

## 8 REFERÊNCIAS

1. FIA, et al. Conteúdos. *GT-TOUR*. [Online] 2013. [Citação: 23 de 11 de 2013.] <http://www.gt-tour.fr/wp-content/uploads/Officiel-Code-Sportif-FIA-2013.pdf>.
2. FIA, et al. Conteúdos. *GT-TOUR*. [Online] 2013. [Citação: 23 de 11 de 2013.] <http://www.gt-tour.fr/wp-content/uploads/Officiel-Code-Sportif-FIA-2014.pdf>.
3. Volkswagen Motorsport. Volkswagen Motorsport. *Volkswagen Motorsport*. [Online] Volkswagen. [Citação: 9 de 10 de 2013.] <http://www.volkswagen-motorsport.com/index.php?id=2&L=1>.
4. Peugeot Sport. Peugeot Sport. *Peugeot Sport*. [Online] [Citação: 09 de 10 de 2013.] <http://www.peugeot-sport.com/en>.
5. Citroen Racing. Citroen Racing. *Citroen Racing*. [Online] ZONE ROUGE. [Citação: 09 de 10 de 2013.] <http://www.citroenracing.com/en/>.
6. X-Raid. X-Raid. *X-Raid*. [Online] [Citação: 09 de 10 de 2013.] <http://www.x-raid.de/en/start.html>.
7. Williams, M. Ford Confirms Running in 2014 Dakar Rally. *News.pickuptrucks*. [Online] 31 de Julho de 2013. [Citação: 09 de 10 de 2013.] <http://news.pickuptrucks.com/2013/07/ford-confirms-running-in-2014-dakar-rally.html>.
8. Overdrive Racing. Overdrive Racing. *Overdrive Racing*. [Online] KHS, 2014. [Citação: 01 de 02 de 2014.] <http://www.overdriveracing.be>.
9. Oliveira, C. DEpieres Competição. *DEpieres Competição*. [Online] [Citação: ... de ... de 2014.] <http://depieres.com>.
10. Jefferies Racing. Jefferies Racing. *Jefferies Racing*. [Online] FWD. [Citação: 01 de 02 de 2014.] <http://jefferiesracing.com>.
11. Jimco Race. Jimco Racing. *Jimco Racing*. [Online] Madmedia. [Citação: 09 de 10 de 2013.] <http://www.jimcorace.com>.
12. SPEED Energy Racing; Robby Gordon Motorsport. Robby Gordon. *Robby Gordon*. [Online] SPEED Energy Racing e Robby Gordon Motorsports, 2010. [Citação: 01 de 02 de 2014.] <http://www.robygordon.com>.
13. Brown, J. C.; Robertson, A. J; e Serpento, S. T. *Motor Vehicle Structures: Concepts and Fundamentals*. Oxford, Reino Unido : Butterworth-Heinemann, 2002.
14. Espolet, Marc. PETROL SMELL. *PETROL SMELL*. [Online] Antisnews, Fevereiro de 2010. [Citação: 03 de 09 de 2014.] <http://petrolsmell.com/wp-content/uploads/2010/02/Unimog-LadderFrame-Chassis.jpg>.

15. Dingley, A. *The Autocar Handbook: A Guide to the Motor Car*. Londres, Reino Unido : Iliffe & Sons, 1935.
16. Jacobson, C. SydSilverman Lister Jaguar. *British Race Car*. [Online] [Citação: 03 de 09 de 2014.] <http://www.britishracecar.com/SydSilverman-Lister-Jaguar/Lister-Jaguar-Twin-Tube-Frame.jpg>.
17. Melissen, W. Galeria. *Ultimate Car Page*. [Online] 1998. [Citação: 05 de 09 de 2014.] <http://www.ultimatecarpage.com/images/gallery/retromobile2008/11130.jpg>.
18. Ludvigsen, K. *Colin Chapman: Inside the Innovator*. Somerset, Reino Unido : Haynes Publishing, 2010.
19. Veloce Today. Veloce Today. *Veloce Today*. [Online] [Citação: 05 de 09 de 2014.] <http://www.velocetoday.com/wp-content/uploads/2013/08/cisi-chassis-570.jpg>.
20. Megson, T. H. G. *Aircraft Structures for Engineering Students*. Oxford, Reino Unido : Butterworth-Heinemann, 1999.
21. Aird, Forbes. *The Race Car Chassis HP 1540: Design, Structures and Materials for Road, Drag and Circle Track Open – and Closed – Wheel Chassis*. Nova Iorque, Estados Unidos : Penguin Publishing Group, 2008.
22. Luca, A. Chassis. *Project Street Liner*. [Online] [Citação: 05 de 09 de 2014.] <http://www.projectstreetliner.com/wp-content/uploads/2010/11/bulkheadsmonocoque.jpg>.
23. Nishimoto, A. Toyota Corolla First Look. *Motor Trend*. [Online] [Citação: 06 de 09 de 2014.] [http://image.motortrend.com/f/roadtests/sedans/1306\\_2014\\_toyota\\_corolla\\_first\\_look/47534627/2014-toyota-corolla-unibody.jpg](http://image.motortrend.com/f/roadtests/sedans/1306_2014_toyota_corolla_first_look/47534627/2014-toyota-corolla-unibody.jpg).
24. Fourtitude. Aluminium and Lightweight Design Center. *Fourtitude*. [Online] [Citação: 06 de 09 de 2014.] [http://www.fourtitude.com/gallery/generated//Corporate/Facilities/Aluminium%20and%20Lightweight%20Design%20Center/007\\_\\_scaled\\_600.jpg](http://www.fourtitude.com/gallery/generated//Corporate/Facilities/Aluminium%20and%20Lightweight%20Design%20Center/007__scaled_600.jpg).
25. Daryan. The Future of Cars a Review of Different Drivetrain Options. *Daryan Energy Blog*. [Online] 22 de Junho de 2013. [Citação: 05 de 09 de 2014.] <http://daryanenergyblog.files.wordpress.com/2013/06/lotus-evora-414e-hybrid-widescreen-02.jpg>.
26. AutoBlog. Peugeot 205 T16. *AutoBlog*. [Online] 1 de Janeiro de 2011. [Citação: 09 de 09 de 2014.] <http://www.autoblog.gr/wp-content/gallery/peugeot-205-t16/peugeot-205-t16-37.jpg>.
27. Avitas Motorsport. Avitas Motorsport. *Avitas Motorsport*. [Online] Avitas Motorsport. [Citação: 05 de 05 de 2014.] <http://www.avitasmotorsport.com/index.html>.

28. Avitas Motorsport. Doc. Control 2 General. *Avitas Motorsport*. [Online] Avitas Motorsport. [Citação: 01 de 01 de 2014.] [http://www.avitasmotorsport.com/docs/Control2\\_General.pdf](http://www.avitasmotorsport.com/docs/Control2_General.pdf).
29. Forum-Auto. Forum-Auto. *Forum-Auto*. [Online] [Citação: 10 de 09 de 2014.] <http://images.forum-auto.com/mesimages/413117/DSC05208.jpg>.
30. Photo Bucket. Ravell's Bucket. *Photo Bucket*. [Online] [Citação: 10 de 09 de 2014.] <http://smg.photobucket.com/user/Ravell/media/random/Dossierdepresse405T1611emeParisDak a.jpg.html>.
31. SMCARS. SMCARS. *SMCARS*. [Online] 19 de Junho de 2007. [Citação: 10 de 09 de 2014.] <http://www.smcars.net/attachments/zx-raid-cutaway-gif.61537>.
32. Jimco Racing. Jimco Rally Raid Car. *Jimco Racing*. [Online] [Citação: 10 de 09 de 2014.] <http://www.jimcorace.com/race-vehicles/jimco-rally-raid-car>.
33. Team-SMG. Dakar 2013 Preparation. *Team-SMG*. [Online] [Citação: 11 de 09 de 2014.] [http://www.team-smg.com/photos/IMG2433\\_gp1959429.html](http://www.team-smg.com/photos/IMG2433_gp1959429.html).
34. Team-SMG. Dakar 2013 Preparation. *Team-SMG*. [Online] [Citação: 11 de 09 de 2014.] [http://www.team-smg.com/photos/20121108163619\\_gp1959422.html](http://www.team-smg.com/photos/20121108163619_gp1959422.html).
35. *Dakar ao limite, uma equipa privada no mais longo rally*. Hackethal, Michael. Tecnologia de Competição e Negócios, Alemanha : Motorsport-guide, 2011, Vols. Fevereiro, Março e Abril.
36. Dakar. Competidores. *Dakar*. [Online] fcinq, 2013. [Citação: 11 de 09 de 2014.] <http://www.dakar.com/dakar/2014/us/rider/303.html>.
37. Preparação do Dakar 2013. *Team SMG*. [Online] Team SMG, 2012. [Citação: 11 de 09 de 2014.] [http://www.team-smg.com/photos/Dakar-2013-Preparation\\_ga97239.html](http://www.team-smg.com/photos/Dakar-2013-Preparation_ga97239.html).
38. PlanetRobby.com. 2015 Robby Gordon "Road To Dakar: Part 2" - NBC Sports Network. *Youtube*. [Online] PlanetRobby.com, 25 de 12 de 2014. [Citação: 25 de 12 de 2014.] <https://www.youtube.com/watch?v=y2agiCfzLlo>.
39. —. 2015 Robby Gordon "Road To Dakar: Part 1" - NBC Sports Network. *Youtube*. [Online] PlanetRobby.com, 18 de 12 de 2014. [Citação: 18 de 12 de 2014.] <https://www.youtube.com/watch?v=YQWiFVPBdU>.
40. Duhamel, Flavien. Cyril Despres. *Facebook*. [Online] Cyril Despres. [Citação: 01 de 12 de 2014.] [https://www.facebook.com/249628734044/photos/pb.249628734044.-2207520000.1420840392./10153432444009045/?type=3&src=https%3A%2F%2Fbcdn-sphotos-h-a.akamaihd.net%2Fphotos-ak-xpf1%2Fv%2Ft1.0-9%2F10425423\\_10153432444009045\\_6590147077410250173\\_n.jpg%3Foh%3Dbf](https://www.facebook.com/249628734044/photos/pb.249628734044.-2207520000.1420840392./10153432444009045/?type=3&src=https%3A%2F%2Fbcdn-sphotos-h-a.akamaihd.net%2Fphotos-ak-xpf1%2Fv%2Ft1.0-9%2F10425423_10153432444009045_6590147077410250173_n.jpg%3Foh%3Dbf).

41. Dugenetay, M. Novo Peugeot 2008 DKR, V6 340 cavalos e duas rodas motrizes. *Blog-moteur*. [Online] 06 de 07 de 2014. [Citação: 15 de 07 de 2014.] <http://www.blog-moteur.com/wp-content/uploads/2014/07/Peugeot-2008-DKR-2014-15.jpg>.
42. Feline208. Desporto. *Feline208*. [Online] 27 de 06 de 2014. [Citação: 15 de 07 de 2014.] <http://www.feline208.net/photos/sport/peugeot-2008-dakar/2014-07-premiers-essais/peugeot-dakar-2015-essais-1-024.jpg.html>.
43. Peugeot. Youtube. *Peugeot 2008 DKR / Unchained - Episode 1*. [Online] 19 de 11 de 2014. [Citação: 20 de 11 de 2014.] <https://www.youtube.com/watch?v=4eLxyvXwqn4>.
44. —. Youtube. *Peugeot 2008 DKR / Unchained - Episode 2*. [Online] 01 de 12 de 2014. [Citação: 02 de 12 de 2014.] <https://www.youtube.com/watch?v=99JnYLMTWkY>.
45. Teagles, D. Album 15 de Março 2008. *Flickr*. [Online] [Citação: 08 de Janeiro de 2014.] <https://www.flickr.com/photos/estoril/2336280684/>.
46. Guillaume, R. Album Week End Peugeot Sport. *Flickr*. [Online] [Citação: 07 de Janeiro de 2014.] <https://www.flickr.com/photos/dusson/10043292514>.
47. Pereira, C. Compósitos: Desde o Espaço ao Planeta Terra. *Fibrenamics*. [Online] S. D. [Citação: 13 de 09 de 2014.] [http://www.fibrenamics.com/uploads/document/file/77/2.Celeste\\_Pereira\\_Comp\\_sitos-desde\\_o\\_espa\\_o\\_aoplaneta\\_Terra.pdf](http://www.fibrenamics.com/uploads/document/file/77/2.Celeste_Pereira_Comp_sitos-desde_o_espa_o_aoplaneta_Terra.pdf).
48. Jefferies Racing. Truck Specs & Pricing. *Jefferies Racing*. [Online] [Citação: 01 de 02 de 2014.] <http://jefferiesracing.com>.
49. Kinetik. Components, Chassis. *Kinetiktrucks*. [Online] [Citação: 01 de 02 de 2014.] <http://www.kinetiktrucks.com/components.html>.
50. CP-autosport. Downloads. *CP-autosport*. [Online] [Citação: 02 de 02 de 2014.] [http://www.cp-autosport.com/en/downloads/CP\\_Flyer\\_Materials\\_2014\\_EN\\_email.pdf](http://www.cp-autosport.com/en/downloads/CP_Flyer_Materials_2014_EN_email.pdf).
51. *NASCAR Race Team Demands Quality Welds*. Uttrachi, Jerry. NASCAR relies on the integrity of welds for the race car's all-important roll cage , Miami, Florida, Estados Unidos da América : American Welding Society, 2003, Vol. 82.
52. Uttrachi, Gerald. *Advanced Automotive Welding*. North Branch, Minnesota, Estados Unidos : CarTech, Inc., 2012.
53. Key to Metal. Key to Metal. *Key to Metal*. [Online] [Citação: 05 de 02 de 2014.] <http://www.keytometals.com>.

54. Cruz, A. The hidden secrets of the Peugeot 2008 DKR. *Redbull*. [Online] 11 de 07 de 2014. [Citação: 11 de 07 de 2014.] <http://www.redbull.com/en/motorsports/offroad/stories/1331662889831/peugeot-2008-dkr-tech-specs-and-action-images>.
55. Jefferies racing. Forum. *Race-dezert*. [Online] 2010 de Julho de 22. [Citação: 15 de 09 de 2014.] <http://www.race-dezert.com/forum/attachments/new-car-4-jpg.93243/>.
56. Jimco. Jimco Racing Inc. *Facebook*. [Online] 2013 de Dezembro de 30. [Citação: 15 de 09 de 2014.] <https://www.facebook.com/113113462082837/photos/a.505935329467313.1073741829.113113462082837/505935772800602/?type=3&theater>.
57. Engineering, Camburg. CAMBURG Trophy Truck / 6100 chassis build - MADE in the USA - TIG Welding. *Youtube*. [Online] 18 de Março de 2013. [Citação: 15 de 09 de 2014.] <https://www.youtube.com/watch?v=B4WT9ove0CQ>.
58. Avdagiç, H. SuperCar Lites by OlsbergsMSE & Avitas Motorsport. *Youtube*. [Online] 30 de Junho de 2013. [Citação: 15 de 09 de 2015.] <https://www.youtube.com/watch?v=FBoiqktiA24>.
59. CP-autosport. Inside CP. *CP-autosport*. [Online] [Citação: 15 de 09 de 2014.] <http://www.cp-autosport.com/en/inside-cp/>.
60. *Best Practices for GTAW 4130 Chrome-Moly Tubing*. T. Bevis, A. Weyenberg. Here is a step-by-step approach for the successful joining of 4130, Miami, Florida : American Welding Society, Abril de 2010.
61. Department of the Army. *U.S. Army, Technical Manual*. s.l. : U.S. Army, 1970.
62. Miller. Selection and Preparation Guide for Tungsten Electrodes. *Millerwelds*. [Online] [Citação: 04 de 01 de 2014.] <http://www.millerwelds.com/resources/articles/tungsten-electrode-guide>.
63. ESAB. Processo de Soldagem - TIG (GTAW). *ESAB*. [Online] 19 de Maio de 2014. [Citação: 25 de 05 de 2014.] [http://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo\\_soldagem\\_tig\\_gtaw.cfm](http://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_tig_gtaw.cfm).
64. Kemppi. TIG processes. *Kemppi*. [Online] Kemppi, 2013. [Citação: 25 de 05 de 2014.] <http://www.kemppi.com/inet/kemppi/contman.nsf/0/7A4C48172DFA9A00C225718D002CA4A1?opendocument&level=40.40.0>.
65. Bracarense, A. Q.. Gas Metal Arc Welding. 2003.
66. Kemppi. General. *Kemppi*. [Online] Kemppi, 2013. [Citação: 25 de 05 de 2014.] <http://www.kemppi.com/inet/kemppi/contman.nsf/0/AE31CB47C68A8450C225718D0044885A?opendocument&level=30.9.0>.

