus: a mà i ajustant-se al model de globus de cada cas, al gust i exigències del client. La principal funció de la barqueta és la de dotar d'un lloc adequat per posicionar els passatgers durant el vol amb globus, i alhora fer una tasca protectora durant l'enlairament, el vol i l'aterratge dels seus tripulants.

Ara bé, totes segueixen unes pautes molt similars: es construeix un "terra" des de on s'eleva la construcció de la cistella utilitzant fusta nàutica (o contraxapada).



*Fig 34. Fusta nàutica a la cistella.*

A partir d'aquí es construeix una estructura tubular d'acer que permetrà posicionar unes canyes de fusta empalades al "terra", i començar el trenat del vímet per protegir tota la cistella. Durant el trenat es deixen alguns forats per generar "esglaons" que permetin un fàcil accés a l'interior del cistell, així com permetre passar els cables de sustentació del quadre de carga (el qual envolta de manera continuada tota la cistella) o per passar les corretges de les ampolles de propà.



*Fig 35. Construcció de l'estructura de la cistella.*



*Fig 36. Trenat del vímet.*

Un cop acabat es posa escuma al terra i a la part superior de la barqueta i es cobreix amb pell o cuir per fer-ho més agradable al tacte i còmode pels passatgers.

Aquest són alguns models de cistella en funció del globus i de la capacitat que es sol·licita:



*Fig 37. Model 1 de cistella.*



*Fig 38. Model 2 de cistella.*

## TEMPORITZACIÓ I DADES SOBRE LA FABRICACIÓ DEL GLOBUS AEROSTÀTIC

### Embolcall o vela

Metres de fil emprat en una secció: 16.000 metres.

Temps de costura: 120 hores.

### Quadre de carga i cremador

Kilograms de propà (en un vol de 1 hora): 120 Kg.

L'altura de flama que es pot aconseguir és de 3 fins a 6 metres.

S'aconsegueix una energia calorífica de gairebé 7,5M de Kcal (que és igual a 30M de btu<sup>10</sup>).

El serpentí utilitza 10 metres de tub d'acer.

Temps de construcció: 35 hores.

### Cistella o barqueta

Es pot personalitzar en la seva totalitat al gust del client.

Temps de construcció: 80 hores.

Preu globus sencer: 20.000 a 100.000 € .

Temps mitjà en acabar un globus: 3 mesos.

---

<sup>10</sup> btu: és una unitat de mesura de l'energia que equival a la quantitat d'energia necessària per a fer pujar la temperatura en un grau Fahrenheit a pressió atmosfèrica constant, és l'acrònim de *British Thermal Unit*.

## LA SINISTRALITAT DEL GLOBUS

La conquesta del cel no ha estat una missió fàcil ni curta en el temps, tal i com s'ha pogut veure es va iniciar abans de Crist i fins vora el 1800 dC no és va aconseguir tal fita, es per això que podem parlar que **s'ha trigat gairebé 2000 anys a poder navegar pel cel.**

A banda d'això durant aquests anys nombroses persones han treballat en aquest objectiu comú, i ha estat gràcies al mecanisme de prova-error que s'ha arribat a la situació on s'està avui dia. No obstant això, aquesta metodologia d'encert i error, quan t'estàs llençant al buit per intentar



*Fig 39. Globus de Jean-Francois Pilatre de Roizer abans d'estavellar-se, 1785.*

imitar el vol de les aus o per mantenir-te suspès en l'aire amb una tela, normalment comporta una precipitació al buit sense gaire marge d'actuació, i sovint causa la mort de qui, crític amb els coneixement d'aleshores, volia anar més enllà dels pensaments del seu temps.

Ara bé un cop descobert el mecanisme òptim per volar amb globus i en plena evolució del globus aerostàtic, també s'han donat casos d'accidents mortals; i fins i tot amb les tecnologies d'anàlisis atmosfèric i amb els nous materials i mecanismes de construcció del globus aerostàtic d'avui dia, també s'han produït casos d'accidents molt importants.

**I això respon al fet que en essència el globus que es pot construir avui, no presenta gaires canvis respecte als que es feien fa 200 anys; i en termes de seguretat aquesta inalterabilitat encara es fa més accentuada, ja que els tripulants es troben igual d'exposats ara que al s. XIX.**

Tot seguit es vol presentar un recull de dates d'accidents aeris que s'han produït, des de el 1700 fins el 2018, i que volen fer palès aquesta realitat sobre el globus aerostàtic:



**1785:** El pioner Jean-Francoise Pilatre de Rozier i el pilot Pierre Romain moren quan s'incendia el seu globus, suposadament per culpa d'una guspira que va saltar cap a la tela.

**1819:** Sophie Blanchard intenta encendre un foc d'artifici durant un vol amb globus aerostàtic, a 300m, el globus s'encén i es precipita al buit.

**1851:** el globus pilotat per Joseph Tardini cau al mig del mar del Nord (prop de Dinamarca), el pilot mor però el seu fill i la seva esposa aconseguen sobreviure.

**1853:** degut a les dolentes condicions del vent el pilot M. Louis Deschamps surt disparat de la cistella i mor instantàniament, el globus acaba precipitant-se al buit.

**1905:** mor John Baldwin degut a una explosió de la vela del globus durant la Fira del comptat a Ohio.

**1924:** el meteoròleg C. LeRoy Meisinger i l'aeronauta estatunidenc James T. Neely moren a causa de l'impacte d'un raig sobre el globus.

**1968:** el primer globus que intenta creuar l'Oceà Atlàntic, acaba precipitant-se al buit degut les males condicions atmosfèriques.

**1976:** xoc entre dos globus a Charlotte acaba amb la vida de tots els passatgers de ambdues aeronaus.

**1978:** xoc entre dos globus a Indiana acaba amb la vida de tots els passatgers de ambdues aeronaus.

**1979:** un globus xoca amb una línia elèctrica i provoca la detonació dels tancs de propà a Florida.

**1980:** un globus rep un impacte degut al xoc amb un huracà a Virginia Occidental.

**1981:** un globus turístic xoca amb una línia d'alta tensió i acaba incendiant-se, 5 dels tripulants salten al buit i moren, només sobreviu un dels tripulants amb greus cremades, a Illinois.

**1982:** dos globus es precipiten durant ambdós vols turístic i tots els tripulants moren, un succeeix a Suïssa i l'altre a Carolina del Sud.

**1983:** els tancs de propà tenen fuites i aquests mullen tota la cistella, un cop s'engega el cremador la flama s'escampa per tota la barqueta, mentre que el globus s'enlaira. Els passatgers acaben caient al buit.

- 1988:** el globus xoca amb una línia elèctrica i provoca que la vela s'incendiï a Carolina del Nord.
- 1989:** dos globus xoquen durant un vol turístic, a Alice Springs (Australià). Un dels globus es desploma i impacta contra el terra, provocant la mort de les 13 persones que duia a bord, l'altre globus només reben lesions lleus.
- 1990:** un globus xoca amb una antena de televisió i es precipita al buit, a Ohio.
- 1992:** un globus xoca amb una línia elèctrica i provoca que la vela s'incendiï a Texas.
- 1993:** durant la maniobra d'aterratge, el globus xoca amb uns arbres i la cistella acaba per desprendre's de l'aeronau. Tres passatgers aconseguen sobreviure, però uns altres 3 no, a Àustria.
- 1994:** quan es volia aterrar amb el globus, aquest s'incendia i els seus passatgers opten per llençar-se des dels 28 m, tots acaben morint, a Alemanya.
- 1995:** degut a les males condicions atmosfèriques un globus turístic es veu dirigit mar endins i acaba caient, a Nova Zelanda.
- 1996:** un globus xoca amb una línia elèctrica i es precipita al buit, a Colorado.
- 1999:** un globus xoca amb una línia elèctrica i provoca que la vela s'incendiï a Alemanya.
- 2001:** un globus xoca amb una línia elèctrica i explota, a França.
- 2004:** per culpa de les fortes ràfegues de vent, el globus impacta amb alguns edificis i arbres, provocant que una passatgera acabi precipitant-se de l'aeronau, els 10 tripulants restants reben només lesions lleus.
- 2007:** degut a la complicada situació atmosfèrica, el globus pateix diverses batzegades fins provocar que la cistella es desprengui i surti disparada, 3 persones resulten greument ferides i unes altres quatre lleument, a Canadà.
- 2007:** 2 persones moren i 11 resulten greument ferides quan el globus aerostàtic acaba incendiant-se, a Canadà.
- 2008:** un globus xoca una línia elèctrica i s'incendia a Mèxic.
- 2009:** un globus acaba precipitant-se al buit, a Xina.
- 2012:** un globus xoca una línia elèctrica i s'incendia a Nova Zelanda, els 11 tripulants moren.



**2012:** durant un vol turístic per Ljubljana (Eslovènia), s'incendia durant una tempesta elèctrica i es precipita al buit; 6 dels 32 passatgers moren i la resta reben ferides de severitat diversa.

**2013:** degut a una fuga de combustible la cistella acaba incendiant-se, 19 tripulants moren i 2 sobreviuen, a Egipte.

**2013:** un globus xoca una línia elèctrica i s'incendia a Suïssa.

**2013:** després de que dos globus xoquin durant respectius vols turístics, un acaba precipitant-se al buit amb 25 tripulants a l'interior, 3 d'aquests en perden la vida, a la Capadòcia.

**2014:** un globus xoca una línia elèctrica i s'incendia a Virginia.

**2016:** un globus xoca una línia elèctrica i s'incendia a Texas, moren 16 persones.

**2018:** un globus acaba precipitant-se al buit, pocs minuts després d'haver-se incendiat, resta sota investigació policial. Una persona va perdre la vida i 12 més van rebre ferides greus.

Cal comentar que: al **2018, a Vic**, i al **2019 a Sallent** es van donar respectius accidents amb un globus aerostàtic implicat, no obstant no hi van haver danys personals greus, només danys en edificis o en material urbà.

## ESTUDI DE MERCAT

El següent apartat vol ser un recull documental de l'oferta que existeix actualment en globus aerostàtics arreu del món, es centrarà en una breu exposició dels diferents models que ofereix cada marca, en cas d'haver-hi cap informació d'interès es comentarà molt per sobre.

Es obvi que no es presentaran tots i cada un dels fabricants de globus, sinó aquelles empreses més importants del sector arreu del món.

Cal fer una menció especial al fet que a Catalunya s'hi troba una de les principals marques de fabricació de globus a nivell mundial: ULTRAMAGIC SA, amb la qual comença aquest punt.

### ULTRAMAGIC SA



**LOCALITZACIÓ** Aeròdrom Gral. Vives, apto.  
408700 Igualada  
Barcelona, Espanya.

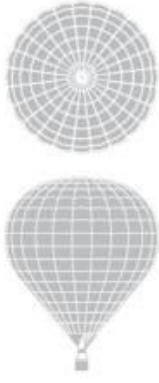
### CATÀLEG DE MODELS

Sèrie H



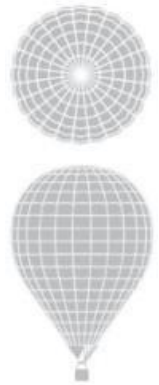
Model molt atractiu i amb unes seccions molt pronunciades, es molt resistent i econòmic. Molt fàcil de maniobrar, excel·lent per a vols competitius o de cap de setmana. Ideal per a pilots principiants.

Sèrie M



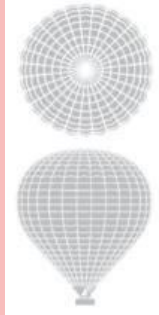
Model amb poca pronunciació i per tant ideal per a plasmar-hi il·lustracions o motius publicitaris. Es un model pensat especialment per a publicitat, però que alhora permet uns dissenys molt impactats en la vela.

Sèrie MV -  
RACER



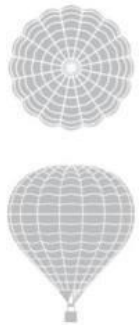
Model pensat en tots els seus detalls per a la competició, permetent el màxim índex d'ascens i descens amb la menor deformació en la vela, permetent una immillorable maniobrabilitat.

Sèrie N


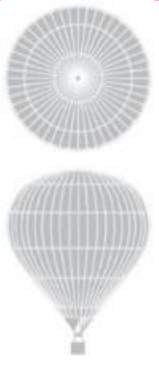



Model molt versàtil que permet una gran capacitat per transportat passatgers, alhora que ofereix una superfície llisa per plasma-hi anuncis publicitaris.

Sèrie S



Model de petit format ideal per a vols amb poca gent, molt lleugers i molt maniobrables. Utilitzen una vela petita que alhora pot ser molt útil en campanyes publicitàries.

Sèrie T		Model senzill de maniobrar i de dimensions mitjanes. És la sèrie principal per a la realització de vols turístics.
Sèrie V		Model amb 24 seccions, perfecte per a decoracions complexes amb línies delicades. Emprat sobretot per a publicitat.
Sèrie Z		Model molt interessant amb tall de diamant, on els diferents panells construeixen un disseny molt vistós i interessant. Apte per a competicions i vols de lleure.

### ASPECTES RELLEVANTS

Els models de vela de ULTRAMAGIC són molt versàtils permeten muntar-se amb diferents models de cremador i de cistella, tot a exigències del client. Alhora cada un d'aquest components es pot adaptar a colors, materials, etc, que el client demani.

Amb caràcter més tècnic comentar que les veles són fetes amb PA 6.6<sup>11</sup> recobert de silicona.

Taula 9. Models de globus ULTRAMAGIC.

<sup>11</sup> Fitxa tècnica de PA 6.6 – Annex 1.

## KUBICEK BALLONS



**LOCALITZACIÓ** BALÓNY KUBÍČEK spol. s r. o.  
Jarní 2a, 614 00 Brno, República Txeca

### CATÀLEG DE MODELS

Model E



Model d'alta eficiència i de baix cost. Té un pes molt reduït degut a la seva forma esfèrica, és molt sòlid i estable durant els vols, amb un pilotatge molt fàcil.

Model Z



Model universal, perfecte per a vols privats i comercials amb passatgers o anuncis. Alhora té una vela que permet decoracions complexes.

Model P



Model dirigit al transport de passatgers, amb grans veles. La part de dalt més arrodonida permet una magnífica velocitat d'ascens, així com molt bona capacitat per a alliberar aire.

Model D



Model amb tall diagonal, el qual el fa molt vistós. Apte pera vols de lleure com per a vols competitius amb poca exigència.

eXtreme Racer



Model d'alta competició, pensat per assolir les majors velocitats d'ascens i de descens, amb una vela que pren la forma d'una pilota defutbol, es pot arribar a velocitats de 9 m/s.

### ASPECTES RELLEVANTS

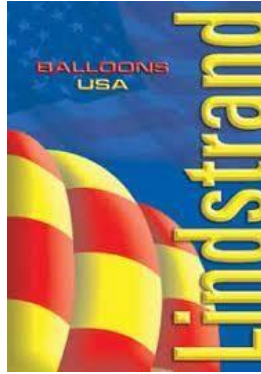
Kubicek és dels únics fabricants que alhora elabora el seu propi material de les veles, el Polièster Kubicek<sup>®12</sup>. No obstant algunes de les veles les fabriquen amb niló o fins i tot polièster.

Tenen dos tipus de cremadors, un simple i un doble, i les cistelles poden ser totalment personalitzades.

Taula 10. Models de globus Kubicek Balloons.

<sup>12</sup> Fitxa tècnica de Polièster Kubicek<sup>®</sup>- Annex 1.

## LINDSTRAND



**LOCALITZACIÓ** 11440 Carrer DANDAR  
Galena, Illinois, 61036  
Estats Units

### CATÀLEG DE MODELS

Sèrie A



Model amb una superfície ideal per a plasmar anuncis, amb 28 seccions. De dimensions mitjanes és ideal per a vols amb un volum de tripulants mitjà.

Sèrie X



Model d'alt rendiment, els últims 11 campionats nacionals de USA s'han guanyat amb un globus d'aquest model. Amb una gran estabilitat davant de grans velocitats d'ascens i descens amb la mínima distorsió en la vela.

Sèrie E



Model dirigit a l'aventura i la comoditat, molt versàtil, amb un pes reduït, una fàcil capacitat de maniobrabilitat i un cost molt ajustat.



## ASPECTES RELLEVANTS

Lindstand permet una enorme versatilitat de tots els seus models, adaptant-los a vols de lleure o de competició indiferentment.

Posseeix un simulador del disseny del globus molt intuïtiu a la seva pàgina web.

Per a fabricar les veles utilitzen el material Hyperlast<sup>®13</sup> en els globus més exigents, sinó un teixit a base de niló recobert per les dues cares de polièster.

*Taula 11. Models de globus Lindstrand.*

---

<sup>13</sup> Fitxa tècnica de Hyperlast<sup>®</sup>- Annex 1.

## CAMERON BALLOONS



**LOCALITZACIÓ** St Johns Street, Bedminster, Bristol  
Regne Unit, BS3 4NH

### CATÀLEG DE MODELS

Hopper



Model ultralleuger, no utilitza cistella. És molt lleuger i compacte. Ofereix oportunitats interessants per equips comercials, esportius i publicitaris.

Racer



Model de competició, amb un perfil ultra suau, ofereix una insuperable estabilitat dimensional, excepcional velocitat d'ascens i descens, amb una maniobrabilitat molt senzilla.

SPORT series



Model apte per a plasmar dissenys complexes en la vela i que alhora es molt fàcil de pilotar. Dirigit a pilots amb poca experiència.

Z Type



Model de grans dimensions que permet uns dissenys molt impactats i brillants.

**ASPECTES RELLEVANTS**

Aquesta empresa s'ha especialitzat sobretot en el disseny de globus amb formes específiques, orientades a esdeveniments esportius, estrenes de cinema, etc. Les veles les fabrica amb RipStop Niló<sup>®14</sup>, és un teixit d'altíssima resistència i de gran capacitat anti-estripades, fabricat amb diferents gruixos de fil de niló.

*Taula 12. Models de globus Cameron Balloons.*

---

<sup>14</sup> Fitxa tècnica de RipStop Niló<sup>®</sup> – Annex 1.

## SIMULACIÓ COMPUTACIONAL

La finalitat principal d'aquest treball és la de fonamentar l'aportació de millores substancials en la no deformació de la vela del globus aerostàtic quan pateix algun impacte; per mitjà de l'acoblament d'una estructura tubular al voltant de la tela, carregada amb una pressió al seu interior.

Per tal d'estudiar aquest sistema tant complex on hi participa la vela, l'estructura de tubs, l'aire exterior, l'aire de l'interior del globus, les fixacions de l'embolcall, les interaccions derivades sobre de la tela i a l'interior de la mateixa, les reaccions creades dins els tubs, densitats i moltes altres variables físiques i geomètriques, i amb l'objectiu de fer-ho el més realista possibles, s'ha escollit el mètode experimental de la reproducció del cas real mitjançant una simulació amb un programari basat en el Mètode dels Elements Finitis (MEF o FEM, en anglès *Finite-Elemente-Methode*), marc en el qual es permet realitzar una aproximació molt acurada del cas real, utilitzant una interfície molt intuïtiva i que dona uns resultats molt potents i de fàcil interpretació. I que ahora permet una manipulació molt lliure de les variables que intervenen en la simulació per provocar casos extrems o altres paradigmes interessants d'estudiar.

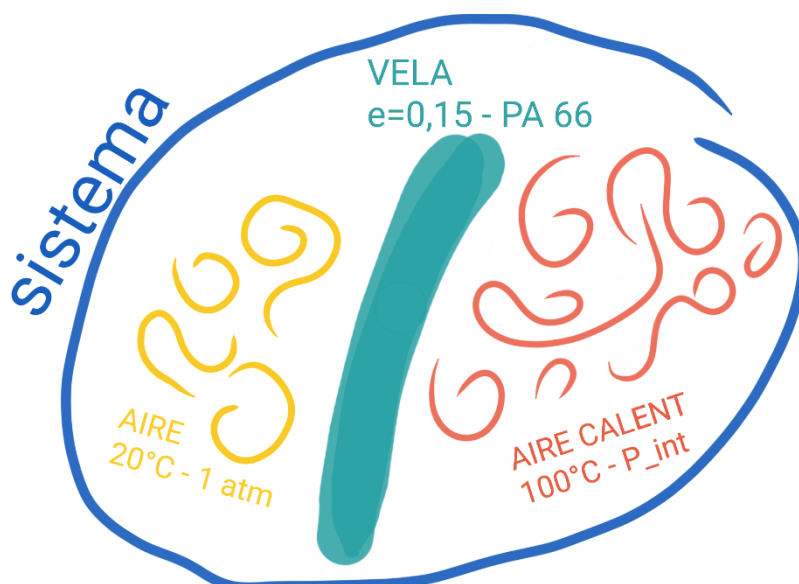


Fig 40. Esquema del sistema que es vol arribar a simular.

## MÈTODE D'ELEMENTS FINITS

<<Mètode de càlcul numèric que s'empra en la resolució d'equacions diferencials, basada discretitzar l'estructura en una malla d'element. >><sup>15</sup>

El MEF és un mètode d'aproximació numèrica d'anàlisi de sistemes físics basat en el principi que – per fer-ho fàcilment comprensible, s'explicarà en base al cas més senzill, un sòlid de geometria senzilla, i en un anàlisi de estàtica estructural – partint del sistema global que és un cos sòlid massís, i per tant esta fet amb un determinat material (el qual alhora té unes propietats físiques de densitat, mòdul de Young, coeficient de Poisson, etc, determinades) i també una geometria concreta, i en el qual s'hi apliquen unes restriccions de desplaçaments en XYZ i uns girs bloquejats en uns punts concrets del sòlid, i que a més a més en uns altres punts del cos s'apliquen unes càrregues específiques; el anàlisi d'aquest element és molt complex donat que les variables que hi intervenen no seran senzilles de resoldre – ja que no es tracta d'un cas adaptat per un problema acadèmic – per tant, davant d'aquesta complexitat, **el MEF planteja que: si trenco aquesta geometria en petites partícules, que s'uneixin entre elles per nodes, per omplir el volum total real, l'estudi de tot el cos, d'alguna manera ha de ser equivalent a l'estudi de tot el conjunt de partícules que subdivideixin el cos, aleshores, les equacions diferencials que s'apliquen al sòlid total han de poder-se aplicar també en aquests petits elements, i la integració del resultats de les equacions a cada partícula del cos dona, amb força precisió, un resultat equivalent a l'estudi de les equacions en la geometria global, sempre però amb un marge d'error.**

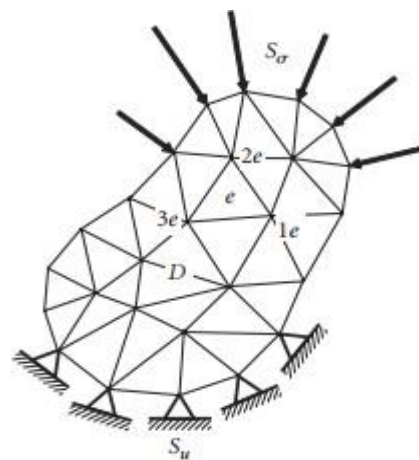


Fig 41. Discretització, restriccions i càrregues aplicades en un sòlid.

<sup>15</sup> Termcat (2021). Definició: Mètode dels elements finits.



Fig 42. Cos sòlid amb restriccions i càrregues aplicades.

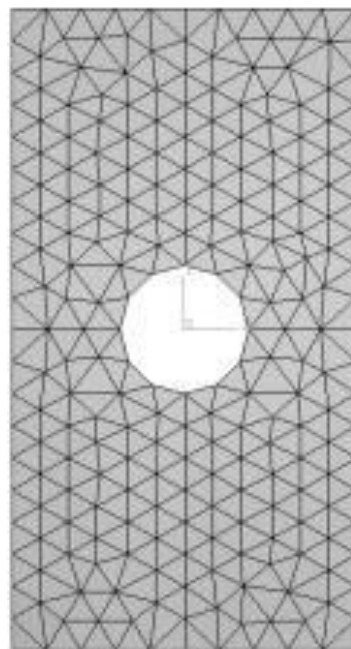


Fig 43. Subdivisió en partícules de la geometria del sòlid anterior.

Pot semblar que subdividir la geometria sigui una tasca molt feixuga, però si s'utilitza un *software* informàtic, totes aquestes iteracions es realitzaran en períodes relativament curts de temps, si es compara amb el temps necessari d'estudiar la geometria sencera. A més a més, permet aplicar canvis en tots aquells paràmetres que intervenen en el mètode, variables, geomètrica, subdivisió, element emprat per a discretitzar la partícula, ... de manera molt ràpida i intuïtiva, i que prement el botó de re-calcular, s'obtidran ràpidament uns nous resultats.

Alhora, el resum de resultats final presenta les dades de manera molt clara i entenedora,

aportant una informació molt fàcilment interpretable a simple vista, ja que a partir d'aquest estudi partícula a partícula és pot construir un mapa de resultats al llarg de la geometria del cos, permetent veure en quins punts es reproduïxen majors tensions, deformacions, etc.

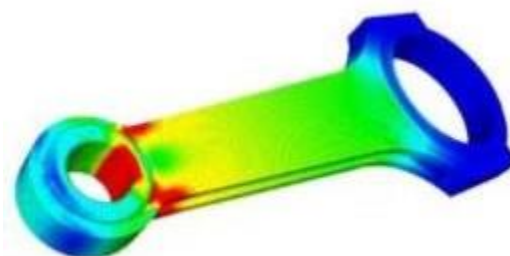


Fig 44. Mapa de tensions resultants de l'estudi amb MEF.

No obstant, tot i que el que s'ha dit és aplicable al cas particular de l'estudi de la vela del globus aerostàtic que rep l'impacte d'un flux de vent, es a dir, **es pot realitzar un anàlisis d'estàtica estructural prou acurat basat en una geometria de vela i aplicant unes pressions en zones concretes i restringint desplaçaments i girs en punts concrets que donin com a resultat una bona aproximació del cas real**, a l'hora de la veritat no existeixen unes pressions equivalents, sinó la presencia de fluids que interaccionen amb una estructura sòlida deformable, per tant les veritables reaccions que se'n deriven d'aquesta interacció fluid-sòlid no estan del tot ben definides en el anàlisis.

## DINÀMICA DE FLUIDS COMPUTACIONAL

És obvi, però, que el anàlisis més aproximat que es pot simular, es aquell que millor respecti la veritable naturalesa del cas real, i en aquest cas hi ha l'acció en uns determinats volums d'uns determinats fluids, paràmetres que no es poden definir amb prou curiositat en un anàlisis d'estructural. El mètode per estudiar els casos de mecànica de fluids amb més precisió i respectant la naturalesa pròpia d'aquesta física és la Dinàmica de Fluids Computacional (DFC, en anglès *Computational-Fluid-Dynamics*, CFP), mecanisme que s'assimila al MEF, però que **no utilitza elements que subdivideixin la geometria (entenent geometria com la**

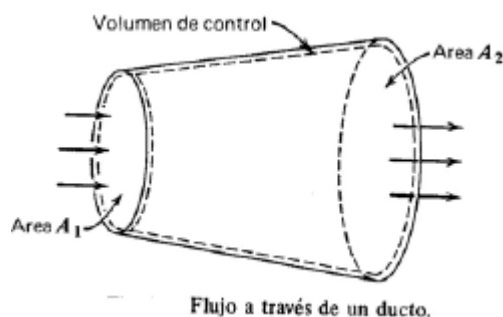


Fig 45. Volum de control.

**dimensió real i de caràcter sòlid de l'objecte), sinó que fragmenta el sistema a estudiar, concretament el volum de control<sup>16</sup> que s'ha definit com a global, en sub-volums de control, però mantenint el fet que l'integral del resultat de les EDO's**

<sup>16</sup> El volum de control és un element de la mecànica de fluids, el qual delimita una regió del sistema global d'estudi amb l'afirmació que: l'estudi només en la regió de control és equivalent a l'estudi del sistema global, ara bé amb la millora de que estudiar una zona relativament petita és molt més ràpid i senzill.

Un volum de control especifica una zona de volum constant, però permet el lliure moviment de massa i d'energia de dins del volum cap a fora i a la inversa.



(equacions diferencials ordinàries) en els sub-dominis estudiats, equival a la resolució de les equacions en el sistema global.

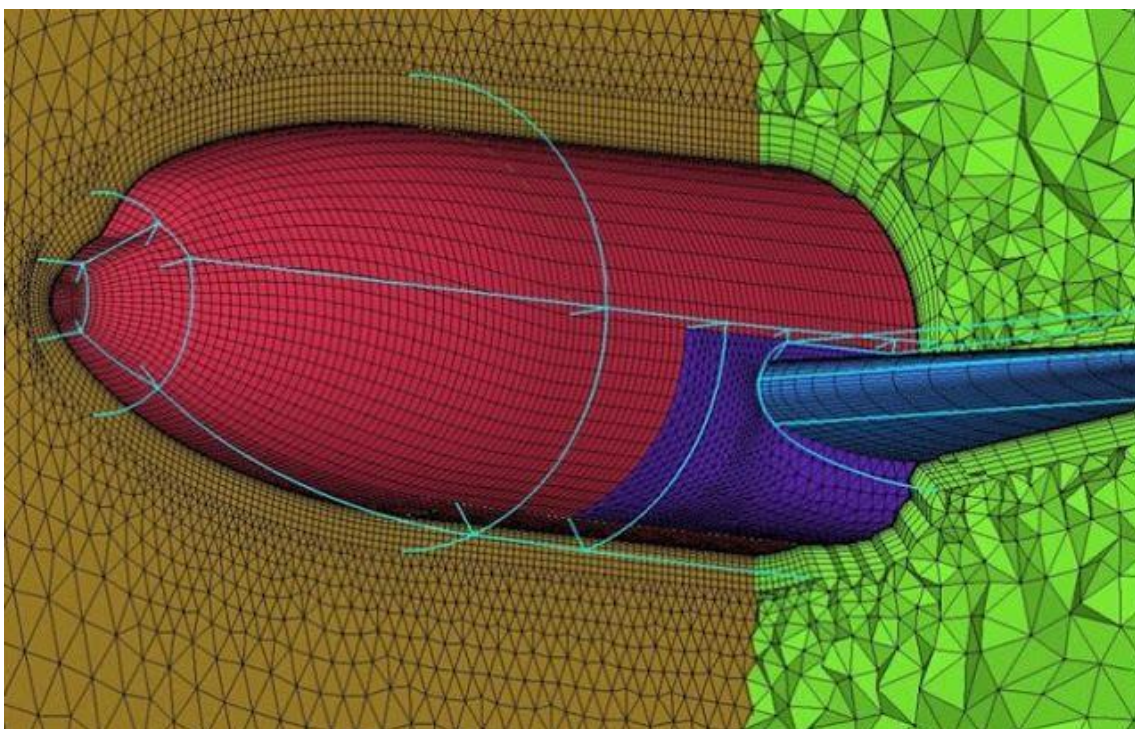


Fig 46. Exemple de quin aspecte té un anàlisi DFC.

A la imatge anterior es pot identificar el cos d'un avió, el qual se l'envolta amb un volum de control, definint-lo amb les propietats de l'aire que es vol simular que hi hauria en un suposat cas real, tal i com es pot veure aquí la subdivisió es realitza en el volum que envolta el sòlid (zones beix i verda) fent un mallat encara més fi en les parts més pròximes al cos; el mapa de resultats que dona es sobre el comportament que realitza aquest suposat "aire" al voltant del sòlid de l'avió (el qual no té altre funcionalitat que la d'aportar una geometria d'interacció, bàsicament la funció d'ocupar un espai).

## INTERACCIÓ FLUID-SÒLID

Tot i la gran potència que té el DFC, molt per sobre que el MEF, té el problema de que només estudia i es fixa amb el comportament exclusiu del fluid, considerant en tot moment al sòlid amb el qual interacciona com un cos completament rígid i indeformable. I el cas que es vol arribar a plantejar, és el de un fluid extern (aire) que

impacte sobre una tela (sòlid deformable) i que provoca una reacció, un desplaçament, en el fluid de l'interior de la vela, per tant cal anar un últim pas més enllà i descriure aquesta interacció. La metodologia que permet aquest resultat tant precís és la Interacció Fluid-Sòlid (IFS, en anglès *Fluid-Solid Interaction*, FSI).

Per arribar al objectiu final del plantejament d'un model IFS, cal crear l'estructura d'un model de simulació basat en DFC i que alhora s'enllaci amb un Anàlisi Estructural (MEF), i executar-ho conjuntament.

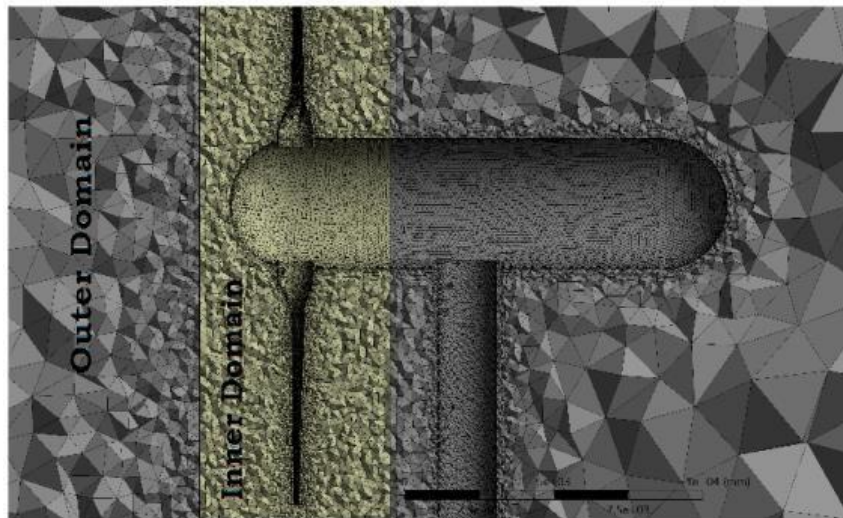


Fig 47. Mallat del sistema per un anàlisi de mecànica de fluids segons DFC.

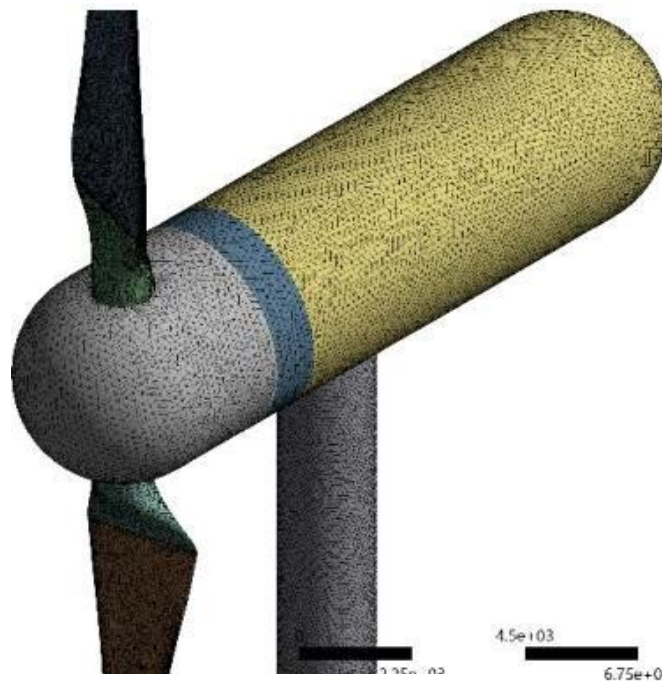


Fig 48. Mallat del sistema per un anàlisi estructural segons MEF.

El programa que s'utilitzarà en el treball per a recrear tots aquest casos i realitzar les simulacions pertinents, és el conegut *software* de simulació (que engloba dins seu diversos paquets d'anàlisi) ANSYS; en l'Apartat 2. Mètode, és donaran més detalls de com es descriuran els diferents casos de simulació i s'explicarà millor en que consisteix aquest programari.

## ESTRUCTURA

És l'objecte d'innovació que presenta el treball i alhora és el pilar fundacional d'aquest document.

Tot comença amb la patent presentada pel director d'aquest treball el doctor Javier Álvarez del Castillo amb títol <<"Estructura de rigidización neumática de la lona de un globo aerostático y aerostatos en general y operación de presurización de dicha estructura">> i número de registre: ES2538595B1. On es presenta l'idea d'un element que s'acobli a la vela del globus aerostàtic i afegeixi un major caràcter indeformable a la tela, per contrarestar els casos en que el xoc d'un flux puntual i a gran velocitat d'aire o amb un altre element rígid (com podria ser un altre globus) provoca que un considerable volum d'aire de l'interior de la vela es desplaci brusquement, i sovint s'escapi de l'embolcall, provocant que el globus es precipiti al buit; degut a que la força de flotació del globus perd volum que participi en l'equació, de manera irrecuperable, i la força del pes de l'aeronau suposa una magnitud major, per tant descendeix. I en no poder retornar aquest volum que s'ha escapat, la velocitat de la caiguda és totalment descontrolada. A continuació es farà una breu presentació de la patent en sí, i més endavant es comentaran les patents associades a la mateixa.

### **PATENT ES-2538595-B1**

La invenció proposada es basa en una estructura reticular i pneumàtica (per no pervertir el medi de funcionament del globus) conformada amb tubs d'aire comprimit acoblats, adherits o cosits convenientment a la geometria de la lona que empresona la massa d'aire calent del globus aerostàtic.

Aquest tubs es col·loquen horitzontalment i perimetralment, seguint el contorn circular del globus segons les seccions en plans horitzontals.

I en perfil-vertical, seguint el contorn vertical del globus seguint les seccions en plans verticals.

L'estructura esta agafada solidàriament a la tela, i prevista d'una o de varies vàlvules per les quals, un cop s'ha inflat el globus, s'injectarà aire comprimit en els tubs; un cop

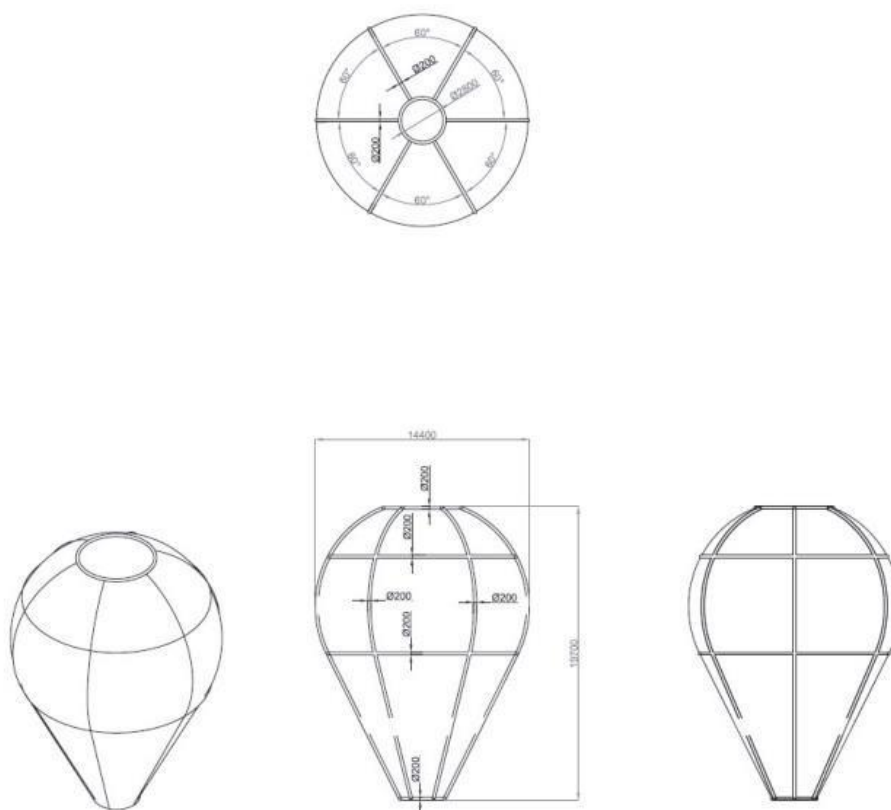
aquesta operació hagi acabat l'aeronau quedarà prevista d'una major capacitat de indeformable davant de possibles accidents que pogués patir.

## DIRECTRIUS CONSTRUCTIVES I OPERATIVES

Els tubs que conformen l'estructura poden esser teixits tubularment amb tela 100% de polièster, amb fil d'alta tenacitat, laminada per ambdós costats amb una pel·lícula de PVC i sense costures; que rebran una pressió interna de 2 bars.

Els tubs es disposaran en dues direccions: tubs horitzontal-perimetral i tubs de perfil vertical (Figura 1).

**Figura 1**

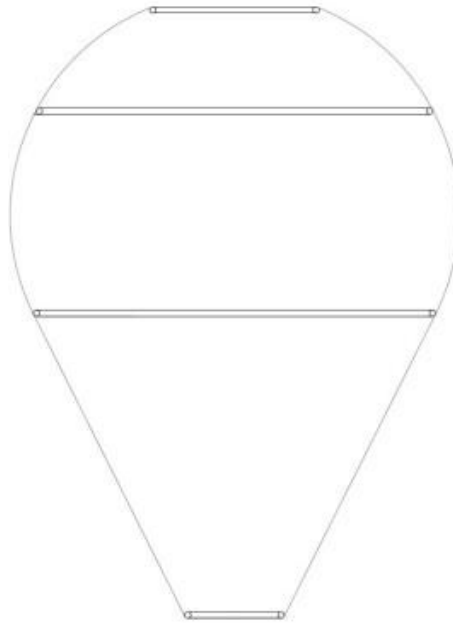


*Fig 49. Dispositiu de rigidització tubular. (pàg. 9 - patent:ES-2538595\_B1).*

Els tubs horitzontal-perimetral de 20 cm de diàmetre com a mínim. Amb una pressió interior de 2 bar. Es recomana un mínim de 4 tubs circulars i disposats a altures equidistants des de la base fins la cúspide del globus. El diàmetre de la directriu del tub

circular rigiditzador serà el mateix que el de la secció horitzontal de la vela del propi globus aerostàtic a l'altura determinada (Figura 2).

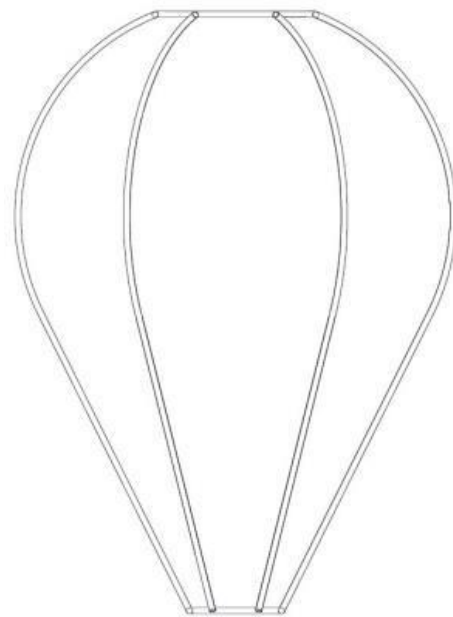
**Figura 2.**



*Fig 50. Disposició dels tubs horitzontal-perimetral. (pàg. 9 - patent:ES-2538595\_B1).*

Els tubs perfil-vertical de 20 cm de diàmetre com a mínim. Amb una pressió interior de 2 bar. Es recomana un mínim de 6 tubs circulars i disposats de forma equidistants al llarg del perímetre del globus aerostàtic. En tenir una directriu corbada, el tub estarà conformat per la unió de les diverses corbes i rectes tangents on el radi de curvatura sigui el convenient per mantenir-la forma de la vela (Figura 3).

**Figura 3.**



*Fig 51. Disposició dels tubs horitzontal-perimetral. (pàg. 9 - patent:ES-2538595\_B1).*



Les interseccions entre els tubs horitzontal-perimetral i els perfil-vertical formaran unions a 90°, la solució constructiva serà la d'una unió en "⊥" sense costures i encolada. (Figura 4)

**Figura 4.**

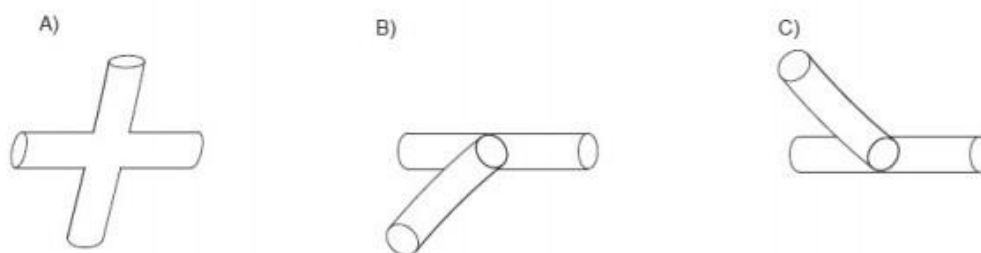
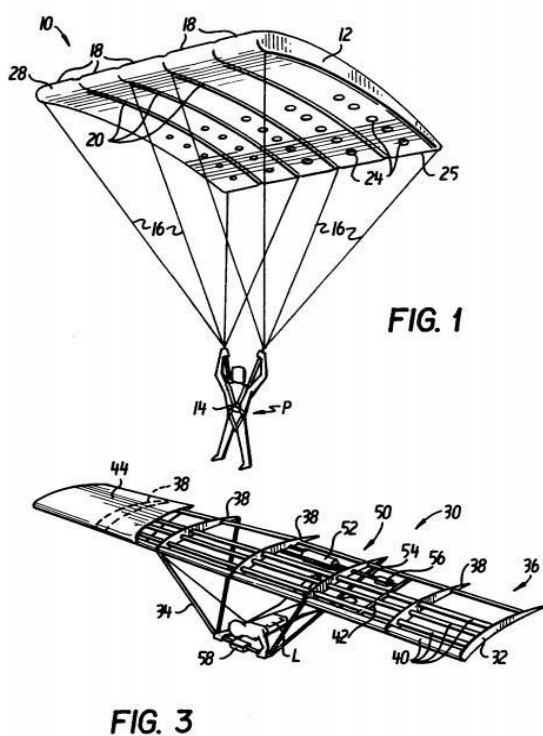


Fig 52. Unions proposades entre els tubs. (pàg. 10 - patent:ES-2538595\_B1).

## PATENTS ASSOCIADES

Associades a aquesta patent es troben les següents invencions:

US-5362017-A – "Parawing"



Proposta d'un disseny de paracaigudes i d'un ala delta on s'utilitza aire pressuritzat per inflar les respectives "veles" que permeten la sustentació i vol del subjecte. En el paracaigudes, la tela porta uns forats a la part inferior cap enrere; un cop s'obri el paracaigudes en ple descens, la velocitat mateixa de la caiguda provocaria que entrés aire per aquestes obertures i provoqués una pressió des de l'interior que acabaria sustentant la nau en l'aire. Sobre l'ala delta, es proposa un marc inflable que dugui un sistema de subministrament de gas comprimit per dotar d'una

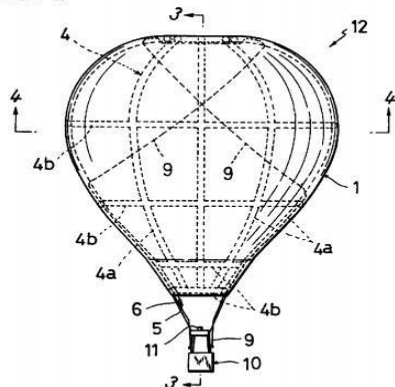
Fig 53. Imatge resum de la patent US- 5362017-A.



rigidesa regulable a la vela. La proposta es basa en integrar una sèrie de tubs en la longitud de la tela, on s'hi introduirà gas pressuritzat, per deixar rígids els tubs, que alhora tensen la tela de la vela de l'ala delta.

US-5697579-A – “Aeronau amb estructura de suport auto-inflable” [Traduït]

**FIG. 1**



**FIG. 2**

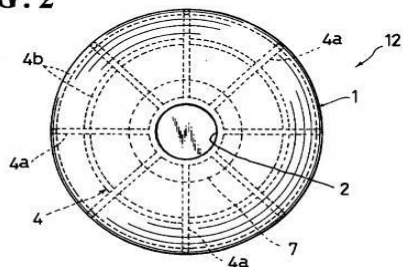


Fig 54. Imatge resum de la patent US-5697579-A.

del vehicle, però que alhora suprimeix l'estructura metàl·lica que a priori no es desmuntable. Aquesta idea la traspassa a diferents aeronaus i l'aplica indistintament, creant cossos adaptats a cada vehicle.

Invenió de diferents estructures tubulars i inflables per a diversos models d'aeronau, que van des del globus aerostàtic, a l'ala delta, al dirigible, etc. Utilitzant un mateix sistema de rigidització de “esquelet”, un subministrador de gas, aire o heli, que generi una pressió interna i els “endureixi”.

La patent comença analitzant el cos d'un dirigible i plantejant l'objectiu de poder, un cop no s'hagi de volar amb ell, desmuntar la vela i plegar-la per estalviar espai. I proposa una estructura de tubs que reforci la tela des de dins i permeti el correcte funcionament del vehicle, però que alhora suprimeix

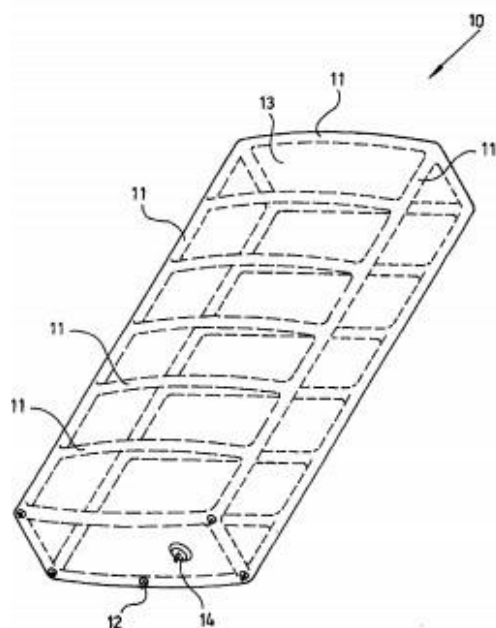
WO-2000036953-A1 – “Sistema per assolir formes amb cambres de pressió” [Traduït]

Fig 55. Imatge resum de la patent WO-2000036953-A1.

La patent proposa un disseny d'un sistema format amb diferents cambres que es comuniquen entre elles i que treballen amb aire a pressió per donar forma a un volum i per aportar un major grau de resistència a aquest cos.

És un mecanisme semblant al que s'utilitza per inflar matalassos inflables, però amb l'afegit que aquí no s'omple tot l'espai del cos, sinó que s'introdueix aire a uns canals que hi ha adherits al voltant del cos, d'aquesta manera es rigiditzen els tubs formant “unes costelles” resistents a impactes i la resta de volum és el de una

tela que queda buida. En funció de la pressió amb la qual s'omplen els tubs, la resistència del cos és variable i així pot prendre diferents formes.

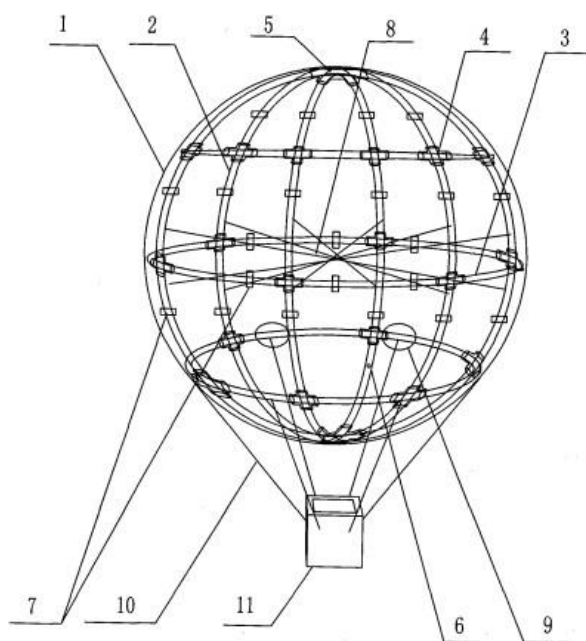
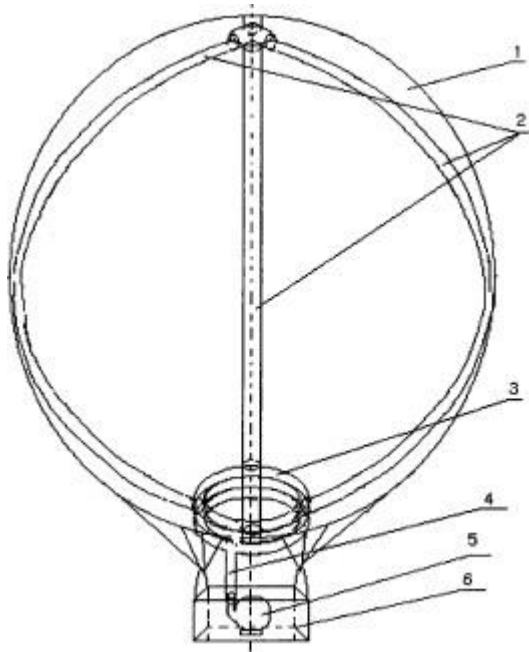
CN-101417705-B – “Globus estratosfèric conformat” [Traduït]

Fig 56. Imatge resum de la patent CN- 101417705-B.

El sistema proposat en aquesta patent pretén aportar una estructura per enfortir la vela dels globus, ja que en casos en que aquests treballen a grans altures, la pressió a l'interior del globus cada cop és més baixa, fet que provoca que el teixit pugui ser deformat molt més fàcilment que a altures més baixes. I doncs, aquesta menor resistència permet que davant d'un impacte puntual de vent sigui més senzill que el globus es pugui

desinflar i caigui. La proposta es basa en introduir una esfera formada per tubs, els qual s'uneixen entre ells i a la tela, dins de la vela dels globus; omplir els tubs d'aire per rigiditzar l'estructura i que es mantingui inalterable, sostenint la vela, tot i que la pressió a l'interior canviï.

CN-201999197-U - "Sistema d'inflació de globus amb un cinturó inflable" [Traduït]



El següent model planteja el disseny d'uns "cinturons" o tubs que ressegueixen d'una punta a l'altre la silueta del globus i que es reparteixin per tota la vela, alhora aquest tubs es troben en un tub circular localitzat a la boca del globus aerostàtic.

Per mitjà del subministrament d'aire a pressió per aquests cinturons, donem rigidesa a la tela del globus aerostàtic, aquest bufador aniria connectat directament al sistema d'ignició del propi aparell.

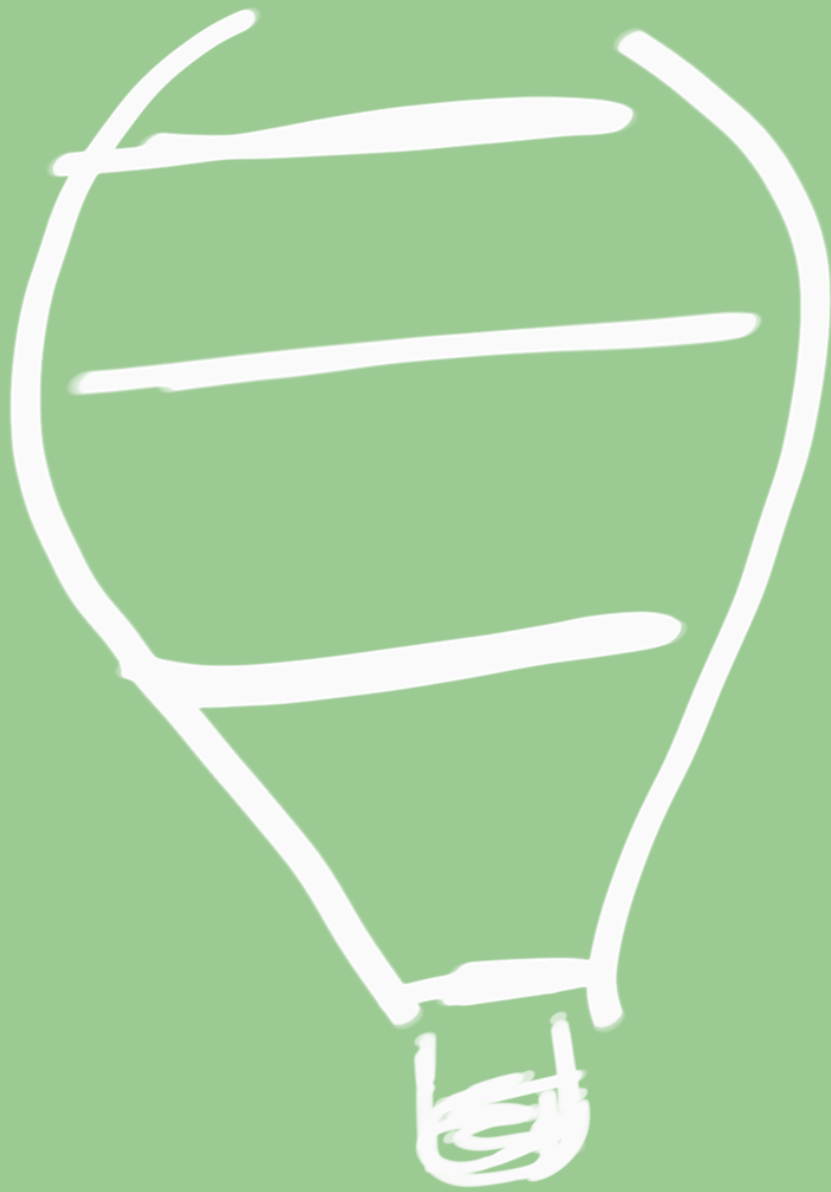
Fig 57. Imatge resum de la patent CN- 201999197-U.

A més a més aquest esquelet afegeix

resistència per part de la vela davant d'impactes sobtats.

Així doncs el model d'estructura que s'estudiarà amb la simulació en aquest treball serà, en una primera instància, el proposat pel doctor Javier Alvarez, amb l'objectiu de justificar si l'idea proposada és eficaç i resolutiva amb la problemàtica que afronta.

Un cop es tinguin aquests resultats i en funció de quins siguin, el treball pot derivar en diferents direccions: replantejar la proposta de l'estructura, acabar de polir l'idea, estudiar els mecanismes i elements constructius, buscar altres alternatives, etc. Tot anirà en funció del temps restant, i d'haver assolit ja els objectius plantejats en un inici; així com de la voluntat de voler explorar més enllà de l'espai que en un principi s'havia delimitat en aquest treball.



## **APARTAT 2. MÈTODE**



El següent apartat engloba tota la part d'aplicació del mètode experimental, dins del marc de la simulació computacional.

Mitjançant la informació obtinguda en l'apartat de teoria, es plantegen diferents casos a simular, cada cop amb més similitud vers el cas real i de major complexitat per al programari; per tal d'anar fent camí, però sobretot d'anar assentant diferents paràmetres de la simulació, com per exemple: quines són les correctes restriccions que s'han de reproduir en la simulació o de quina manera s'han de definir correctament les forces aplicades al model; aquesta evolució progressiva permet anar assegurant les passes, amb l'objectiu d'arribar a la simulació final tenint clar quina és la forma correcta de plasmar el cas real dins del sistema de simulació computacional.

## ANSYS

ANSYS, Inc. es una empresa estatunidenca amb seu a Canonsburg, Pennsilvanià, fundada el 1970 per John Swanson, i les seves sigles corresponen a l'acrònim de Swanson **A**nalysis **S**ystem.



Fig 58. Logotip de l'empresa ANSYS.

Des de els seus orígens es va dedicar a la invenció de programari per a la simulació automatitzada, en els seus primers dies, però, utilitzava targetes perforades per a automatitzar els càlculs de les simulacions; no és fins l'època dels '90 que es presenta el primer *software* informàtic de simulació.

Durant els propers anys i en l'actualitat, ANSYS fa la funció de "caça-talents", esdevenint el conglomerat que és avui dia de PYMES (petites i mitjanes empreses) que independentment han desenvolupats paquets de simulació, i que integra en el seu conegut ANSYS WORKBENCH; algunes d'aquestes empreses són: Compuflo, que va desenvolupar el programa de dinàmica de fluids computacional, FLUENT Inc. desenvolupadora del paquet FLUENT, SpaceClaim pel modelat en tres dimensions, 3DSIM, enfocat a la simulació de casos d'impressió 3D, OPTIS, que van desenvolupar el mini-programa enfocat a les simulacions de casos d'òptica, i un llarg etcètera.

És el programari més utilitzat globalment per a tasques de simulació, i per això se'l considera el #1.

Col·labora amb 2.750+ universitats en 92 països, proveint-los de material i *software* per a la docència i la investigació.

La mitjana anual, que calcula l'empresa, de les descarregues de la versió gratuïta per a estudiants és de 350.000 descàrregues.

Impulsor de 750+ doctorats i de 450+ patents.

El 2020 va ser inclosa en la llista d'empreses més responsables d'Estats Units per la revista Newsweek.

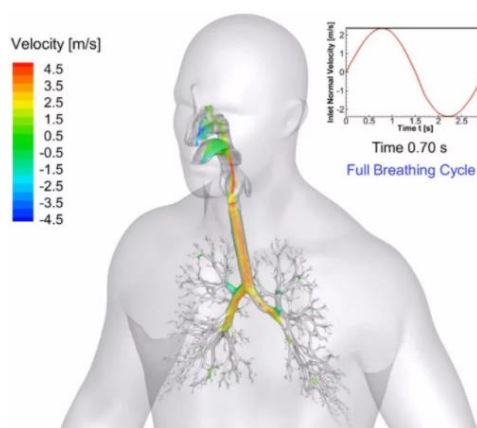


Fig 59. Simulació del cicle respiratori humà.



En l'últim període van obtenir uns ingressos totals de 1.516 milions de US \$.

Tornant al tema d'aquest treball, **el software que s'utilitza per a reproduir tots els casos de simulació computacional és el prestigiós (i ja anomenat amb anterioritat) ANSYS WORKBENCH**, en concret, la versió 2021 R1 – òbviament amb la llicència gratuïta d'estudiant amb validesa per a tot un any, ja que el preu del lloguer d'una llicència anual amb els programes de MEF i DFC, únicament, puja fins els 36.000€. Aquesta versió lliure per a tots els públics, inclou les següents característiques i limitacions:

### QUE INCLOU?

Els programes o paquets de *software* següents:

ANSYS Workbench	ANSYS Multiphysics	ANSYS Mechanical
ANSYS Autodyn	ANSYS Forte	ANSYS Chemkin-Pro
ANSYS CFD	ANSYS FLUENT	ANSYS Meshing
ANSYS DesignModeler	ANSYS DesignExplorer	ANSYS SpaceClaim

Dins del propi Workbench, estan disponibles tots el paquets de simulació de la llicència oficial, per tant permet fer simulacions de tot tipus, des de sistemes elèctrics, estàtica estructural, magnetoestàtica, resposta harmònica, vibració aleatòria, dinàmica del sòlid rígid, tèrmica, tèrmica-elèctrica, ...

En aquesta versió s'han millorat els algorismes automàtics i intel·ligents de generació de malla per defecte, garantint un mallat d'alta qualitat, alhora que es dota de total independència per ajustar els paràmetres de la discretització al gust de l'usuari.

La tecnologia de resolució avançada utilitzant Autodyn i LS-DYNA permet realitzar simulacions de caiguda, impacte i inclús d'explosió.

Inclou la possibilitat d'importar en formats com IGES i PASO. Així com l'ús del format Parasolid de manera nativa en el ANSYS DesignModeler.

Per tant gairebé **totes les funcions queden disponibles tot i ser una llicència estudiantil.**

## LIMITACIONS

Les limitacions que presenta aquesta versió estan aplicades únicament vers la “dimensió” dels problemes que es poden executar, es a dir, quan es parla de MEF, s’esta limitant el nombre de sub-divisions (també anomenats nodes o elements) màxima que es pot fer del sòlid, i quan es tracta de DFC, es té limitat el nombre de cel·les o nodes en que es pot discretitzar el volum de control. Això no vol dir que en el mallat no es pugui sobrepassar aquest valor, simplement que en l’execució del càlcul de les EDO’s el programa avaluarà fins arribar a aquest topall.

Física estructural: 128.000 nodes / elements.

Física de fluids: 512.000 nodes / elements.

Electromagnetisme: N / A.

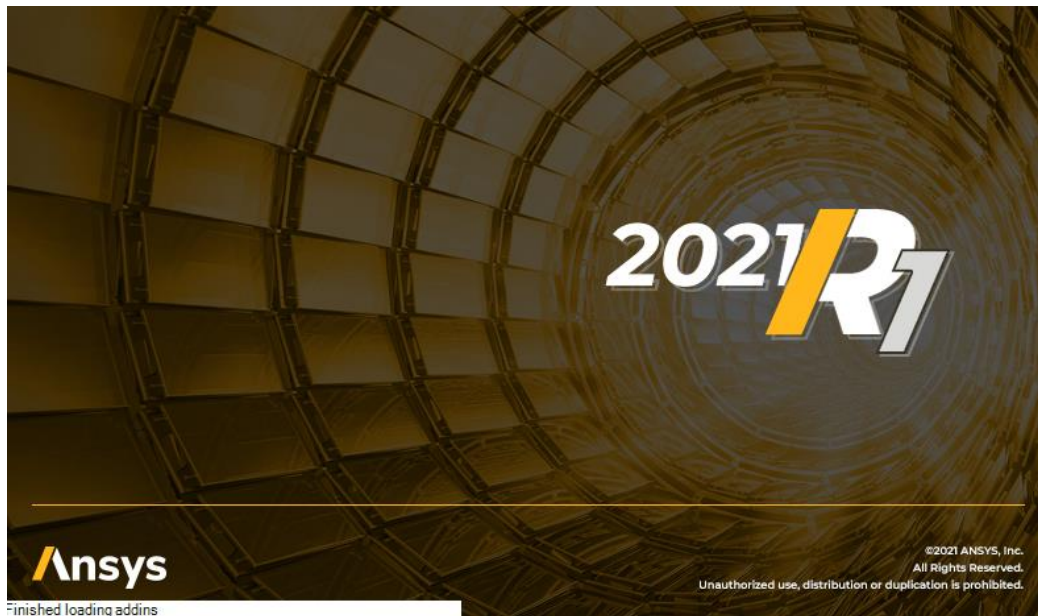


Fig 60. Pantalla d'inici de ANSYS Workbench 2021 R1.

## PREVI A LA CONFIGURACIÓ DELS CASOS

Abans d'explicar de forma detallada els casos de simulació que s'han executat, s'explicaran un seguit d'elements important que actuen directament dins de la simulació, però que, per no introduir-los de manera fragmentada en els diferents models provocant que s'hagi d'abordar aquest tema, de certa extensió, en mig de l'explicació concreta del cas particular estudiat, es desenvoluparan en aquest apartat tot i també citar-se en sub-apartats posteriors.

### ELECCIÓ DEL MODEL REAL A COPIAR

La geometria utilitzada en els anàlisis amb ANSYS és el "cos" allà on s'apliquen les càrregues i on es defineixen les restriccions, alhora és l'element el qual es discretitza i el lloc on es projecten els resultats obtingut dels càlculs matemàtics. Per tant és transcendental utilitzar un model en 3D que respecti de la forma més precisa les veritables dimensions del cos real.

Per tant s'escull un dels productes que ofereix l'empresa ULTRAMAGIC per tal de fer-ne la seva reproducció en un model 3D i poder-lo utilitzar, a escala real, dins de la simulació. Davant de la gran diversitat de models de globus, s'estipulen un seguit de requeriments per tal de fer-ne la selecció:

- Un model amb una capacitat elevada (10 pers.)
- Ser un model orientat a fer vols turístics.