67. TEMCo. Welder cable selection help. *Weldingcable*. [Online] [Citação: 15 de 09 de 2014.] [http://www.weldingcable.biz/welder\\_cable\\_selection.html](http://www.weldingcable.biz/welder_cable_selection.html).
68. SSAB. HARDOX 400. *SSAB*. [Online] 03 de Junho de 2014. [Citação: 10 de 06 de 2014.] [http://www.ssab.com/Global/HARDOX/Datasheets/en/151\\_HARDOX\\_400\\_UK\\_Data%20Sheet.pdf?epslanguage=en](http://www.ssab.com/Global/HARDOX/Datasheets/en/151_HARDOX_400_UK_Data%20Sheet.pdf?epslanguage=en).
69. Branco, C. M.; Fernandes, A. A.; e Tavares de Castro, P.. *Fadiga de Estruturas Soldadas*. Porto, Portugal : Fundação Calouste Gulbenkian, 1986.
70. Angelfire. Equipos de soldadura de metales y aleaciones:. *Angelfire*. [Online] Angelfire. [Citação: 05 de 01 de 2014.] <http://www.angelfire.com/retro/chapa/Equipos%20de%20soldadura.htm>.
71. Malen, D. E. *Fundamentals of Automobile Body Structure Design*. Warrendale : SAE International, 2011.
72. Milliken, W. F.; Milliken, D. L. *Race Car Vehicle Dynamics*. Warrendale : SAE, 1995.
73. Deakin, A.; Crolla, D.; Ramirez, J.; e Hanley, R. The Effect of Chassis Stiffness on Race Car Handling Balance. *SAE Technical Paper*. 2000.
74. Aklracing. Album Aklracing. *Photobucket*. [Online] S. D. [Citação: 16 de 09 de 2014.] <http://i805.photobucket.com/albums/yy338/aklracing/eng-tiprollangle.jpg>.
75. Piersol, A. G.; Paez, T. L. *Harris' Shock and Vibration Handbook*. New York : McGraw-Hill Education, 2009.
76. Automotiveplus. Project NB - Chassis Stiffness. *Automotiveplus*. [Online] 2012. [Citação: 06 de 01 de 2015.] <http://store.automotiveplus.com.au/blog/61415/project-nb—chassis-stiffness.html>.
77. Turbolimac. Album Turbolimac. *Photobucket*. [Online] [Citação: 06 de 01 de 2015.] <http://smg.photobucket.com/user/turbolimac/media/FEA1.jpg.html>.
78. Branco, C. M. *Mecânica dos Materiais*. Lisboa : Fundação Calouste Gulbenkian, 1998.
79. Morello, L.; Rossini, L. R.; Pia, G.; e Tonoli, A. *The Automotive Body*. London : Springer, 2011. Vol. Volume II: System Design (Mechanical Engineering Series).
80. Ulsab. Ulsab Final Report. *Autosteel*. [Online] [Citação: 02 de 05 de 2014.] [http://www.autosteel.org/~media/Files/Autosteel/Programs/ULSAB/ulsab\\_final\\_report.pdf](http://www.autosteel.org/~media/Files/Autosteel/Programs/ULSAB/ulsab_final_report.pdf).
81. Giaraffa, M. Tech Tip: Springs & Dampers. *OptimumG*. S. D., Vol. Part One The Phantom Knowledge, The series on Springs and Dampers covers how to select appropriate spring stiffness and damping rate for your car.

82. Giaraffa, M. Tech Tip: Springs & Dampers. *OptimumG*. S. D., Vol. Part Two Attack of the Units, The series on Springs and Dampers covers how to select appropriate spring stiffness and damping rate for your car.
83. Tebby, S.; Esmailzadeh, E.; e Barari, A.. Methods to Determine Torsion Stiffness in an Automotive Chassis. 2011.
84. Riley, W. B.; e George, A. R. Design, Analysis and Testing of a Formula SAE Car Chassis. *SAE Technical Paper*. 2002.
85. Boeraeve, P. *Introduction To The Finite Element Method (FEM)*. Liège : s.n., 2010.
86. Solidworks. Analysis Solvers. *SOLIDWORKS Help*. [Online] Dassault Systemes. [Citação: 28 de 05 de 2014.] [http://help.solidworks.com/2014/English/SolidWorks/cworks/c\\_Analysis\\_Solvers.htm](http://help.solidworks.com/2014/English/SolidWorks/cworks/c_Analysis_Solvers.htm).
87. Limwathanagura, T.; Sithananun, C.; Limchamroon, T.; e Singhanart, T. The Frame Analysis and Testing for Student Formula. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2012.
88. Jenney, C. L.; e O'Brien, A. *Welding Handbook*. Miami, Florida : American Welding Society, 2001. Vol. Volume 1: Welding Science and Technology.
89. Jhaveri, P.; G. Moffatt, W.; e Adams, Jr C. M. Effect of Plate Thickness and Heat Flow in Welding and Cutting. *Welding Journal*. 1962, Vol. 41.
90. Branco, C. M.; Fernandes, A. A.; e Tavares de Castro, P. *Fadiga de Estruturas Soldadas*. Lisboa : Fundação Calouste Gulbenkian, 1999.
91. Optimum G. OptimumKinematics. *car-engineer*. [Online] [Citação: 10 de 09 de 2015.] <http://www.car-engineer.com/wp-content/uploads/2012/07/OptimumKinematics6.jpeg?46ac1a>.
92. Yurioka, N. *Physical Metallurgy of Steel Weldability*. Chiba, Japão: ISIJ International, 2001. Vol. Volume 41: ISIJ International.
93. Ginzburg, V. B.; e Ballas, R. *Flat Rolling Fundamentals*. Estados Unidos da América : CRC Press, 2000.
94. Hicks, J. *Welded Design: Theory and Practice*. Cambridge, England : Abington Publishing, 2000.
95. Mathers, G. Hardness Testing Part 1. *Twi-global*. [Online] [Citação: 28 de 11 de 2014.] <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/hardness-testing-part-1-074/>.
96. 25crmo4. Catalogus. *25crmo4*. [Online] [Citação: 13 de 01 de 2014.] <http://www.15cdv6.com/catalogus.pdf>.
97. Dourado, M.; Meireles, J. F.; e Rocha, A. M. A. C. A Global Optimization Approach Applied to Structural Dynamic Updating. *CT2M, Calg*. 2014.
98. Mottershead, J. E.; e Friswell, M. I. Model updating in structural dynamics: A survey. 1993.

99. Maia, N.; e Montalvão e Silva, J. *Theoretical and Experimental Modal Analysis*. Hertfordshire, England : Research Studies Press Ltd , 1997.
100. Silva, H. *Determination of the material/geometry of the section most adequate for a static loaded beam subjected to a combination of bending and torsion*. Guimarães : s.n., 2011.
101. Dourado, M.; Meireles, J. F.; Brito, I.; Botelho, R., A Two-Stage Structural Modification-Updating Technique Using Multi-Objective Function Optimization. 2014.
102. Wong, J. Y. *Theory of ground vehicles*. United States of America : John Wiley & Sons, Inc, 2001.
103. Manuwa, S. I. Evaluation of Soil/Material Interface Friction and Adhesion of Akure Sandy Clay Loam Soils in Southwestern Nigeria. *Advances in Natural Science*. 2012, Vol. 5.
104. Matos, N. 27<sup>a</sup> Baja Portalegre 2013 - Prólogo Onboard - Nuno Matos, Filipe Serra, Opel Mokka Proto. *Youtube*. [Online] 11 de Novembro de 2013. [Citação: 05 de 03 de 2014.] <https://www.youtube.com/watch?v=pVRn8P7L-L0>.
105. The Engineering Toolbox. Liquids - Densities. *The Engineering Toolbox*. [Online] The Engineering Toolbox. [Citação: 17 de 03 de 2014.] [http://www.engineeringtoolbox.com/liquids-densities-d\\_743.html](http://www.engineeringtoolbox.com/liquids-densities-d_743.html).
106. Sofres, T. N.; e EOS Gallup Europe. *Special Eurobarometer 246 / Wave 64.3 – TNS Opinion & Social*. s.l. : European Comission, 2006.
107. J. Wardenier, J.; Kurobane, Y.; Packer, J. A.; van der Vegte, G. J; e Zhao, X.-L. *Design Guide for Circular Hollow Section (CHS) Joints Under Predominantly Static Loading*. Holanda : Comité International pour le Développement et l'Étude de la Construction Tubulaire., 2008.
108. Mostreal. 4.188 BEAM188 3-D Linear Finite Strain Beam. *Mostreal*. [Online] [Citação: 03 de 01 de 2014.] [http://mostreal.sk/html/elem\\_55/chapter4/ES4-188.htm](http://mostreal.sk/html/elem_55/chapter4/ES4-188.htm).
109. G. Aggen, Cols. *ASM Handbook*. s.l. : ASM International, 1990. Vols. Volume 1, Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys Section.
110. Utvguide. Kawasaki Teryx Long Travel Kits. *Utvguide*. [Online] [Citação: 14 de 03 de 2015.] [http://www.utvguide.net/teryx\\_long\\_travel\\_kits.htm](http://www.utvguide.net/teryx_long_travel_kits.htm).
111. Wilkinson, K. Tungsten Electrode Types. *Trade-equip*. [Online] 11 de Março de 2011. [Citação: 04 de 01 de 2014.] <http://www.trade-equip.co.uk/blog/?p=26>.
112. Modenesi, P. J. *Fontes de Energia para a Soldagem a Arco* . Minas Gerais : s.n., 2009.
113. Freelisthub. Best Suggestions for "Welding Consumable - Advani Oerlikon". *Freelisthub*. [Online] [Citação: 15 de 09 de 2014.] <http://www.freelisthub.com/14018/welding-consumable-advani-oerlikon.html>.



114. Trick-tools. Pipe Notching Module for Grit GX75 Grinder. *Trick-tools*. [Online] [Citação: 26 de 02 de 2015.] [http://www.trick-tools.com/Grit\\_Pipe\\_Notching\\_Module\\_GXR\\_3895](http://www.trick-tools.com/Grit_Pipe_Notching_Module_GXR_3895).
115. Michon, G. P. Ellipse. *Numericana*. [Online] Numericana. [Citação: 20 de 06 de 2014.] <http://www.numericana.com/answer/ellipse.htm>.
116. Mitcalc. Welded Connections. *Mitcalc*. [Online] Mitcalc. [Citação: 19 de 12 de 2014.] <http://www.mitcalc.com/doc/welding/help/en/welding.htm>.
117. Budynas, R. G.; e Nisbett, J. K. *Shigley's Mechanical Engineering Design*. New York : McGraw-Hill, 2011.



## **ANEXO I**

**Relatório 24 horas TT Vila de Fronteira**



**Resumo.** A DEpieres Desportos Motorizados™ quer desenvolver um chassis de um veículo de Todo-o-Terreno de duas rodas motrizes traseiras, sendo este um projeto pioneiro em Portugal. A empresa teve como objetivo a construção de um protótipo e consequente teste do mesmo. Este documento é uma compilação de informações relativas à construção deste chassis, de duas rodas motrizes da DEpieres Desportos Motorizados™, e à sua participação na 16ª edição das 24 horas de Todo-o-Terreno Vila de Fronteira 2013, o teste. É fundamental situar os estados de tecnologia e de fabrico desta empresa para perceber os métodos de conceção de projeto e de fabrico, e as dificuldades inerentes. A competição de resistência foi um fator fulcral para testar o novo projeto e obter resultados marcantes quanto à fiabilidade mecânica e estrutural. Esta atitude, tomada pela DEpieres Desportos Motorizados™, conduz a estágios de evolução do projeto até se obter um produto final competitivo.

## 1 Introdução

Atualmente, a tecnologia envolvida no Campeonato Nacional de Todo-o-Terreno (TT) ainda apresenta um desenvolvimento precário. No entanto, há empresas, como a DEpieres Desportos Motorizados™, com interesse manifesto no desenvolvimento e criação de novos projetos. Foi com este intuito que se criou o primeiro chassis de duas rodas motrizes para o Campeonato Nacional TT. Este projeto representa um veículo ágil, leve, barato e de mecânica simplificada, beneficiando de um regulamento com restrições mais atenuantes [1] [2] que permite maior espaço para se poder explorar.

As 24 horas TT de Vila Fronteira é uma corrida que não conta para o campeonato nacional, mas atrai pessoas de França e da Península Ibérica. Para além do convívio, muitas equipas utilizam esta prova para testar novos componentes e/ou conceitos, de que é exemplo a DEpieres Desportos Motorizados™. Esta competição retrata o espectro de tecnologia envolvida nos veículos de TT a nível internacional, principalmente os veículos do campeonato de resistência francês. Estes veículos têm os seus próprios regulamentos para o campeonato de resistência, donde surgem protótipos arrojados. O mesmo país é responsável pela Federação Internacional Automóvel (FIA) e pela maratona de TT, mais famosa do mundo - o Dakar.

Este documento constitui um repertório da sequência de fabrico do chassis, dos eventos ocorridos na competição e da tecnologia existente.

## 2 Chassis

O chassis da viatura de duas rodas motrizes da DEpieres Desportos Motorizados™ é uma estrutura espacial com elementos estruturais tubulares de aço 25CrMo4 [3] e, é projetado sob as normas de segurança da FIA [1] [2]. A estrutura pode ser subdividida em 3 partes: a secção frontal, o cockpit (habitáculo) e a secção traseira. A secção frontal é composta pelo sistema de suspensão frontal trapezoidal e a secção traseira pelo sistema de suspensão traseiro e baía do motor.

## 2.1 Construção

Vários imprevistos logísticos e intervalos de construção deste chassis foram responsáveis pela definição cronológica incorreta de dois anos de construção do chassis. Um dos principais pontos críticos remete para a falta de informação que define o sequenciamento de fabrico das ligações estruturais. Este facto é enfatizado pelo uso de materiais estruturais pré fabricados e modificados, como a secção frontal do veículo e todos os braços de suspensão dessa mesma secção, o que conduz ao acréscimo de mais incógnitas. Os elementos pré-fabricados são importados dos Estados Unidos da América levando a supor que o aço e as soldaduras inerentes nunca têm as propriedades mecânicas semelhantes ao aço estudado [3].

A secção frontal importada (imagens esquerda e inferior da Figura 1) é composta pelos braços do sistema de suspensão triangular trapezoidal e o respetivo apoio dos braços. As imagens da Figura 1 e a imagem superior da Figura 2 mostram a adaptação da secção frontal importada ao chassis criado pela DEpieres Desportos Motorizados™. Este suporte, dos apoios dos braços da suspensão, é o elo de transmissão de esforços de comportamento em curva às longarinas do habitáculo (visíveis na imagem inferior da Figura 1 e na imagem superior da Figura 1 e na imagem superior da Figura 2) e à estrutura de apoio superior aos amortecedores ou torre da suspensão (imagens superiores da Figura 1). Como é visível na imagem supracitada da Figura 1, a torre da suspensão frontal aparenta estar grosseiramente dimensionada, com inúmeras ligações estruturais, talvez devido à responsabilidade de receção e transmissão dos elevados esforços verticais do veículo ao habitáculo.

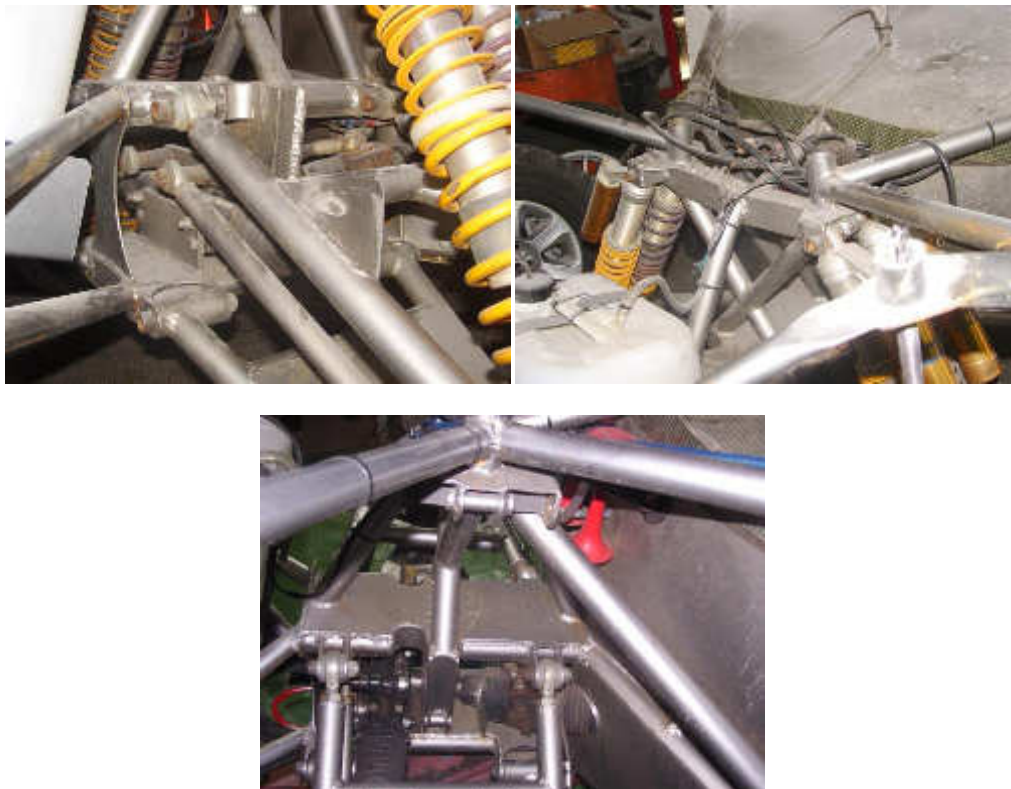


Figura 1 – Secção frontal do chassis composta pelo suporte dos apoios dos braços da suspensão e pela torre das suspensões



Figura 2 – Braços triangulares da suspensão frontal

O Sistema de suspensão frontal é definido por dois pares de braços triangulares importados de um fornecedor, encurtados e reforçados como pode ser observado na Figura 2. O reforço é concretizado através do recurso a barras tubulares perpendiculares à direção das barras dos braços superiores e inferiores, como é visível nas imagens superiores da Figura

previamente mencionada. As barras de reforço dos braços superiores são ligadas aos braços com uma triangulação dimensionada de acordo com as normas de construção de chassis da FIA (artigo 2.8.14 de [2]). Enquanto que nos braços inferiores, as barras perpendiculares adicionadas são acompanhadas por dois pares de chapas em aço soldadas entre elas. Os apoios dos amortecedores nos braços inferiores foram eliminados e construídos de raiz pela DEpieres Desportos Motorizados™. Estes novos apoios foram construídos muito próximos dos cubos das rodas permitindo diminuir a altura da torre das suspensões, promovendo, também, um baixo centróide da geometria frontal sem comprometer o desempenho da suspensão. Os apoios dos rolamentos oscilantes dos braços da suspensão responsáveis pelo suporte dos cubos das rodas foram também substituídos por novos apoios construídos na empresa. Esta modificação serve para acomodar os novos cubos no sistema importado e modificado da suspensão frontal e permitir maior jogo do ângulo de *camber* causado pela aproximação dos apoios inferiores dos amortecedores aos cubos das rodas.