Dins del catàleg de productes es troba la sèrie T, que segons la pròpia empresa és: << Aquesta és una vela lleugerament prominent, la qual encaixa perfectament entre la sèrie S i la N. Amb 20 grills és fàcil de dirigir i està disponible en les mides òptimes per a globus de passatgers lleugers. El preu és econòmic, però mantenint a la vegada lo millor de ULTRAMAGIC en qualitat i seguretat. Una elecció molt escollida per operadors de vols en globus. La sèrie T estàndard inclou els ventils de rotació i el sistema de desinflat ràpid (FDS).>><sup>17</sup>

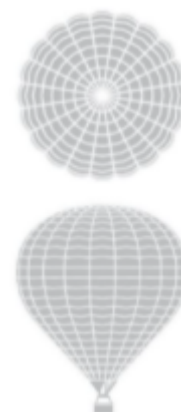
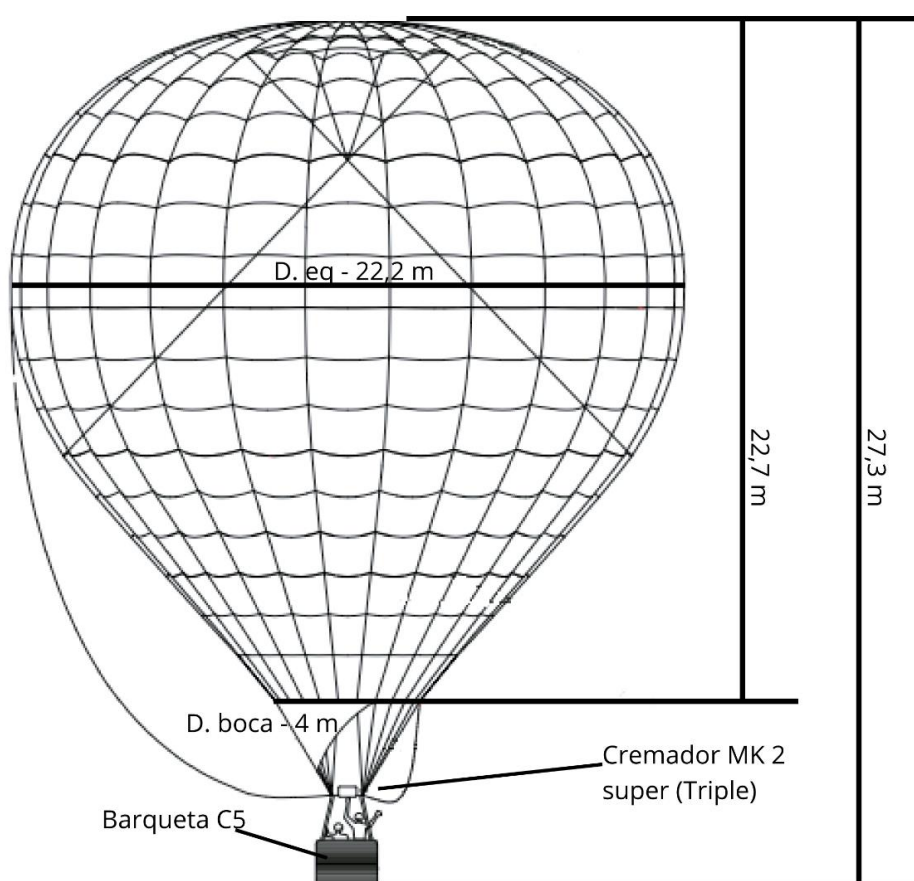


Fig 61. Planta i alçat de la Sèrie T.

<sup>17</sup> ULTRAMAGIC (2021). Inflables, embolcalls, sèrie T.

Així doncs, s'escull el producte **ULTRAMAGIC T-180**, com el model de globus aerostàtic que es reproduirà en geometria 3D per a fer la simulació.

Tal i com es va fer en l'anterior apartat, un cop escollit el model, es seleccionen els diferents components addicionals (el cremador i la cistella) segons les taules informatives del catàleg, i es presenten totes les dades descriptives d'aquesta selecció conjuntament en la següent imatge:



**GENERAL (T-180)**

Vol. (m3) - 51000  
 Nombre de divisions - 20  
 Classe FAI - AX10  
 Pv (Kg) - 422  
 Lmax (Kg) - 1754

**VELA (T-180)**

Pes (Kg) - 196

**PARACAIGUDES (T-180)**

D. paracaigudes - 6.5 m  
 FDS - SI

**CREMADOR (T-180)**

MK 2 super (Kg) - 28  
 TRIPLE  
 2 Ampolles

**BARQUETA (T-180)**

L x A x H (m) - 2,2x1,4x1,15  
 Pes (Kg) - 192

Fig 62. Resum de paràmetres del globus T-180 seleccionat.

## MODEL 3D

Tot seguit es presentaran, de manera molt visual i amb una breu descripció, tots i cada un dels diferents models en 3D que s'han generat amb el programa SolidWorks, anant del primer disseny plantejat fins al últim re-disseny estudiat.

### DISSENY COMPLERT

En un primer moment, la geometria plantejada era la del globus sencer, incloent-hi el sistema de càrrega i la cistella. El 3D generat presenta les dimensions genèriques del model T-180 amb una forma de vela simple. Una cordes surten de la boca de la vela, i serveixen com a unions entre l'embolcall i la cistella, la qual també té les mesures exactes del model de barqueta C5 (veure Fig 62.).

**Aquest conjunt no es va arribar a utilitzar per simular**, donat que, des de un principi el director del treball va comentar que: <<"fer un sistema tant complex, només aportaria problemes i limitacions en la simulació, a més que l'estudi es podria simplificar analitzant únicament el comportament que desenvolupava la vela">>.

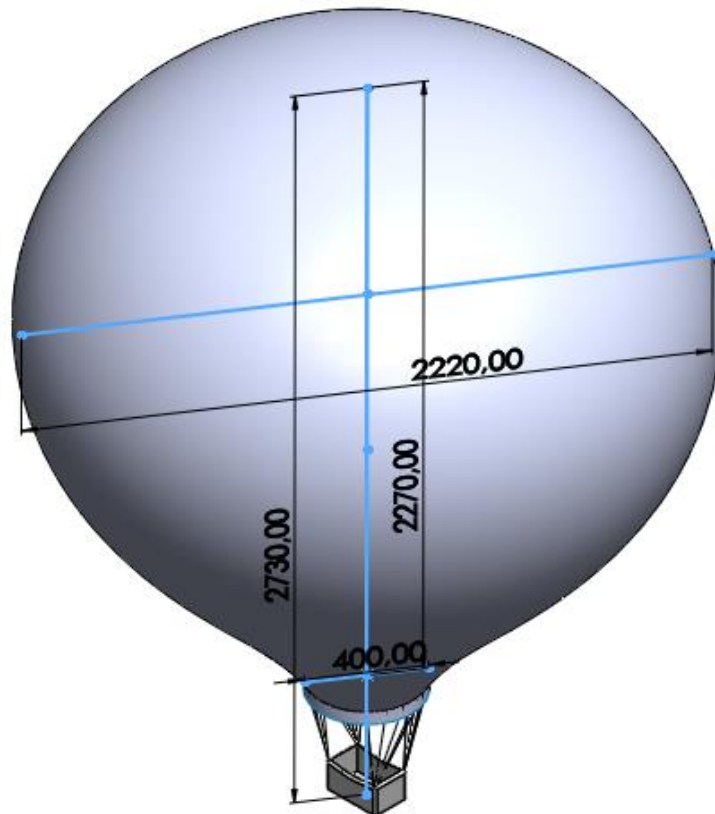


Fig 63. Disseny 3D complert, vela simple, cistella i cordes.

## VELA SIMPLE

Seguint les indicacions del professor, es va recollir la vela generada en el disseny inicial, amb una geometria senzilla i desproveïda dels grills, però amb les mesures generals d'acord al model real. Amb aquesta geometria tampoc es va realitzar cap estudi ja que **paral·lelament s'estava desenvolupant un model amb els grills** i es guardava per si la geometria complexa donava problemes tant en la seva creació, com en l'ús dins de la simulació.

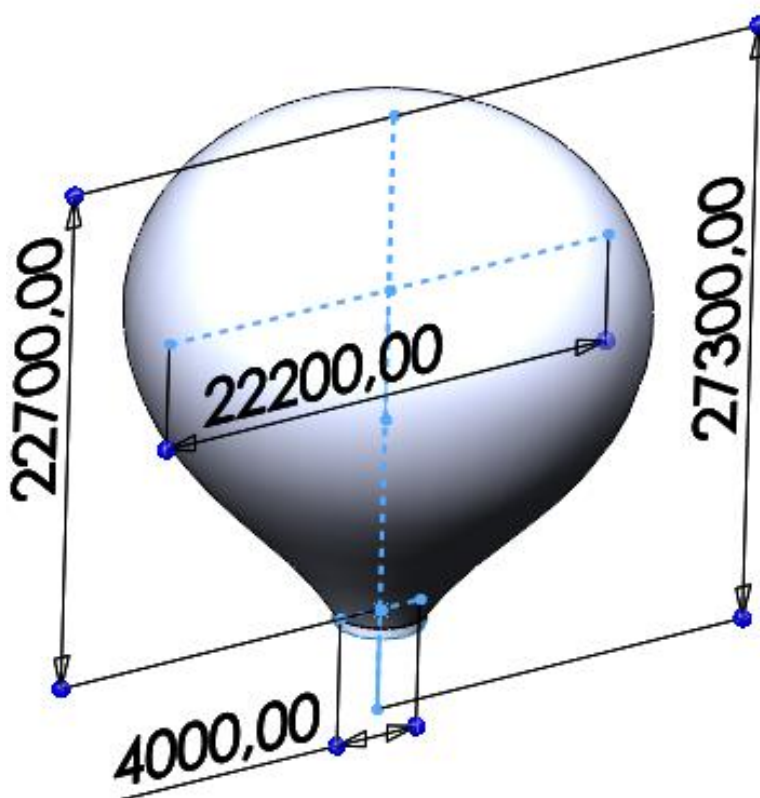


Fig 64. Disseny 3D de vela simple.

## VELA COMPLEXA

L'objectiu de fer una simulació el més realista possibles, demanava respectar una cosa tant bàsica com es el fet de la forma característica del globus aerostàtic, que si bé, en anàlisi estructural podria no aportar cap particularitat important, en FLUENT® es podria donar el cas que es generessin vòrtex o alguna deformació interessant de l'aire contingut dins de la vela.



El disseny d'aquesta geometria no va ser senzill, donat que per imitar la naturalesa de l'embolcalla, és a dir, el fet de que està feta amb una tela molt prima, es va procedir a utilitzar superfícies (*surfaces*) i imitar aquests grills utilitzant aquestes operacions, es força complicat. Es va utilitzar les dues fotografies de planta i alçat de la sèrie T (imatges de la web de ULTRAMAGIC , Fig 61.) per anar creant plans successius on projectar la formació dels 20 grills segons els diàmetres en cada altura.

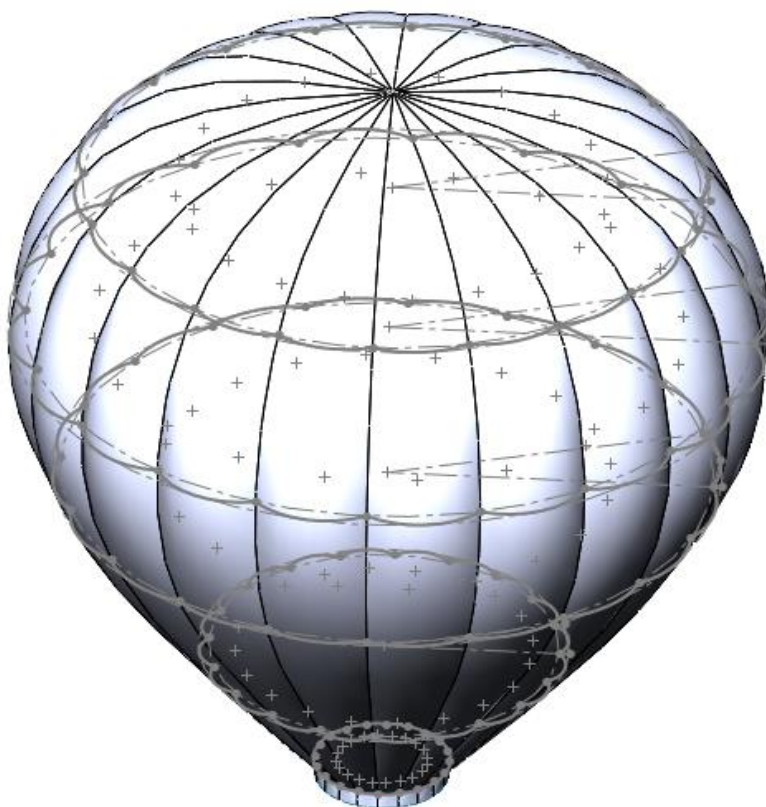


Fig 65. Disseny 3D vela complexa.

### VELA I PATENT – CONTACTE IRREGULAR

Un cop ja s'havien assolit alguns objectius primaris com: identificar els punts concrets on aplicar una restricció de desplaçaments i on col·locar la fixació dels girs, així com un una primera hipòtesis d'on posar les càrregues i amb quin valor; **es va procedir a afegir la variable de l'element innovador, segons l'estructura plantejada a la patent ES-2538595-B1 (veure Fig 49.),** per tant es van afegir exactament els tubs els quals es proposen en l'idea innovadora, respectant tant el diàmetre de 20 cm, com la seva distribució en direcció perimetral i en direcció perfilar.



En un primer moment, la implementació d'aquest tubs es va pensar en base a que estiguessin cosits a la vela, de tal manera que el tram tubular tindria una forma circular (no resseguirà la geometria de l'embolcall, sinó que seria com posar-hi un neumàtic) amb una aresta "soldada" a la tela del globus. No obstant, alhora de generar aquesta idea en geometria de 3D, deixant de banda la dificultat de fer que els tubs toquessin les cares de les seccions per crear aquest contacte; en no ser una geometria (la de la vela) circularment senzilla, s'hi esdevenien zones on no existia aquesta interacció entre cares, i per tant, tot i tenir l'element rigiditzador al voltant, a l'hora de simular, els cossos es deformaven independentment l'un de l'altre, quan havien d'actuar conjuntament.

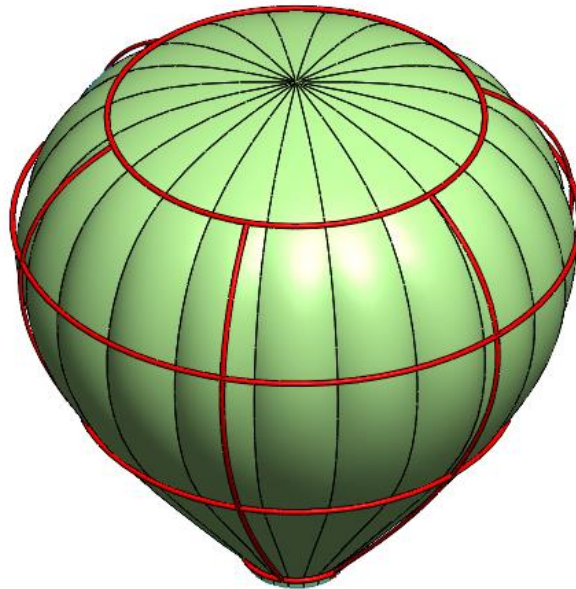


Fig 66. Disseny 3D vela i patent – contacte irregular.

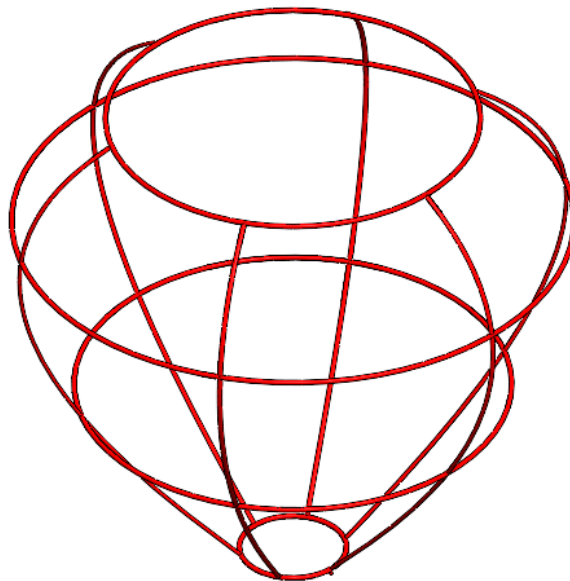


Fig 67. Estructura tubular – contacte irregular.

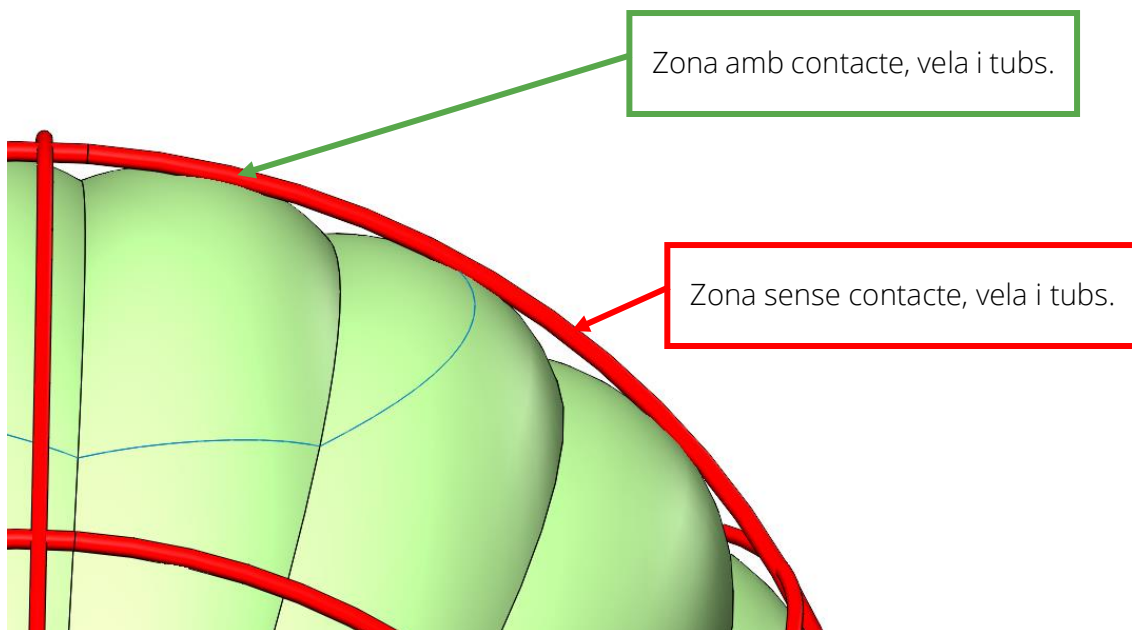


Fig 68. Detall del contacte, model 3D vela i patent – contacte irregular.

### VELA I PATENT – AMB CONTACTE<sup>18</sup>

Arran dels resultats gens satisfactoris obtinguts d'estudiar el model anterior, la via a seguir era clara, **s'havia d'aconseguir que en tot moment els tubs toquessin la vela, per generar aquest contacte de "soldadura" (*bounded*) en totes les cares de l'estructura vers la tela del globus.**

Per aconseguir aquests model, es van generar talls en la vela per obtenir el dibuix de la línia que feia la tela en sentit perimetral, a cada altura dels diferents tubs, d'aquesta manera es va col·locar el centre del diàmetre dels tubs en aquesta línia i es va procedir a extrudir el tub seguint aquest contorn, alhora es van agafar les arestes en sentit perfilar i amb el mateix procediment es van generar el tubs en direcció vertical.

Es va eliminar la part del tub que penetrava dins de la vela, ja que en la realitat aquesta meitat de tub no existiria, donat que tot quedaria limitat en arribar a tocar la tela del globus. I perquè el programari detectés correctament la cara d'interacció entre els dos elements, es generà la zona del tub que "tallaria" a l'embolcall, així en la simulació

<sup>18</sup> Plànol amb mesures generals – Annex 3.

aquestes dues "pells" s'indicarien que són "soldades" i per tant una de sola.

Aquest model fou la primera simulació rellevant que es va projectar, degut a que engloba tots els elements que s'han d'estudiar conjuntament per verificar la proposta.

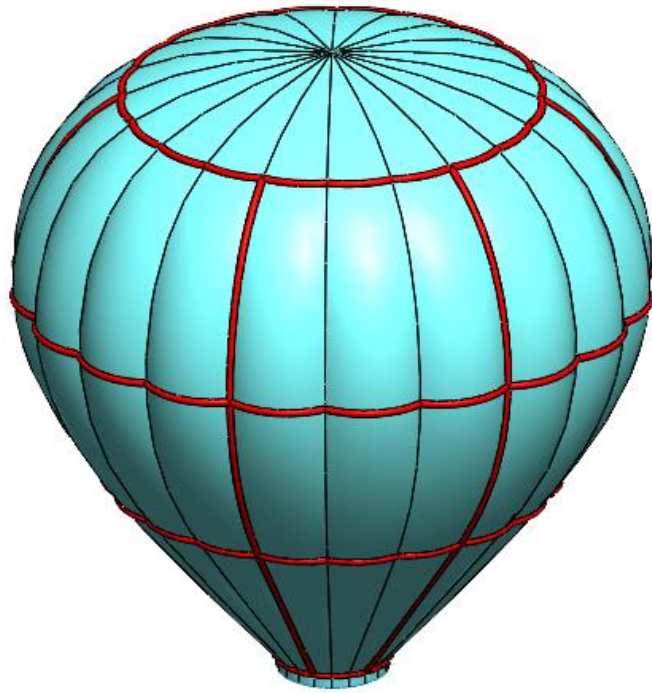


Fig 69. Disseny 3D vela i patent – amb contacte.

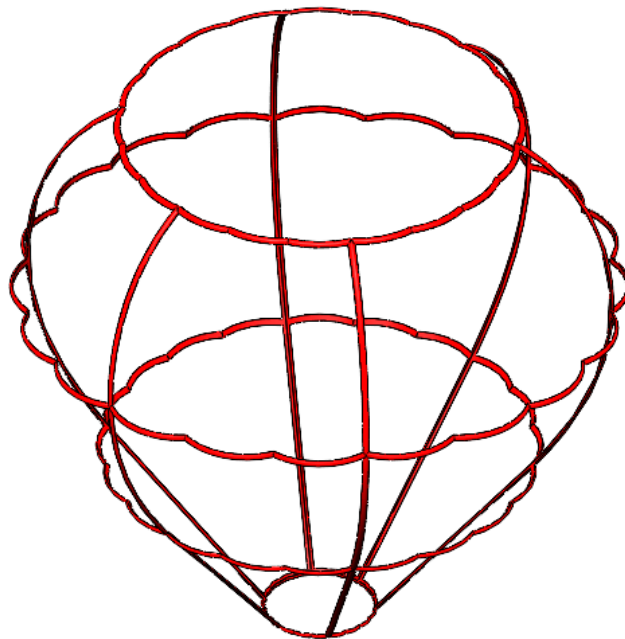


Fig 70. Estructura tubular – amb contacte.

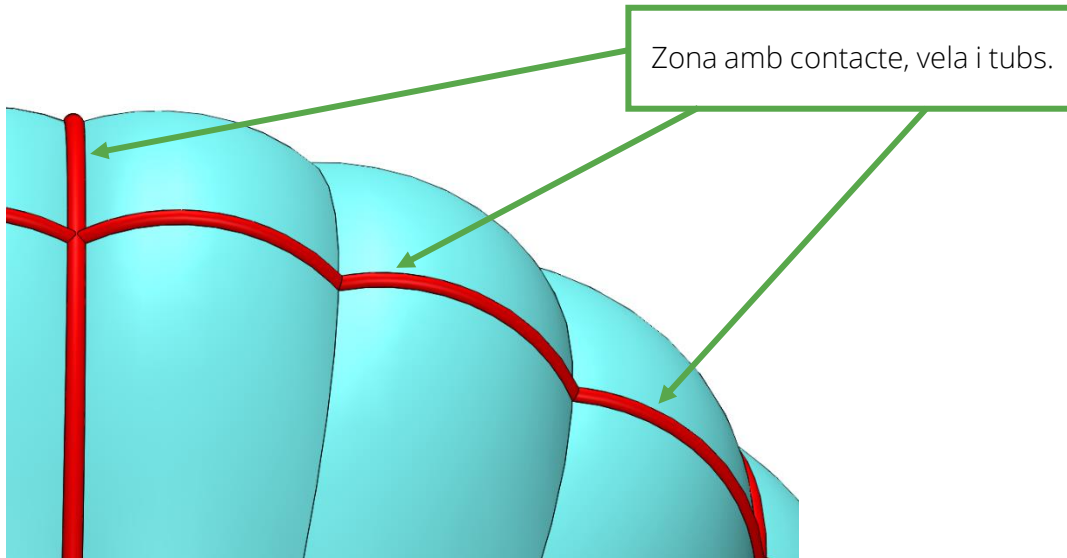


Fig 71. Detall del contacte, model 3D vela i patent – amb contacte.

D'aquesta manera sí que s'aconsegueix que el dos components treballin conjuntament contra les sol·licitacions definides en els anàlisis de ANSYS. Tal i com es pot veure més detalladament en el següent sub-apartat, quan es descriuen les configuracions creades i simulades en l'entorn ANSYS, a partir del "Cas 5." **apareix la variable del contacte entre els tubs i la vela**, provocant que: en el mallat, aparegui la possibilitat d'actuar sobre la zona de transició per crear un mallat especial; en el càlcul de les EDO's, aquestes tinguin en compte aquesta restricció de "compartir" una cara; i en els mapes de tensió i deformació resultants es vegi com reaccionen mantenint aquesta cara "soldada" totalment unida.

A més, el fet de tenir una de les cares "compartida" provoca que, aplicant una pressió a l'interior dels tubs, això generi una deformació en ells, però que també afecti a que la vela es deformi, ja que tot i tenir el plantejament de que són tubs que només han d'aportar rigidesa a la vela, i que la pressió, conjuntament amb l'espessor i el material del tubs no hauria d'experimentar deformacions, al programa no se li pot indicar que aquest element es mantingui indeformable, i això desvia els resultats. La solució passa per "obligar" aquesta rigidesa dels tubs, tal i com s'explica més endavant.

### RE-DISENY AMB MÉS TUBS A L'EQUADOR<sup>19</sup>

Donats els resultats obtinguts en la simulació segons la geometria anterior, i tal i com s'han discutit aquests en l'Apartat 3., es proposa una opció de re-disseny basada en l'augment del nombre de tubs tant en la zona perimetral i també més tubs resseguint el perfil de la vela, però sense superar el límit superior plantejat en la patent, amb l'objectiu de sumar més elements rigiditzadors i contenidors dels desplaçaments, a la zona crítica de l'equador, que es deriven de l'aplicació de les pressions.

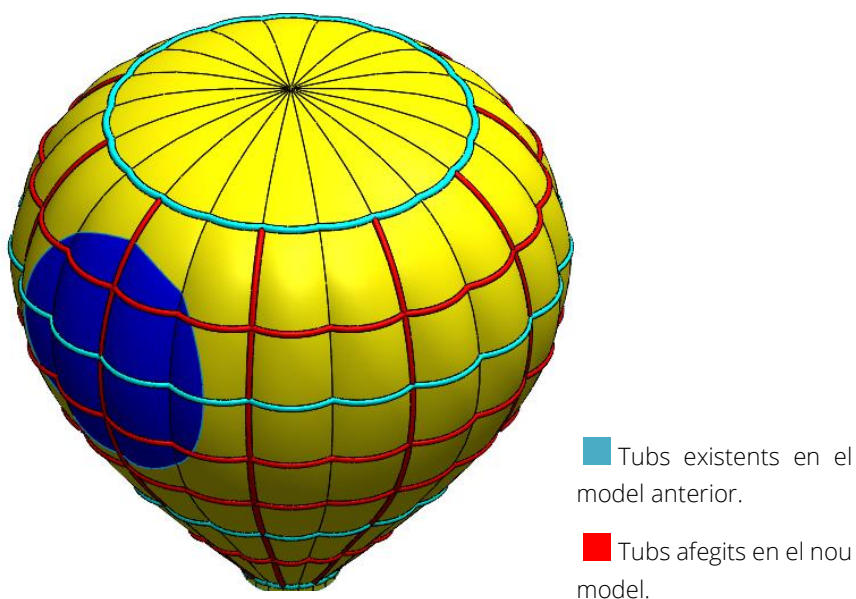


Fig 72. Re-disseny 3D vela i més tubs.

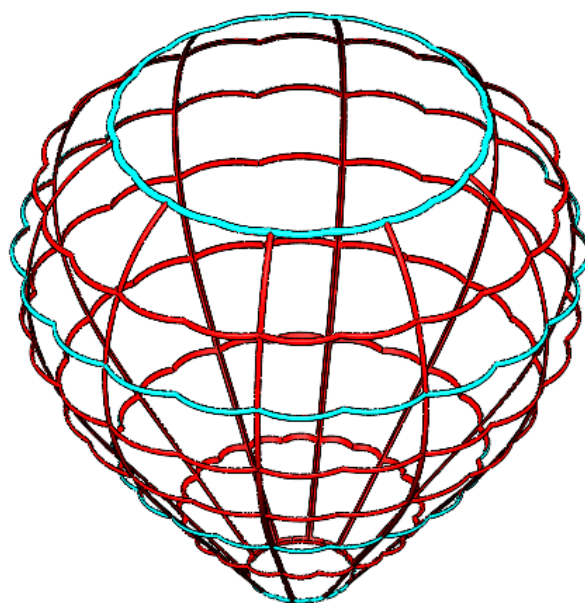


Fig 73. Estructura tubular, amb augment de tubs.

<sup>19</sup> Plànol amb mesures generals – Annex 3.



## RE-DISENY XARXA TUBULAR<sup>20</sup>

Amb l'idea del model re-dissenyat anterior, es va pensar que una manera de millorar la proposta, era la d'actuar en la zona on no s'havia plantejat afegir-hi tubs, la part superior del globus. Aquesta intervenció, permetia afegir un grau de seguretat integral a tota vela, assegurant que no quedava cap zona més dèbil que una altra.

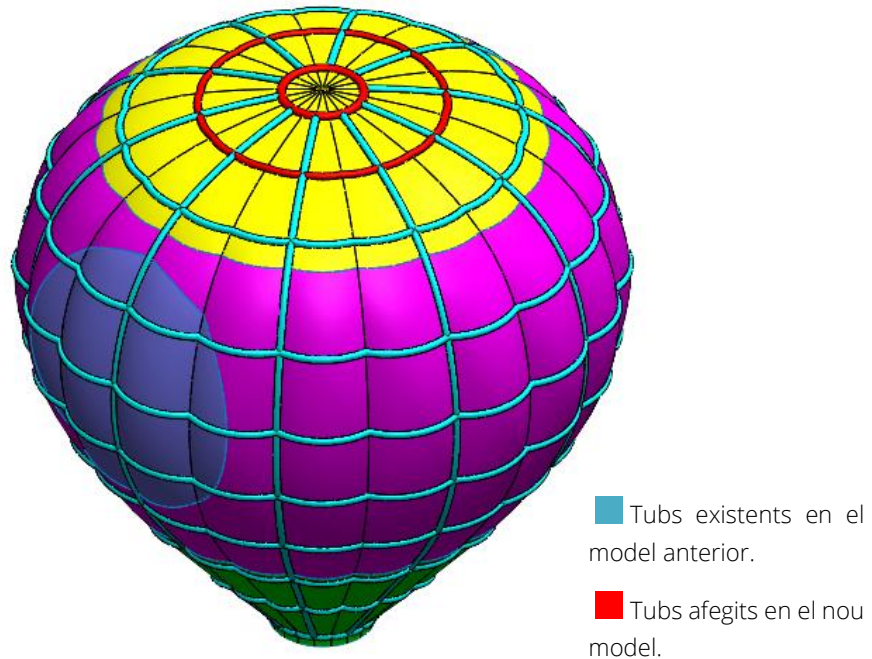


Fig 74. Re-disseny 3D xarxa tubular.

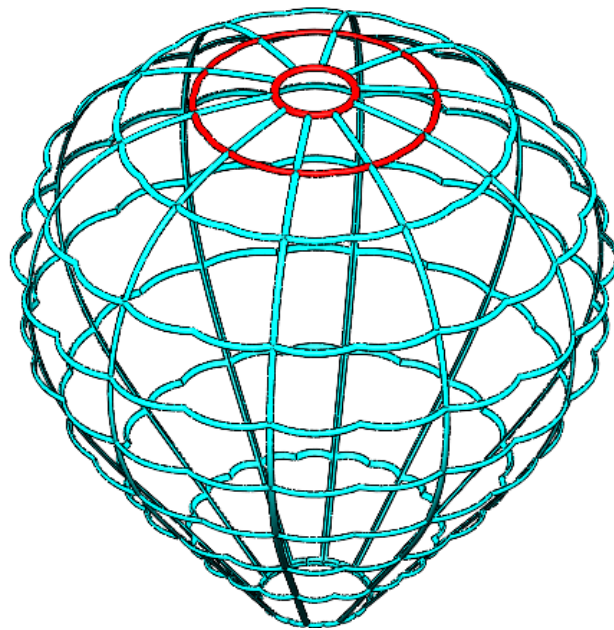


Fig 75. Estructura tubular, de xarxa tubular.

<sup>20</sup> Plànol amb mesures generals – Annex 3.

Cal comentar el detall que, l'últim tub, en direcció perimetral a la vela, coincideix amb la posició on aniria instal·lat i on actuaria el paracaigudes del globus aerostàtic (veure Fig 30.), permetent que el disseny no interfereixi en aquest accionament, i alhora afegint la funció indeformable de l'estructura tubular en una zona molt delicada.

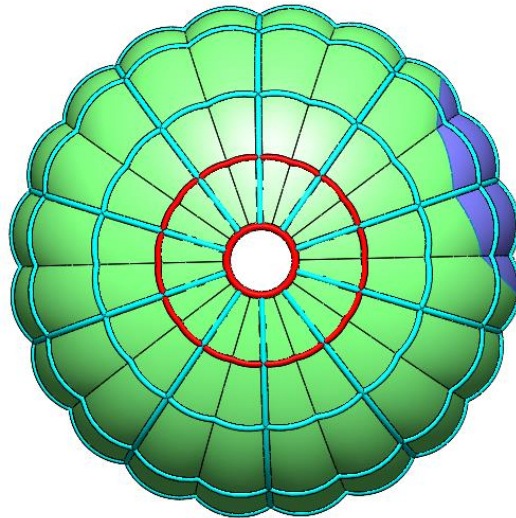


Fig 76. Vista superior del globus, amb el paracaigudes recollit.

Aquest disseny té una estreta similitud amb els primers models dels globus de gas (any 1783, veure Fig 9.), on s'utilitza una xarxa per contenir el globus i que no sortís volant descontroladament

Aquest és l'últim model plantejat, el qual tal i com es descriu en el següent apartat, presenta uns resultats de millora molt importants i alhora assegura una indeformabilitat absoluta de l'element principal del globus, la vela, per tant s'evita que: degut a l'impacte puntual d'un flux de vent a gran velocitat, es desplaci un volum important d'aire de l'interior de la vela, cap enfora i de tal manera que no es pot recuperar, i per tant s'anul·la que la vela es desinfi i que el globus caigui.