O habitáculo foi construído de acordo com os requisitos determinados pela legislação vigente para veículos da categoria T1 Cross-Country da FIA [1] e [2].

Os braços da suspensão traseira e os respectivos apoios, exibidos na Figura 3, fazem parte do certame de peças importadas e não foram alvo de qualquer modificação.



Figura 3 – Secção traseira despida

O uso de um motor diferente e uma caixa de velocidades mais comprida obrigou o construtor a emendar a baía do motor, tendo resultado no prolongamento das longarinas traseiras e no corte do tubo estrutural, visível na imagem da direita da Figura 3. O cárter da caixa de velocidades é usado como elemento estrutural, onde apenas um par de apoios da mesma é excluído desta função através do uso de um perfil tubular como suporte central exibido na imagem do lado direito da Figura 3. O presente estado do chassis é caracterizado pelo preenchimento do tubo seccionado na baía do motor através da soldadura de um perfil de secção semi-circunferencial e pela substituição da barra de suporte central da caixa de velocidades por um bloco de alumínio maquinado, responsável pela união do conjunto motor e transmissão. A quarta imagem da Figura 19 confirma o perfil emendado (posicionado no lado direito da imagem). Por sua vez, a Figura 4 mostra o bloco de alumínio (no centro) e as ligações diretas dos apoios da transmissão ao chassis.



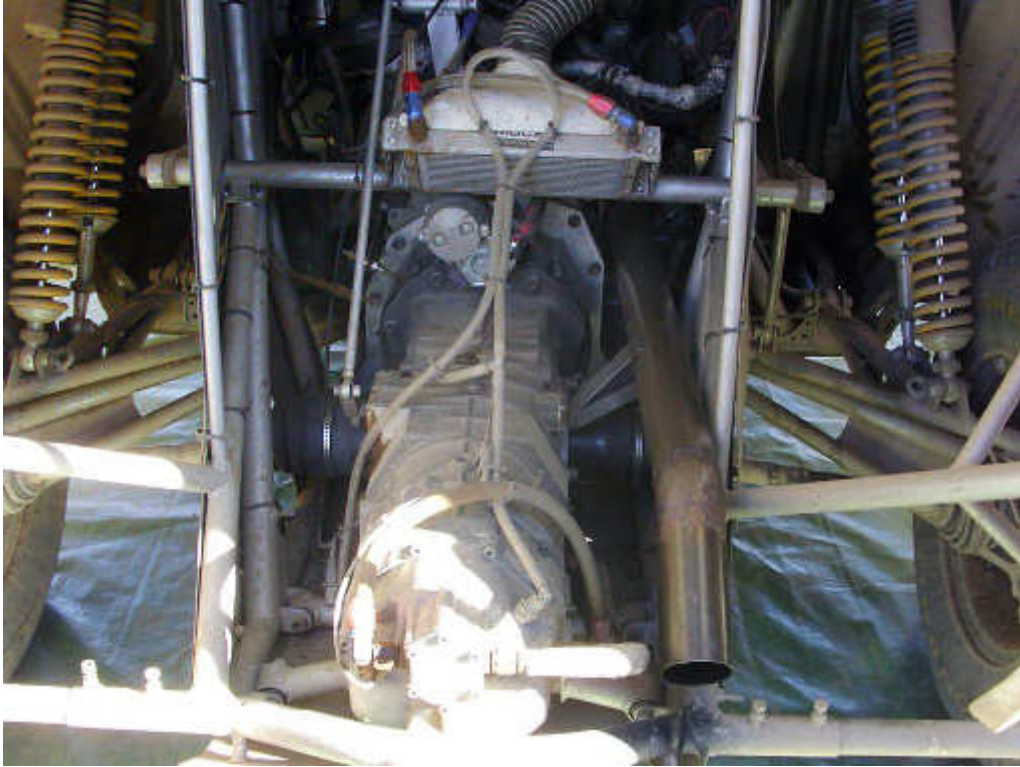


Figura 4 – Baía do motor atualizada

O chassis alberga um novo motor de dimensões mais reduzidas e uma nova caixa sequencial de seis velocidades. A empresa admite que esta tenha um aspeto mais robusto. O cárter da antiga caixa de velocidades rasgou após alguns quilómetros de teste. De acordo com a empresa, o rasgo encontrava-se na parte lateral do cárter sem aparente influência da concentração de tensões provenientes das furações roscadas e dos acidentes geométricos. Concluíram de forma empírica que o cárter tinha um defeito, provavelmente com origem no seu processo de fabrico, e que a falha do componente se deu em condições normais de funcionamento da transmissão. Todos os esforços no sistema de suspensão traseiro em qualquer ação executada pelo veículo, em curva, são transmitidos diretamente à secção traseira responsável pela sanidade estrutural da baía do motor. Ou seja, grande parte da flexão e torção existente na estrutura global do chassis causam deformação na baía do motor, colocando o cárter da transmissão sob solicitações para o qual não foi dimensionado.

## 2.2 Organização de componentes

Como referido, o chassis pode ser subdividido em três partes distintas que para além de refletirem a organização estrutural também denunciam a organização dos seus componentes.

A secção frontal é demarcada pelo imenso espaço livre de acesso aos componentes e a grande quantidade de suportes de fibras com perfil estrutural, como é visível na Figura 6. Nesta zona encontra-se o sistema de direção do veículo e o reservatório da água para os vidros e apresenta muito espaço de acesso para executar manutenção dos componentes.



Figura 6 – Secção frontal danificada após o acidente durante as 24 horas de Fronteira 2013

O habitáculo contém todos os elementos de segurança (*roll cage*, *baquets*, dois arneses de 5 pontos e um extintor), de condução e o depósito de combustível. As *baquets* têm como base de encaixe o depósito de combustível fabricado e homologado por uma empresa certificada. A posição do depósito é justificada pela promoção de um baixo centro de gravidade, obrigando a uma elevada posição das *baquets* dos pilotos. De acordo com o regulamento da FIA [artigo tal ANEXO], esta escolha limita a altura mínima do tejadilho do habitáculo para proteção dos pilotos. A barra horizontal, localizada atrás do guiador, é responsável pela integridade do habitáculo e suporte dos motores das escovas do vidro, parte do sistema de direção e do painel de controlo. Por sua vez, a barra horizontal colocada atrás das *baquets* dos pilotos, parcialmente visível na Figura 7, tem a principal função de segurar os arneses dos pilotos e conferir rigidez à estrutura. Na mesma Figura são visíveis várias extrusões não estruturais que apenas servem para acomodar e fixar as fibras estéticas do veículo.



Figura 7 – Habitáculo despido

A parte traseira do veículo acomoda todos os restantes componentes mecânicos responsáveis pela potência e refrigeração, assim como dois pneus suplentes colocados entre a parede do habitáculo e o motor. A Figura 8 mostra a disposição dos elementos típicos de um veículo com motor central de duas rodas motrizes e o limitado acesso aos componentes e suspensões. Esta disposição foi escolhida para conceber o máximo de tração possível às rodas motrizes ao colocar a maior parte do peso total entre o eixo traseiro e o centro do veículo. A entrada de ar que oxigena o motor também contribui para o arrefecimento do mesmo ao partilhar o espaço com os radiadores de óleo e de água. Este *layout* permite usar as bombas e tubagens originais, responsáveis pelo movimento dos fluidos, porque não requer uma potência acrescida para mover os fluidos de arrefecimento num circuito curto como o que está presente no veículo. A secção traseira é marcada pelo elevado número de perfis estruturais, onde grande parte dos mesmos segura as fibras e os componentes de refrigeração. Estes não aparentam ter a massa suficiente para possuir uma estrutura de suporte tão elaborada.



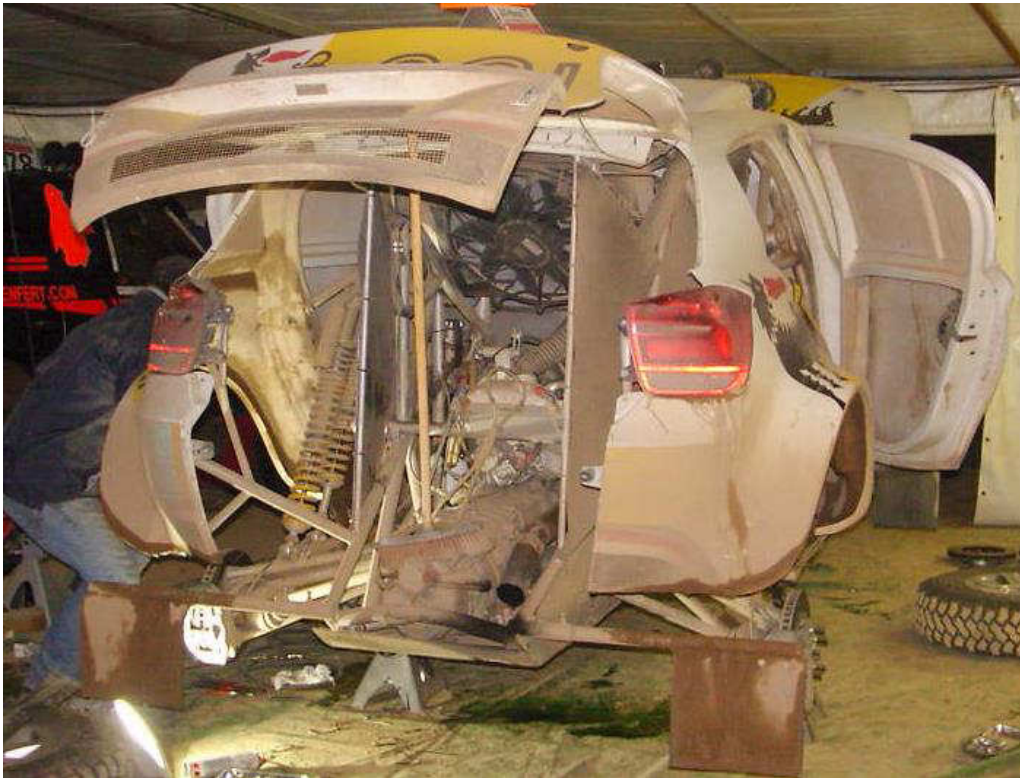


Figura 8 – Secção traseira

### 2.3 Elementos da suspensão

O veículo possui sistemas de suspensão independente em cada roda, ou seja, nenhuma roda partilha ou limita o deslocamento de outra.

### 2.3.1 Amortecedores

As imagens disponibilizadas neste documento mostram a existência de dois amortecedores com depósito iguais mas com diferentes configurações de molas em cada roda. A afinação deste sistema é realizada com informação fornecida pelos pilotos do veículo. A equipa declarou que usa o método de tentativa e erro para atingir a afinação desejada. Os amortecedores usam uma ou duas pequenas molas responsáveis pela pré-carga, enquanto a mola de maior dimensão é a que realiza a maior parte do trabalho. As molas principais distinguem-se por terem rigidez constante ou progressiva.

### 2.3.2 Sistema

O sistema de suspensão usado no veículo é totalmente independente. Assim, cada roda tem deslocamento isolado da estrutura e de outras rodas, adaptando-se mais facilmente aos diferentes desníveis do terreno. O chassis serve de barra estabilizadora e a geometria frontal carece de uma barra de torção.

A geometria da suspensão frontal é de duplo triângulo [4] com o tipo de direção *Pro-Ackerman* [5]. A geometria *Ackerman* confere a possibilidade das rodas frontais descreverem raios diferentes durante qualquer curva variando com o *input* dado pelo condutor. Este género de sistema de direção pode ser criado através da escolha da geometria do trapézio responsável pela rotação dos pneus (imagem superior da Figura 9) ou pela configuração do ângulo de toe (imagem inferior da Figura 9).

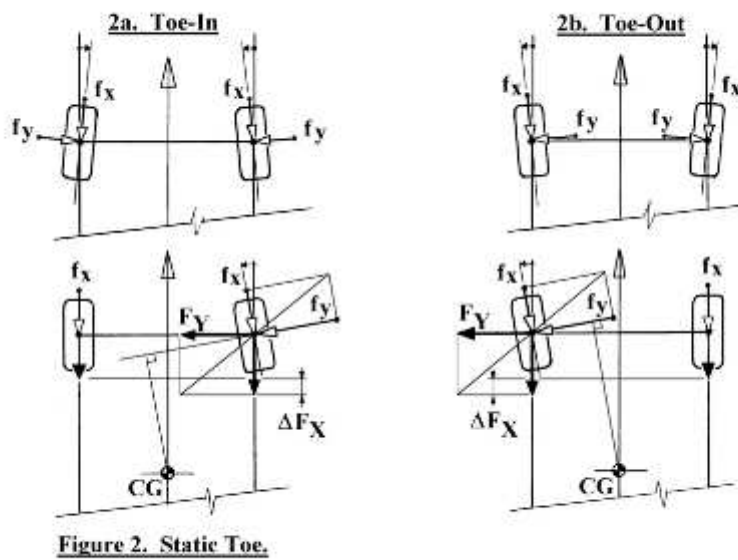
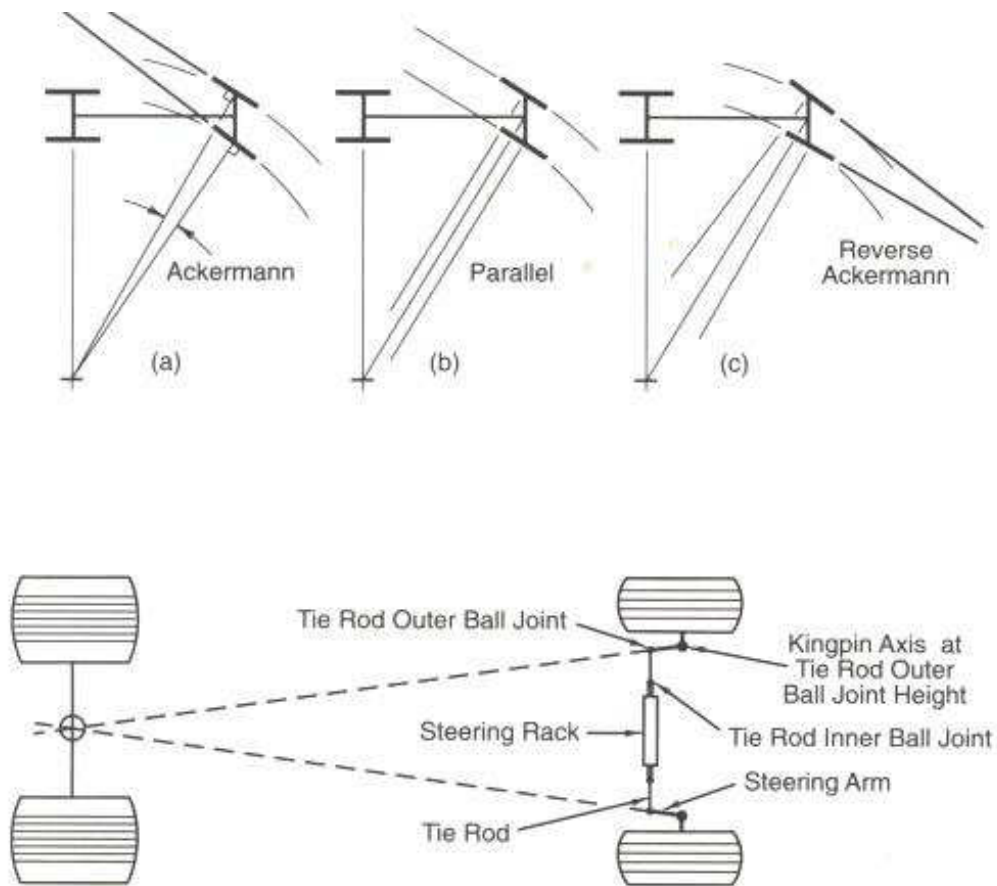


Figura 9 – Representação do sistema de direção Ackerman [5] e [6]

O triângulo superior deste conjunto é mais curto do que o triângulo inferior, criando assim a promoção de *camber* negativo durante o amortecimento e a tendência para o *camber*

positivo durante os descarregamentos (Figura 10). Como a parede do pneu é o elemento mais fraco sob solicitações laterais, o ângulo de *camber* usa uma percentagem da rigidez do pneu causada pela pressão para compensar. Consegue-se, também, decompor vectorialmente parte da solicitação lateral para que atue no sentido de maior resistência da parede do pneu. O sistema de duplo triângulo efetua o amortecimento no plano frontal do veículo e maximiza o uso dos amortecedores com a sua propriedade geométrica. Este sistema consegue separar a interação dos ângulos de inclinação, *pitch*, e de rolamento, *roll* (Figura 13).