## PRESSIONS APLICADES

Les pressions aplicades, fa referència a les càrregues que es defineixen en la simulació, per reproduir les forces que es generen en la realitat, i crear l'efecte de la combinació d'aquestes en provocar la deformació de la vela en un cas real.

Aquest valors van anar detallant-se a mesura que el casos simulats també s'anaven fent més complexos:

**Primer** només es va aplicar una pressió de **90 Pa** a la superfície d'impacte del vent, simplement per veure com responia el model.

En el següent estudi, s'aplicava un valor de **1,5 atm a la pressió del vent** un valor lleugerament superior a la pressió atmosfèrica normal (1 atm). I un valor de **0,1 MPa com a pressió d'inflat de la vela**.

A partir de que s'introdueix l'estructura en la simulació, es comença a afinar en els valors de les pressions aplicades, es manté el valor **1,5 atm a la pressió del vent** i de **0,1 MPa com a pressió d'inflat de la vela**. I s'afegeix la **pressió exercida pels tubs de 2 bar**.

Arran de veure que la simulació dona uns resultats molt desviats de la realitat, es revisen els càlculs; trobant que **en cap moment s'ha tingut en compte la pressió del propi aire que envolta la vela per l'exterior**, la força que provoca el fluid pel qual flota el globus, la pressió atmosfèrica en condicions normals, **1 atm**.

Per tant:

**La pressió d'inflat de la vela** es calcula mitjançant la llei de gasos ideals, amb:

$$V = 51.000 \text{ m}^3$$

$$T = 100 \text{ }^\circ\text{C} = 373 \text{ K}$$

$$R = 8,314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

$$n: d(100 \text{ }^\circ\text{C}) = 0,9487 \text{ Kg/m}^3/\text{m}^3, M = 28,84 \text{ g/mol aire}$$

$$n = 0,9487 \text{ Kg/m}^3 * 51.000 \text{ m}^3 * \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ Kg}} * \frac{1 \text{ mol}}{28,84 \text{ g}} = 1677659.501 \text{ mols d'aire}$$

$$P * V = n * R * T \quad P = \frac{n * R * T}{V} = \frac{1677659.501 * 8,314 * 373}{51000} = 102059 \text{ Pa} = 0,102059 \text{ MPa}$$

$$P_{aire_{int}} = 0,102059 \text{ MPa} - 0,101325 \text{ MPa (1atm, aire exterior)} = 0,000734 \text{ MPa}$$

La pressió a l'interior dels tubs:

$$P_{tubs} = 0,2 \text{ MPa (2bar)} - 0,101325 \text{ MPa (1atm, aire exterior)} \approx 0,1 \text{ MPa}$$

La pressió generada per l'impacte del vent:

En un principi la pressió del vent es va calcular en base al valor de la velocitat del vent limitant a que es realitzi un enlairament en globus, 7,5m/s. Aleshores, sent:

$$v = 7,5 \text{ m/s}$$

$$d = 1,2 \text{ Kg/m}^3$$

$$P = \frac{1}{2} * d * v^2 = \frac{1}{2} * 1,2 * 7,5^2 = 33,75 \text{ Pa} = 0,00003375 \text{ MPa}$$

Un valor que si l'enfrontem al de la pressió residual d'inflat, ja que una ataca a l'altre, es veu clarament que no suposarà una esforç en contra de mantenir la vela intacte.

Aleshores es va plantejar el fet que, si s'està parlant d'un flux de vent puntual a gran velocitat, no es pot estar utilitzant una velocitat tant baixa. Es pren el valor de velocitat del vent de 21 m/s.

$$P = \frac{1}{2} * d * v^2 = \frac{1}{2} * 1,2 * 21^2 = 275,6 \text{ Pa} = 0,0002756 \text{ MPa}$$

## MATERIAL

Els materials també han anat sent cada vegada més específics, en una primera instància, i com a prova, es va utilitzar el material pre-definit a la biblioteca de ANSYS, com ABS, un plàstic amb un mòdul de Young de 1628 MPa. Però, gràcies al contacte amb ULTRAMAGIC es va modificar pel PA 66, un tipus de niló d'alta resistència, amb un mòdul elàstic més petit, 1140 MPa, el qual utilitza aquesta empresa de fabricació de globus. Ara bé, buscant encara més informació vers aquest material tant important, es va descobrir que dins de la família de les poliamides 66, existeixen certs materials tècnics d'altres prestacions amb elevats valors de resistència elàstica que també s'utilitzen en la fabricació de globus, els anomenats nilons *Ripstop*.

Properties of Outline Row 3: Plastic, ABS (high-impact)			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Material Field Variables	Table	
3	Density	1030	kg m <sup>-3</sup>
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
5	Coefficient of Thermal Expansion	0,000184	C <sup>-1</sup>
6	Isotropic Elasticity		
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio	▼
8	Young's Modulus	1628	MPa
9	Poisson's Ratio	0,4089	
10	Bulk Modulus	2,9784E+09	Pa
11	Shear Modulus	5,7776E+08	Pa
12	Tensile Yield Strength	Tabular	
13	Tensile Ultimate Strength	Tabular	

Taula 13. Propietats material ABS, biblioteca de ANSYS.

Properties of Outline Row 3: Plastic, PA6			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Material Field Variables	Table	
3	Density	1140	kg m <sup>-3</sup>
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
5	Coefficient of Thermal Expansion	0,0001467	C <sup>-1</sup>
6	Isotropic Elasticity		
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio	▼
8	Young's Modulus	1111	MPa
9	Poisson's Ratio	0,3499	
10	Bulk Modulus	1,2336E+09	Pa
11	Shear Modulus	4,1151E+08	Pa
12	Tensile Yield Strength	Tabular	
13	Tensile Ultimate Strength	Tabular	

Taula 14. Propietats material PA 6 (niló), biblioteca de ANSYS.

Properties of Outline Row 4: Ripstop nylon 66			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Material Field Variables	Table	
3	Density	1140	kg m <sup>-3</sup>
4	Melting Temperature	260	C
5	Isotropic Elasticity		
6	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio	▼
7	Young's Modulus	3550	MPa
8	Poisson's Ratio	0,4	
9	Bulk Modulus	5,9167E+09	Pa
10	Shear Modulus	1,2679E+09	Pa
11	Tensile Yield Strength	93	MPa

Taula 15. Propietats de Niló Ripstop, segons dades de la fitxa tècnica (veure Annex 1).

## CASOS D'ESTÀTICA ESTRUCTURAL<sup>21</sup>

Per mitjà de l'estàtica estructural es volen reproduir els diferents casos plantejats de simulació computacional, tot i ja comentar-ho a l'Apartat 1. la manera en que s'ha desenvolupat aquesta evolució en els anàlisis, és en base a voler anar aconseguint petits objectius per anar avançant amb seguretat cap a un plantejament clar i exacte de com s'ha de simular el cas real d'un impacte de flux de vent en la vela del globus aerostàtic.

Aquest recorregut comença amb casos més simples, on no s'introdueix l'estructura tubular, amb la fita d'arribar a crear una configuració d'anàlisis d'estàtica estructural prou realista per a un cas simple, en que s'estudiïn les reaccions que resulten d'aplicar unes forces directament a l'embolcall. Així es trobaran les fixacions i les pressions "normals" que presenta aquest element.

A partir d'aquí, la base no canvia, el globus s'ha de restringir i carregar com fins ara, i l'única cosa que s'afegeix és el fet d'introduir un altre cos (l'estructura innovadora), al qual s'ha li ha de definir un material i espessor; i alhora es deriva l'aparició de l'acció conjunta d'aquests dos elements que genera una nova variable, de gran importància per l'estudi, com és el "contacte", també se li afegirà la càrrega de pressió de l'interior dels tubs tal i com s'indica a la patent.

---

<sup>21</sup> Report de les simulacions de ANSYS – Annex 2.

## CAS 1. PRIMER CONTACTE I VERIFICACIÓ DEL 3D

### EXPLICACIÓ DEL CAS

El primer estudi vol ser una presa de contacte amb el programari de simulació, per veure com funciona i quines mecàniques té. Alhora també servirà per verificar el correcte funcionament de la geometria 3D creada amb SolidWorks, i per fer un primer anàlisi amb un material molt proper al real, per veure com es comporta el globus sense l'estructura de tubs.

### OBJECTIUS

Fer un primer tanteig a les mecàniques del programa.

Analitzar el correcte funcionament de la geometria de la vela.

Veure una simulació, encara poc precisa, del comportament del globus.

### CONSTRUCCIÓ

**Geometria** Disseny 3D de vela complexa (veure Fig 65).

Material de Plàstic, ABS (*High-Impact*).

Espessor de 6 mm en tot el model.

**Mallat** Mallat uniforme de 300 mm en tota la part de la vela.

Mallat més fi de 100 mm a la zona del coll.

Element de mallat : *Shell*.

Nombre d'elements: 11042 elements.

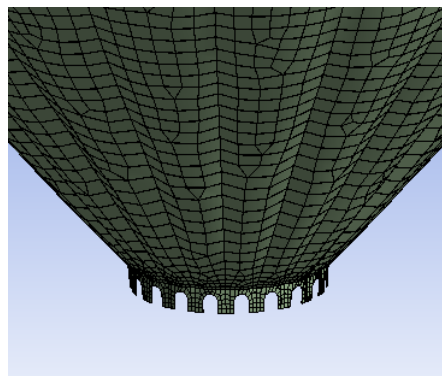


Fig 77. Cas 1-Mallat.

**Fixacions** Fixació de desplaçaments amb valor en XYZ a 0 (B).

Fixació de tots els girs en XYZ a 0 (A).

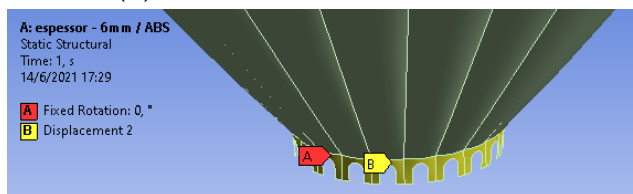


Fig 78. Cas 1-Fixacions.

**Càrregues** Aplicació d'una pressió de 90 Pa uniforme, a la zona d'impacte del vent en la vela.

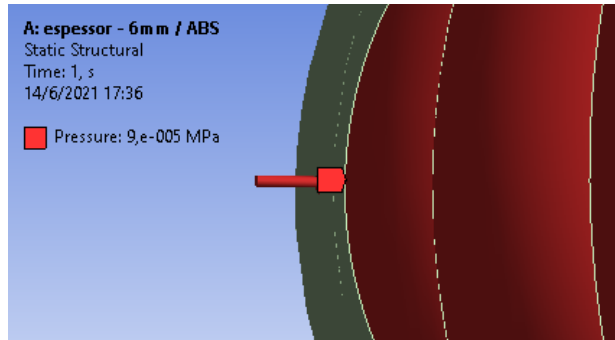


Fig 79. Cas 1-Càrregues.

**RESULTATS**

factor de resultat 1.0 x *True Scale*.

**Deformació**

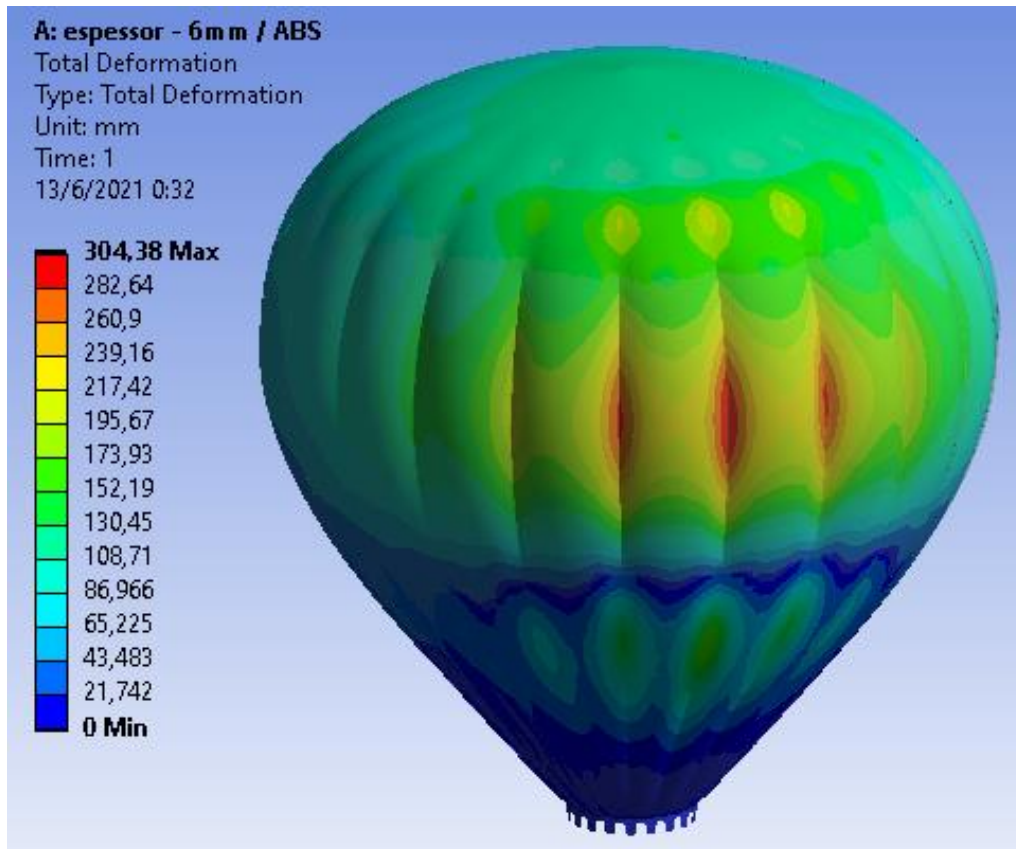


Fig 80. Cas 1-Mapa de deformacions.

### Intensitat de tensió

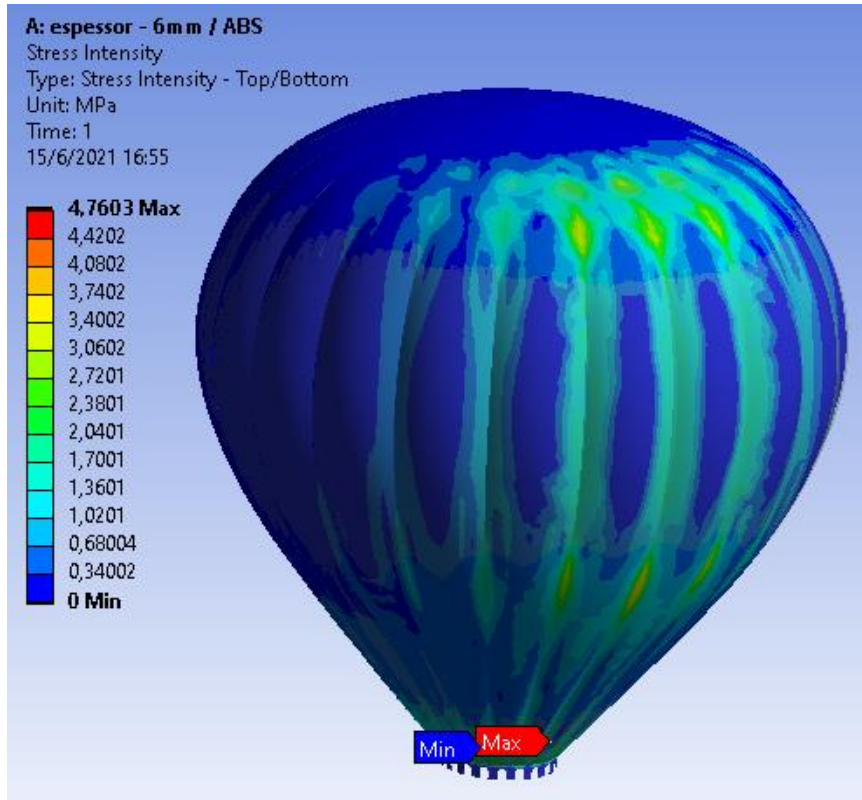


Fig 81. Cas 1-Mapa de intensitat de tensió.

### Factor de seguretat

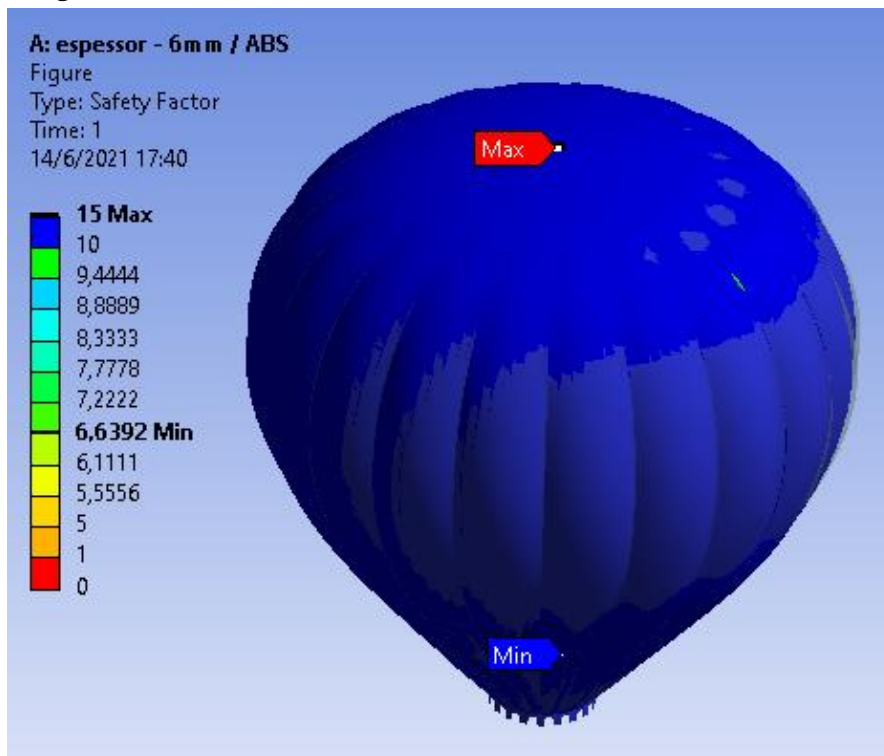


Fig 82. Cas 1-Mapa de factor de seguretat.



## CAS 2. COMPROVACIÓ DE LES RESTRICCIONS

### EXPLICACIÓ DEL CAS

En aquest estudi s'utilitza encara el disseny només de la vela, però s'introdueix per primer cop el valor de la pressió d'inflat del globus aerostàtic, aquella que, en teoria, seria provocada per l'aire calent a l'interior de la vela.

### OBJECTIUS

Validar que la fixació de la meitat del globus, aquella zona que es troba oposada a la cara del xoc, no provoca cap problema, a fi efecte de que aquesta sigui la manera d'immobilitzar el globus a partir d'ara.

### CONSTRUCCIÓ

**Geometria** Disseny 3D de vela complexa (veure Fig 65).

Material de Plàstic, PA6.

Espessor de 0,5 mm en tot el model.

**Mallat** Mallat uniforme de 300 mm en tota la part de la vela.

Mallat més fi de 100 mm a la zona del coll.

Element de mallat : *Shell*.

Nombre d'elements: 36098 elements.

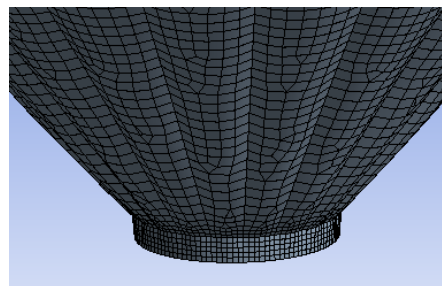


Fig 83. Cas 2-Mallat.

**Fixacions** Fixació de desplaçaments amb valor en XYZ a 0 (B).

Fixació de tots els girs en XYZ a 0, només coll i cara més superior (A).

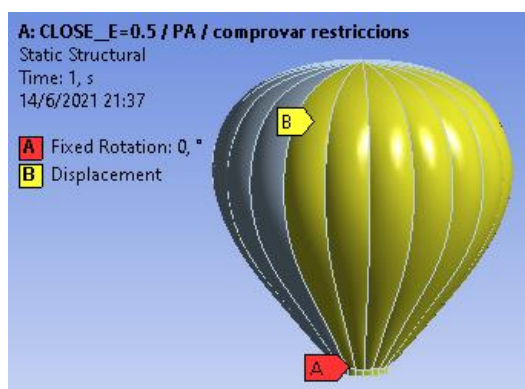


Fig 84. Cas 2-Fixacions.

**Càrregues** Pressió d'impacte de vent de 1,5 atm (A).  
 Pressió d'inflat de l'interior del globus de 0,1MPa (B).

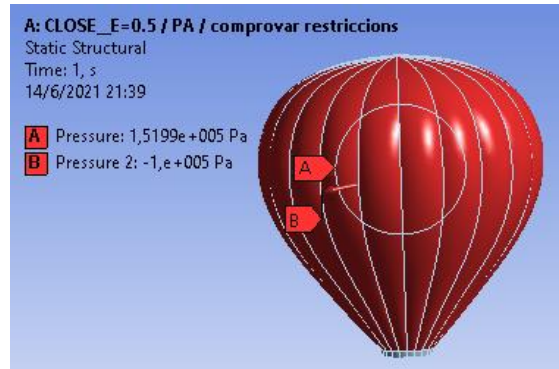


Fig 85. Cas 2-Càrregues.

## RESULTATS

factor de resultat 1e-003 (0,5x Auto).

## Deformació

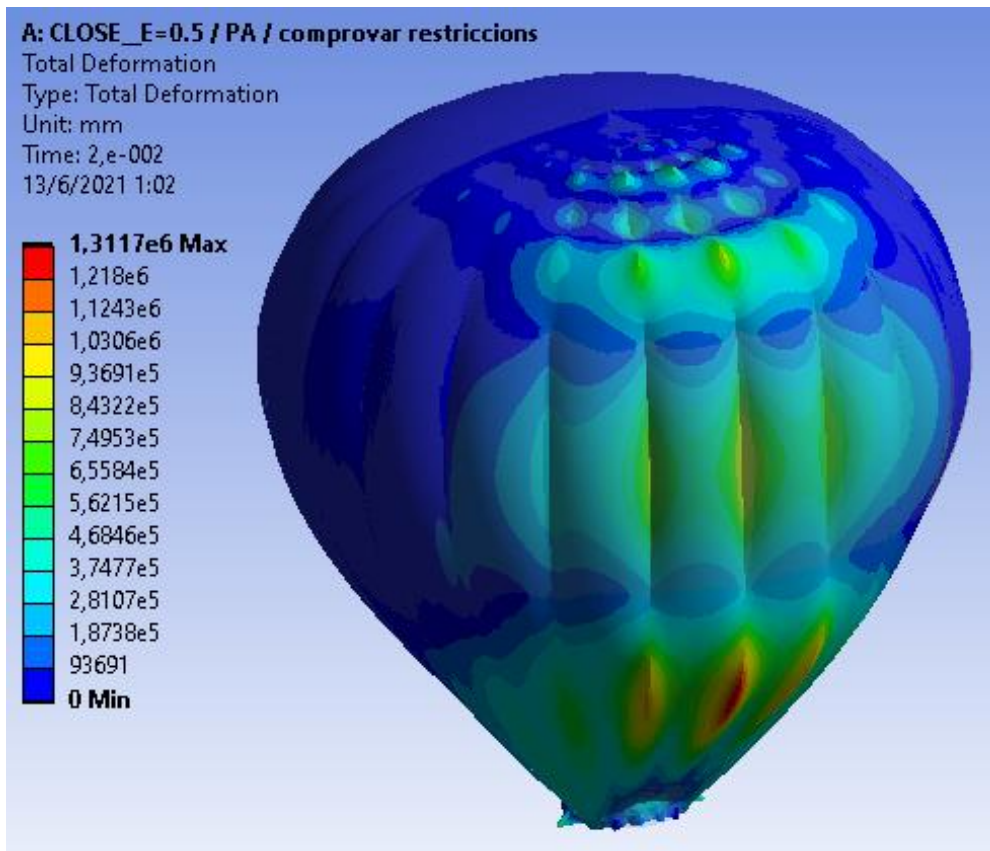


Fig 86. Cas 2-Mapa de deformacions.

### Intensitat de tensió

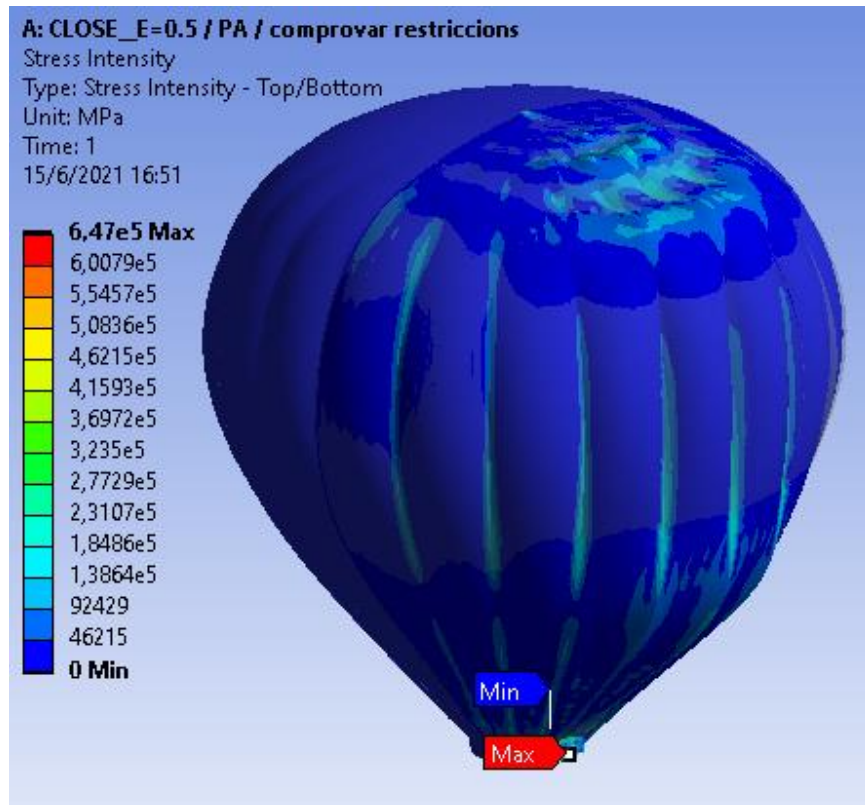


Fig 87. Cas 2-Mapa de intensitat de tensió.

### Factor de seguretat

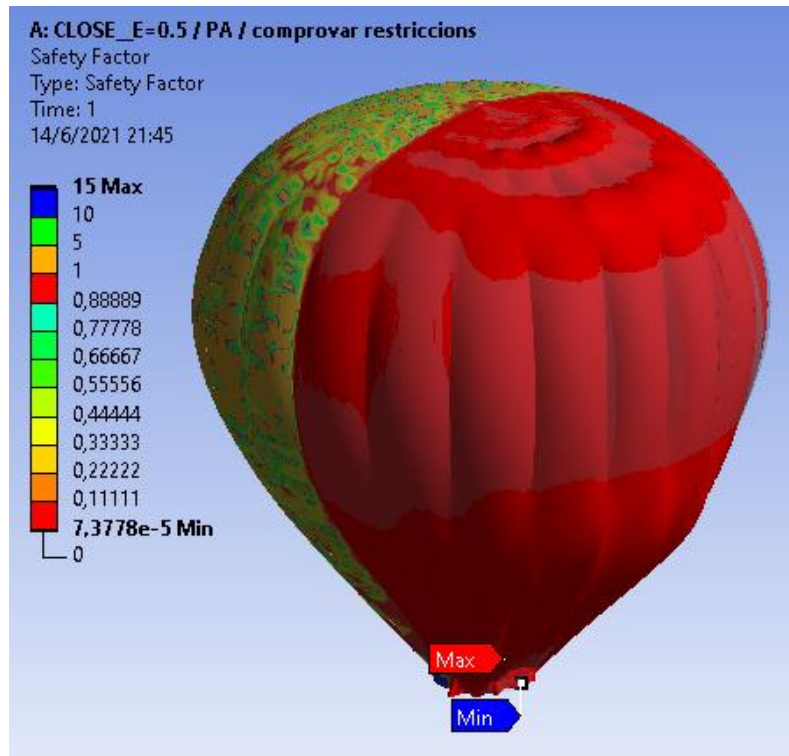


Fig 88. Cas 2-Mapa de factor de seguretat.

## CAS 3. VARIACIÓ DE LA VELA SENSE PARACAIGUDES

### EXPLICACIÓ DEL CAS

És un cas particular basant-se en l'anterior estudi, la variació és el fet de contemplar que en la vela hi ha una zona la qual no està "soldada" a la resta de tela, el paracaigudes, i seria interessant veure com respon aquest fet al impacte del vent.

### OBJECTIUS

Veure quina resposta té la geometria sense paracaigudes, respecte el cas en quan aquest està desplegat.

### CONSTRUCCIÓ

**Geometria** Disseny 3D de vela complexa (veure Fig 65).

Material de Plàstic, PA6.

Espessor de 0,5 mm en tot el model.

**Mallat** Mallat uniforme de 300 mm en tota la part de la vela.

Mallat més fi de 100 mm a la zona del coll.

Element de mallat : *Shell*.

Nombre d'elements: 35419 elements.

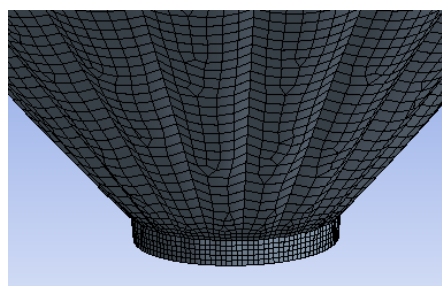


Fig 89. Cas 3-Mallat.

**Fixacions** Fixació de desplaçaments amb valor en XYZ a 0 (C).

Fixació de tots els girs en XYZ a 0, només coll i cara més superior (B).

Fixació de les arestes superiors del globus (A).

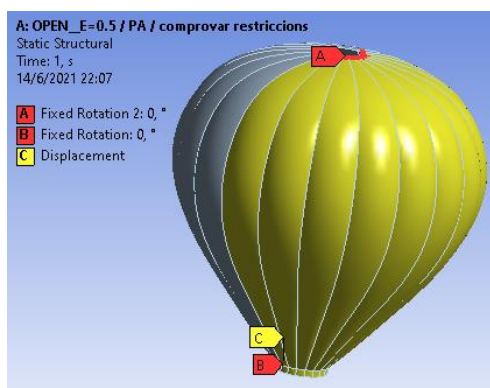


Fig 90. Cas 3-Fixacions.

**Càrregues** Pressió d'impacte de vent de 1,5 atm (A).

Pressió d'inflat de l'interior del globus de 0,1MPa (B).

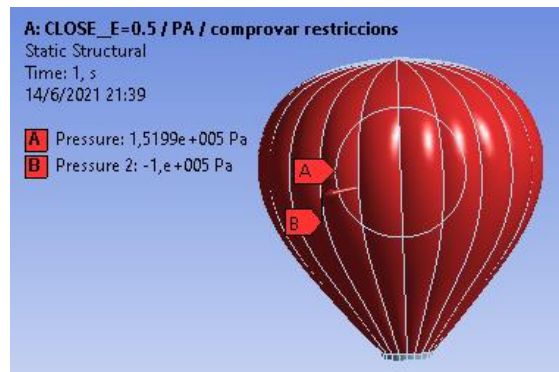


Fig 91. Cas 3-Càrregues.

## RESULTATS

factor de resultat 1,5e-003 (0,5x Auto).

## Deformació

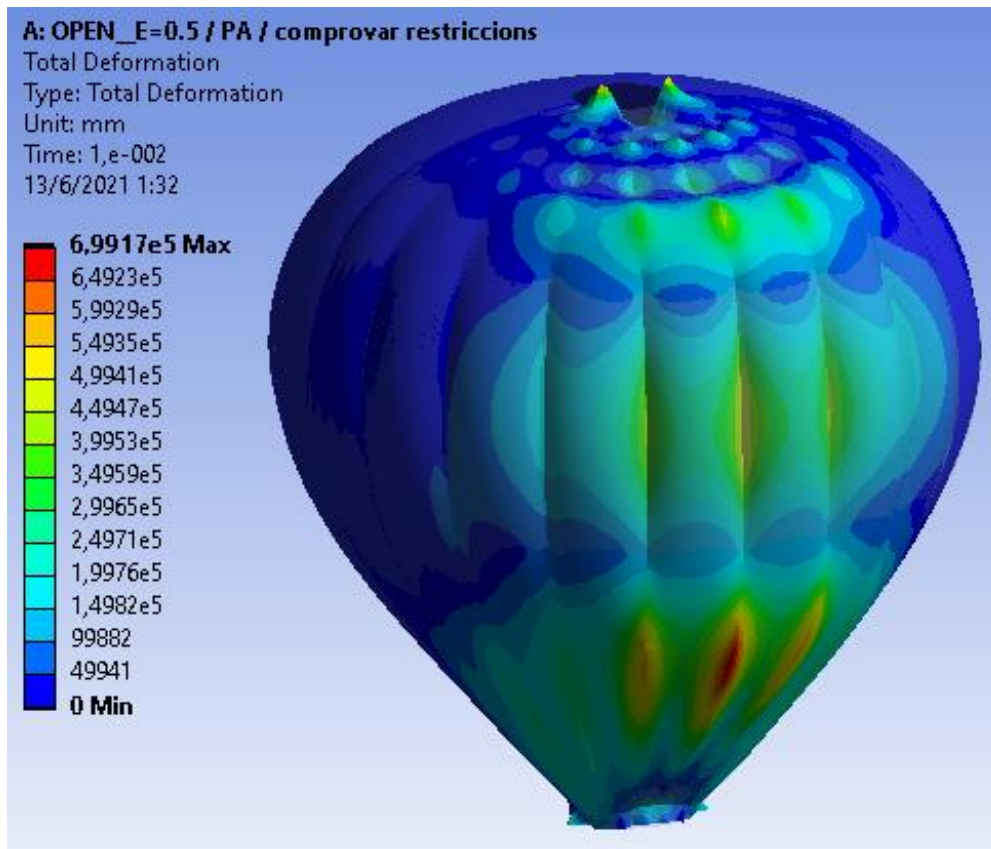


Fig 92. Cas 3-Mapa de deformacions.