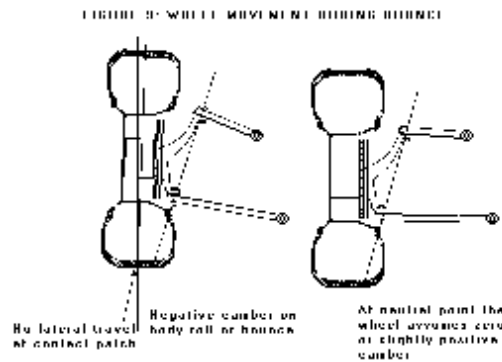


Figura 10 – Representação esquemática da suspensão frontal [7]

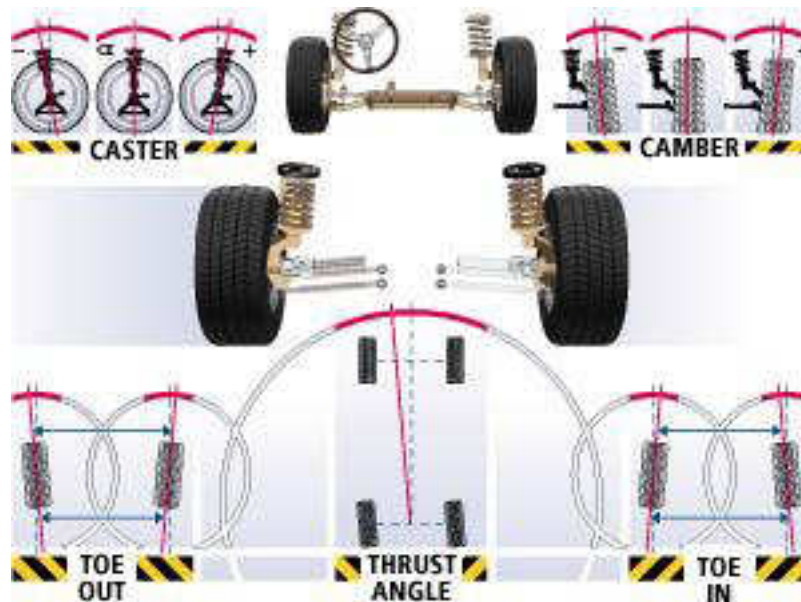


Figura 11 – Ângulos de possível configuração na roda [8]

A geometria da suspensão traseira é a de braço de arrasto [4] como é visível na Figura 12. A empresa assegurou que este tipo de geometria garante o contacto constante das rodas com o chão e transmite valiosa informação ao condutor sobre a dinâmica do veículo. Nesta configuração geométrica, o plano de amortecimento é feito no plano lateral do veículo, o que contribui para que todas as forças longitudinais e verticais sejam transmitidas diretamente ao habitáculo. Qualquer ação do veículo tem grande influência no ângulo *pitch* do veículo. Mesmo durante o rolamento do veículo, *roll*, a transferência de massas entre as duas rodas causa amortecimento no plano lateral do veículo promovendo o *pitch*. A Figura 14 é o exemplo prático deste comportamento.





Figura 12 – Braço de arrasto do veículo da DEpieres Desportos Motorizados™

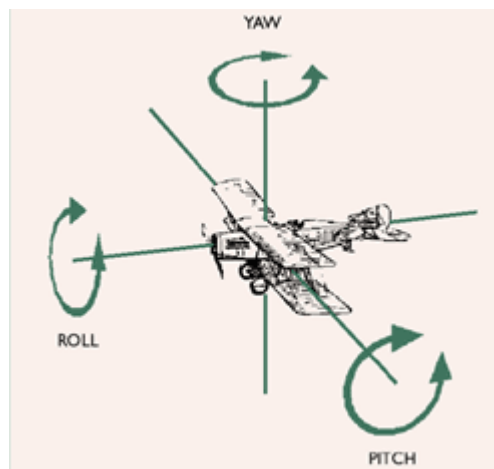


Figura 13 – Representação de eixos de rolamento do veículo, comuns à aeronáutica [9]





Figura 14 – Comportamento em curva do veículo sob aceleração

A Figura 14 representa o carro a curvar rapidamente, durante a fase de qualificações, com o afinamento das suspensões desejado pelos pilotos, para a competição. Este veículo tem cerca de 243cv's de potência, no entanto encontra-se a curvar com as rodas dianteiras no ar. A potência do motor não é suficiente para erguer a frente do veículo, especialmente num terreno com um coeficiente de atrito tão baixo (geralmente cerca de 0,4). Este efeito é conseguido devido ao sistema de braço de arrasto na traseira do veículo [4] que, aliado à grande transferência de massa, que ocorre no eixo traseiro, com a potência do motor, produz efeito no ângulo de *pitch*. A desinstalação da barra única de torção, que se encontra na traseira, foi uma das opções que a equipa tomou durante a corrida. Pois, o terreno tornou-se bastante irregular e a barra de torção começou a limitar o deslocamento vertical das suspensões nas zonas mais críticas.

### 3 16ª edição das 24 horas TT Vila de Fronteira

A corrida 24 horas TT Vila de Fronteira é uma corrida de resistência de carros de TT. Esta prova não conta para o calendário do campeonato nacional de TT e é marcada pela enorme adesão dos protótipos franceses, pela estreia de novas soluções de engenharia e pelo excelente convívio entre as equipas.

A DEpieres Desportos Motorizados™ usou aquela prova como teste do veículo em análise, que é um novo conceito para a equipa assim como para o Campeonato Nacional de TT.

Categorias admitidas (artigo 4 de [10]):

- i. Grupo T1 (Viaturas TT Modificadas);
- ii. Grupo T2 (Viaturas TT de Série);
- iii. Grupo T3 (Viaturas TT Melhoradas);
- iv. Promoção A (Viaturas com chassis conforme o catálogo do fabricante, viaturas ex troféu UMM e viaturas ex troféu Jimny);
- v. Promoção B (Viaturas não TT);
- vi. Promoção C (Viaturas de acordo com as especificações técnicas da FIA de 1997, viaturas ex troféu Tomas Mello Breyner e viaturas ex troféu Terrano II);
- vii. Promoção D (Viaturas dos grupos A, N e P);
- viii. Promoção E (Viaturas não abrangidas por nenhuma das categorias de promoção e viaturas com especificações técnicas do Campeonato de Endurance Francês);

As viaturas dos grupos são subdivididas pela quantidade de rodas motrizes e cilindrada do motor, onde os veículos com turbo têm um fator de conversão da sua cilindrada de 1,5 (artigo 4.5 de [10]).

As viaturas que apresentavam elevado ritmo pertenciam à categoria de promoção E, por serem do Campeonato de Endurance Francês e tinham menores restrições do que o regulamento da FIA [1]. Isto permite aos construtores criarem veículos muito leves, funcionais e muito práticos para a assistência mecânica. Grande parte destes veículos demarcavam-se pela simplicidade estrutural e excelente organização espacial dos componentes para obterem bom comportamento dinâmico do veículo. O carro vencedor e bater do recorde da pista pertence a este grupo e representa a *BP Ultimate Vodafone Team* e está presente na Figura 15. Todos os veículos possuíam dois géneros de suspensões traseiras, triângulos duplos ou braços de arrasto, e um só género de suspensão frontal, triângulos duplos. As propriedades destes dois diferentes sistemas de suspensão independente já foram discutidas neste documento. No entanto, os triângulos duplos traseiros conseguem descrever raios mais aproximados dos raios descritos pelos semieixos traseiros. Contudo, esta geometria apresenta grande variação de ângulo de *camber* enquanto que os braços de arrasto quase conservam as propriedades estáticas do mesmo ângulo durante o curso do amortecedor mas a distância entre eixos varia.



Figura 15 – Vencedor da 16ª edição das 24 horas de TT de Vila de Fronteira

Outra característica fundamental dos tipos de suspensão centra-se na quantidade e variedade de amortecedores e de diferentes molas por roda de cada veículo. Os amortecedores mais observados nesta competição são os *coilovers* (Figura 16), que têm molas de comprimento regulável e um reservatório externo que mantém as propriedades dinâmicas do amortecedor ao longo do tempo. Como o amortecedor absorve a energia e liberta-a sob a

forma de calor, o reservatório permite drenar o fluido de amortecimento, que se encontra aquecido e expandido, de forma a promover o normal funcionamento do amortecedor. A pressão interna do reservatório é regulável para limitar a ação de serviço do mesmo. Há também amortecedores *coilover* que podem ter adaptados um reservatório externo cada, fazendo desta solução a mais barata encontrada na competição.



Figura 16 – Amortecedor com reservatório

Os amortecedores de *Bypass* externo (Figura 17) são os mais caros e menos usados pelas equipas. Estes amortecedores têm um conjunto de ligações e válvulas, cujo número varia com o fabricante e modelo usado. Por sua vez, estas ligações permitem que o fluido do amortecimento saia do cilindro do amortecedor e seja regulado por válvulas durante o deslocamento do pistão, fazendo retorno ao amortecedor. Este amortecedor não depende de molas, pois as suas válvulas permitem calibrar todo o seu desempenho. As válvulas permitem, também, uma rápida afinação ao contrário dos *coilovers*.





Figura 17 – Amortecedor de *bypass* externo

Todos os carros da Promoção E usavam a disposição central do motor tendo, ou não, tração às quatro rodas motrizes e o depósito dentro do habitáculo. Os veículos da categoria T1 tinham tração às quatro rodas motrizes, uma disposição frontal (quase central) do motor e o

depósito estava dissociado do habitáculo, tornando o veículo da DEpieres Desportos Motorizados™ num conceito único a nível nacional.

### **3.1 Verificações Técnicas**

As verificações técnicas de todos os veículos basearam-se na análise das soldaduras da *roll cage*, instalação do sensor e identificador eletrónico do veículo, para se executar uma cronometragem correta, e verificação do equipamento básico de segurança (extintores, arneses, fatos dos pilotos e respetivos capacetes). Os veículos da categoria T2 eram os únicos a sofrer uma inspeção mais atenta.

### **3.2 Avarias e problemas em Fronteira**

Não existiram testes para preparar o carro para a competição, nem para gerir a fiabilidade dos componentes mecânicos e estruturais. Um dos problemas sentidos pelos pilotos relaciona-se com a incapacidade de retorno da direção à sua posição inicial, o que comprometeu o desempenho total da equipa, apesar do veículo apresentar um bom e consistente ritmo.

A assistência ao veículo foi dificultada pela disposição das fibras exteriores e por alguns plásticos que protegiam o espaço mecânico. Os mecânicos mostraram grande dificuldade ao substituir o filtro do ar, possivelmente devido aos obstáculos estruturais ou simplesmente não estavam habituados à atual localização do mesmo. A carroçaria em fibra permitiu bom acesso à zona das suspensões que foram alvo de constante atenção durante a afinação do veículo.

A estrutura tubular obstruída pelos plásticos e chapa metálica de proteção do motor e da caixa de velocidades, dificultou o posicionamento do macaco no veículo. Não existia qualquer informação nas fibras que demonstrasse os pontos possíveis de levantamento do veículo, causando grandes problemas de gestão de tempo e possibilitando algum dano mecânico. Ou seja, para além da equipa ter de procurar um ponto viável de apoio do macaco, esta defrontava-se com o levantamento da traseira a ser realizado no cárter da caixa de velocidades. A chapa que protege a caixa tem uma grande área plana mas como não é um componente estrutural, deforma-se totalmente, transmitindo os esforços ao componente mecânico. Por sua vez, a parte frontal do veículo contava com uma grande área estrutural de aplicação do macaco hidráulico.

Durante as sessões de treinos e qualificações foi possível fazer ajustes no comportamento dinâmico do carro através de uma afinação constante. Foi nesta altura que alguns pilotos tiveram a oportunidade de experimentar o veículo, em primeira mão, e adaptar ao seu estilo de condução. Durante a afinação, uma das tomadas de decisão recaiu sobre o aumento do ângulo de *caster*. Este efeito foi conseguido através do ajustamento do comprimento dos braços nos apoios ao chassis, que obrigava a um avanço dos cubos das rodas em relação à posição inicial e a um reajuste dos ângulos de *toe* de cada roda frontal. Este desalinhamento intencional criou tensão nos apoios dos braços ao chassis e nos respetivos casquilhos, deformando-os mesmo sem ter qualquer peso do veículo associado. Isto causou limitação no jogo dos braços devido ao elevado atrito entre os casquilhos e os apoios de metal, como é possível verificar na Figura 18. A bomba hidráulica da direção teve problemas de

funcionamento, pois o sistema tinha ar e dificultava o uso da direção, tendo sido corrigidos através do sangramento da mesma.



Figura 18 – Flexão observada num dos apoios dos braços triangulares superiores da suspensão frontal

O arranque na corrida cria um momento de grande tensão na equipa toda, devido ao tráfego intenso e aos possíveis toques entre os veículos. Infelizmente o veículo de duas rodas motrizes da DEpieres Desportos Motorizados™ envolveu-se num choque em cadeia antes de ter completado a primeira volta da competição. Após análise do vídeo e da informação relatada pelo piloto, determinou-se que o carro embateu com o lado direito da frente e foi atingido duas vezes no mesmo lado, na traseira, por veículos de maior massa (veículos de quatro rodas motrizes de categoria Cross Country T1). Os impactos deram-se a uma velocidade considerável numa zona com muita fraca visibilidade que fez com que não houvesse tempo de reação para os pilotos abrandarem os veículos. A Figura 19 mostra o resultado do embate.











Figura 19 – Resultado do acidente após o arranque da grelha de partida

Aparentemente, a zona frontal não parece tão afetada como a zona da traseira (Figura 19). Pela penúltima imagem da mesma Figura, é possível visualizar a extensão dos danos provocados pelos dois impactos traseiros. A caixa de velocidades recebeu a maior percentagem da energia transmitida e para além do cárter da mesma não ter sido desenhado para este tipo de solicitações, este manteve a qualidade do funcionamento da transmissão. A



elevada rigidez do cárter da caixa de velocidades transmitiu os esforços diretamente aos apoios que a ligam ao chassis, deformando-o e rasgando o seu primeiro apoio do lado esquerdo, na zona típica de maior concentração de tensões (referência às três últimas imagens da Figura 19). A penúltima imagem da Figura 19 revela uma certa recuperação elástica do chassis, pois o tubo que segura as palas da lama acompanha a compactação do chassis, deformando-se por embater na roda. O estado atual revela um afastamento considerável deste tubo da roda traseira, sugerindo uma parcial recuperação elástica do chassis. Os únicos danos mecânicos presentes neste acidente centram-se no desalinhamento da direção, no sector de mudanças devido ao avanço da caixa da sua posição original e na bomba do circuito de refrigeração da caixa de velocidades. Todos estes problemas foram resolvidos no local, como é possível confirmar com a Figura 20, permitindo o carro voltar ao circuito e lutar por posições. Esta Figura mostra a recuperação da forma geométrica da traseira do chassis para se poder aceder e reparar a bomba de lubrificação e refrigeração. A recuperação é feita pelo corte do tubo em duas zonas, possibilitando a deformação dos tubos à mão, e pela soldadura dos pedaços seccionados.

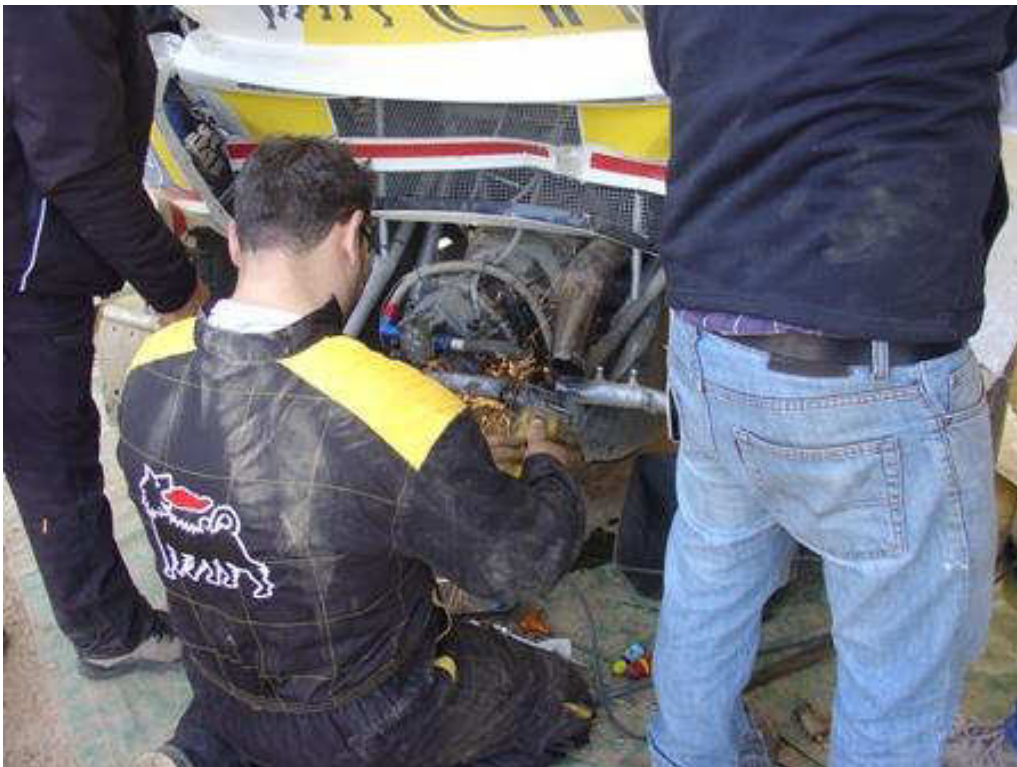




Figura 20 – Reparação da traseira para permitir o acesso à bomba de lubrificação da caixa de velocidades

As solicitações dinâmicas, provenientes da interação do veículo com a pista, fizeram progredir a fenda existente no primeiro apoio do lado direito levando ao colapso total do mesmo. Com isto, o mesmo tipo de fenda surge no primeiro apoio do lado direito da caixa de velocidades. A fenda ocorre nos furos que são as zonas de maior concentração de tensões existentes no apoio. Aparentemente este tipo de fenda deve-se à sobrecarga dos esforços, acelerando o processo de falha do componente por fadiga.