### Intensitat de tensió

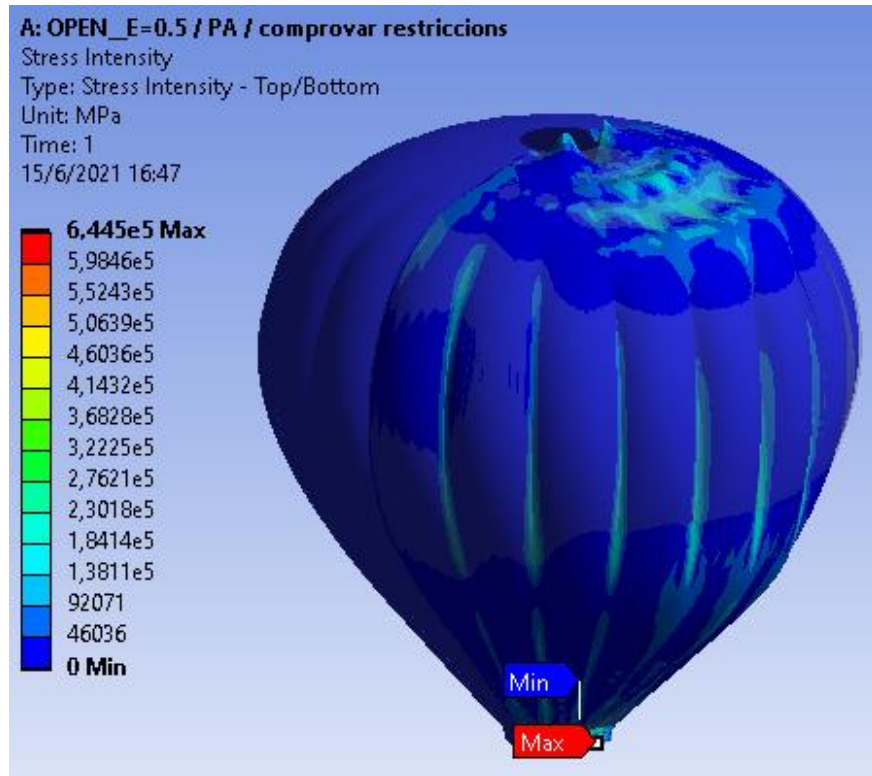


Fig 93. Cas 3-Mapa de intensitat de tensió.

### Factor de seguretat

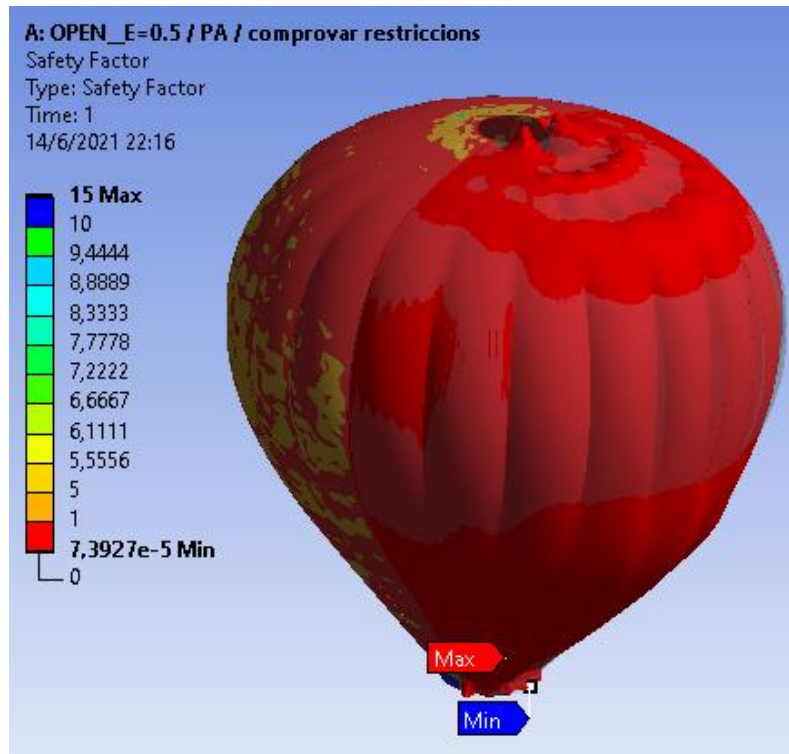


Fig 94. Cas 3-Mapa de factor de seguretat.

## CAS 4. PATENT ES-2538595-B1

### EXPLICACIÓ DEL CAS

El primer cas avaluat incloent l'estructura innovadora segons les indicacions de la patent ES-2538595-B1 (veure Fig 49.). S'introdueix doncs la pressió que exerceixen els tubs sobre el conjunt a l'estudi.

### OBJECTIUS

Veure com es comporta el conjunt basat en la patent segons els paràmetres fixats fins el moment.

### CONSTRUCCIÓ

**Geometria** Disseny 3D de vela complexa (veure Fig 65).

Vela – Material de Plàstic, PA6.  
Espessor de 0,4 mm.

Tubs – Material de Plàstic, PA6.  
Espessor de 1 mm.

**Mallat** Disseny 3D de vela complexa i patent – contacte irregular (veure Fig 66).

Vela – Mallat de 350 mm (amb 300 mm es supera el límit).  
Mallat refinat de 100 mm a la boca.

Tubs – Mallat de 100 mm .

Element de mallat : *Shell*.

Nombre d'elements: 123568 elements.

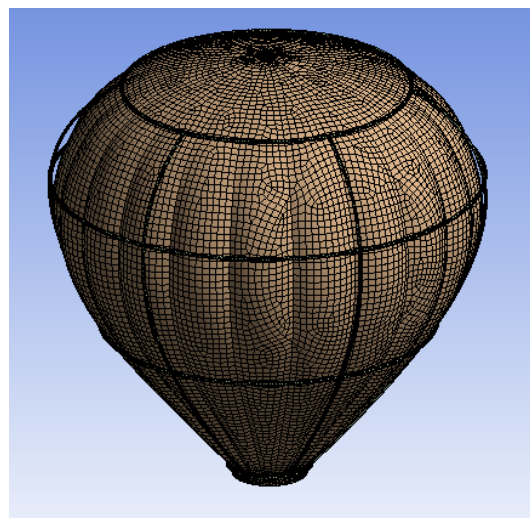


Fig 95. Cas 4-Mallat.



**Contacte** Creació d'un contacte de "soldadura" (*bounded*) entre les cares que tenen intersecció amb vela i tubs.

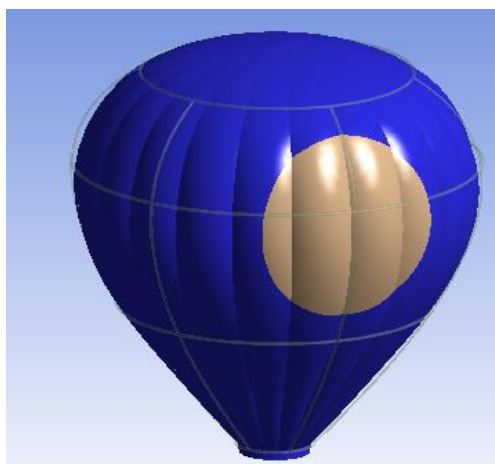


Fig 96. Cas 4-Contacte vela.

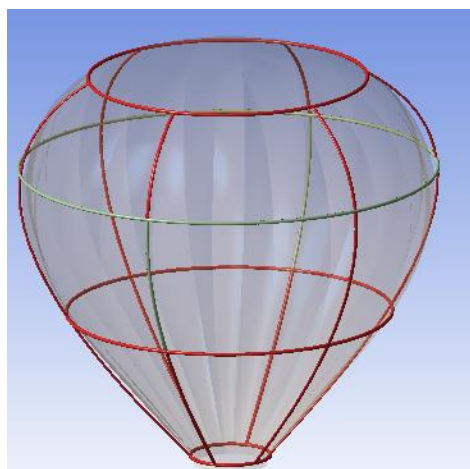


Fig 97. Cas 4-Contacte tubs.

**Fixacions** Fixació de desplaçaments amb valor en XYZ a 0 (B).

Fixació de tots els girs en XYZ a 0, només coll i cara més superior (A).

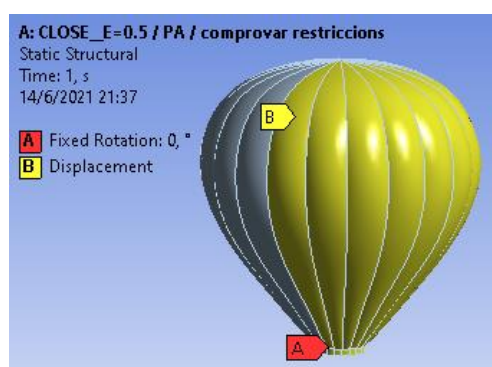


Fig 98. Cas 4-Fixacions.

**Càrregues** Pressió dels tubs de 2 bar (A).

Pressió d'impacte de vent de 1,5 atm (B).

Pressió d'inflat de l'interior del globus de 0,1MPa (C).

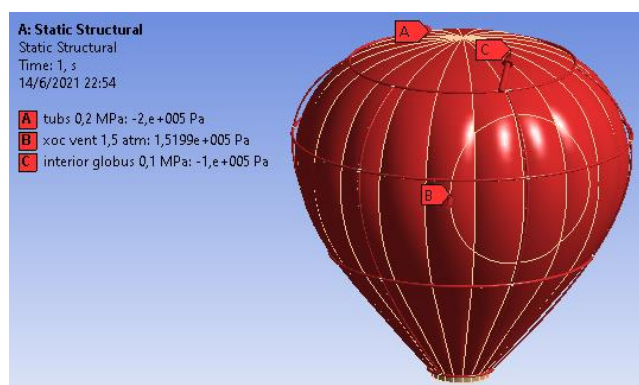


Fig 99. Cas 4-Càrregues.

## RESULTATS

factor de resultat  $1,5e-003$  (0,5x Auto).

### Deformació

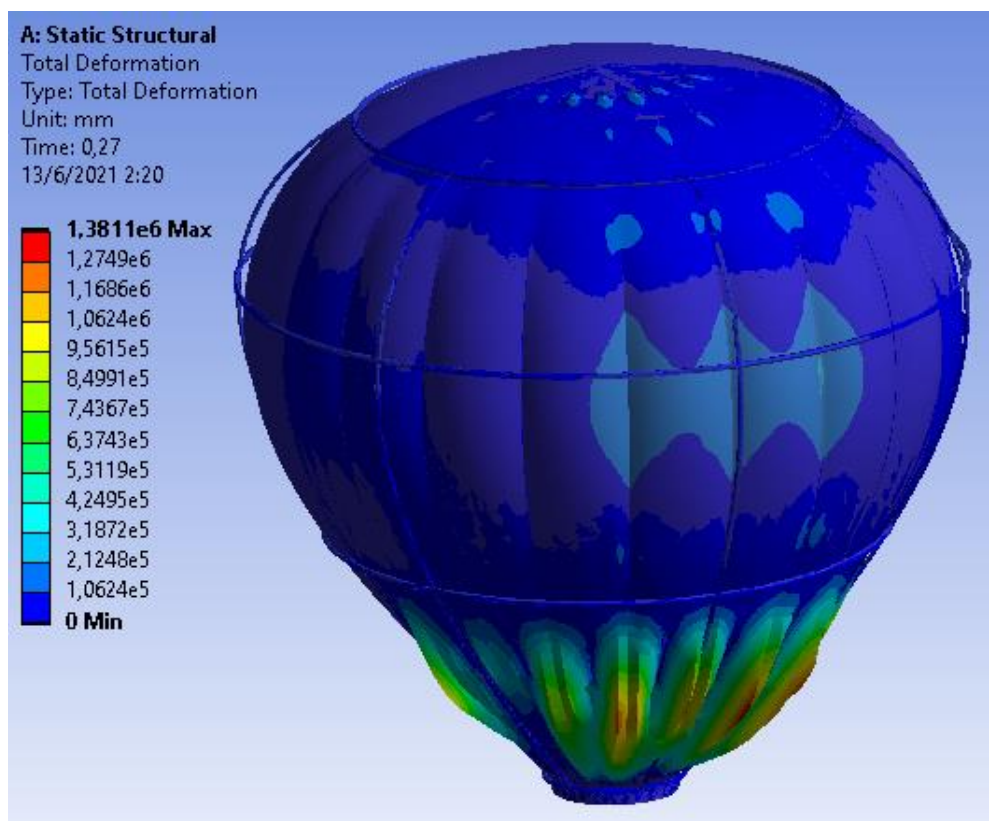


Fig 100. Cas 4-Mapa de deformacions.

### Intensitat de tensió

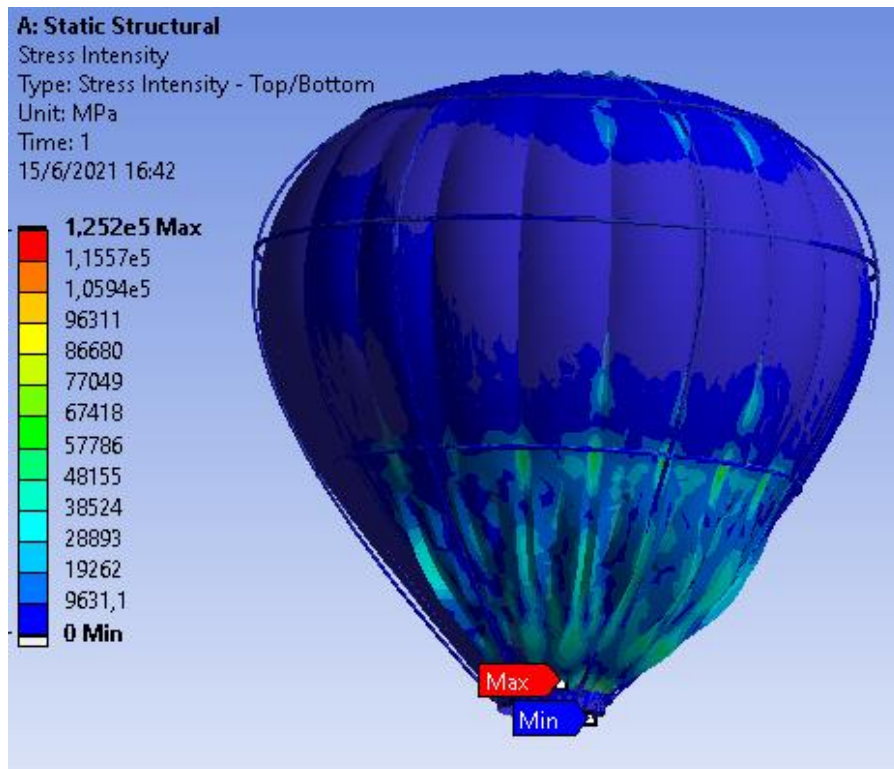


Fig 101. Cas 4-Mapa de intensitat de tensió.

### Factor de seguretat

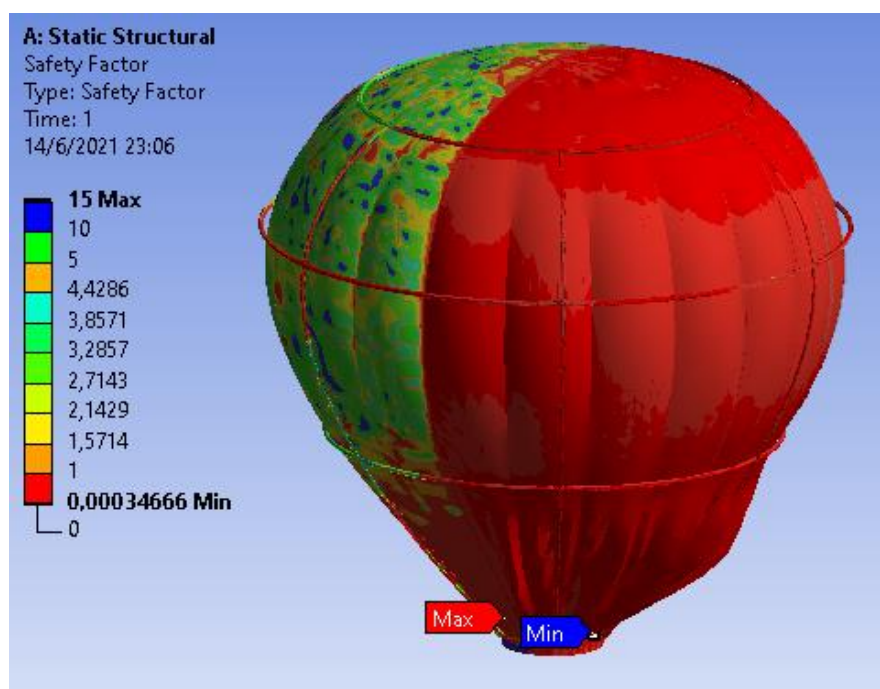


Fig 102. Cas 4-Mapa de factor de seguretat.

## CAS 5A. MILLORA DELS CONTACTES

### EXPLICACIÓ DEL CAS

Requerint que el contacte entre l'estructura i la vela sigui absolut en tota la superfície, es genera una geometria, on els tubs ressegueixen les protuberàncies característiques del globus.

### OBJECTIUS

Comprovar que aquesta geometria sí que aconsegueix fer la funció que es vol de l'estructura totalment acoblada.

### CONSTRUCCIÓ

**Geometria** Disseny 3D de vela complexa (veure Fig 69).

Vela – Material de Plàstic, PA6.

Espessor de 0,4 mm.

Tubs – Material de Plàstic, PA6.

Espessor de 0,4 mm.

**Mallat** Vela – Mallat uniforme de 350 mm

Tubs – Mallat de 100 mm.

Element de mallat : *Shell*.

Nombre d'elements: 101642 elements.

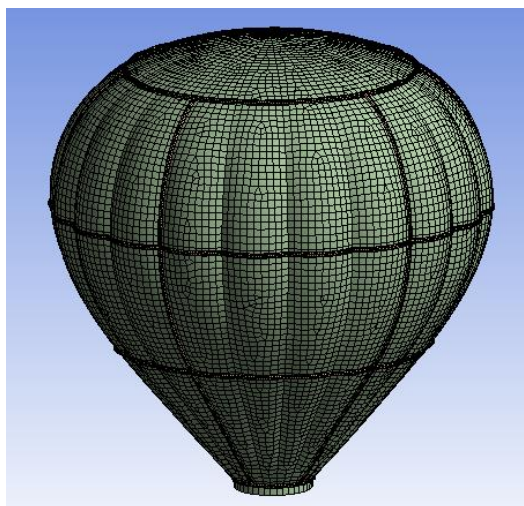


Fig 103. Cas 5A-Mallat.

**Contacte** Creació d'un contacte de "soldadura" (*bounded*) entre les cares que tenen intersecció amb vela i tubs.



Fig 104. Cas 5A-Contacte vela.

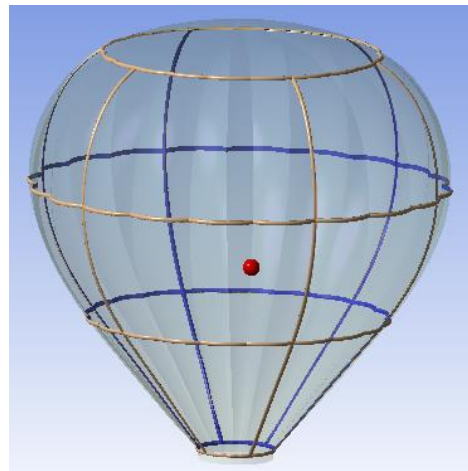


Fig 105. Cas 5A-Contacte tubs.

**Fixacions** Fixació de desplaçaments amb valor en XYZ a 0 (B).  
 Fixació de tots els girs en XYZ a 0, només coll i cara més superior (A).

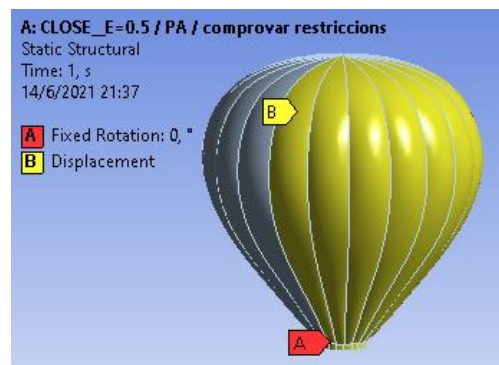


Fig 106. Cas 5A-Fixacions.

**Càrregues** Pressió dels tubs de 2 bar (C).  
 Pressió d'impacte de vent de 1,5 atm (A).  
 Pressió d'inflat de l'interior del globus de 0,1MPa (B).

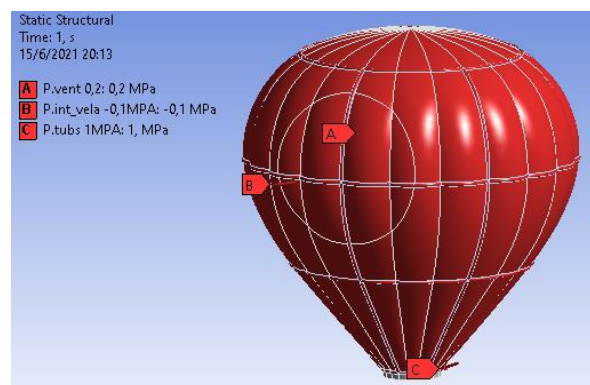


Fig 107. Cas 5A-Càrregues.



## RESULTATS

factor de resultat 1,5e-003 (0,5x Auto).

### Deformació

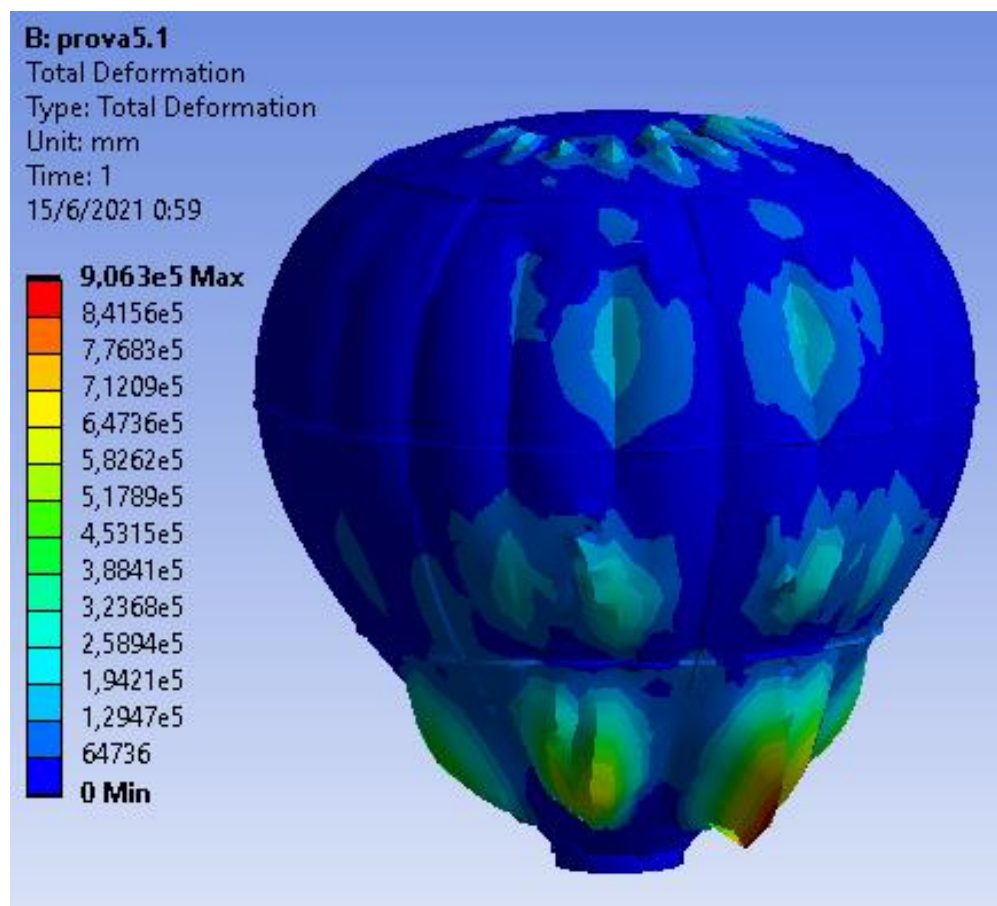


Fig 108. Cas 5A-Mapa de deformacions.

## Intensitat de tensió

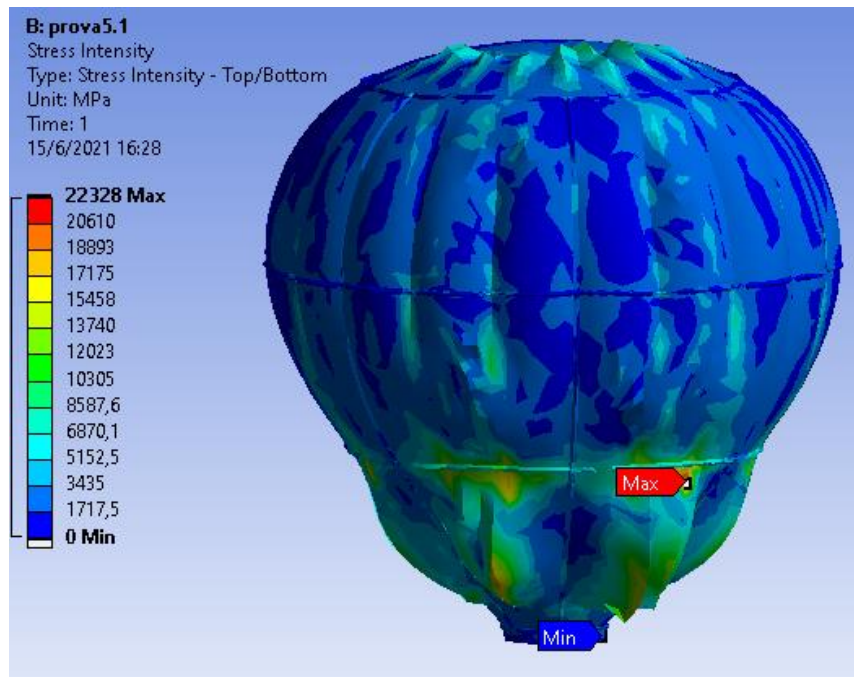


Fig 109. Cas 5A-Mapa de intensitat de tensió.

## Factor de seguretat

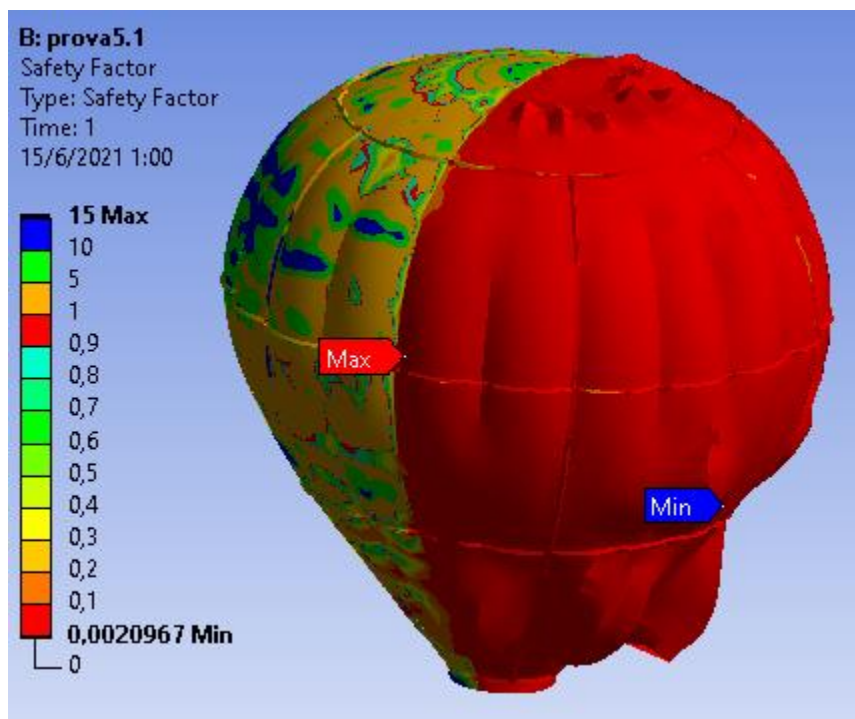


Fig 110. Cas 5A-Mapa de factor de seguretat.



## GRANS DESPLAÇAMENTS<sup>22</sup>

Si es miren els resultats dels diferents mapes de deformació del casos anteriors, es podrà veure un patró comú en tots ells, a banda de que les imatges dels desplaçaments resultants sigui molt semblants, en tant que apareixen uns protuberàncies a la part inferior (la del coll) i a la superior, de la zona d'impacte – segurament degudes a que el volum d'aire desplaçat per culpa del xoc, es projecte cap aquestes dues direccions – **el fet que el valor d'aquestes variacions de posició respecte el seu punt inicial siguin d'una dimensió tant desmesurada, és totalment impossible, i per tant irreal.**

Agafant el cas més realista i també el de més rellevància vers aquest treball, el "Cas 5A. Millora dels contactes", ja que contempla l'acció afegida de la contra-pressió cap a l'acció del vent exercida pels tubs, però també suma la variable dels contactes, es pot veure que el valor de deformació màxim experimentat és de:  $9,063e5 \text{ mm} = 906,3 \text{ m}$ , és **totalment absurd que un teixit plàstic, per molt resistent que sigui, amb un valor d'espessor de 0,4 mm, aguantí sense trencar un desplaçament de tal magnitud**, és per això que s'arriba a la conclusió que la teoria de la deformació utilitzada, la de petits desplaçaments o Teoria de la deformació infinitesimal, queda obsoleta, i **cal definir un sistema de càlcul basat en grans desplaçaments, és a dir, utilitzar la Teoria de grans deformacions.**

Per explicar-ho de manera clara i entenedora, partim del problema de càlcul d'elàstica més senzill, el cas de la biga encastada (*empotrada*) amb una força aplicada a l'altre extrem.

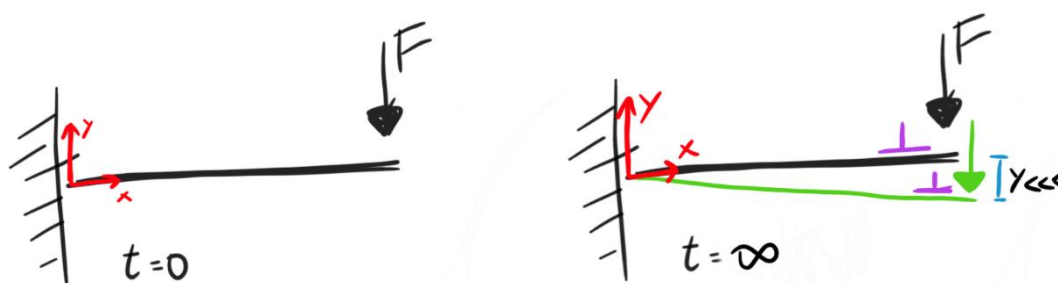


Fig 111. Problema de biga encastada, petits desplaçaments.

<sup>22</sup> Report de les simulacions de ANSYS – Annex 2.

La direcció d'aplicació d'aquesta càrrega (que genera un moment flector i una tallant) en relació a la direcció que pren la geometria, formen un angle de  $90^\circ$ , **si la teoria dels petits desplaçaments es compleix, un cop s'ha aplicat la força i la biga es deforma, la relació entre la nova direcció de la llum de la biga i la d'aplicació de la càrrega han de continuar sent  $90^\circ$** , i perquè aquest fenomen passi, el desplaçament que ha d'experimentar el cos, en la direcció de les "Y", ha de ser molt petit. En petites deformacions es considera que la rigidesa que té la biga no canvia mai.

Per contra, si aquesta "Y" desplaçada és gran, la correlació de direccions vers el moment inicial de càrrega i el moment final no es compleix, a priori.

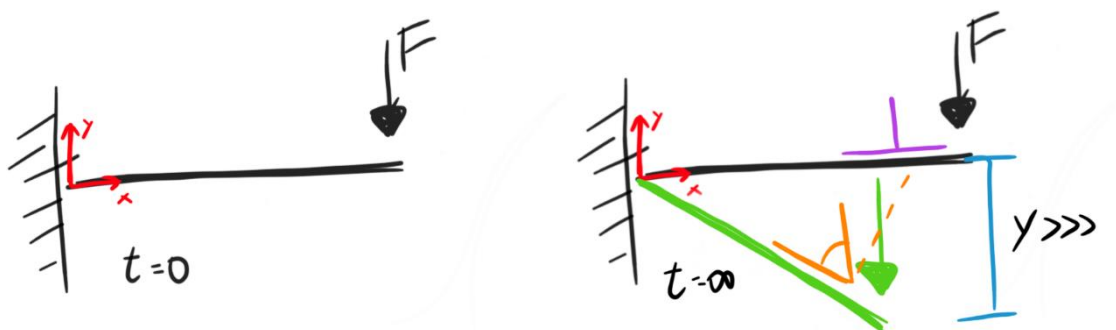


Fig 112. Problema de biga encastada, grans desplaçaments.

Ja que, per no canviar la naturalesa del problema, i mantenir les reaccions derivades d'aquesta força (un moment flector i una tallant), la teoria de grans deformacions planteja el anar fent la correcció de la nova direcció de la càrrega, en relació a la nova posició de la biga, per mantenir constantment la perpendicularitat dels dos elements.

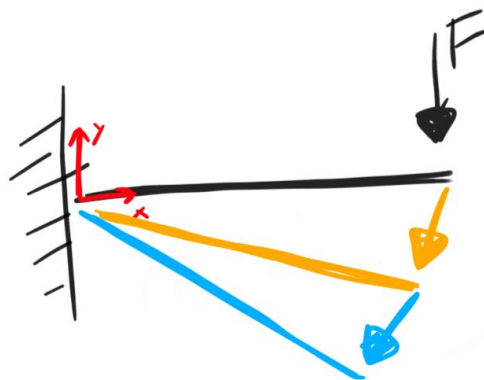


Fig 113. Problema de biga encastada, correcció.

Aquesta manera de calcular el problema, amb ANSYS, es defineix a la pantalla del *Mechanical* < *Analysis Settings* < *Step Control* < *Defined by* i es selecciona que es vol fer un control per *Substeps*, així el que s'està demanant és: que abans de prendre un valor de la solució del problema que provoquen unes càrregues i fixacions, faci un seguit de càlculs i en busqui la convergència, i aquest valor serà la solució.