Durante a noite o piloto tem a sensação de massa solta na traseira do veículo e regressa às boxes. Os primeiros apoios da caixa de velocidades encontram-se totalmente fraturados e os segundos apoios apresentam uma pequena fenda na zona mais próxima da furação e do pé do cordão de soldadura do apoio. Assim, os mecânicos procedem ao adição de material nos apoios, visível na Figura 21. O material e as fendas são ligados e cobertos com elemento ligante da soldadura MIG executada em condições bastante adversas, como temperaturas negativas e aparente elevada humidade relativa do ar.



Figura 21 – Adição de material realizada durante a assistência do veículo em Fronteira

A equipa, como precaução, decidiu adicionar uma cinta para ajudar na fixação da caixa de velocidades.

A roda da frente do lado esquerdo encontra-se dissociada do sistema de direção devido ao rompimento de alguns elementos que ligam os tirantes à cremalheira da direção.



Após as seis horas da manhã o piloto notou problemas no sistema de direção, relatando que a direção começou a ficar pesada tornando a condução difícil. Este efeito foi progredindo ao longo do resto da prova até o piloto parar por não ter direção. O carro foi rebocado e entregue nas boxes onde apresentou danos extensos na parte frontal. A Figura 22 mostra o rompimento em pés de cordões de soldadura e de tubos.





Figura 22 – Dano da secção frontal visível durante a competição

### 3.3 Extensão de danos

Após a competição, o veículo retornou à oficina onde foi despido e os danos foram inspecionados. Durante a competição foi impossível verificar a extensão do dano, na sua plenitude, provocado pela corrida devido à existência de proteções e sujidade (lama e alguns fluidos). Durante este estudo, todos os pontos de falha do chassis apresentavam vestígios de corrosão tendo, em alguns casos, elevada quantidade.

A secção frontal encontra-se completamente dissociada do habitáculo como é visível nas imagens da Figura 23.

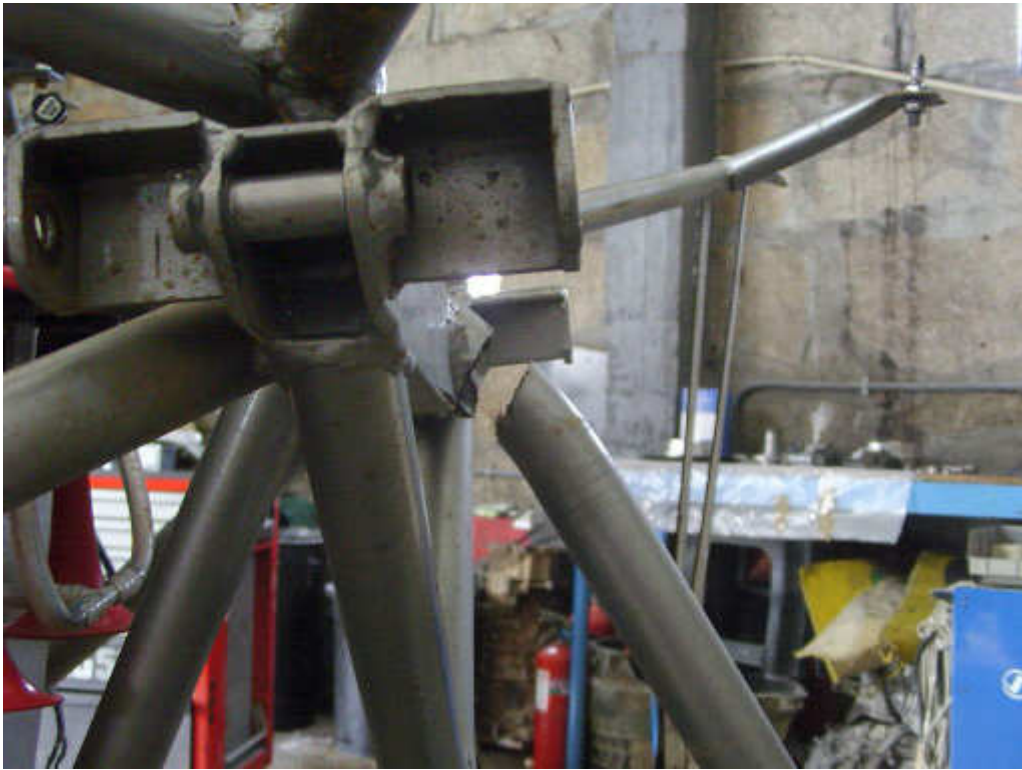






Figura 23 – Dano total da secção frontal

Ainda não há dados suficientes para identificar a causa desta falha total dos componentes estruturais da frente. A Figura 24 tenta mostrar uma linha cronológica da progressão dos danos ao longo do tempo da prova. O veículo tinha efetuado as sessões de treinos e qualificação completas, sofrendo apenas afinação das suspensões, especialmente as da frente onde a equipa não tinha detetado qualquer anomalia estrutural. Em termos

estruturais o veículo foi para a grelha de partida com o chassis aparentemente intacto. O dano só foi detetado pela equipa após a desistência do veículo. As fotos relativas às assistências do veículo revelam uma possível progressão dos danos. Após o acidente, a primeira assistência não revela danos estruturais aparentes em toda a geometria frontal (primeira imagem da Figura 24). A última assistência, *priori* à desistência, mostra o desprendimento da chapa de proteção do habitáculo da longarina inferior esquerda e uma possível fratura da longarina inferior direita (terceira e quarta imagem da Figura 24, respetivamente).









Figura 24 – Cronologia da evolução da falha da secção frontal

A traseira apresenta danos extensos provenientes da absorção do impacto. Existe um grande empeno nas longarinas traseiras que causa um desalinhamento dos componentes mecânicos, assim como a presença de fendas nos apoios dos mesmos (Figura 25).

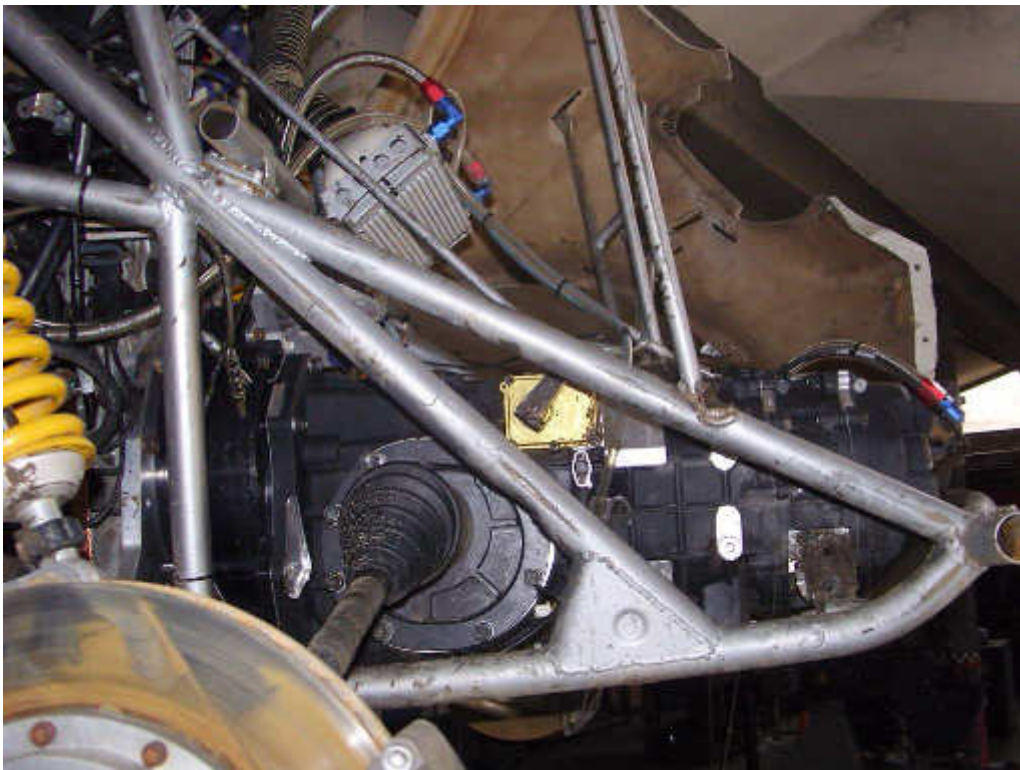


Figura 25 – Dano geral da secção traseira



A Figura 26 mostra o desalinhamento da secção em estudo, o rompimento dos apoios da caixa de velocidades e de um apoio do motor modificado e a deformação dos apoios fabricados para o bloco de alumínio, responsável pela união do sistema de transmissão.





Figura 26 – Conjunto de imagens relativas aos apoios dos componentes de transmissão de potência

O perfil com maior diâmetro encontra-se no centro da Figura 27, e é o elemento que faz a ligação das longarinas traseiras ao chassis e possui todos os suportes dos braços traseiros. A grande deformação plástica ao longo do comprimento deste elemento é justificada pelo uso de um material de menor rigidez do habitual aço de alta resistência usado no fabrico deste

chassis. A empresa DEpieres Desportos Motorizados™ declara que este elemento, de grande relevo no desempenho estrutural, é composto por um aço ao carbono.



Figura 27 – Barra deformada responsável pela ligação dos elementos de transmissão e de suspensão traseira ao chassis

O habitáculo é a secção do chassis com maior coesão aparente, contudo a tampa da cobertura traseira do depósito não se encontra totalmente fixa (Figura 28). Isto mostra que houve transmissão de esforços do impacto desde as longarinas até ao habitáculo. As pesagens do veículo, efetuadas posteriormente à competição de Vila de Fronteira para obtenção do Centro de Gravidade do veículo, sugerem um empeno geral do chassis devido à diferença de 40 kg de cada roda em cada eixo





Figura 28 – Tampa solta do depósito de combustível



### 3.4 Defeitos de Construção

Durante a inspeção de danos, executada ao chassis, foram encontrados alguns defeitos provenientes da construção e dos métodos de fabrico das ligações soldadas.

Algumas peças apresentavam cavidades devido ao excesso de penetração da solda. Estas surgem num reforço estrutural (artigo 8.2.14 [2]), devido à baixa espessura da chapa (elemento de aço com 1 mm) que o constitui, e em alguns pontos de união de barras estruturais. Foram também descobertas uniões soldadas com o alimentador consumido parcialmente. Na primeira imagem da Figura 29 é possível verificar que é inexistente o fabrico de gargantas para a deposição da solda e há sobreposição de elemento ligante. Pela maior parte das ligações observadas encontram-se poros no cordão, assim como grandes variações de volume de elemento ligante (referente à última imagem da Figura 29). Isto conduz a uma elevada concentração de tensões na secção da solda por não uniformidade da distribuição de tensões. Todas as ligações permanentes do chassis fabricadas pela DEpieres Desportos Motorizados™ não são afagadas no pé do cordão.





Figura 29 – Conjunto de imagens dos defeitos mais comuns encontrados nas ligações permanentes

Este veículo foi construído sem auxílio de um gabarito, o que limita a precisão dimensional de todo o projeto, especialmente das ligações permanentes. A Figura 30 identifica alguns pontos de incongruências geométricas compensadas por um adicionamento excessivo de elemento ligante. A imprecisão dimensional apresenta um grande papel na secção frontal por limitar o deslocamento rotativo dos braços nos casquilhos.



Figura 30 – Alguns exemplos do desalinhamento de barras estruturais

A pintura do chassis funciona como camada protetora dos elementos estruturais contra as condições climáticas e ações físicas exteriores (detritos lançados contra a estrutura) a que este foi submetido. O tradicional jato de pintura foi o método usado neste processo de fabrico e que condicionou o chassis. Este método não distribui uma camada de igual espessura por todos os elementos e não atinge todos os pontos necessários. Em destaque encontram-se todos os defeitos de soldadura e a base do chassis com pontos de concentração de oxidação. Os defeitos das ligações devem-se às suas geometrias particulares. A base do chassis sofreu com detritos lançados pelo próprio veículo e com a maior quantidade de agressões ambientais (ambiente húmido e as duas travessias por uma ribeira).

## **4 Conclusão**

A prova de 24 horas TT de Vila Fronteira mostrou ser exigente tanto para toda a equipa como para o veículo. Funciona como um excelente teste de resistência dos componentes mecânicos e estruturais, onde as condições adversas a que os veículos são submetidos reduzem em grande escala o tempo de vida dos mesmos.

A secção dianteira é a maior falha estrutural do chassis. De acordo com a evolução cronológica das fotos apresentada neste documento, grande percentagem da energia do acidente foi dispersada pelos apoios das fibras. Há a possibilidade do pneu do lado direito da frente ter sido atingido durante o acidente, criando um momento na ligação do suporte dos apoios dos triângulos às longarinas do veículo. A causa também pode ter origem em possíveis concentrações de tensões e pontos de oxidação existentes nas ligações soldadas das longarinas inferiores, provenientes dos defeitos registados. Esta teoria é suportada pela rotura total destes elementos estruturais se dividir entre as roturas dos pés dos cordões da soldadura e dos tubos. Contudo, a falha dos restantes elementos de ligação da secção dianteira advém de uma sobrecarga cíclica dos esforços. Uma outra variável fundamental ao problema é o suporte dos apoios dos triângulos que possui diferentes propriedades mecânicas.

A secção traseira apenas mostra o impacto sofrido e como este foi transmitido aos restantes componentes. O uso de um material diferente, mais fraco para o suporte dos apoios dos braços de arrasto traseiro, teve um papel preponderante na transmissão de esforços. Este elemento estrutural faz a conexão da baía do motor e dos braços traseiros da suspensão ao resto do chassis. Ou seja, a deformação deste elemento foi considerável e obrigou a que restantes membros estruturais desempenhassem a sua função. O uso dos elementos mecânicos como elementos estruturais não foi benéfico, porque os esforços foram-lhes diretamente transmitidos e obrigaram a acompanhar a deformação estrutural da baía do motor. Isto causou fendas nos apoios dos elementos mecânicos que progrediram sob a influência das solicitações cíclicas provenientes de um funcionamento corrente do veículo.

A descolagem da tampa protetora do depósito do combustível sugere uma deformação do habitáculo. As pesagens realizadas ao veículo para se obter a distribuição de massa por cada roda, apresentam resultados incongruentes. Esta incongruência é suportada pelo empeno geral do chassis, significando que a célula estrutural de segurança se encontra deformada plasticamente.



O conjunto total das falhas estruturais necessita de um estudo aprofundado para se obter uma melhoria global do projeto. Este estudo engloba uma análise de falhas dos nós de ligação do chassis através de uma comparação dos resultados obtidos em representações de elementos finitos (FEM) com os resultados reais observados. O estudo envolve também a caracterização de uma curva S-N de fadiga das ligações soldadas e o desenho de um novo chassis com menos acidentes geométricos e sobreposição de material, mantendo o mesmo *layout* funcional do chassis atual.

Os defeitos são maioritariamente encontrados nas ligações estruturais que multiplicam as probabilidades de falha de toda a estrutura. A ligação estrutural é o elemento mais resistente de todo o conjunto. Alguns defeitos encontrados devem-se ao processo de fabrico da estrutura. Isto envolve a manobrabilidade do operador durante o processo de soldadura, as condições ambientais, o material usado, a tolerância geométrica e a proteção da estrutura contra a ação corrosiva. É necessária a conceção de um projeto claro e conciso que promova a minimização dos defeitos através da avaliação do próprio processo de fabrico durante a construção da nova estrutura e que apresente um correto dimensionamento das ligações soldadas.

## 5 Referências

- [1] FIA Sport / Technical Department, Specific regulations for Modified Cross-Country Cars (Group T1), FIA.com. Disponível em: <http://www.fia.com/sites/default/files/regulation/file/285%20%282014%29x.pdf>. Acesso em: 19/12/2013
- [2] FIA Sport / Technical Department, Safety Equipment for Cross Country Vehicles, FIA.com. Disponível em: <http://www.fia.com/sites/default/files/regulation/file/283%20%282014%29x.pdf>. Acesso em: 19/12/2013
- [3] Botelho, R., Análise de um Chassis Tubular – Integradora VIII, [S.N.], 2013. Artigo Científico.
- [4] Ferreira, Hélder C., Desenvolvimento e estudo dinâmico de uma viatura para troféu, [S.N.], 2011. Tese de Bacharelato/Mestrado.
- [5] Milliken, William F., Milliken, Douglas L, Race car Vehicle Dynamics, SAE Internacional, Inc., 1995.
- [6] Disponível em: <http://s36.photobucket.com/user/Triaged/media/Misc/TOEFIG02.gif.html>. Acesso em: 21/12/2013
- [7] Disponível em: <http://alcor.concordia.ca/~istih/fig-9.gif>. Acesso em: 21/12/2013
- [8] Disponível em: <http://www.butnercarservice.com/assets/Files/Images/Content/Services/alignment.jpg>. Acesso em: 21/12/2013

[9] Disponível em: <http://www.3dgameprogramming.net/wp-content/uploads/2007/07/yawpitchroll.gif>. Acesso em: 21/12/2013

[10] FPAK e ACP Motorsport, Regulamento, 24horastt.com. Disponível em: [http://www.24horastt.com/Handlers/fileHandler.ashx?path=%2fResourcesUser%2fDocumentos%2f2013%2fRegulamentos%2fREG\\_24\\_H\\_TT\\_2013\\_PT.pdf&menuid=20](http://www.24horastt.com/Handlers/fileHandler.ashx?path=%2fResourcesUser%2fDocumentos%2f2013%2fRegulamentos%2fREG_24_H_TT_2013_PT.pdf&menuid=20). Acesso em: 21/12/2013

## **6 Nota de Responsabilidade**

Ricardo Joaquim Araújo Botelho



## ANEXO II

ARTIGO 283 – 2014 DA FIA





## Article 283 – 2014

### Equipements de Sécurité des Véhicules Tout-Terrain

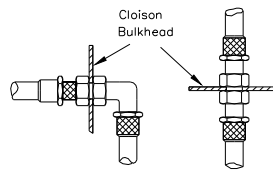
### Safety Equipment for Cross Country Vehicles

Article modifié - Modified Article	Date d'application - Date of application	Date de publication - Date of publication

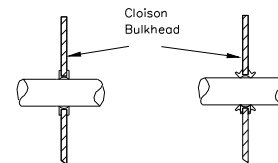
<p><b>ART. 1</b></p> <p>Un véhicule dont la construction semblerait présenter des dangers peut être exclu par les Commissaires Sportifs de la compétition.</p>	<p>A vehicle, the construction of which is deemed to be dangerous, may be excluded by the Stewards of the competition.</p>
<p><b>ART. 2</b></p> <p>Si un dispositif est facultatif, il doit être monté de façon conforme aux règlements.</p>	<p>If a device is optional, it must be fitted in a way that complies with regulations.</p>
<p><b>ART. 3</b></p> <p><b>CANALISATIONS, POMPES DE CARBURANT ET CABLES ELECTRIQUES</b></p>	<p><b>LINES, FUEL PUMPS AND ELECTRIC CABLES</b></p>
<p><b>3.1</b></p> <p><b>Tous groupes</b></p> <p>Les canalisations doivent être protégées à l'extérieur contre tout risque de détérioration (pierres, corrosion, bris mécanique, etc.).</p> <p><u>Coupe automatique du carburant :</u> Il est conseillé que toutes les canalisations d'alimentation en carburant allant au moteur et en revenant soient munies de vannes de coupe automatiques, situées directement sur le réservoir de carburant, et fermant automatiquement toutes les canalisations de carburant sous pression si une de ces canalisations du système de carburant est rompue ou fuit. Les canalisations d'évent doivent également être équipées d'une soupape anti-tonneau activée par gravité. Toutes les pompes à carburant ne doivent fonctionner que lorsque le moteur tourne ou durant la mise en route.</p>	<p><b>All groups</b></p> <p>The lines must be protected externally against any risk of deterioration (stones, corrosion, mechanical breakage, etc.).</p> <p><u>Automatic fuel-flow cut-off:</u> It is recommended that all fuel feed pipes going to the engine and return pipes from the engine be provided with automatic cut-off valves located directly on the fuel tank which automatically close all the fuel lines under pressure if one of these lines in the fuel system is fractured or leaks.</p> <p>The vent lines must also be fitted with a gravity activated roll-over valve. All the fuel pumps must only operate when the engine is running, or during the starting process.</p>
<p><b>3.2</b></p> <p><b>Groupe T2</b></p> <p>Les montages de série peuvent être conservés. Les canalisations d'essence doivent être changées pour des canalisations de type aviation si un réservoir FT3 1999, FT3.5 ou FT5 est utilisé, le parcours de ces canalisations étant libre. S'ils sont modifiés, ils doivent être conformes aux paragraphes et articles ci-dessous les concernant. Des protections supplémentaires sont autorisées à l'intérieur contre tout risque d'incendie ou de projection de fluides.</p>	<p><b>Group T2</b></p> <p>Series production fittings may be retained. Fuel lines must be changed for aviation-type fuel lines if an FT3 1999, FT3.5 or FT5 tank is used, the route of these lines being free.</p> <p>If they are modified, they must comply with the paragraphs and articles concerning them below. Additional protections are authorised on the inside against risks of fire or of the projection of fluids.</p>
<p><b>3.3</b></p> <p><b>Groupes T1, T3 et T4</b></p> <p>Les montages doivent être fabriqués conformément aux spécifications ci-dessous :</p>	<p><b>Groups T1, T3 and T4</b></p> <p>The fittings must be manufactured according to the specifications below :</p>
<p><b>3.3.1</b></p> <p>Les canalisations de carburant (sauf les connexions aux injecteurs et le radiateur de refroidissement sur le circuit de retour au réservoir) doivent avoir une pression d'éclatement minimum de 70 bar (1000 psi) à la température opératoire minimum de 135°C (250°F). Les canalisations d'huile de lubrification doivent avoir une pression d'éclatement minimum de 70 bar (1000 psi) à la température opératoire minimum de 232°C (450°F). Si elles sont flexibles, ces canalisations doivent avoir des raccords vissés et une tresse extérieure résistant à l'abrasion et à la flamme (n'entretient pas la combustion). Dans le cas des canalisations d'essence, les parties métalliques qui seraient isolées de la coque de la voiture par des pièces/parties non-conductrices, doivent lui être électriquement reliées.</p>	<p>Fuel lines (except the connections to the injectors and the cooling radiator on the circuit returning to the tank) must have a minimum burst pressure of 70 bar (1000 psi) at the minimum operating temperature of 135°C (250°F).</p> <p>Lubricating oil lines must have a minimum burst pressure of 70 bar (1000 psi) at the minimum operating temperature of 232°C (450°F). When flexible, these lines must have threaded connectors and an outer braid resistant to abrasion and flame (do not sustain combustion). In the case of fuel lines, the metal parts which are isolated from the shell of the car by non-conducting parts must be connected to it electrically.</p>

- 3.3.2 Les canalisations contenant du fluide hydraulique sous pression doivent avoir une pression d'éclatement minimum de 280 bar (4000 psi) à la température opératoire minimum de 232°C (450°F).  
Si la pression de fonctionnement d'un système hydraulique est supérieure à 140 bar (2000 psi), la pression d'éclatement doit lui être au moins deux fois supérieure.  
Si elles sont flexibles, ces canalisations doivent avoir des raccords vissés et une tresse extérieure résistant à l'abrasion et à la flamme (n'entretient pas la combustion).
- 3.3.3 Les canalisations d'eau de refroidissement ou d'huile de lubrification doivent être extérieures à l'habitacle. Les canalisations de carburant et de fluide hydraulique peuvent passer par l'habitacle ou la cabine, mais sans présenter de raccords ou connexions, sauf sur les parois avant et arrière selon les Dessins 253-59 et 253-60 et sur le circuit de freinage (sauf T4).  
A l'exception des maîtres-cylindres de frein et de leurs réservoirs de liquide, toute réserve de fluide hydraulique est interdite dans l'habitacle.  
Les réservoirs de liquide de frein doivent être fixés solidement et recouverts d'une protection étanche aux liquides et aux flammes.
- 3.3.4 Les pompes et robinets de carburant doivent être extérieures à l'habitacle.
- 3.3.5 Seules les entrées, sorties et canalisations destinées à la ventilation de l'habitacle sont autorisées dans l'habitacle.
- 3.3.6 Des connexions rapides auto-obturantes peuvent être installées sur toutes les canalisations, sauf sur celles de freinage.

- Lines containing hydraulic fluid under pressure must have a minimum burst pressure of 280 bar (4000 psi) at the minimum operating temperature of 232°C (450°F).  
If the operating pressure of the hydraulic system is greater than 140 bar (2000 psi), the burst pressure must be at least double the operating pressure.  
When flexible, these lines must have threaded connectors and an outer braid resistant to abrasion and flame (do not sustain combustion).
- Lines containing cooling water and lubricating oil must be outside the cockpit.  
Lines containing fuel or hydraulic fluid may pass through the cockpit or the cab but without any connections except on the front and rear bulkheads in accordance with the Drawings 253-59 and 253-60, and on the braking circuit (except T4).  
With the exception of the brake master cylinders and their fluid tanks, any tank for hydraulic fluid is forbidden in the cockpit.  
The brake fluid tanks must be securely fastened and be protected by a liquid- and flame-proof covering.
- Fuel pumps and taps must be outside the cockpit.
- Only the intakes, exits and lines for air for ventilating the cockpit are allowed inside the cockpit.
- Self-sealing fast connectors may be installed on all the lines excepting the brake lines.



253-59



253-60

**ART. 4 SECURITE DE FREINAGE**

Double circuit commandé par la même pédale : l'action de la pédale doit s'exercer normalement sur toutes les roues ; en cas de fuite en un point quelconque de la canalisation ou d'une défaillance quelconque de la transmission de freinage, l'action de la pédale doit continuer à s'exercer au moins sur deux roues.  
Une commande à main de frein de stationnement agissant sur les freins d'un même essieu et mécaniquement indépendante de la commande principale doit équiper le véhicule (hydraulique ou mécanique).

**BRAKING SAFETY SYSTEM**

Double circuit operated by the same pedal:  
The pedal must normally control all the wheels ; in the event of a leakage at any point of the brake system pipes or of any kind of failure in the brake transmission system, the pedal must still control at least two wheels.  
The vehicle must be fitted with a handbrake system acting on the brakes of one and the same axle and mechanically independent of the main system (hydraulic or mechanical).

**ART. 5 FIXATIONS SUPPLEMENTAIRES**

Au moins deux attaches de sécurité supplémentaires doivent être installées pour chacun des capots.  
Cette disposition concerne également les hayons mais non les portes.  
Les verrouillages d'origine doivent être rendus inopérants ou supprimés.  
Ces attaches doivent être obligatoirement du type "américaines", une baïonnette traversant le capot et celui-ci étant bloqué par une goupille attachée à ce capot.  
Des renforts métalliques empêchant tout risque d'arrachement doivent être prévus en cas d'éléments plastiques.  
Les objets importants transportés à bord du véhicule (tels que roue de secours, trousse à outils, etc.) doivent être solidement fixés.

**ADDITIONAL FASTENERS**

At least two additional fasteners must be fitted for each of the bonnet and boot lids.  
This measure also applies to tailgates, but not to doors.  
The original locking mechanisms must be rendered inoperative or removed.  
These fasteners must be "American fasteners", a bayonet passing through the lid, and the latter being locked by a pin also attached to the lid.  
If plastic parts are used, metal reinforcements must be provided for, to prevent wrenching.  
Large objects carried on board the vehicle (such as the spare wheel, tool kit, etc.) must be firmly fixed.

**ART. 6 CEINTURES DE SECURITE**

**6.1 Harnais**

L'utilisation de harnais conformes à la norme FIA 8853/98 est obligatoire.  
Deux coupe ceintures doivent être en permanence à bord. Ils doivent être facilement accessibles par le pilote et le co-

**SAFETY BELTS**

**Belts**

The use safety belts in compliance with 8853/98 FIA standard is compulsory.  
Two belt cutters must be carried on board at all times. They must be easily accessible for the driver and co-driver

pilote installés dans leurs sièges avec leurs harnais bouclés. De plus, il est recommandé que pour les compétitions comprenant des parcours sur route ouverte les systèmes d'ouverture se fassent par bouton poussoir. Les ASN peuvent homologuer des points d'attache situés sur l'armature de sécurité lors de l'homologation de celle-ci, à condition qu'ils soient testés.

## 6.2 Installation

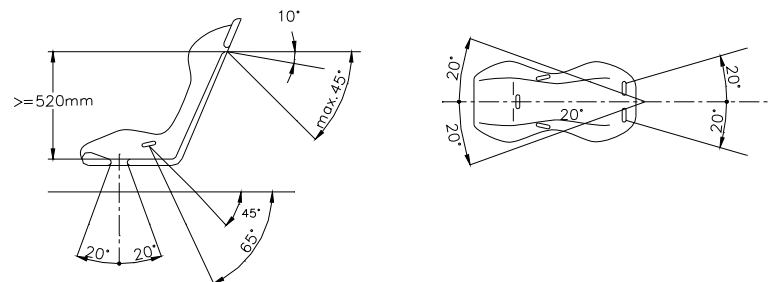
Il est interdit de fixer les ceintures de sécurité aux sièges ou à leurs supports.

Les points d'ancrage du véhicule de série (Groupes T2 et T4) doivent être utilisés.

Si le montage sur les ancrages de série s'avère impossible, de nouveaux points d'ancrage doivent être installés sur la coque ou le châssis ou la cabine, un séparé pour chaque sangle le plus en arrière possible pour les sangles d'épaule.

Il faut éviter que les sangles puissent être usées en frottant contre des arêtes vives.

Les localisations géométriques recommandées pour les points d'ancrage sont montrées sur le Dessin 253-61.



253-61

Les sangles d'épaules doivent être dirigées en arrière vers le bas et ne doivent pas être montées de façon à créer un angle de plus de 45° par rapport à l'horizontale, à partir du bord supérieur du dossier, (20° à partir des épaules du pilote en T4), et il est conseillé de ne pas dépasser 10°.

Les angles maximum par rapport à l'axe du siège sont de 20° divergent ou convergent (mesure en projection horizontale).

Si possible, le point d'ancrage monté d'origine par le constructeur de la voiture sur le montant C doit être utilisé.

Des points d'ancrage entraînant un angle plus élevé par rapport à l'horizontale ne doivent pas être utilisés.

Si le montage sur les ancrages de série est impossible, les sangles d'épaules peuvent être fixées ou s'appuyer sur un renfort transversal arrière fixé à l'armature ou aux points d'ancrages supérieurs des ceintures avant.

Les sangles d'épaules peuvent également être fixées à l'armature de sécurité ou à une barre de renfort par une boucle, ainsi qu'être fixées aux points d'ancrages supérieurs des ceintures arrière, ou s'appuyer ou être fixées sur un renfort transversal soudé entre les jambes de force arrière de l'armature (voir Dessin 253-66).

when seated with their harnesses fastened.

Furthermore, it is recommended that for competitions which include public road sections, the belts be equipped with push-button release systems.

The ASNs may homologate mounting points on the safety cage when this cage is being homologated, on condition that they are tested.

## Installation

It is prohibited for the seat belts to be anchored to the seats or their supports.

The anchorage points of the series vehicle (Groups T2 and T4) must be used.

If the installation on the series anchorage points is impossible, new anchorage points must be installed on the shell or the chassis or the cabin, a separate one for each strap the furthest rearward as possible for the shoulder straps.

Care must be taken that the straps cannot be damaged through chafing against sharp edges.

The recommended geometrical locations of the anchorage points are shown in Drawing 253-61.

In the downwards direction, the shoulder straps must be directed towards the rear, and must be installed in such a way that they do not make an angle of more than 45° to the horizontal from the upper rim of the backrest (20° from the driver's shoulders in T4), although it is recommended that this angle should not exceed 10°.

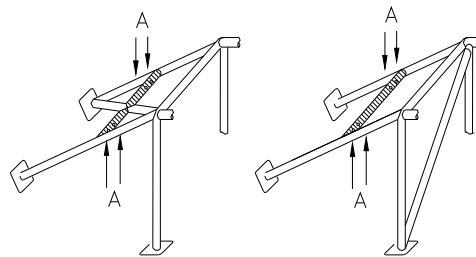
The maximum angles in relation to the centre-line of the seat are 20° divergent or convergent (measurement in horizontal projection).

If possible, the anchorage point originally mounted by the car manufacturer on the C-pillar must be used.

Anchorage points creating a higher angle to the horizontal must not be used.

If mounting on the series anchorages is impossible, the shoulder straps may be fixed or leaning on a rear transverse tube fixed to the cage or to the top anchorage points of the front belts.

The shoulder straps may also be fixed to the safety cage or to a reinforcement bar by means of a loop, and may also be fixed to the top anchorage points of the rear belts, or be fixed or leaning on a transverse reinforcement welded between the backstays of the cage (see Drawing 253-66).



(A) trous de montage pour harnais  
mounting holes for harness

253-66

Dans ce cas l'utilisation d'un renfort transversal est soumise aux conditions suivantes :

- Le renfort transversal doit être un tube d'au moins 38 mm

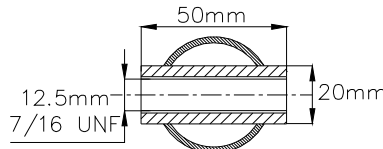
In this case, the use of a transverse reinforcement is subject to the following conditions:

- The transverse reinforcement must be a tube measuring at



- x 2,5 mm ou 40 mm x 2 mm en acier au carbone étiré à froid sans soudure, d'une résistance minimale à la traction de 350 N/mm<sup>2</sup>.
- La hauteur de ce renfort doit être telle que les sangles d'épaules soient, vers l'arrière, dirigées vers le bas avec un angle compris entre 10° et 45° (20° en T4) par rapport à l'horizontale, à partir du bord supérieur du dossier (ou des épaules du pilote en T4), un angle de 10° étant conseillé.
- Les sangles abdominales et d'entrejambes ne doivent pas passer au-dessus des côtés du siège, mais à travers le siège afin d'entourer et de retenir la région pelvienne sur la plus grande surface possible. Les sangles abdominales doivent s'ajuster précisément dans le creux entre la crête pelvienne et le haut de la cuisse. Elles ne doivent pas porter sur la région abdominale.
- La fixation des sangles par boucle est autorisée, ainsi que celle par vissage, mais dans ce dernier cas, on doit souder un insert pour chaque point d'ancrage (voir Dessin 253-67 pour les dimensions).