Explicat més detalladament, el mecanisme en que ANSYS (de manera normal) realitza els càlculs, es per passos, anomenats *steps*, si se li defineix que calculi l'anàlisi en 1 únic *step*, el camí del càlcul serà el següent:

*step 0, t=0s* (ja que sempre comença en el pas 0) – les forces aplicades són 0 N.

*step 1, t=1s* – les forces aplicades són de 10 N.

Per tant, en el moment  $t=0s$  resol la geometria sense càrregues. I en temps  $t=1s$  el programa fa tots els càlculs de tota la força aplicada.

	Steps	Time [s]	<input checked="" type="checkbox"/> Force
1	1	0.	0.
2	1	1.	10.
*			

Fig 114. Solució per steps.

En cas de posar més *steps* o d'aplicar una càrrega que s'incrementa en el temps, el programa auto-definirà un seguit de "passos intermedis" per solucionar correctament l'estudi.

Entenen el *step* com el resultat de solucionar les càrregues i restriccions en un moment en concret, **els substeps és la unitat utilitzada per definir la transició d'un pas a un altre**, és a dir, tenint el moment inicial i el consecutiu, **els substeps són les correccions de la posició de la càrrega i de la posició de la geometria que experimenta la configuració del step 0 per transformar-se en el step 1.**

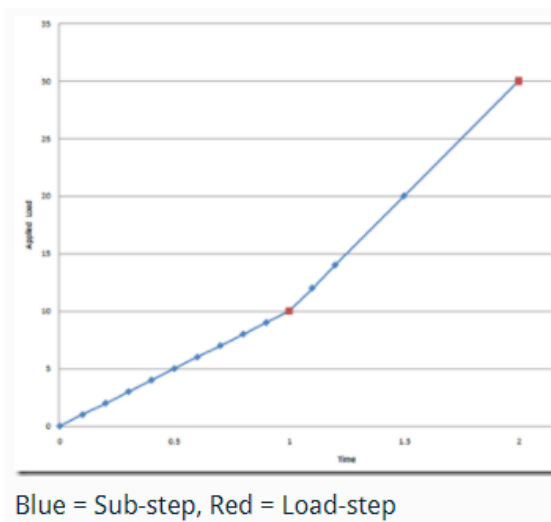


Fig 115. Substeps i steps.

Step Controls	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	On
Define By	Substeps
Initial Substeps	250,
Minimum Substeps	50,
Maximum Substeps	5000,

Fig 116. Paràmetres de ANSYS amb substeps.

*Initial Substeps*: de totes les divisions començarà al número X.

*Minimum Substeps*: el nombre mínim *substeps* calculats abans de convergir.

*Maximum Substeps*: de *substeps* que calcularà com a màxim per convergir.

## CAS 5B. PATENT I GRANS DESPLAÇAMENTS

### EXPLICACIÓ DEL CAS

S'aplica la metodologia de convergència per a grans desplaçaments, es a dir, s'introdueix el càlcul de la solució basat en *substeps* en l'anàlisi d'estàtica estructural.

A més es realitzen canvis en els valors de les pressions per mirar de fer-les més realistes.

### OBJECTIUS

Comprovar si el resultat de realitzar la simulació en *substeps* vers l'anterior, que no els utilitza provoca cap variació important.

Quines reaccions provoquen els nous valors de pressió sobre la geometria.

### CONSTRUCCIÓ

**Geometria** Disseny 3D de vela complexa (veure Fig 69).

Vela – Material de Plàstic, PA6.

Espessor de 0,4 mm.

Tubs – Material de Plàstic, PA6.

Espessor de 0,4 mm.

**Mallat** Vela – Mallat uniforme de 400 mm

Tubs – Mallat de 300 mm

Element de mallat : *Shell*.

Nombre d'elements: 49924 elements.

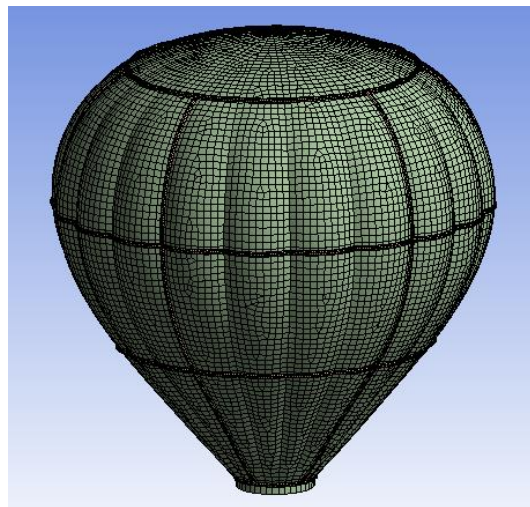


Fig 117. Cas 5B-Mallat.

**Contacte** Creació d'un contacte de "soldadura" (*bounded*) entre les cares que tenen intersecció amb vela i tubs.

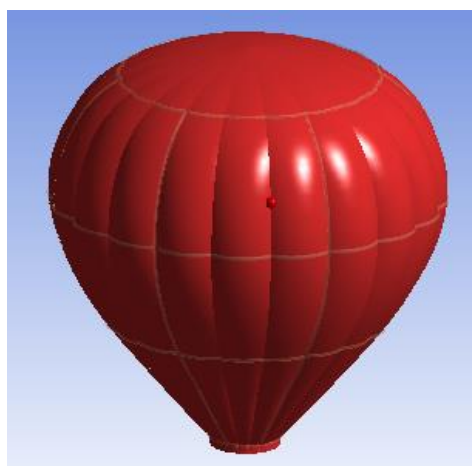


Fig 118. Cas 5B-Contacte vela.

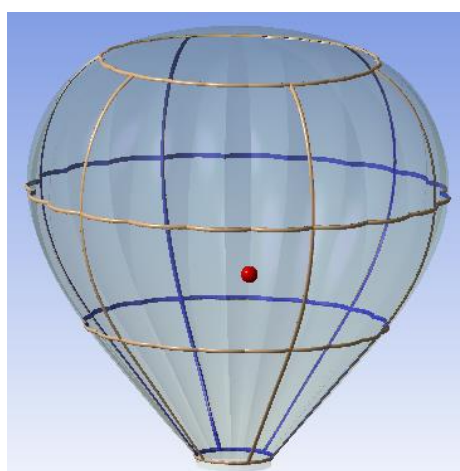


Fig 119. Cas 5B-Contacte tubs.

### Anàlisis Settings

Definició d'un anàlisis controlat per *substeps*.

<b>Step Controls</b>	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	On
Define By	Substeps
Initial Substeps	250,
Minimum Substeps	50,
Maximum Substeps	5000,
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Quasi-Static Solution	Off
<b>Rotordynamics Controls</b>	
<b>Restart Controls</b>	
<b>Nonlinear Controls</b>	
<b>Advanced</b>	
<b>Output Controls</b>	
<b>Analysis Data Management</b>	
<b>Visibility</b>	

Fig 120. Cas 5B-Anàlisis Settings.

**Fixacions** Fixació de desplaçaments amb valor en XYZ a 0 (B).

Fixació de tots els girs en XYZ a 0, només coll i cara més superior (A).

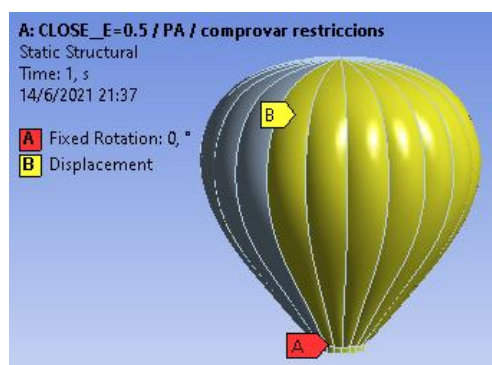


Fig 121. Cas 5B-Fixacions.

- Càrregues**
- Pressió dels tubs de 1 MPa (C).
  - Pressió d'impacte de vent de 0,2 MPa (A).
  - Pressió d'inflat de l'interior del globus de 0,1MPa (B).

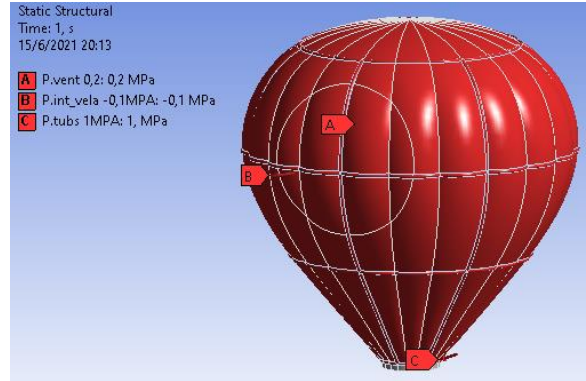


Fig 122. Cas 5B-Càrregues.

## RESULTATS

factor de resultat 1x *True Scale*.

## Deformació

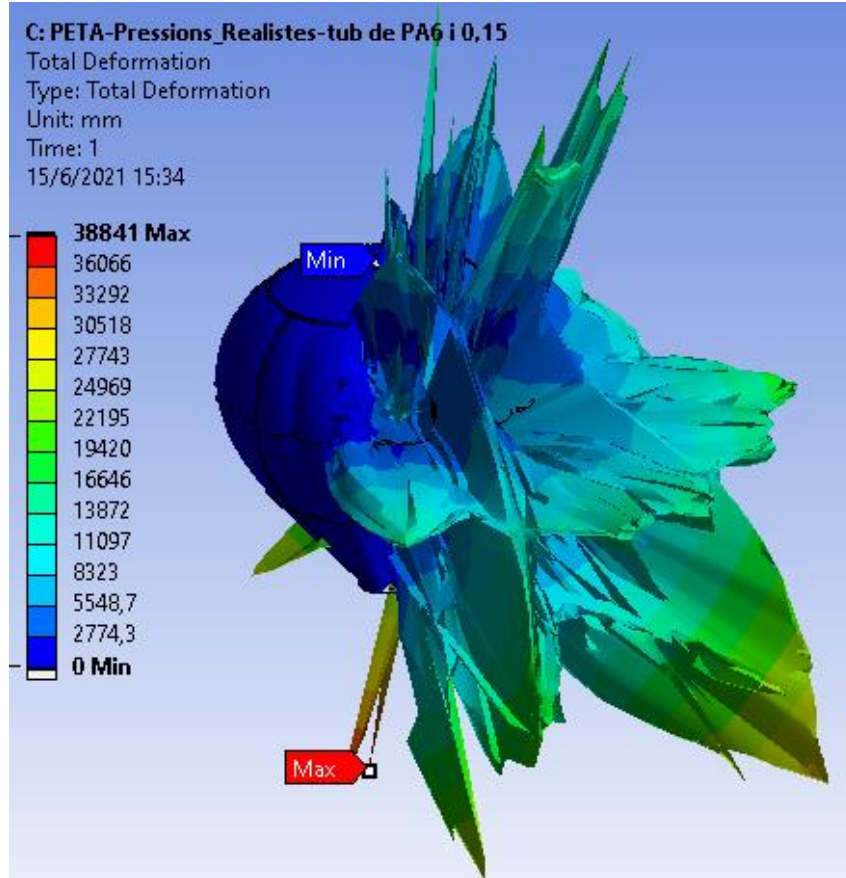


Fig 123. Cas 5B-Mapa de deformacions.



### Intensitat de tensió

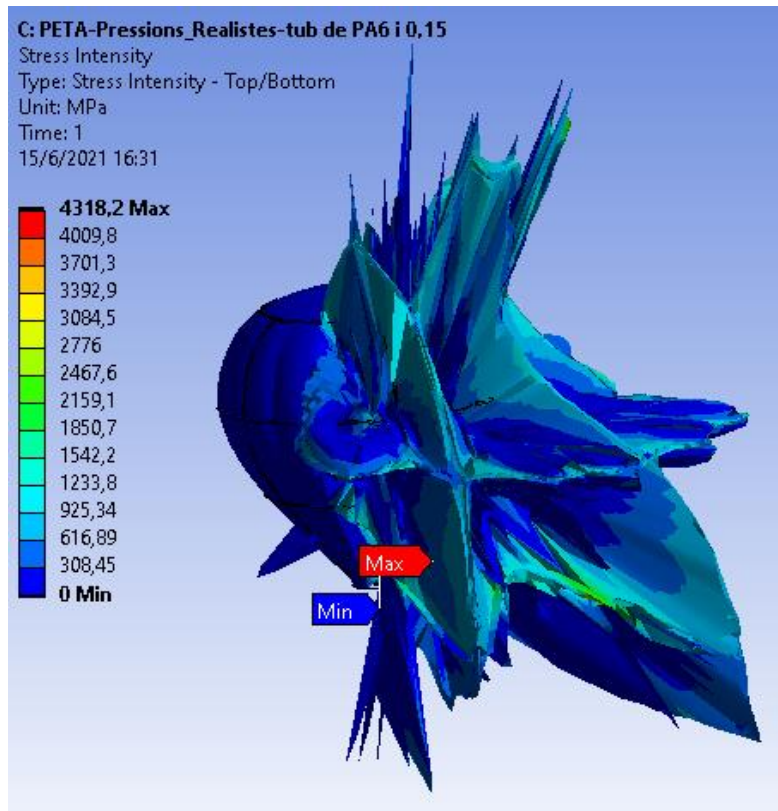


Fig 124. Cas 5B-Mapa de intensitat de tensió.

### Factor de seguretat

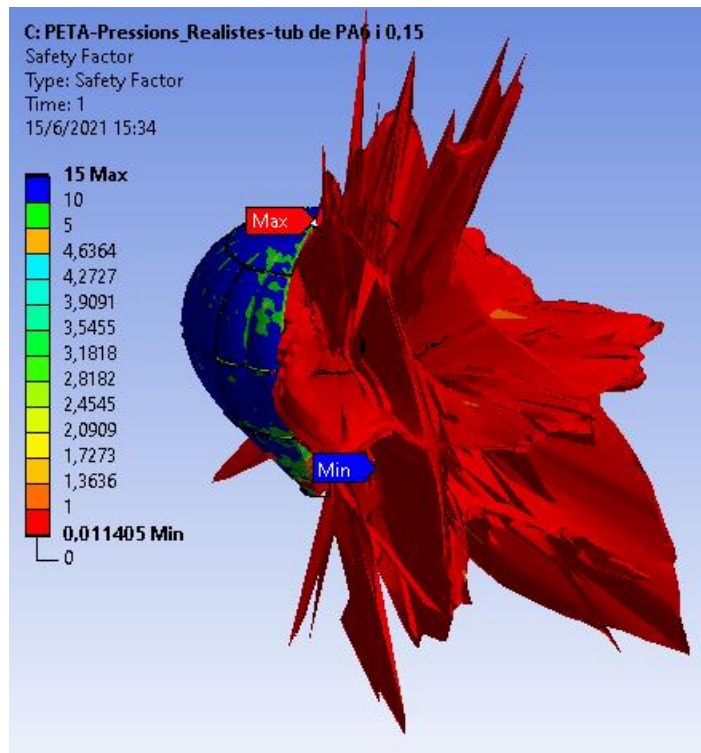


Fig 125. Cas 5B-Mapa de factor de seguretat.



## CAS 6A. RE-DISENY AMB MÉS TUBS A L'EQUADOR

### EXPLICACIÓ DEL CAS

Primera proposta de re-disseny, per tal d'evitar que es provoquin aquests desplaçaments tant grans en zones de la vela, s'augmenta la presència dels tubs, en un principi a la zona de l'equador.

### OBJECTIUS

Veure quines millores aporta aquest augment de tubs, ja que la zona queda més restringida; identificar cap a on es desplacen les tensions en aquest cas.

Aplicació de les càrregues realistes i veure com respon aquesta nova geometria.

### CONSTRUCCIÓ

**Geometria** Disseny 3D de vela complexa (veure Fig 72).

Vela – Material de Plàstic, PA6.

Espessor de 0,4 mm.

Tubs – Material de Plàstic, PA6.

Espessor de 0,4 mm.

**Mallat** Vela – Mallat uniforme de 400 mm

Tubs – Mallat de 200 mm

Element de mallat : *Shell*.

Nombre d'elements: 67968 elements.

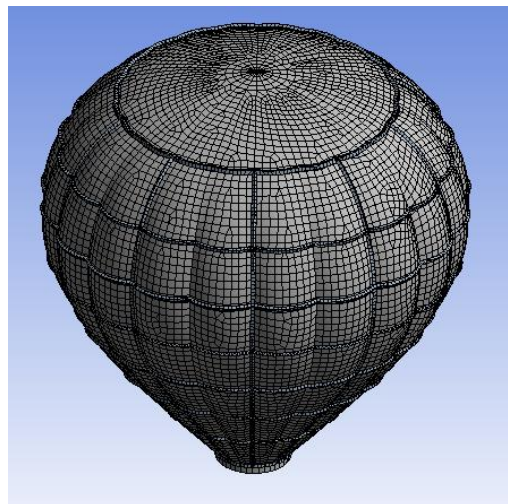


Fig 126. Cas 6A-Mallat.

**Contacte** Creació d'un contacte de "soldadura" (*bounded*) entre les cares que tenen intersecció amb vela i tubs.

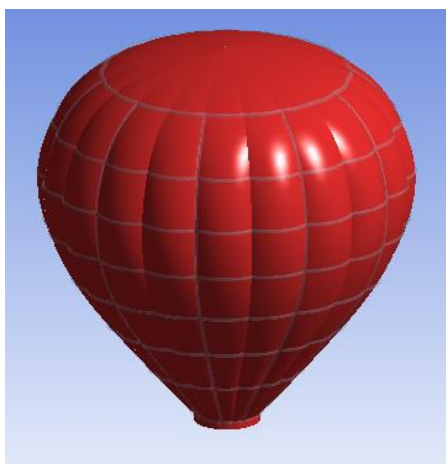


Fig 127. Cas 6A-Contacte vela.

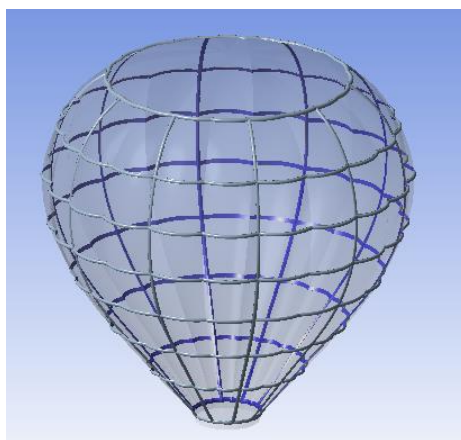


Fig 128. Cas 6A-Contacte tubs.

**Anàlisis Settings**

Definició d'un anàlisis controlat per *substeps*.

Step Controls	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	On
Define By	Substeps
Initial Substeps	250,
Minimum Substeps	50,
Maximum Substeps	5000,
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Quasi-Static Solution	Off
Rotordynamics Controls	
Restart Controls	
Nonlinear Controls	
Advanced	
Output Controls	
Analysis Data Management	
Visibility	

Fig 129. Cas 6A-Anàlisis Settings.

**Fixacions** Fixació de desplaçaments amb valor en XYZ a 0 (B).

Fixació de tots els girs en XYZ a 0, només coll i cara més superior (A).

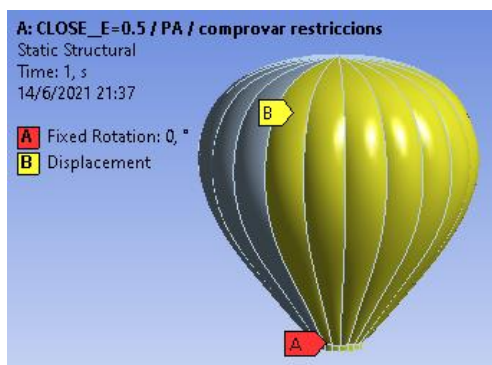


Fig 130. Cas 6A-Fixacions.

- Càrregues** Pressió dels tubs de 0,1 MPa (C).  
 Pressió d'impacte de vent de 0,0002756 MPa (B).  
 Pressió d'inflat de l'interior del globus de 0,000734 MPa (A).

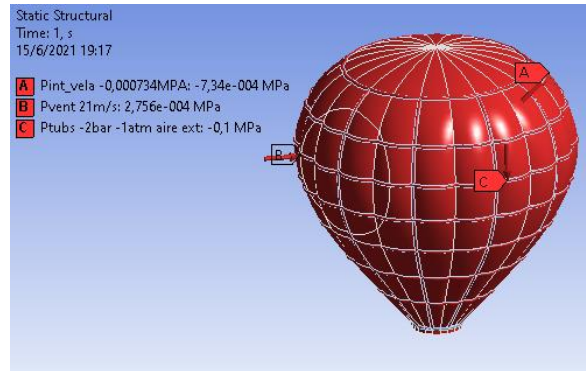


Fig 131. Cas 6A-Càrregues.

**RESULTATS**

factor de resultat 1x *True Scale*.

**Deformació**

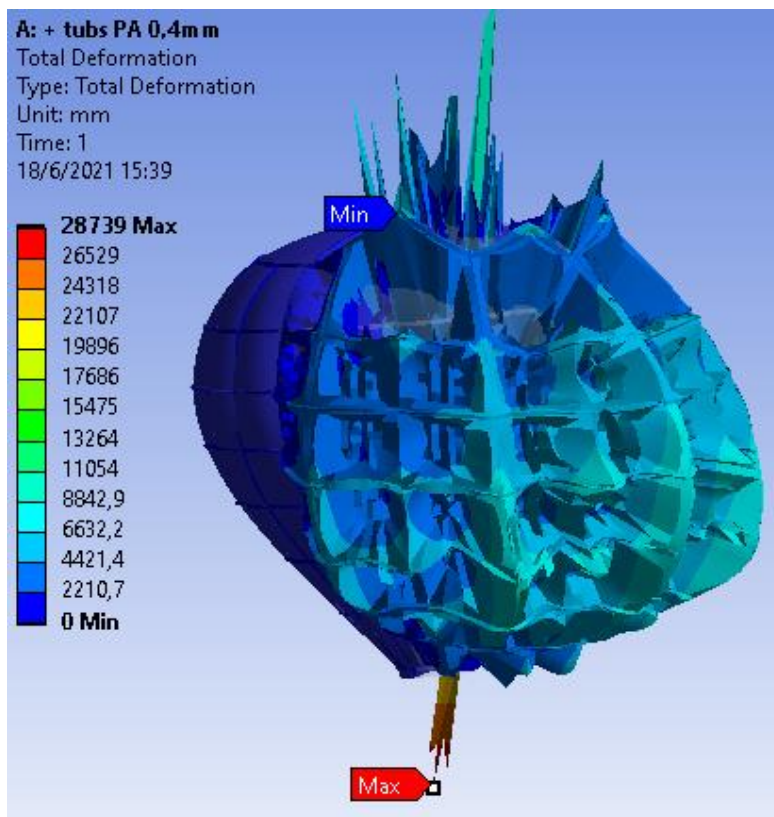


Fig 132. Cas 6A-Mapa de deformacions.

Intensitat de tensió

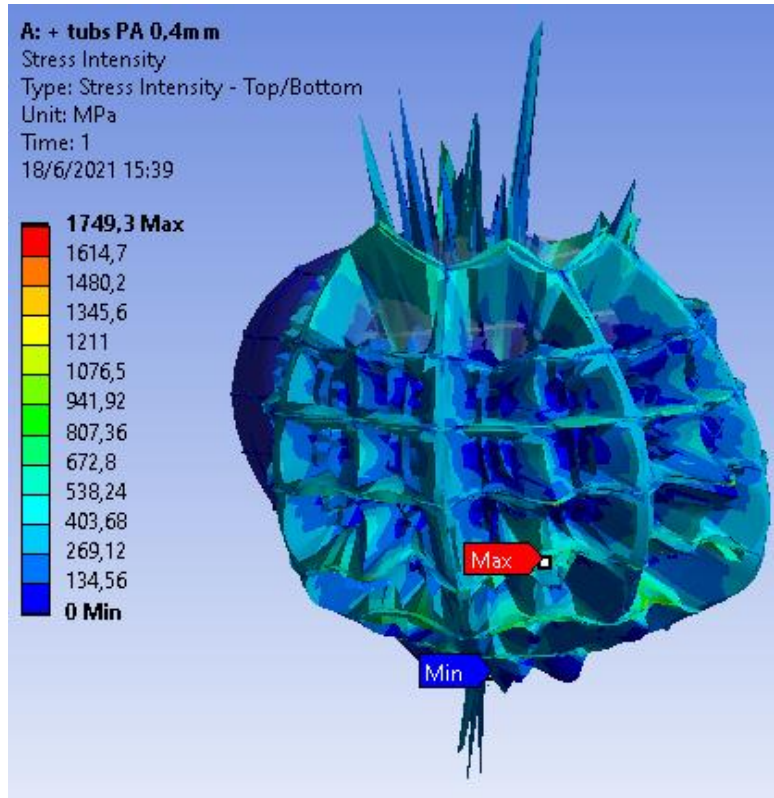


Fig 133. Cas 6A-Mapa de intensitat de tensió.

Factor de seguretat

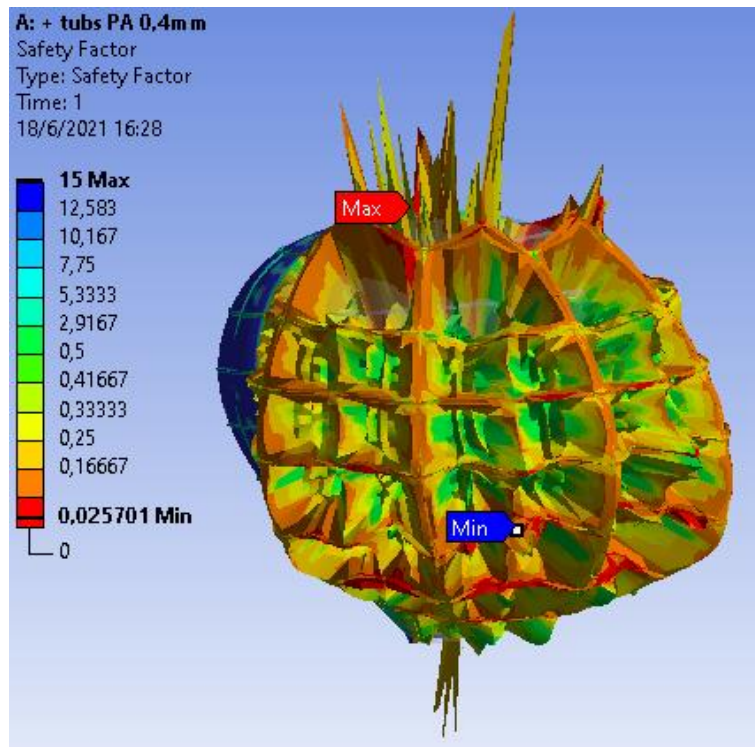


Fig 134. Cas 6A-Mapa de factor de seguretat.

## CAS 7A. DISSENY FINAL DE XARXA

### EXPLICACIÓ DEL CAS

La proposta final per a lluitar en contra dels possibles impactes de vent o altres ingerències; es basa en un tramat de tubs que protegeixen la vela des de la boca fins a la part superior.

### OBJECTIUS

Veure com respon la proposta de millora en front de l'anàlisi configurat.

### CONSTRUCCIÓ

**Geometria** Disseny 3D de vela complexa (veure Fig 75).

Vela – Material de Plàstic, *Ripstop*.

Espessor de 0,4 mm.

Tubs – Material de Plàstic, *Ripstop*.

Espessor de 0,4 mm.

**Mallat** Vela – Mallat uniforme de 400 mm

Tubs – Mallat de 200 mm

Element de mallat : *Shell*.

Nombre d'elements: 113922  
elements.

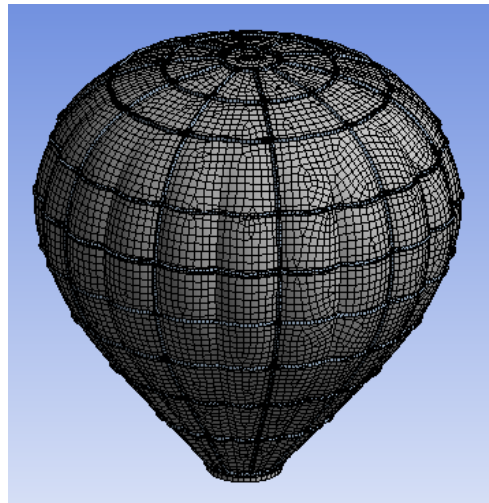


Fig 135. Cas 7A-Mallat.



**Contacte** Creació d'un contacte de "soldadura" (*bounded*) entre les cares que tenen intersecció amb vela i tubs.



Fig 136. Cas 7A-Contacte vela.

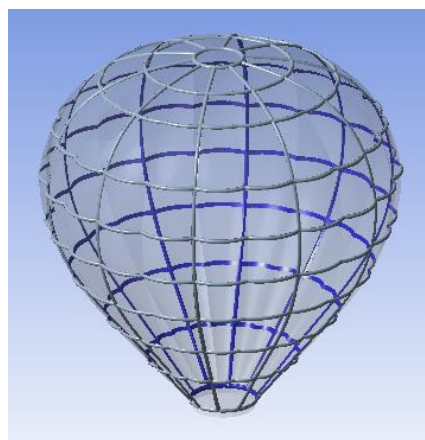


Fig 137. Cas 7A-Contacte tubs.

### Anàlisis Settings

Definició d'un anàlisis controlat per *substeps*.

<b>Step Controls</b>	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	On
Define By	Substeps
Initial Substeps	250,
Minimum Substeps	50,
Maximum Substeps	5000,
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Quasi-Static Solution	Off
<b>Rotordynamics Controls</b>	
<b>Restart Controls</b>	
<b>Nonlinear Controls</b>	
<b>Advanced</b>	
<b>Output Controls</b>	
<b>Analysis Data Management</b>	
<b>Visibility</b>	

Fig 138. Cas 7A-Anàlisis Settings.

**Fixacions** Fixació de desplaçaments amb valor en XYZ a 0 (B).

Fixació de tots els girs en XYZ a 0, només coll i cara més superior (A).

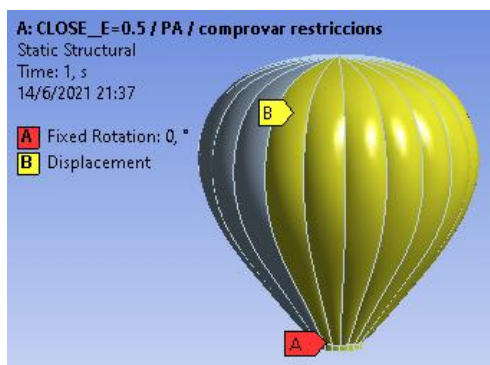


Fig 139. Cas 7A-Fixacions.

- Càrregues** Pressió dels tubs de 0,1 MPa (C).  
 Pressió d'impacte de vent de 0,0002756 MPa (A).  
 Pressió d'inflat de l'interior del globus de 0,000734 MPa (B).

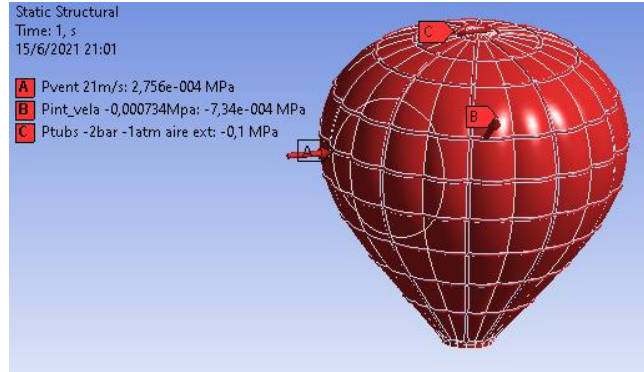


Fig 140. Cas 7A-Càrregues.

## RESULTATS

factor de resultat 1x *True Scale*.

## Deformació

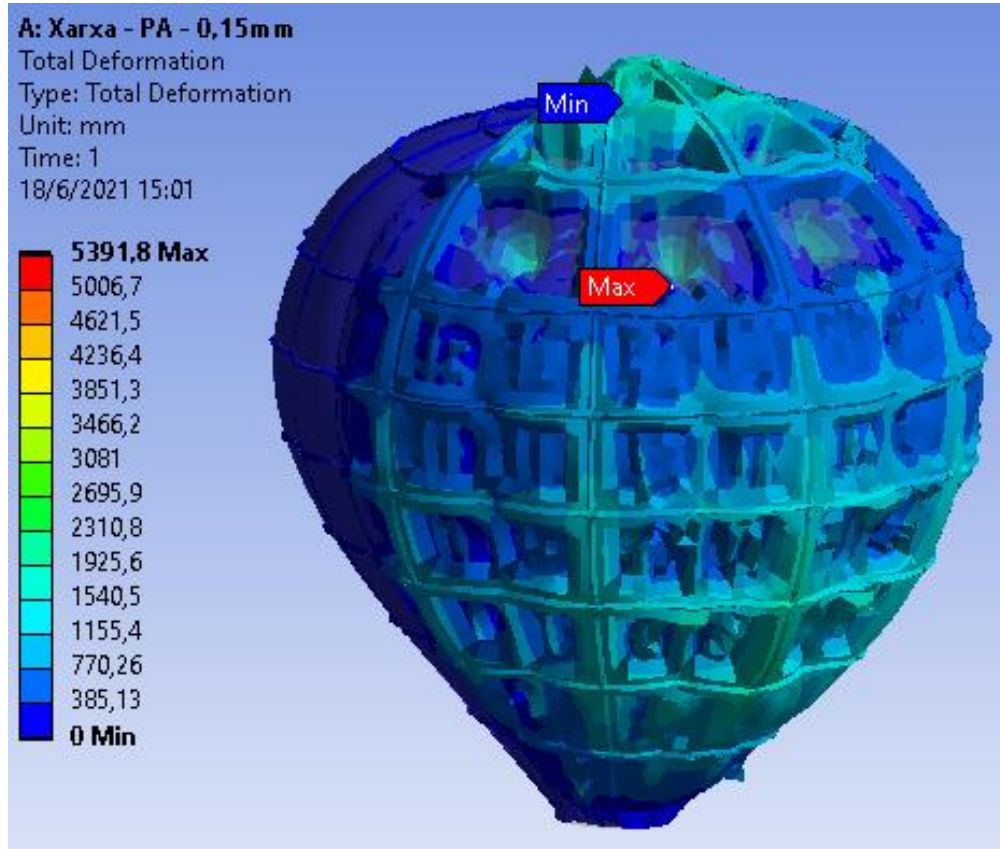


Fig 141. Cas 7A-Mapa de deformacions.