- least 38 mm x 2.5 mm or 40 mm x 2 mm, made from cold drawn seamless carbon steel, with a minimum tensile strength of 350 N/mm<sup>2</sup>.
- The height of this reinforcement must be such that the shoulder straps, towards the rear, are directed downwards with an angle of between 10° and 45° (20° in T4) to the horizontal from the rim of the backrest (or the driver's shoulders in T4), an angle of 10° being recommended.
- The lap and crotch straps must not pass over the sides of the seat but through the seat, in order to wrap and hold the pelvic region over the greatest possible surface. The lap straps must fit tightly in the bend between the pelvic crest and the upper thigh. Under no conditions must they be worn over the region of the abdomen.
- The straps may be attached by looping or by screws, but in the latter case an insert must be welded for each mounting point (see Drawing 253-67 for the dimensions).



253-67

Ces inserts doivent être disposés dans le renfort et les sangles doivent y être fixées par des boulons M12 8.8 ou 7/16 UNF.

Chaque point d'ancrage doit pouvoir résister à une charge de 1470 daN, ou 720 daN pour les sangles d'entrejambes.

Dans le cas d'un ancrage pour deux sangles (interdit pour les sangles d'épaules), la charge considérée doit être égale à la somme des deux charges requises.

Pour chaque nouveau point d'ancrage créé, on utilisera une plaque de renfort en acier d'au moins 40 cm<sup>2</sup> de surface et d'au moins 3 mm d'épaisseur.

These inserts must be positioned in the reinforcement tube and the straps must be attached to them using bolts of M12 8.8 or 7/16 UNF specification.

Each anchorage point must be able to withstand a load of 1470 daN, or 720 daN for the crotch straps.

In the case of one anchorage point for two straps (prohibited for shoulder straps), the load considered must be equal to the sum of the required loads.

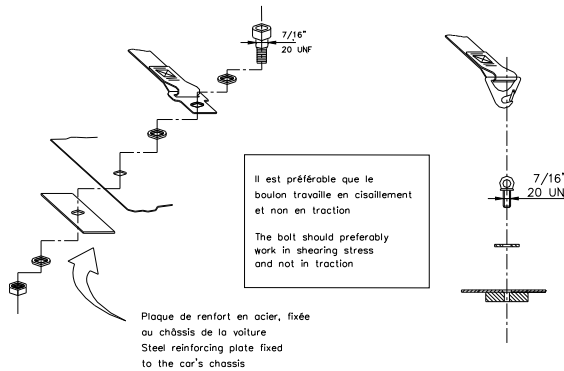
For each new anchorage point created, a steel reinforcement plate with a surface area of at least 40 cm<sup>2</sup> and a thickness of at least 3 mm must be used.

◆ **Principes de fixation sur le châssis/monocoque :**

- 1) Système de fixation général : voir Dessin 253-62.

**Principles of mounting to the chassis / monocoque:**

General mounting system: see Drawing 253-62.



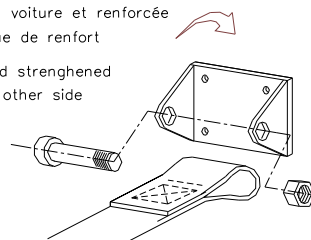
253-62

- 2) Système de fixation pour les sangles d'épaules : voir Dessin 253-63.

Shoulder strap mounting: see Drawing 253-63.

plaque fixée au châssis de la voiture et renforcée de l'autre côté par une plaque de renfort

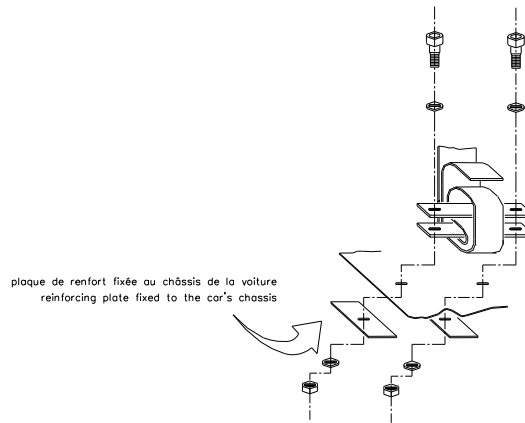
plate fixed to the chassis and strengthened by a reinforced plate on the other side



253-63

- 3) Système de fixation de sangle d'entrejambe : voir Dessin 253-64.

Crotch strap mounting: see Drawing 253-64.



253-64

### 6.3 Utilisation

Un harnais doit être utilisé dans sa configuration d'homologation sans modification ni suppression de pièces, et en conformité avec les instructions du fabricant.

L'efficacité et la durée de vie des ceintures de sécurité sont directement liées à la façon dont elles sont installées, utilisées et entretenues.

Les ceintures doivent être remplacées après toute collision sévère et si elles sont coupées ou éraillées, ou en cas d'affaiblissement des sangles par l'action du soleil ou de produits chimiques.

Il faut également les remplacer si les parties métalliques ou les boucles sont déformées ou rouillées.

Tout harnais qui ne fonctionne pas parfaitement doit être remplacé.

**Remarque :** Il est interdit de combiner des éléments de diverses ceintures. Seuls des jeux complets, tels qu'ils sont fournis par les fabricants, sont autorisés.

### Use

A safety harness must be used in its homologation configuration without any modifications or removal of parts, and in conformity with the manufacturer's instructions.

The effectiveness and longevity of safety belts are directly related to the manner in which they are installed, used and maintained.

The belts must be replaced after every severe collision, and whenever the webbing is cut, frayed or weakened due to the actions of chemicals or sunlight.

They must also be replaced if metal parts or buckles are bent, deformed or rusted.

Any harness which does not function perfectly must be replaced.

**Note:** It is not allowed to mix parts of seat belts. Only complete sets, of proprietary manufacture, may be used.

## ART. 7 EXTINCTEURS - SYSTEMES D'EXTINCTION

L'utilisation des produits suivants est interdite : BCF, NAF.

### 7.1 Systèmes installés

**7.1.1** Chaque voiture doit être équipée d'un système d'extinction figurant dans la liste technique n°16 : "Systèmes d'extinction homologués par la FIA".

**7.1.2** Chaque bonbonne d'extincteur doit être protégée de façon adéquate et doit être située dans l'habitacle. La bonbonne peut aussi être située dans le compartiment à bagages à condition d'être au moins à 300 mm des bords extérieurs de la carrosserie selon toutes les directions horizontales.

Elle doit être fixée par un minimum de 2 sangles métalliques verrouillées par vissage et le système de fixation doit être capable de résister à une décélération de 25 g.

Tout le système d'extinction doit résister au feu.

Les canalisations en plastique sont interdites et les canalisations en métal obligatoires.

**7.1.3** Le pilote et le(s) copilote(s) assis normalement, ceintures de sécurité attachées et volant en place, doivent pouvoir déclencher manuellement le système d'extinction.

Les dispositifs de déclenchement doivent être marqués de la lettre "E" en rouge à l'intérieur d'un cercle blanc à bordure rouge, d'un diamètre minimal de 10 cm.

Groupes T1, T3 et T2 :

Deux dispositifs de déclenchement extérieurs doivent être situés près des interrupteurs de coupe-circuit, et non combinés avec eux.

Groupe T4 :

Un dispositif de déclenchement extérieur doit être situé près de l'interrupteur de coupe-circuit, et non combiné avec lui.

**7.1.4** Le système doit fonctionner dans toutes les positions.

**7.1.5** Les ajutages des extincteurs doivent être adaptés à l'agent extincteur et doivent être installés de façon à ne pas être pointés directement dans la direction de la tête des occupants.

## EXTINGUISHERS – EXTINGUISHING SYSTEMS

The use of the following products is prohibited: BCF, NAF.

### Systems mounted

All cars must be equipped with an extinguishing system from technical list n°16 : "Extinguisher systems homologated by the FIA".

All extinguishers containers must be adequately protected and must be situated within the cockpit.

The container may also be situated in the luggage compartment on condition that it is at least 300 mm from the outer edges of the bodywork in all horizontal directions.

It must be secured by a minimum of 2 screw-locked metallic straps and the securing system must be able to withstand a deceleration of 25 g.

All extinguishing equipment must withstand fire.

Plastic pipes are prohibited and metal pipes are obligatory.

The driver and co-driver(s) must be able to trigger the extinguishing system manually when seated normally with safety belts fastened and steering wheel in place.

The means of triggering must be marked with a letter "E" in red inside a white circle of at least 10 cm diameter with a red edge.

Groups T1, T3 and T2:

Two means of triggering from the outside must be situated near to the circuit-breaker switches, and not combined with them.

Group T4:

A mean of triggering from the outside must be situated near to the circuit-breaker switch, and not combined with it.

The system must work in all positions.

Extinguisher nozzles must be suitable for the extinguishant and be installed in such a way that they are not directly pointed at the occupants' heads.

<b>7.2</b>	<b>Extincteurs manuels</b>	<b>Manual extinguishers</b>
<b>7.2.1</b>	Chaque voiture doit être équipée d'un ou de deux extincteurs dont la capacité totale minimale est indiquée aux Articles 7.2.3 et 7.2.4. Chaque camion doit être équipé de deux extincteurs ayant chacun la capacité minimale indiquée aux Articles 7.2.3 et 7.2.4.	All cars must be fitted with one or two fire extinguishers the minimum total capacity of which is specified in Articles 7.2.3 and 7.2.4. All trucks must be fitted with two fire extinguishers the minimum capacity of each is specified in Articles 7.2.3 and 7.2.4.
<b>7.2.2</b>	Agents extincteurs autorisés : AFFF, FX G-TEC, Viro3 , poudre ou tout autre agent homologué par la FIA.	Permitted extinguishants: AFFF, FX G-TEC, Viro3, powder or any other extinguishant homologated by the FIA.
<b>7.2.3</b>	Quantité minimale d'agent extincteur : AFFF : 2,4 litres FX G-TEC: 2,0 kg Viro3 2,0 kg Zero 360 2,0 kg Poudre : 2,0 kg	Minimum quantity of extinguishant: AFFF: 2.4 litres FX G-TEC: 2.0 kg Viro3: 2.0 kg Zero 360 2,0 kg Powder: 2.0 kg
<b>7.2.4</b>	Tous les extincteurs doivent être pressurisés en fonction du contenu comme suit : AFFF : conformément aux instructions du fabricant ou 12 bar FX G-TEC et Viro3 : conformément aux instructions du fabricant Zero 360 : conformément aux instructions du fabricant Poudre : 8 bar minimum, 13,5 bar maximum De plus, dans le cas de l'AFFF, les extincteurs doivent être équipés d'un système permettant la vérification de la pression du contenu.	All extinguishers must be pressurised according to the contents: AFFF: in accordance with the manufacturer's instructions or 12 bar FX G-TEC and Viro3: in accordance with the manufacturer's instructions Zero 360: in accordance with the manufacturer's instructions Powder: 8 bar minimum, 13.5 bar maximum Furthermore, in the case of AFFF, each extinguisher must be equipped with a means of checking the pressure of the contents.
<b>7.2.5</b>	Les informations suivantes doivent figurer visiblement sur chaque extincteur : - capacité - type de produit extincteur - poids ou volume du produit extincteur - date de vérification de l'extincteur, qui ne doit pas être plus de deux années après la date de remplissage ou après celle de la dernière vérification, ou date limite de validité correspondante.	The following information must be visible on each extinguisher: - capacity - type of extinguishant - weight or volume of the extinguishant - date the extinguisher must be checked, which must be no more than two years after either the date of filling or the date of the last check, or corresponding expiry date.
<b>7.2.6</b>	Chaque bonbonne d'extincteur doit être protégée de façon adéquate. Ses fixations doivent être capables de résister à une décélération de 25 g. De plus seules les fermetures métalliques à dégagement rapide, et avec des sangles métalliques, sont acceptées. Il est fortement recommandé d'utiliser des canalisations résistantes au feu : les canalisations en plastique sont déconseillées et les canalisations en métal fortement recommandées.	All extinguishers must be adequately protected. Their mountings must be able to withstand a deceleration of 25 g. Furthermore, only quick-release metal fastenings, with metal straps, are accepted. The use of fireproof lines is strongly recommended : plastic lines are not recommended and metallic lines are strongly recommended.
<b>7.2.7</b>	Au moins un des extincteurs doit être facilement accessible au pilote et au(x) copilote(s) assis normalement, ceintures de sécurité attachées et volant en place.	At least one of the extinguishers must be easily accessible for the driver and the co-driver(s), seated normally with safety belts fastened and steering wheel in place.
<b>7.2.8</b>	Sur les camions, en remplacement d'un des deux extincteurs, il est permis de monter un système d'extinction figurant dans la liste technique n°16.	For trucks, in place of one of the two extinguishers, it is permitted to fit an extinguisher system featuring in the technical list n°16.
<b>ART. 8</b>	<b>ARMATURES DE SECURITE</b>	<b>SAFETY CAGES</b>
	(Pour T1, T3 et T2 seulement, pour T4 voir Article 287.3) Pour les voitures des Groupes T1 et T3, la référence à la date d'homologation doit être comprise comme la première date de délivrance du passeport technique FIA.	(For T1, T3 and T2 only, see Article 287.3 for T4) For Group T1 and T3 cars, the reference to the date of homologation must be understood as the date on which the FIA technical passport was first issued.
<b>8.1</b>	<b>Généralités</b>	<b>General</b>
	Le montage d'une armature de sécurité est obligatoire. Elle peut être soit :	The fitting of a safety cage is compulsory. It may be either :
<b>a)</b>	<b>Construite selon les exigences des articles ci-dessous ;</b>	<b>Fabricated in compliance with the requirements of the following articles ;</b>
<b>b)</b>	<b>Homologuée ou Certifiée par une ASN conformément au règlement d'homologation pour armature de sécurité ;</b> Une copie authentique du document d'homologation ou du certificat, approuvé par l'ASN et signé par des techniciens qualifiés représentant le constructeur, doit être présentée aux commissaires techniques de la compétition. Toute nouvelle cage homologuée ou certifiée par une ASN et vendue à partir du 01.01.2003, doit être identifiée individuellement par l'apposition par le constructeur d'une	<b>Homologated or Certified by an ASN according to the homologation regulations for safety cages ;</b> An authentic copy of the homologation document or certificate, approved by the ASN and signed by qualified technicians representing the manufacturer, must be presented to the competition's scrutineers. Any new cage which is homologated by an ASN and is on sale, as from 01.01.2003, must be identified by means of an identification plate affixed to it by the manufacturer; this

plaque d'identification, ne pouvant être copiée ni déplacée (exemple : encastrement, gravage, autocollant auto destructible).

La plaque d'identification doit porter le nom du constructeur, le numéro d'homologation ou de certification de la fiche d'homologation ou du certificat de l'ASN et le numéro de série unique du constructeur.

Un certificat portant les mêmes numéros doit être à bord et être présenté aux commissaires techniques de la compétition.

**c) Homologuée par la FIA conformément au règlement d'homologation pour armature de sécurité.**

Pour le Groupe T2, elle doit faire l'objet d'une extension (VO) de la fiche d'homologation du véhicule homologuée par la FIA.

Toutes les armatures homologuées et vendues à partir du 01.01.1997 doivent porter visiblement l'identification du constructeur et un numéro de série.

La fiche d'homologation de l'armature doit préciser où et comment sont indiquées ces informations, et les acheteurs doivent recevoir un certificat numéroté correspondant.

Toute modification d'une armature de sécurité homologuée ou certifiée est interdite.

Est considérée comme modification toute opération effectuée sur l'armature par usinage, soudure, qui entraîne une modification permanente du matériau ou de la structure de l'armature.

Toute réparation d'une armature de sécurité homologuée ou certifiée, endommagée à la suite d'un accident doit être effectuée par le constructeur de l'armature ou avec l'approbation de celui-ci.

Les tubes des armatures de sécurité ne doivent pas véhiculer de fluide ou quoi que ce soit d'autre.

Les armatures de sécurité ne doivent pas gêner l'entrée et la sortie du pilote et du co-pilote.

Les entretoises peuvent empiéter sur l'espace réservé aux occupants en traversant le tableau de bord, les garnitures et les sièges arrière.

Les sièges arrière peuvent être rabattus.

**8.2 Définitions**

**8.2.1 Armature de sécurité**

Structure multi-tubulaire installée dans l'habitacle au plus près de coque dont la fonction est de limiter les déformations de la coque (châssis) en cas d'accident.

**8.2.2 Arceau**

Structure tubulaire formant un couple, avec deux pieds d'ancrage.

**8.2.3 Arceau principal (Dessin 253-1)**

Arceau tubulaire monopiece transversal et sensiblement vertical (inclinaison maximale +/-10° par rapport à la verticale) situé en travers du véhicule immédiatement derrière les sièges avant.

L'axe du tube doit être contenu dans un seul plan.