Intensitat de tensió

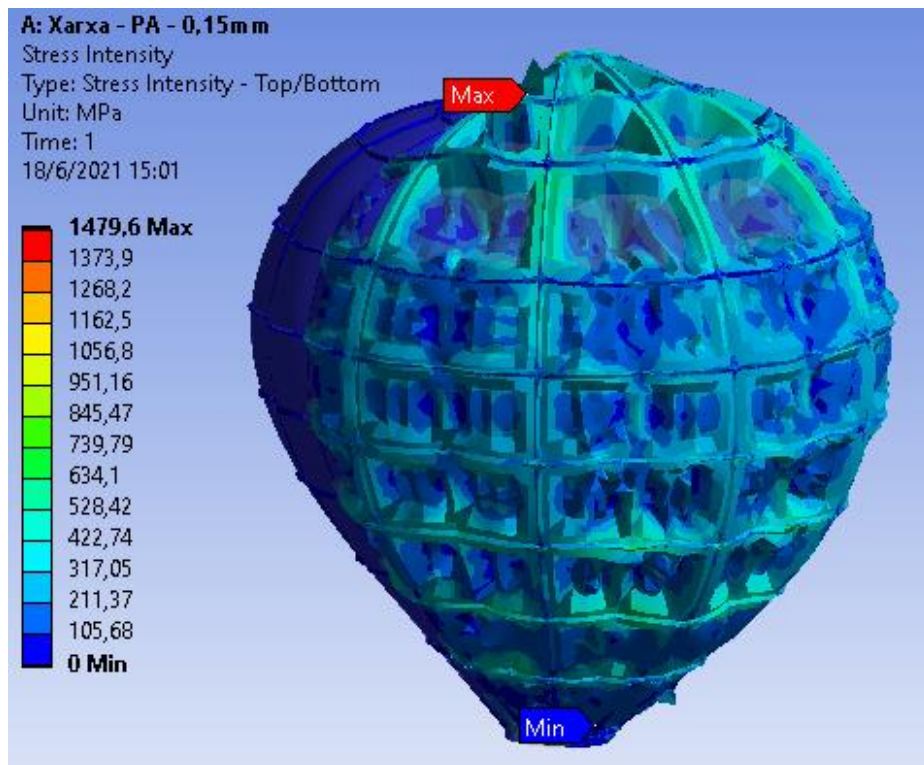


Fig 142. Cas 7A-Mapa de intensitat de tensió.

Factor de seguretat

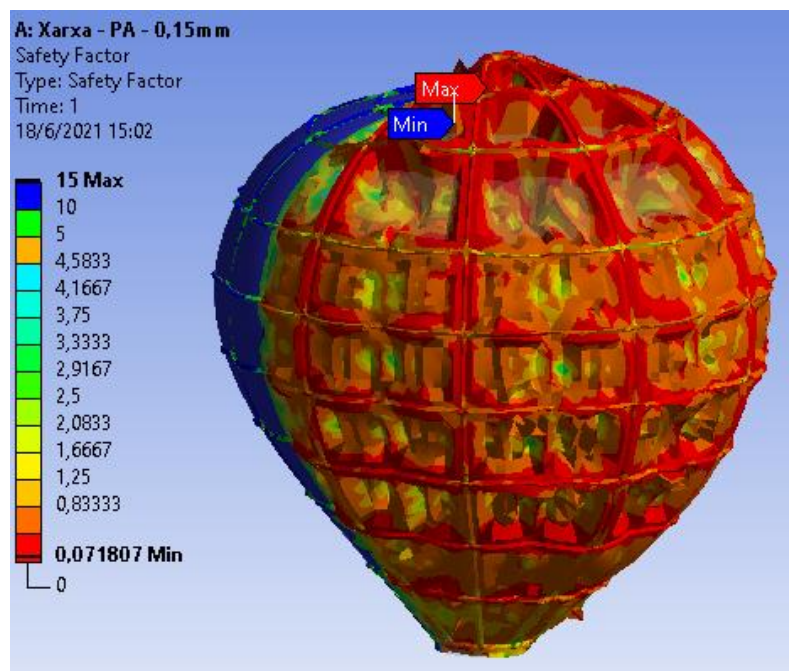


Fig 143. Cas 7A-Mapa de factor de seguretat.

## RIGIDITZACIÓ DELS TUBS<sup>23</sup>

Arran dels resultats que s'han obtingut amb anterioritat dels casos de simulació, on es veu que les deformacions es concentren sobretot a les zones d'acoblament dels tubs, es fa la hipòtesis de que: la manera en que s'ha definit l'estructura (material plàstic i espessor de 0,4 mm), però sobretot, la interpretació que en fa el programa d'aquest cos, provoca que l'elevada pressió que contenen (2 bars), deformin els tubs i alhora el contacte amb la vela derivi en una deformació, també, de la tela del globus.

Considerant doncs, que **els tubs presentaran una major rigidesa que la que té la vela**, es veu adequat re-definir aquest element per reproduir aquesta realitat, **canviant el material dels tubs a un material rígid (com si fos un metall), amb espessor de 3 mm**. D'aquesta manera es certifica la indeformabilitat dels tubs, així com s'anul·la la seva acció deformadora sobre la vela,

Alhora, també, aquesta nova descripció, "suprimeix" els tubs de l'anàlisi (ja que es mantenen totalment rígids), així doncs les "úniques" variables que interaccionaran en el càlcul de les simulacions és la força d'inflat del globus, contra la pressió d'impacte del vent, i el resultat obtingut serà sobre el comportament de desplaçaments i tensions del velam.



Fig 144. Exemple d'estructura, pont, rigiditzada amb tubs pressuritzats.

<sup>23</sup> Report de les simulacions de ANSYS – Annex 2.

## CAS 5C. RÍGID. PATENT I GRANS DESPLAÇAMENTS

### EXPLICACIÓ DEL CAS

Arran dels coneixements desenvolupats en el sub-apartat anterior de la "Rigidització dels tubs", provar quina és la resposta que dona aquesta proposta d'innovació.

### OBJECTIUS

Amb aquesta nova informació vers la rigidització de l'estructura, veure si actua satisfactòriament.

### CONSTRUCCIÓ

**Geometria** Disseny 3D de vela complexa (veure Fig 69).

Vela – Material de Plàstic, PA6.

Espessor de 0,4 mm.

Tubs – Material Rígid.

Espessor de 3 mm.

**Mallat** Vela – Mallat uniforme de 400 mm

Tubs – Mallat de 300 mm

Element de mallat : *Shell*.

Nombre d'elements: 49924 elements.

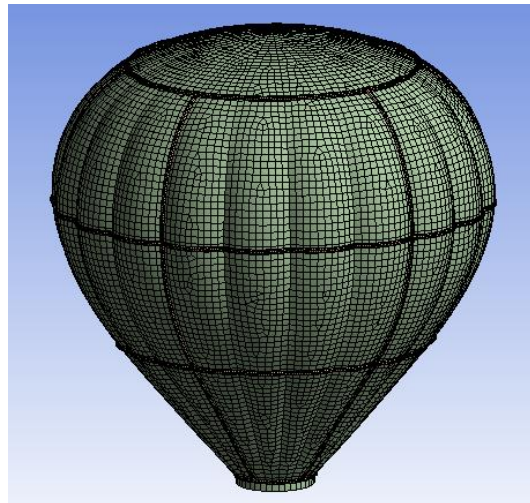


Fig 145. Cas 5C-Mallat.

**Contacte** Creació d'un contacte de "soldadura" (*bounded*) entre les cares que tenen intersecció amb vela i tubs.

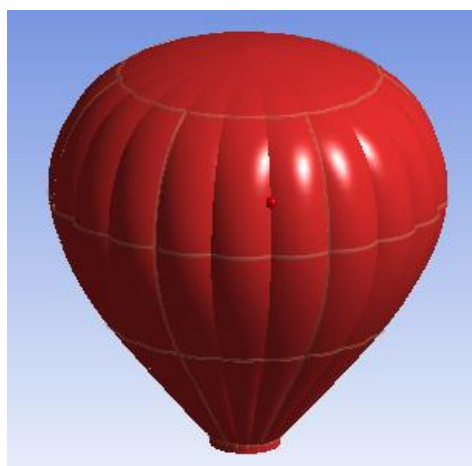


Fig 146. Cas 5C-Contacte vela.

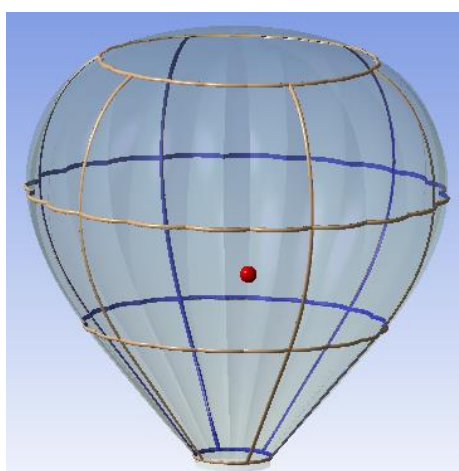


Fig 147. Cas 5C-Contacte tubs.

**Anàlisis Settings**

Definició d'un anàlisis controlat per *substeps*.

<b>Step Controls</b>	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	On
Define By	Substeps
Initial Substeps	250,
Minimum Substeps	50,
Maximum Substeps	5000,
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Quasi-Static Solution	Off
<b>Rotordynamics Controls</b>	
<b>Restart Controls</b>	
<b>Nonlinear Controls</b>	
<b>Advanced</b>	
<b>Output Controls</b>	
<b>Analysis Data Management</b>	
<b>Visibility</b>	

Fig 148. Cas 5C-Anàlisis Settings.

**Fixacions** Fixació de desplaçaments amb valor en XYZ a 0 (B).

Fixació de tots els girs en XYZ a 0, només coll i cara més superior (A).

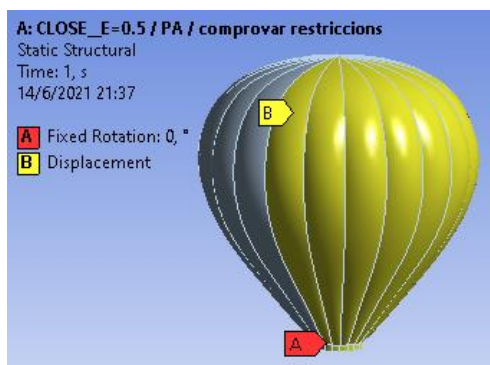


Fig 149. Cas 5C-Fixacions.



- Càrregues** Pressió dels tubs de 1 MPa (C).  
 Pressió d'impacte de vent de 0,2 MPa (A).  
 Pressió d'inflat de l'interior del globus de 0,1MPa (B).

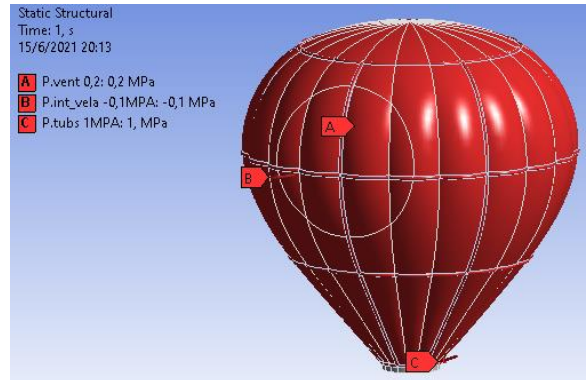


Fig 150. Cas 5C-Càrregues.

**RESULTATS**

factor de resultat 1x *True Scale*.

**Deformació**

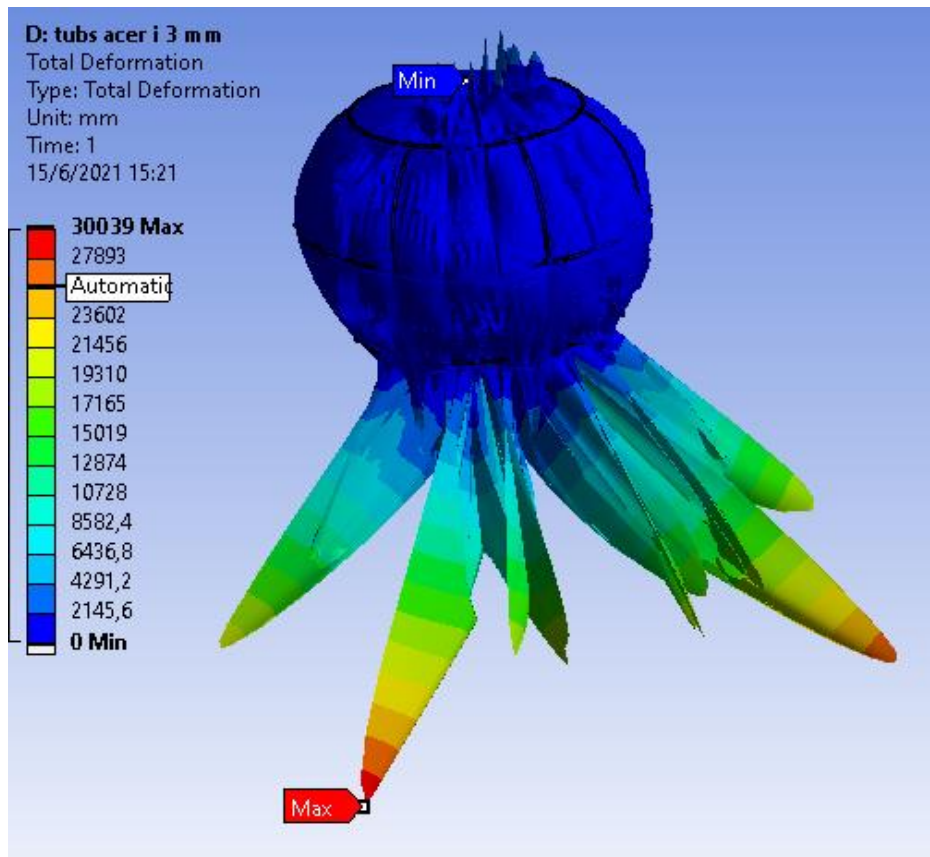


Fig 151. Cas 5C-Mapa de deformacions.

Intensitat de tensió

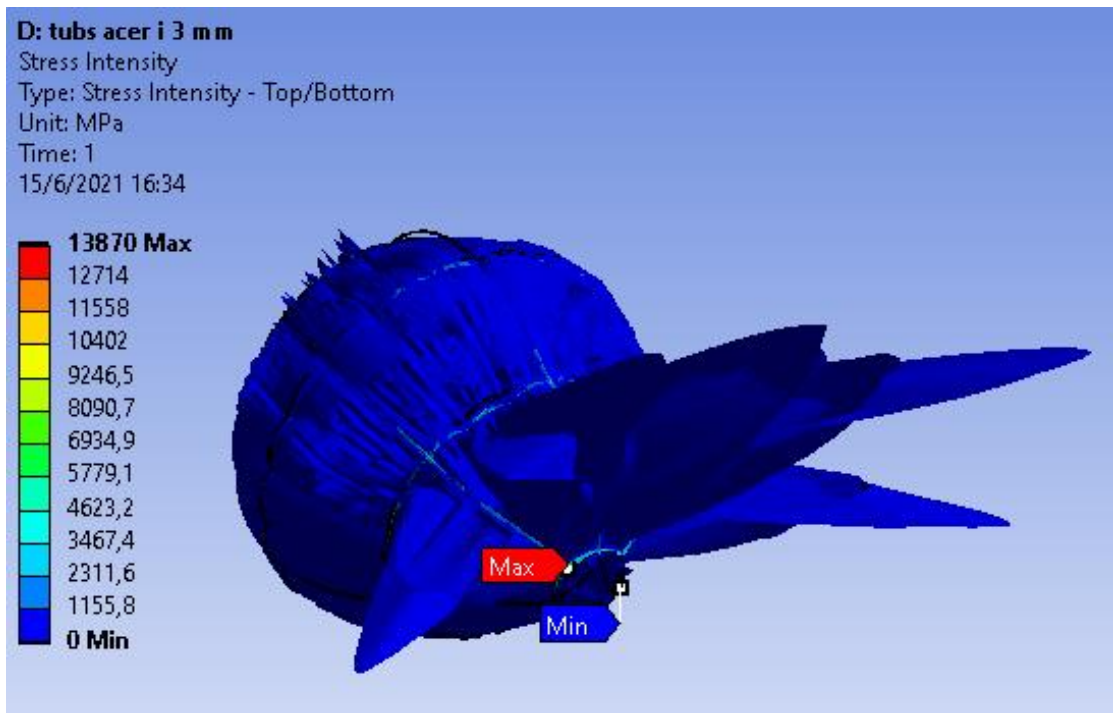


Fig 152. Cas 5C-Mapa de intensitat de tensió.

Factor de seguretat

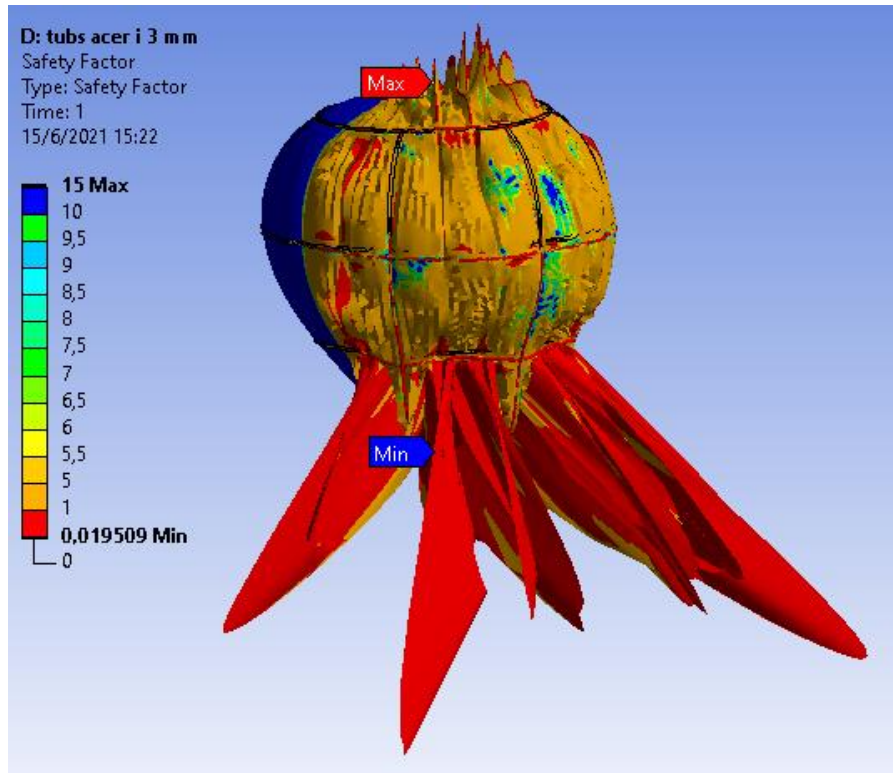


Fig 153. Cas 5C-Mapa de factor de seguretat.



## CAS 6B. RÍGID. RE-DISENY AMB MÉS TUBS A L'EQUADOR

### EXPLICACIÓ DEL CAS

Aplicant el mètode per a rigiditzar els tubs, utilitzar el re-disseny de prova per veure quina nova resposta aporta aquesta idea.

### OBJECTIUS

Tenir una primera visió del comportament que presenta la proposta de re-disseny, i veure si millora els resultats del "Cas 5C".

### CONSTRUCCIÓ

**Geometria** Disseny 3D de vela complexa (veure Fig 72).

Vela – Material de Plàstic, PA6.

Espessor de 0,4 mm.

Tubs – Material Rígid.

Espessor de 3 mm.

**Mallat** Vela – Mallat uniforme de 400 mm

Tubs – Mallat de 200 mm

Element de mallat : *Shell*.

Nombre d'elements: 67968 elements.

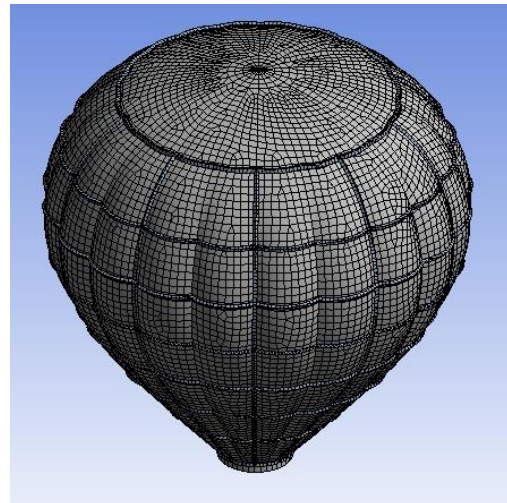


Fig 154. Cas 6B-Mallat.

**Contacte** Creació d'un contacte de "soldadura" (*bounded*) entre les cares que tenen intersecció amb vela i tubs.

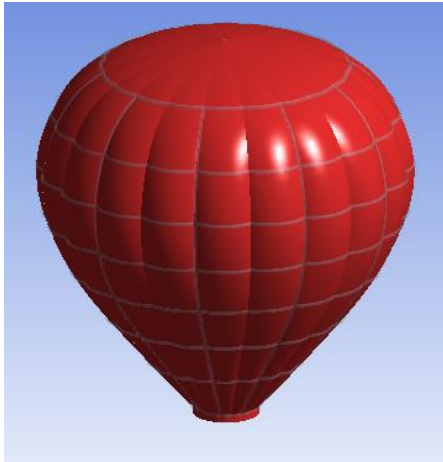


Fig 155. Cas 6B-Contacte vela.

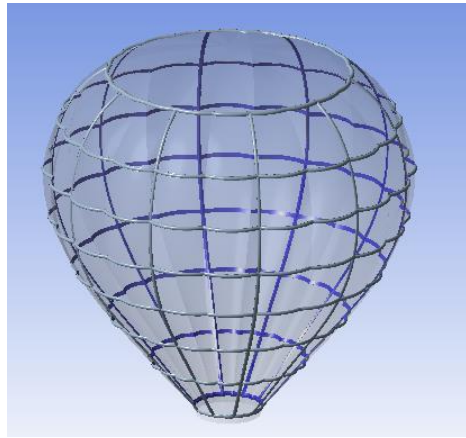


Fig 156. Cas 6B-Contacte tubs.

**Anàlisis Settings**

Definició d'un anàlisis controlat per *substeps*.

<b>Step Controls</b>	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	On
Define By	Substeps
Initial Substeps	250,
Minimum Substeps	50,
Maximum Substeps	5000,
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Quasi-Static Solution	Off
<b>Rotordynamics Controls</b>	
<b>Restart Controls</b>	
<b>Nonlinear Controls</b>	
<b>Advanced</b>	
<b>Output Controls</b>	
<b>Analysis Data Management</b>	
<b>Visibility</b>	

Fig 157. Cas 6B-Anàlisis Settings.

**Fixacions** Fixació de desplaçaments amb valor en XYZ a 0 (B).

Fixació de tots els girs en XYZ a 0, només coll i cara més superior (A).

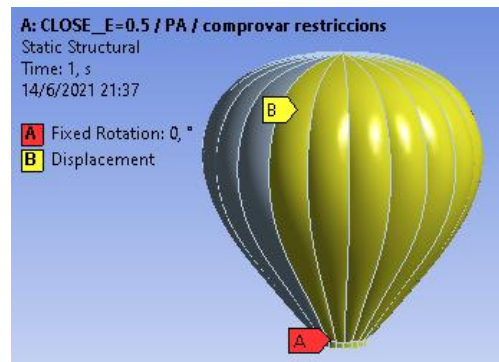


Fig 158. Cas 6B-Fixacions.

- Càrregues** Pressió dels tubs de 0,1 MPa (C).  
 Pressió d'impacte de vent de 0,0002756 MPa (B).  
 Pressió d'inflat de l'interior del globus de 0,000734 MPa (A).

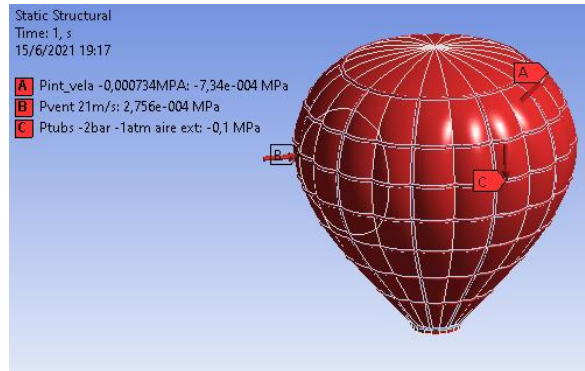


Fig 159. Cas 6B-Càrregues.

**RESULTATS**

factor de resultat 1x *True Scale*.

**Deformació**

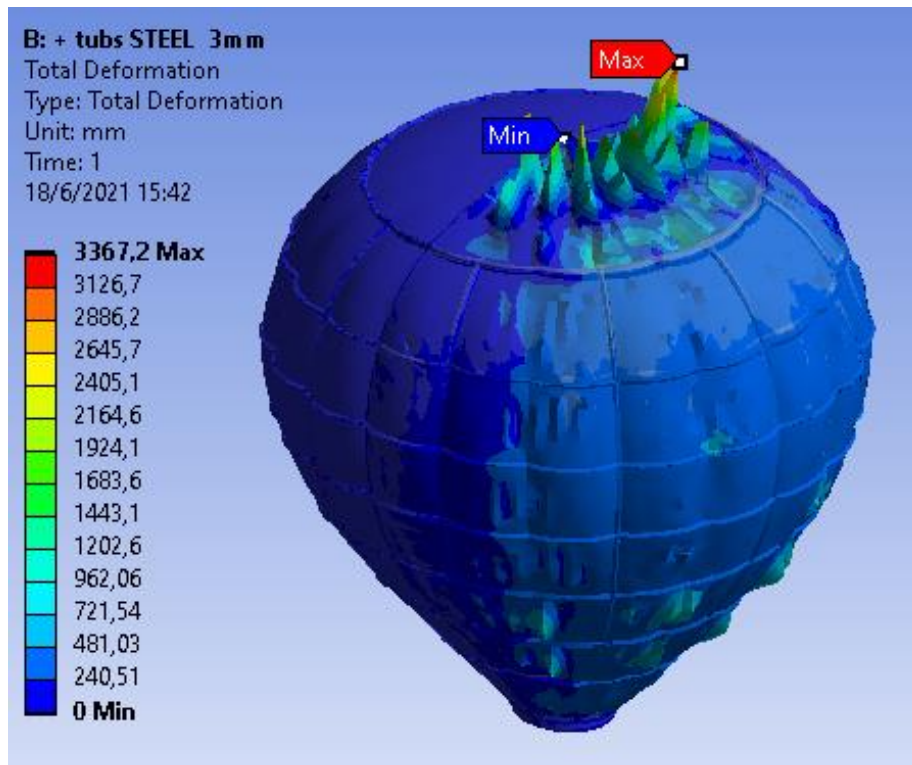


Fig 160. Cas 6B-Mapa de deformacions.

### Intensitat de tensió

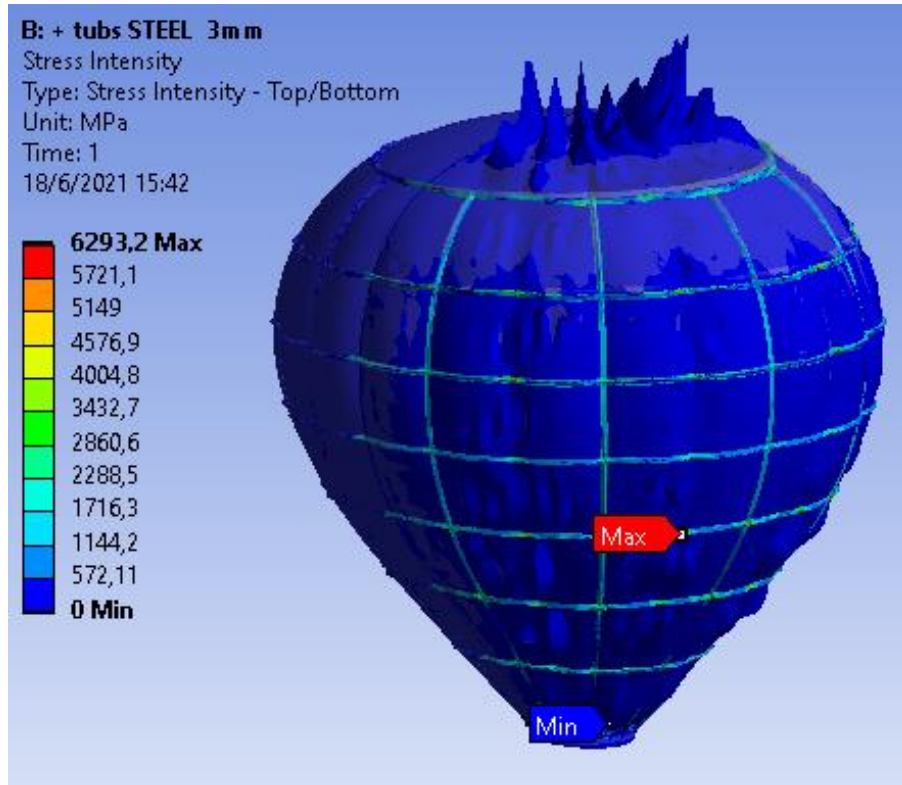


Fig 161. Cas 6B-Mapa de intensitat de tensió.

### Factor de seguretat

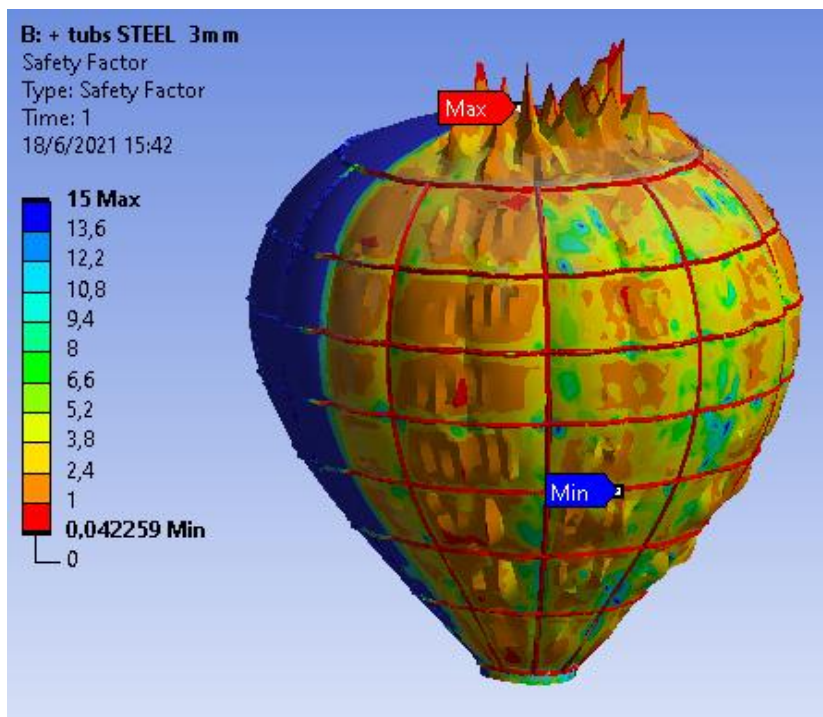


Fig 162. Cas 6B-Mapa de factor de seguretat.

## CAS 7B. RÍGID. DISSENY FINAL DE XARXA

### EXPLICACIÓ DEL CAS

Afegint la metodologia per minimitzar la deformació provocada pels propis tubs sobre la vela, es a dir, convertint-los en sòlids rígids indeformables que retinguin la vela i afrontin l'impacte del vent, tal i com passaria en la realitat

### OBJECTIUS

Veure com respon la proposta de millora a l'anàlisi configurat.

### CONSTRUCCIÓ

**Geometria** Disseny 3D de vela complexa (veure Fig 75).

Vela – Material de Plàstic, *Ripstop*.

Espessor de 0,4 mm.

Tubs – Material Rígid.

Espessor de 3 mm.

**Mallat** Vela – Mallat uniforme de 400 mm

Tubs – Mallat de 200 mm

Element de mallat : *Shell*.

Nombre d'elements: 113922  
elements.

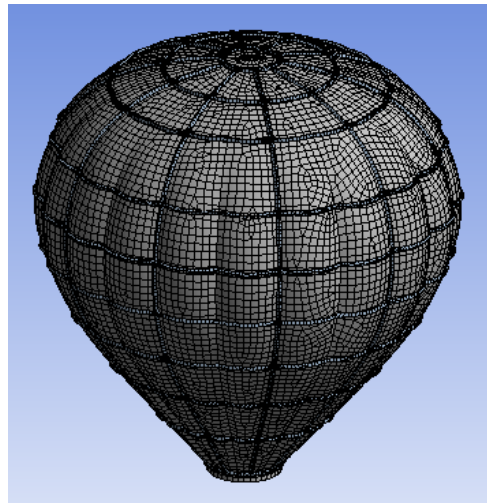


Fig 163. Cas 7B-Mallat.



**Contacte** Creació d'un contacte de "soldadura" (*bounded*) entre les cares que tenen intersecció amb vela i tubs.



Fig 164. Cas 7B-Contacte vela.

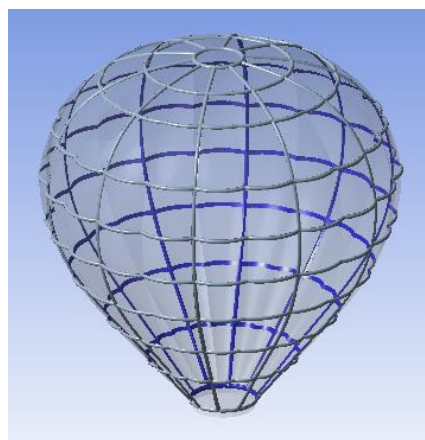


Fig 165. Cas 7B-Contacte tubs.

### Anàlisis Settings

Definició d'un anàlisis controlat per *substeps*.

<b>Step Controls</b>	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	On
Define By	Substeps
Initial Substeps	250,
Minimum Substeps	50,
Maximum Substeps	5000,
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Quasi-Static Solution	Off
<b>Rotordynamics Controls</b>	
<b>Restart Controls</b>	
<b>Nonlinear Controls</b>	
<b>Advanced</b>	
<b>Output Controls</b>	
<b>Analysis Data Management</b>	
<b>Visibility</b>	

Fig 166. Cas 7B-Anàlisis Settings.

**Fixacions** Fixació de desplaçaments amb valor en XYZ a 0 (B).

Fixació de tots els girs en XYZ a 0, només coll i cara més superior (A).

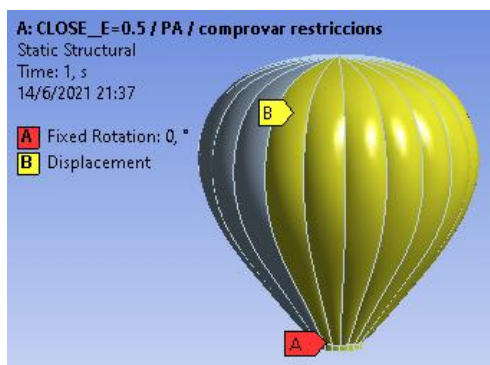


Fig 167. Cas 7B-Fixacions.



- Càrregues** Pressió dels tubs de 0,1 MPa (C).  
 Pressió d'impacte de vent de 0,0002756 MPa (A).  
 Pressió d'inflat de l'interior del globus de 0,000734 MPa (B).

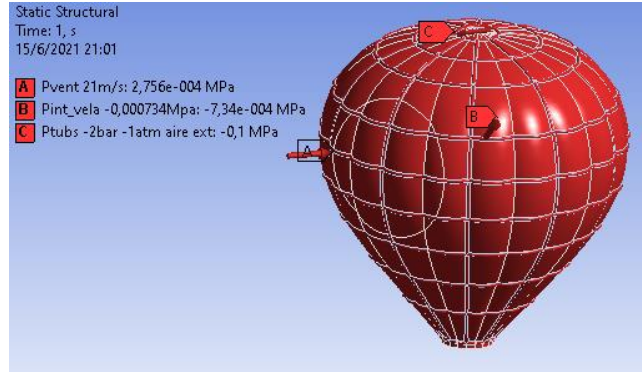


Fig 168. Cas 7B-Càrregues.

## RESULTATS

factor de resultat 1x *True Scale*.

## Deformació

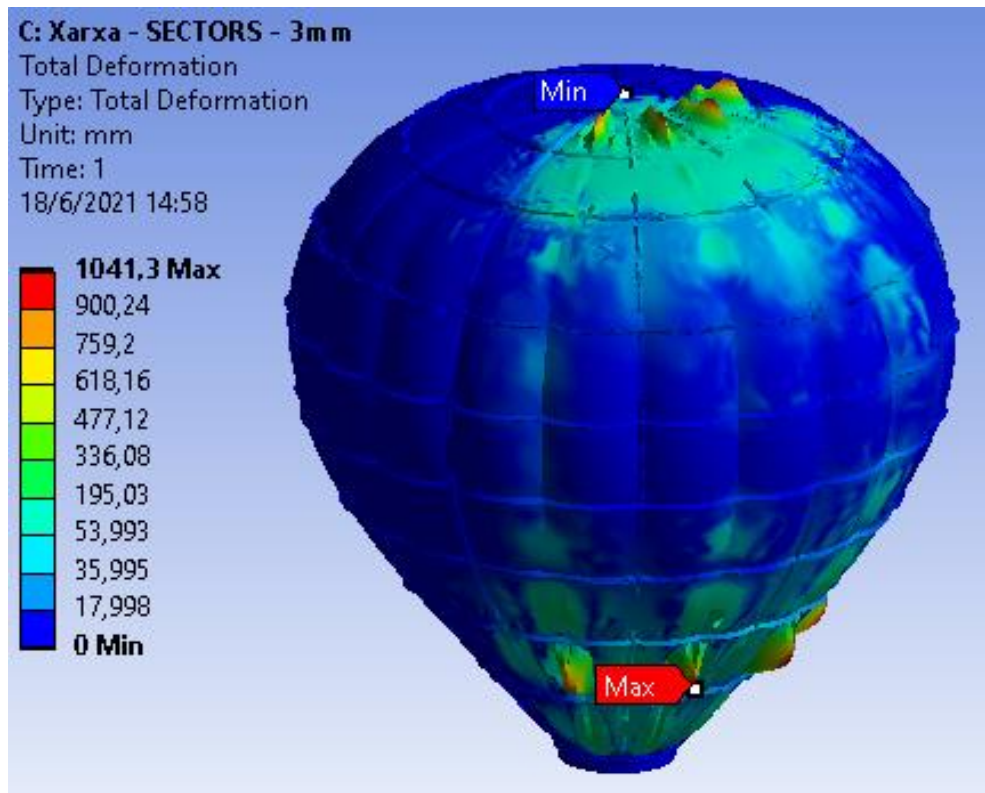


Fig 169. Cas 7B-Mapa de deformacions.

### Intensitat de tensió

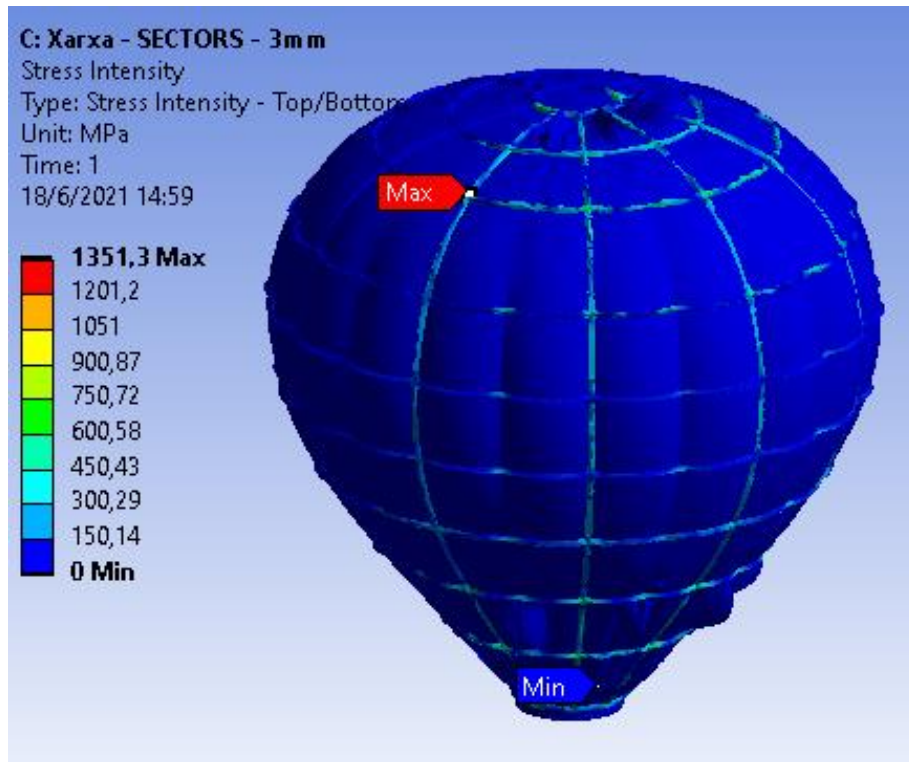


Fig 170. Cas 7B-Mapa de intensitat de tensió.

### Factor de seguretat

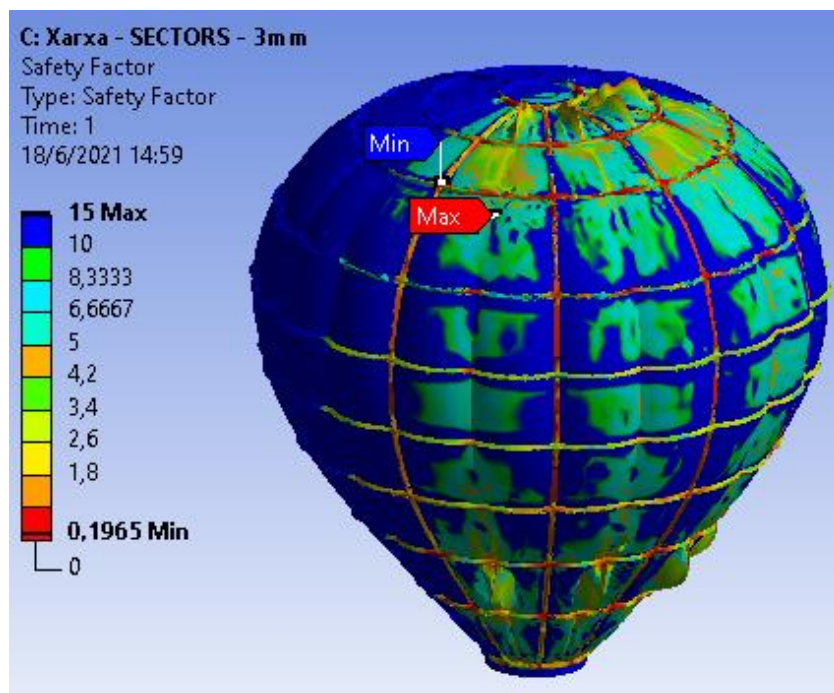
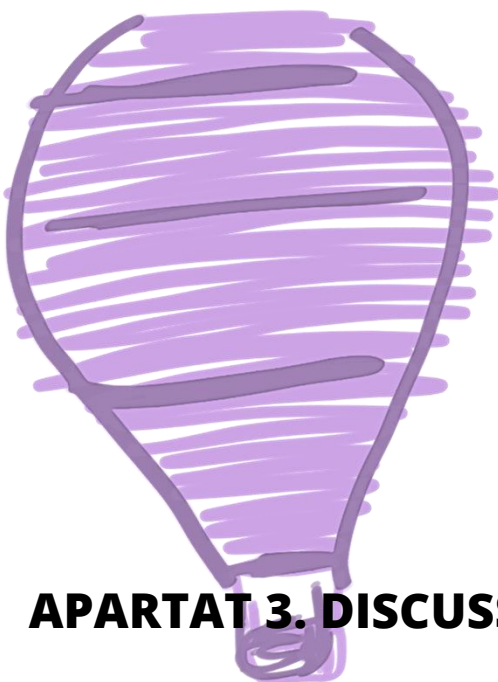


Fig 171. Cas 7B-Mapa de factor de seguretat.





## **APARTAT 3. DISCUSSIÓ**

Aquest tercer, i últim, apartat vol servir per discutir els resultats obtinguts des de l'inici fins ara i validar i/o proposar les noves vies a seguir vers el disseny, recollint tots i cada un dels coneixements desenvolupats anteriorment, així com els resultats obtinguts dels casos estudiats per contraposar-los i extreure'n conclusions de la seva capacitat per protegir el globus.

La base d'aquest document és la demostració de la validesa de la proposta d'innovació de la patent ES-2538595-B1, com un sistema de rigidització passiu que permeti al globus mantenir-se inalterable davant de xocs o d'impactes de flux de vent a gran velocitat, per tant cal validar que treballa correctament.

En cas de no realitzar aquesta tasca prou satisfactòriament es comentarà quines accions es prenen i de quina manera.

## VALIDACIÓ FINAL DEL DISSENY

En un primer moment, la naturalesa d'aquest apartat era la d'analitzar els resultats obtinguts en els anàlisis de MEF, valgui la redundància, en concret, agafar els mapes de deformació i intensitat de tensió obtinguts del cas on s'estudia la vela amb l'estructura tubular, "Cas 5A. Millora dels contactes", i argumentar si la proposta era resolutive de la problemàtica de que l'impacte del vent a gran velocitat pot provocar la caiguda al buit del globus aerostàtic, o en cas contrari, també argumentar la proposta de millores en base a aquest model inicial.

El cas és que, a mesura que es van anar descobrint millores en la configuració dels estudis amb ANSYS, com són el plantejament de grans deformacions i la re-definició dels tubs com un element indeformable, es va anar aconseguint un model d'estudi cada vegada més veraç a la realitat. Així doncs, els casos "5C", "6B" i "7B" presenten una construcció on s'apliquen les pressions d'inflat de vela, xoc de vent i la dels tubs (tot i ser definits en material rígid), i solucionat mitjançant grans deformacions, i el fet és que d'acord amb aquest plantejament, el resultat que s'obtindrà serà: la resposta que exerceix la força d'inflat de la vela a ser deformada per una pressió d'impacte, però en cap cas es veurà si la vela, en les condicions reals de trobar-se envoltada d'aire, es deformarà per l'impacte del vent, atès que, per trobar els desplaçaments del sistema anterior la pressió d'inflat de la vela i la del aire que l'envolta s'han d'igualar, i per tant només ha de participar en la simulació la força de xoc del vent a gran velocitat.

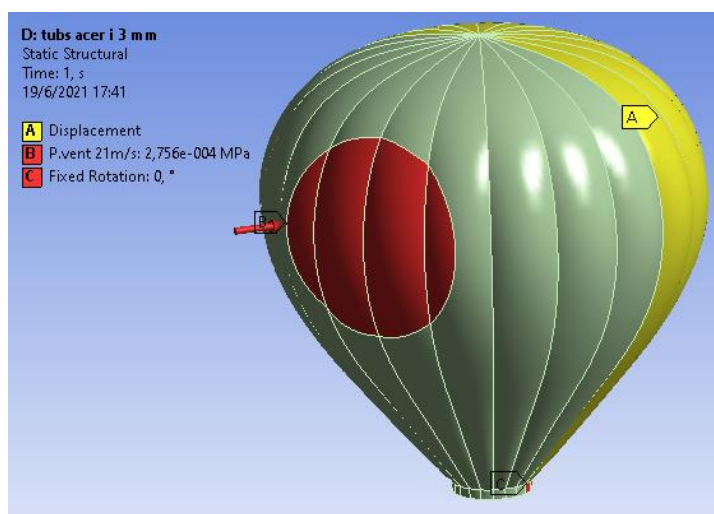


Fig 172. Només la pressió d'impacte del vent, la d'inflat i la exterior s'igualen.

Aquesta certesa va ser concebuda pocs dies abans d'entregar el treball de final d'estudis, i tot i no desacreditar l'enorme treball realitzat, ni en cap cas els resultats obtinguts, el cert és que, en base a la interpretació dels resultats anteriors a aquesta idea, es va argumentar el re-disseny de la proposta plantejada ("Disseny final de xarxa, Fig 75."), i tot i que aporta una seguretat molt major, ja que conté un nombre més elevat de tubs, l'objectiu principal del treball és demostrar si la geometria de la patent ES-2538595-B1 funciona o no.

Així doncs, per fer la validació de l'idea innovadora de la patent, es va fer l'estudi aplicant només la força d'impacte, obtenint el resultat següent:

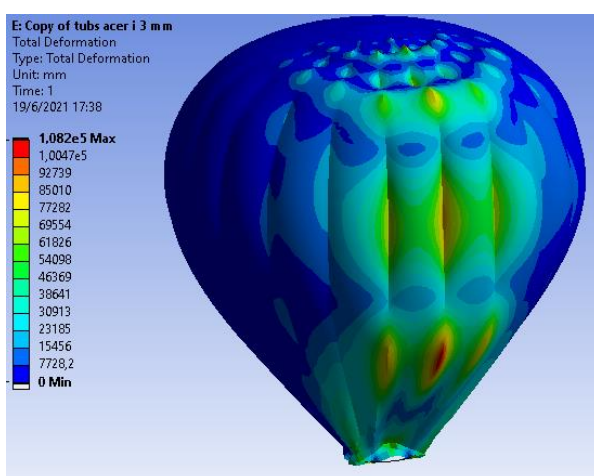


Fig 173. Impacte del vent, sense estructura.

En aquest cas les tensions que es recullen en la superfície passen a un segon pla, i allò que veritablement importa és el fet de que la part on no hi ha tubs es desplaci poc (zona feta de tela *Ripstop*), en el mapa de deformacions anterior del "Cas 5C.", es pot veure com de manera general el desplaçament que pateix la vela es concentra sobretot a les zones més

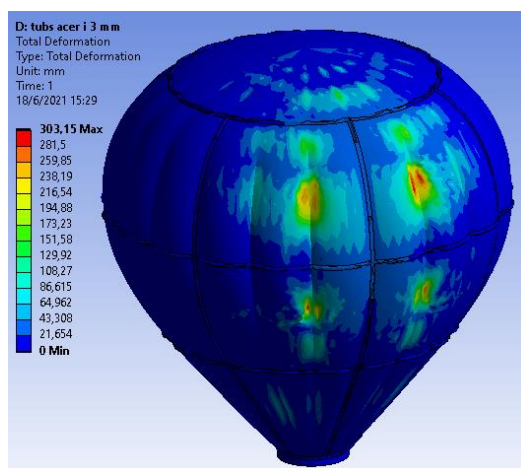


Fig 174. Cas 5C, amb només força del vent.

límit de la superfície d'impacte del vent, agafant valors d'entre 64 mm i 216 mm de deformació generalment; també s'aconsegueix el valor màxim relacionat amb 303 mm, 30,3 cm. I per acabar, es pot veure com aquesta deformació que pateix la vela, provoca que es generin



desplaçaments residuals a les zones del coll, i a la part més superior del globus, segurament provocats com una conseqüència del que passa a la zona d'impacte.

En conclusió, tenint en compte que el globus presenta unes dimensions d'uns 27m d'altura per 22,2 m de diàmetre a l'equador, la deformació puntual que pateix de forma general és de uns 20 cm a la part d'impacte, valor que suposa la pèrdua d'un 0,9% de la distància inicial de l'equador.

Si ho comparem amb el mapa de tensions quan no tenim estructura, la deformació a la part del mig té un valor de 60.000 mm, 60 m; recordant que el diàmetre del globus és de 22,2 , es podria assegurar que l'efecte seria devastador per a la integritat de l'aeronau, i que la introducció de l'estructura tubular plantejada amb la patent millora absolutament aquesta resposta, ja que la deformació "en general" de 20 cm en radi, no presenta un problema.

Per altre banda, recollint el que s'ha dit amb anterioritat, degut als resultats analitzats amb anterioritat a saber això, es va presentar un re-disseny que basant-se amb la geometria de la patent introdueix un major nombre de tubs en aquelles zones que en el model anterior no n'hi havia, així es creen zones encara més petites on l'acció rigiditzadora dels tubs no arribi, i per tant que les parts de tal experimentin menys deformació.

Tot i haver demostrat que la patent és una bona solució, el re-disseny presenta els resultats següents:

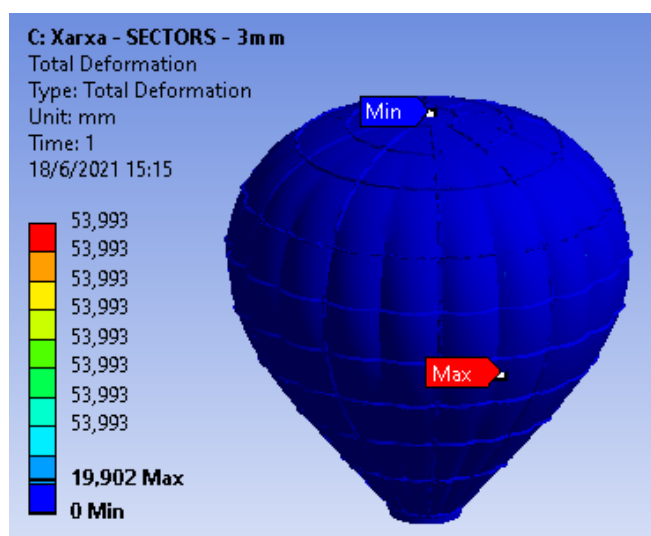


Fig 175. Cas 7B, amb només força del vent.

Els resultats són més que satisfactoris ja que tot el cos queda rigiditat absolutament a desplaçament 0 (no obstant, la situació de deformació nul·la no existeix en cap situació estructural, per tant es podria relacionar en que és infinitesimalment petita), i el valor de la deformació màxima de 19 mm, 1,9 cm, és alhora també un valor molt menor davant la dimensió del globus..

A mode de resum, la patent és una bona proposta d'estructura rigiditzadora del globus aerostàtic front d'adversitats tals com un flux de vent projectat a 21 m/s. Però la introducció de més tubs en la direcció perimetral i en direcció perfilar fa que la tela es vegi molt poc afectada per l'impacte.

## **CONCLUSIONS FINALS DEL TREBALL**

## **FUTURES VIES D'INVESTIGACIÓ**

Amb l'objectiu de donar continuïtat a aquest projecte, es plantegen les següents línies d'investigació:

- Seguint amb la metodologia d'aquest document, realitzar les simulacions convenients amb el mòdul de FLUENT, així com desenvolupar l'estudi de la interacció fluid-sòlid amb IFS.
- Realitzar un model a escala, del conjunt de vela i estructura (fins i tot es podria fer el model del "Disseny final de xarxa") i estudiar quina resposta dona dins d'un túnel de vent.
- Estudiar la seva implementació a nivell de fabricació, realitzar els plànols convenients així com documentació de muntatge i fixació en un cas real, buscar elements comercials, fabricants i metodologies de construcció.
- Plantejar altres vies per dotar d'aquesta rigidesa al globus, buscar geometries noves, mecanismes diferents d'inflat, ...

## CONCLUSIONS

Havent finalitzat el document, es comprova que s'ha aconseguit complir tots els objectius plantejats al principi del treball.

L'alt nivell de simulació assolit presenta una elevada precisió vers la reproducció del cas real, i per tant els resultats d'aquest estudis permeten validar, amb els arguments de l'Apartat 3, que la proposta de disseny presentada en la patent respon positivament per minimitzar la deformació que pateix la vela en casos d'impacte de vent a gran velocitat.

El treball d'investigació realitzat previ als estudis, aporta una informació cabdal per entendre acuradament tots i cada un dels elements presents en els estudis; sobre el globus aerostàtic s'han obtingut coneixements vers els materials que utilitza, la seva geometria de la vela i sobretot aspectes tècnics sobre com fixar i carregar aquest cos en el programa de ANSYS.

El progrés continuat per millorar la configuració dels anàlisis amb ANSYS, ha permès que s'assolissin millors els coneixements sobre aquest programa de simulació i alhora poder argumentar cada un dels canvis realitzats per polir la reproducció del cas real amb més precisió.

Tot i validar que l'estructura de tubs presentada amb la patent ES-2538595-B1 compleix amb bons resultats la finalitat per la qual va ser plantejada, la proposta del "Disseny final de xarxa" aconsegueix una resposta contra aquestes situacions adverses immillorable, amb uns resultats de deformació iguals a 0 mm.

També és molt satisfactori, poder comprovar que tota aquesta estructura de tubs es pot realitzar amb el mateix material de la vela, ja que els resultats obtinguts són amb aquest plantejament, per tant l'objectiu de no desvirtuar la naturalesa i la tradició que presenta el globus es respecta absolutament.

Per una altra banda, l'enorme dificultat vers la mòdul de FLUENT ha fet impossible poder realitzar cap estudi amb aquest sistema de simulació, i tot i ser un dels objectius més ambiciosos que es volia aconseguir, no es volia que per això es poses en escac tota la resta de document.

També, i degut al temps que ha sol·licitat la realització de tot aquest treball de final d'estudis, no s'ha pogut posar temps per anar més enllà i intentar realitzar alguns dels objectius *a posteriori* comentats.





## **BIBLIOGRAFIA**

Globos Aerostaticos como se fabrican - YouTube. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 18 febrero 2021]. Disponible en:  
[https://www.youtube.com/watch?v=6SKHW7MlsHY&ab\\_channel=MrAzhar](https://www.youtube.com/watch?v=6SKHW7MlsHY&ab_channel=MrAzhar).

You don't wanna step to this: Breaking down Loadsteps and Substeps in ANSYS Mechanical – PADT, Inc. – The Blog. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 20 junio 2021]. Disponible en: <https://www.padtinc.com/blog/you-dont-wanna-step-to-this-breaking-down-loadsteps-and-substeps-in-ANSYS-mechanical/>.

Solución para grandes desplazamientos - 2019 - Ayuda de SOLIDWORKS. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 17 junio 2021]. Disponible en:  
[http://help.solidworks.com/2019/spanish/SolidWorks/cworks/c\\_Large\\_Displacement\\_Solution.htm](http://help.solidworks.com/2019/spanish/SolidWorks/cworks/c_Large_Displacement_Solution.htm).

3.2. Large Strain. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 17 junio 2021]. Disponible en:  
[https://www.mm.bme.hu/~gyebro/files/ans\\_help\\_v182/ans\\_thry/thy\\_geo1.html](https://www.mm.bme.hu/~gyebro/files/ans_help_v182/ans_thry/thy_geo1.html).

Teoría de la deformación infinitesimal - Wikipedia. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 17 junio 2021]. Disponible en:  
[https://en.m.wikipedia.org/wiki/Infinitesimal\\_strain\\_theory](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Infinitesimal_strain_theory).

Finite strain theory - Wikipedia. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 17 junio 2021]. Disponible en: [https://en.m.wikipedia.org/wiki/Finite\\_strain\\_theory](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Finite_strain_theory).

BIOT, M.A., [sin fecha]. THE ERNEST KEMPTON ADAMS FUND FOR PHYSICAL RESEARCH OF COLUMBIA UNIVERSITT 3, REPRINT SERIES Reprinted from the Proceedtngs of the Fifth International Congress of Applted Mechanics, 1938. . S.l.:

11.1.1 Large Displacements, Rotations and Strains. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 17 junio 2021]. Disponible en:  
<https://dianafea.com/manuals/d96/Theory/node177.html>.

Deformation theories | iMechanica. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 17 junio 2021]. Disponible en: <https://imechanica.org/node/5510>.

BETWEEN, C. y ELEMENTS, M., 2006. Kapitel 7 Appliation of ANSYS to Contact between Machine Elements. *Finite Elements in Analysis and Design*, pp. 331-451.

2005., زين الدين ر. *No Title* □□□□□□ □□□□ □□□□ □□□□□□□□ □□□. S.l.: s.n. ISBN 9780387282893.

JULIO, B.V., 2012. UPS. ,

ANALYSIS, M., 2006. Kapitel 4 Mode Analysis. *Finite Elements in Analysis and Design*,

DYNAMICS, F., 2006. Kapitel 5 Analysis for fluid dynamics. *Finite Elements in Analysis and Design*, pp. 215-262.

NAKASONE, Y., YOSHIMOTO, S. y STOLARSKI, T.A., 2006. Application of ANSYS to Thermo Mechanics. *Engineering Analysis with ANSYS Software*, pp. 263-330. DOI 10.1016/b978-075066875-0/50036-3.

NAKASONE, Y., YOSHIMOTO, S. y STOLARSKI, T.A., 2006. Application of ANSYS to stress analysis. *Engineering Analysis with ANSYS Software*, pp. 51-142. DOI 10.1016/b978-075066875-0/50033-8.

NAKASONE, Y., YOSHIMOTO, S. y STOLARSKI, T.A., 2006. Basics of Finite-Element Method. *Engineering Analysis with ANSYS Software*, pp. 1-35. DOI 10.1016/b978-075066875-0/50031-4.

NAKASONE, Y., YOSHIMOTO, S. y STOLARSKI, T.A., 2006. Overview of ANSYS Structure and Visual Capabilities. *Engineering Analysis with ANSYS Software*, no. 1, pp. 37-50. DOI 10.1016/b978-075066875-0/50032-6.

CN201999197U - 用充气带撑开的热气球 - Google Patents. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 2 abril 2021]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/CN201999197U/zh?q=ES-2538595>.

CN101417705B - 保形高空气球 - Google Patents. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 2 abril 2021]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/CN101417705B/zh?q=ES-2538595>.

WO2000036953A1 - Formgebendes druckkammersystem - Patentes de Google. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 2 abril 2021]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/WO2000036953A1/de?q=ES-2538595>.

US5697579A - Aeronave con estructura de soporte tubular inflable - Patentes de Google. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 2 abril 2021]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US5697579A/en?q=ES-2538595>.

US5362017A - Parawing - Patentes de Google. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 2 abril 2021]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US5362017A/en?q=ES-2538595>.

ES2538595B1 - Pneumatic stiffening structure of the canvas of a hot air balloon and aerostats in general and pressurizing operation of said structure - Google Patents. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 31 marzo 2021]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/ES2538595B1/es?q=ES-2538595>.

No Title. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 24 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=hnc8W8vbUoQ>.

- 107-Fabricando Made in Spain - Globo aerostático - YouTube. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 24 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=hnc8W8vbUoQ>.
- GLOOBO Paseos en Globo - Así se Hacen los Globos Aerostáticos - www.gloobo.es - YouTube. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 24 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=MvV84CmaHYQ>.
- Cómo se hace un globo aerostático - YouTube. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 24 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=sE7SKKWJk18>.
- EASA, [sin fecha]. Easy Access Rules for Hot Air BalloonsCS-31HB (Amendment 1). . S.I.:
- EUR-Lex - 32018R0395 - EN - EUR-Lex. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 20 febrero 2021]. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32018R0395>.
- BOE.es - Documento DOUE-L-2014-83699. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 20 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2014-83699>.
- Fabricantes de globos aerostáticos Reino Unido, EE. UU. Y Europa. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 18 febrero 2021]. Disponible en: <http://www.eballoon.org/directory/balloon-manufacturers.html>.
- Inicio - Lindstrand Balloons - Fabricante de globos aerostáticos. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 18 febrero 2021]. Disponible en: <http://www.lindstrand.com/>.
- Globo Fabricantes. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 18 febrero 2021]. Disponible en: [http://www.blastvalve.com/Balloon\\_Systems/Manufacturers/](http://www.blastvalve.com/Balloon_Systems/Manufacturers/).
- Schroeder Fireballoons – Heissluftballon made in Germany. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 18 febrero 2021]. Disponible en: <https://schroederballon.de/de/heissluftballon-start/>.
- proveedores globos aerostáticos compra presupuesto | Europages. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 18 febrero 2021]. Disponible en: [https://www.europages.es/empresas/globos\\_aerostaticos.html](https://www.europages.es/empresas/globos_aerostaticos.html).
- Globo aerostático - Todos los fabricantes de la aeronáutica - Vídeos. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 18 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.aeroexpo.online/es/fabricante-aeronautico/globo-aerostatico-16.html>.
- MANUAL DE VUELO para GLOBOS ULTRAMAGIC . [en línea], [sin fecha]. S.I.: [Consulta: 16 febrero 2021]. Disponible en: <http://www.ULTRAMAGIC.com>.

Vuelo en globo - Desarrollo histórico | Britannica. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 10 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.britannica.com/technology/balloon-flight/Historical-development>.

Historia de los Globos Aerostáticos | Promociones de Columbus Aeronauts Ohio. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 10 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.columbusaeronauts.com/history-of-ballooning/>.

¿Es peligroso volar en globo? [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 10 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.muyinteresante.es/salud/articulo/ies-peligroso-volar-en-globo>.

(PDF) El análisis de accidentes con globos aerostáticos mediante el análisis del factor humano y el sistema de clasificación. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 10 febrero 2021]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/336937365\\_The\\_Analysis\\_of\\_Hot-Air\\_Balloon\\_Accidents\\_by\\_Human\\_Factor\\_Analysis\\_and\\_Classification\\_System](https://www.researchgate.net/publication/336937365_The_Analysis_of_Hot-Air_Balloon_Accidents_by_Human_Factor_Analysis_and_Classification_System).

EL GLOBUS AEROSTÀTIC. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 10 febrero 2021]. Disponible en: <http://tecno-globusaerostatic.blogspot.com/>.

A History of Balloon Crashes. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 10 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.com/news/2013/2/130226-hot-air-balloon-crashes-egypt/>.

Historia de los globos aerostáticos - wikiwand. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 10 febrero 2021]. Disponible en: [https://www.wikiwand.com/en/History\\_of\\_ballooning](https://www.wikiwand.com/en/History_of_ballooning).

History of ballooning - Wikiwand. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 10 febrero 2021]. Disponible en: [https://www.wikiwand.com/en/History\\_of\\_ballooning#/20th\\_century](https://www.wikiwand.com/en/History_of_ballooning#/20th_century).

DIVERSOS, 2021. Historia de los globos. La aerostación, los orígenes de un sueño. *siempreenlasnubes.com* [en línea]. [Consulta: 2 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.siempreenlasnubes.com/volar-globo-faqs/volar-en-globo-historia/>.

DIVERSOS, 2021. HISTORIA DE LA AEROSTACIÓN - Gloobo. *gloobo.es* [en línea]. [Consulta: 2 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.gloobo.es/faqs/historia-de-la-aerostacion/>.

DIVERSOS, 2021. BALLOONING - Historia de los globos y aerostatos. *balloning.es* [en línea]. [Consulta: 2 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.ballooning.es/es/sobre-el-globo/historia.php>.



- DIVERSOS, 2021. La historia del globo aerostático - Camins de Vent, Vuelos en Globo. *caminsdevent.com* [en línea]. [Consulta: 2 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.caminsdevent.com/es/blog/2617-la-historia-del-globo-aerostatico.html>.
- DIVERSOS, 2021. El globo aerostático y la conquista de los cielos. *National Geographic* [en línea]. [Consulta: 2 febrero 2021]. Disponible en: [https://historia.nationalgeographic.com.es/a/globo-aerostatico-y-conquista-cielos\\_7848/3](https://historia.nationalgeographic.com.es/a/globo-aerostatico-y-conquista-cielos_7848/3).
- DIVERSOS, 2021. Globus aerostàtic - Viquipèdia, l'enciclopèdia lliure. *Viqui* [en línea]. [Consulta: 2 febrero 2021]. Disponible en: [https://ca.wikipedia.org/wiki/Globus\\_aerostàtic](https://ca.wikipedia.org/wiki/Globus_aerostàtic).
- DIVERSOS, 2021. Cronologia de l'aviació - Viquipèdia, l'enciclopèdia lliure. *Viquipèdia* [en línea]. [Consulta: 2 febrero 2021]. Disponible en: [https://ca.wikipedia.org/wiki/Cronologia\\_de\\_l%27aviació](https://ca.wikipedia.org/wiki/Cronologia_de_l%27aviació).
- DEL RIO, V., 2009. Història de l'aviació | Victordelrio's Blog. *Wordpress.com* [en línea]. [Consulta: 2 febrero 2021]. Disponible en: <https://aviacio.wordpress.com/historia-de-laviacio/>.
- VAIU, 2017. Pioneros de la aviación - Historia de la aviación - Hermanos Wright. *vaiu.es* [en línea]. [Consulta: 2 febrero 2021]. Disponible en: <https://vaiu.es/pioneros-de-la-aviacion-historia-de-la-aviacion-hermanos-wright/?cn-reloaded=1>.