**8.2.4 Arceau avant (Dessin 253-1)**

Identique à l'arceau principal, mais dont la forme suit les montants du pare-brise et le bord supérieur du pare-brise.

**8.2.5 Arceau latéral (Dessin 253-2)**

Arceau tubulaire monopiece sensiblement longitudinal et sensiblement vertical situé du côté droit et du côté gauche du véhicule, dont le montant avant suit le montant du pare-brise et le montant arrière est sensiblement vertical et situé immédiatement derrière les sièges avant.

Le montant arrière doit être rectiligne en vue de côté.

**8.2.6 Demi-arceau latéral (Dessin 253-3)**

Identique à l'arceau latéral mais sans montant arrière.

**8.2.7 Entretoise longitudinale**

Tube monopiece sensiblement longitudinal reliant les parties supérieures de l'arceau avant et de l'arceau principal.

identification plate must be neither copied nor moved (i.e. embedded, engraved or self-destroying sticker).

The identification plate must bear the name of the manufacturer, the homologation or certification number of the ASN homologation form or certificate and the individual series number of the manufacturer.

A certificate bearing the same numbers must be carried on board and be presented to the competition's scrutineers.

**Homologated by the FIA according to the homologation regulations for safety cages.**

For Group T2, it must be the subject of an extension (VO) to the homologation form of the vehicle homologated by the FIA.

The manufacturer's identification and a series number must be clearly visible on all cages homologated and sold after 01.01.1997.

The homologation form of the cage must specify how and where this information is indicated, and the purchasers must receive a numbered certificate corresponding to this.

Any modification to a homologated or certified safety cage is forbidden.

To be considered as a modification, any process made to the cage by machining, welding, that involves a permanent modification of the material or the safety cage.

All repairs to a homologated or certified safety cage, damaged after an accident must be carried out by the manufacturer of the rollcage or with his approval.

Tubes must not carry fluids or any other item.

The safety cage must not unduly impede the entry or exit of the driver and co-driver.

Members may intrude into the occupant's space in passing through the dashboard and trim, as well as through the rear seats.

The rear seat may be folded down.

**Definitions**

**Safety cage**

Multi-tubular structure installed in the cockpit and fitted close to the bodyshell, the function of which is to reduce the deformation of the bodyshell (chassis) in case of an impact.

**Rollbar**

Tubular frame forming a hoop with two mounting feet.

**Main rollbar (Drawing 253-1)**

Transverse and near-vertical (maximum angle +/-10° to the vertical) single piece tubular hoop located across the vehicle just behind the front seats.

The tube axis must be within one single plane.

**Front rollbar (Drawing 253-1)**

Similar to main rollbar but its shape follows the windscreen pillars and top screen edge.

**Lateral rollbar (Drawing 253-2)**

Near-longitudinal and near-vertical single piece tubular hoop located along the right or left side of the vehicle, the front pillar of which follows the windscreen pillar and the rear pillar of which is near-vertical and located just behind the front seats.

The rear pillar must be straight in side view.

**Lateral half-rollbar (Drawing 253-3)**

Identical to the lateral rollbar but without the rear pillar.

**Longitudinal member**

Near-longitudinal single piece tube joining the upper parts of the front and main rollbars.



**8.2.8 Entretoise transversale**

Tube monopièce sensiblement transversal reliant les parties supérieures des demi-arceaux latéraux ou des arceaux latéraux.

**8.2.9 Entretoise diagonale**

Tube transversal reliant :

L'un des coins supérieurs de l'arceau principal, ou l'une des extrémités de l'entretoise transversale dans le cas d'un arceau latéral, au pied d'ancrage inférieur opposé de l'arceau

ou

L'extrémité supérieure d'une jambe de force arrière au pied d'ancrage inférieur de l'autre jambe de force arrière.

**8.2.10 Entretoises amovibles**

Entretoise d'une armature de sécurité devant pouvoir être enlevée.

**8.2.11 Renfort d'armature**

Entretoise ajoutée à l'armature de sécurité afin d'en améliorer la résistance.

**8.2.12 Pied d'ancrage**

Plaque soudée à l'extrémité d'un tube d'arceau permettant son boulonnage sur la coque/châssis, généralement sur une plaque de renfort.

Cette plaque peut être soudée à la coque/châssis en supplément des boulons.

**8.2.13 Plaque de renfort**

Plaque métallique fixée à la coque/châssis sous un pied d'ancrage de l'arceau pour mieux répartir la charge sur la coque/châssis.

**8.2.14 Gousset (Dessin 253-34)**

Renfort de coude ou de jonction en tôles pliées en forme de U dont l'épaisseur ne doit pas être inférieure à 1.0 mm.

Les extrémités du gousset (point E) doivent être situées à une distance comprise entre 2 et 4 fois le diamètre extérieur du plus gros des tubes joints, par rapport au sommet de l'angle (point S).

Une découpe est autorisée au sommet de l'angle mais son rayon (R) ne doit pas être supérieur à 1.5 fois le diamètre extérieur du plus gros des tubes joints.

Les faces planes du gousset peuvent comporter un trou dont le diamètre ne doit pas être supérieur au diamètre extérieur du plus gros des tubes joints.

**Transverse member**

Near-transverse single piece tube joining the upper parts of the lateral half-rollbars or of the lateral rollbars.

**Diagonal member**

Transverse tube between :

One of the top corners of the main rollbar, or one of the ends of the transverse member in the case of a lateral rollbar, and a the lower mounting point on the opposite side of the rollbar.

or

The upper end of a backstay and the lower mounting point of the other backstay.

**Removable members**

Members of a safety cage which must be able to be removed.

**Cage reinforcement**

Member added to the safety cage to improve its strength.

**Mounting foot**

Plate welded to the end of a rollbar tube to permit its bolting to the bodyshell/chassis, usually onto a reinforcement plate.

This plate may be welded to the bodyshell/chassis in addition to the bolts.

**Reinforcement plate**

Metal plate fixed to the bodyshell/chassis under a rollbar mounting foot to better spread the load onto the bodyshell/chassis.

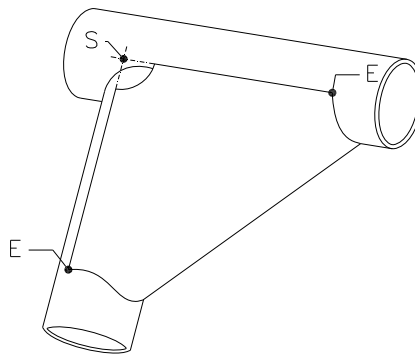
**Gusset (Drawing 253-34)**

Reinforcement for a bend or junction made from bent sheet metal with a U shape the thickness of which must not be less than 1.0 mm.

The ends of this gusset (point E) must be situated at a distance from the top of the angle (point S) of between 2 to 4 times the outer diameter of the biggest of the tubes joined.

A cut-out is permitted at the top of the angle but its radius (R) must be no greater than 1.5 times the outer diameter of the biggest of the tubes joined.

The flat sides of the gusset may have a hole the diameter of which must not be greater than the outer diameter of the biggest of the tubes joined.



253-34

**8.3 Spécifications****8.3.1 Structure de base**

La structure de base doit être composée de l'une des façons suivantes :

\* 1 arceau principal + 1 arceau avant + 2 entretoises longitudinales + 2 jambes de force arrière + 6 pieds d'ancrage (Dessin 253-1)

ou

\* 2 arceaux latéraux + 2 entretoises transversales + 2 jambes de force arrière + 6 pieds d'ancrage (Dessin 253-2)

**Specifications****Basic structure**

The basic structure must be made according to one of the following designs:

\* 1 main rollbar + 1 front rollbar + 2 longitudinal members + 2 backstays + 6 mounting feet (Drawing 253-1)

or

\* 2 lateral rollbars + 2 transverse members + 2 backstays + 6 mounting feet (Drawing 253-2)

2)  
ou

\* 1 arceau principal + 2 demi-arceau latéraux + 1 entretoise transversale + 2 jambes de force arrière + 6 pieds d'ancrage (Dessin 253-3)



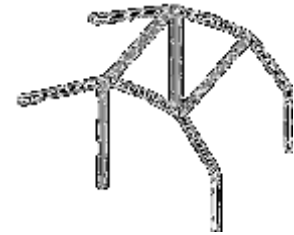
253-1

or

\* 1 main rollbar + 2 lateral half-rollbars + 1 transverse member + 2 backstays + 6 mounting feet (Drawing 253-3)



253-2



253-3

La partie verticale de l'arceau principal doit être aussi près du contour intérieur de la coque que possible et ne comporter qu'un seul coude avec sa partie verticale inférieure.

Le montant avant d'un arceau avant ou latéral doit suivre les montants du pare-brise au plus près et ne comporter qu'un seul coude avec sa partie verticale inférieure.

Les connexions des entretoises transversales aux arceaux latéraux, les connexions des entretoises longitudinales aux arceaux avant et principal, ainsi que la connexion d'un demi-arceau latéral à l'arceau principal doivent se situer au niveau du toit.

Dans tous les cas, il ne doit pas y avoir plus de 4 connexions démontables au niveau du toit.

Les jambes de force arrière doivent être fixées près du pavillon et près des angles supérieurs extérieurs de l'arceau principal, des deux côtés de la voiture, éventuellement au moyen de connexions démontables.

Elles doivent former un angle d'au moins 30° avec la verticale, être dirigées vers l'arrière, être rectilignes et aussi près que possible des panneaux intérieurs latéraux de la coque.

### 8.3.2 Conception

Une fois la structure de base définie, elle doit être complétée par des entretoise et renforts obligatoires (voir Article 283-8.3.2.1), auxquelles peuvent être ajoutées des entretoises et renforts facultatifs (voir Article 283-8.3.2.2).

Sauf explicitement autorisé et sauf si des connexions démontables sont utilisées conformément à l'Article 283-8.3.2.4, toutes les entretoises et renforts tubulaires doivent être monopieces.

#### 8.3.2.1 Entretoises et renforts obligatoires

##### 8.3.2.1.1 Entretoise diagonale

L'armature doit comporter une des entretoises diagonales définies par :

- les Dessins 253-4 à 253-7 pour les voitures homologuées avant le 01.01.2008.
- les Dessins 253-6 (Groupes T1 et T3 seulement) et 253-7 pour les voitures homologuées à partir du 01.01.2008.

L'orientation de la diagonale des Dessins 253-4 et 253-5 peut être inversée.

Dans le cas du Dessin 253-6, la distance entre les deux ancrages sur la coque/châssis ne doit pas être supérieure à 400 mm.

Les entretoises doivent être rectilignes et peuvent être amovibles.

L'extrémité supérieure de la diagonale doit rejoindre l'arceau principal à moins de 100 mm de sa jonction avec la jambe de force arrière, ou la jambe de force arrière à moins de 100 mm de sa jonction avec l'arceau principal (voir Dessin 253-52 pour la mesure).

L'extrémité inférieure de la diagonale doit rejoindre l'arceau principal ou la jambe de force arrière à moins de 100 mm du pied d'ancrage (excepté dans le cas du Dessin 253-6).

The vertical part of the main rollbar must be as close as possible to the interior contour of the bodyshell and must have only one bend with its lower vertical part.

The front pillar of a front rollbar or of a lateral rollbar must follow the windscreen pillars as closely as possible and have only one bend with its lower vertical part.

In order to build the safety cage, the connections of the transverse members to the lateral rollbars, the connections of the longitudinal members to the front and main rollbars, as well as the connection of a semi-lateral rollbar to the main rollbar must be situated at the roof level.

In all cases, there must not be more than 4 removable connections at the roof level.

The backstays must be attached near the roofline and near the top outer bends of the main rollbar, on both sides of the car, possibly by means of removable connections.

They must form an angle of at least 30° with the vertical, must run rearwards and be straight and as close as possible to the interior side panels of the bodyshell.

### Design

Once the basic structure is defined, it must be completed with compulsory members and reinforcements (see Article 253-8.3.2.1), to which optional members and reinforcements may be added (see Article 253-8.3.2.2).

Unless explicitly permitted and unless dismantlable joints are used in compliance with Article 253-8.3.2.4, all members and tubular reinforcements must be single pieces.

#### Compulsory members and reinforcements

##### Diagonal member

The cage must have one of the diagonal members defined by :

- Drawings 253-4 to 253-7 for cars homologated before 01.01.2008.
- Drawings 253-6 (Groups T1 and T3 only) and 253-7 for cars homologated as from 01.01.2008.

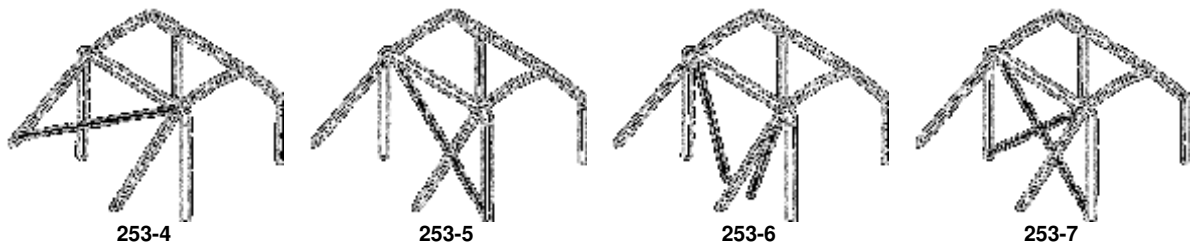
The orientation of the diagonal of Drawings 253-4 and 253-5 may be reversed.

In the case of Drawing 253-6, the distance between the two mountings on the bodyshell/chassis must not be greater than 400mm.

Members must be straight and may be removable.

The upper end of the diagonal must join the main rollbar no further than 100 mm from its junction with the backstay, or the backstay no more than 100 mm from its junction with the main rollbar (see Drawing 253-52 for the measurement).

The lower end of the diagonal must join the main rollbar or the backstay no further than 100 mm from the mounting foot (except for the case of Drawing 253-6).



### 8.3.2.1.2 Entretoises de portières

Au moins une entretoise longitudinale doit être montée de chaque côté du véhicule au niveau de la portière (voir Dessin 253-8).

Le(s) tube(s) constituant ce renfort doit (doivent) être intégré(s) à l'armature, et son (leurs) angle(s) avec le tube horizontal ne doit pas être supérieur à 15° (incliné vers le bas et vers l'avant).

La conception doit être identique des deux côtés.

La protection latérale doit être placée aussi haut que possible, et si elle est constituée d'une barre unique, à au moins 10 cm par rapport au fond du siège, mais dans tous les cas ses points d'attache supérieurs ne doivent pas être à plus de la moitié de la hauteur totale de la portière mesurée depuis sa base.

Si ces points d'attache supérieurs sont situés en avant ou en arrière de l'ouverture de porte, cette limitation de hauteur demeure valable pour l'intersection correspondante de l'entretoise et de l'ouverture de porte.

Dans le cas d'une protection en "X" (Dessin 253-9), il est conseillé que les points d'attache inférieurs des entretoises soient fixés directement sur le longeron longitudinal de la coque(châssis) et qu'au moins une des branches du "X" soit monobloc.

Les dessins peuvent être combinés entre eux.

La connexion des entretoises de portière au renfort de montant de pare-brise (Dessin 253-15) est autorisée.

Pour les compétitions sans copilote, les entretoises peuvent être montées uniquement du côté pilote et il n'est pas obligatoire que la conception soit identique des deux côtés.



253-8



253-9

### 8.3.2.1.3 Entretoise transversale (Dessin 253-29)

L'entretoise transversale fixée à l'arceau avant est obligatoire mais ne doit pas empiéter sur l'espace réservé aux occupants.

Elle doit être rectiligne.

Elle peut être placée aussi haut que possible mais son bord inférieur ne doit pas dépasser la partie supérieure du tableau de bord.

Pour les voitures homologuées à partir du 01.01.2007, elle ne doit pas être située en dessous de la colonne de direction.

### Doorbars

At least one longitudinal strut must be fitted on each side of the vehicle at door level (see Drawing 253-8).

The tube(s) making up this reinforcement must be built into the rollcage and its(their) angle with the horizontal tube must not exceed 15° (angled downwards towards the front).

The design must be identical on both sides.

The lateral protection must be as high as possible and, if it comprises a single bar, at least 10 cm from the bottom of the seat, but in all cases its upper attachment points must not be higher than half the total height of the door measured from its base.

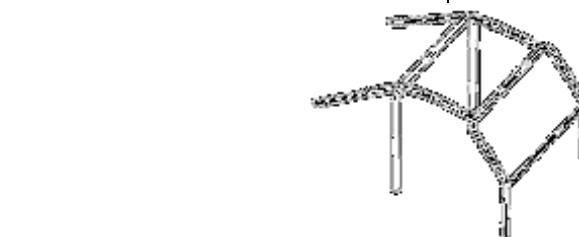
If these upper attachment points are located in front of or behind the door opening, this height limitation is also valid for the corresponding intersection of the strut and the door opening.

In the case of doorbars in the form of an "X" (Drawing 253-9), it is recommended that the lower attachment points of the cross-struts be fixed directly onto the longitudinal member of the bodyshell/chassis and that at least one part of the "X" be a single-piece bar.

Drawings may be combined.

The connection of the doorbars to the windscreen pillar reinforcement (Drawing 253-15) is authorised.

For competitions without co-driver, members may be fitted on the driver's side only and it is not compulsory for the design to be identical on both sides.



253-29

### Transverse member (Drawing 253-29)

The transverse member fixed to the front rollbar is compulsory but it must not encroach upon the space reserved for the occupants.

It must be straight.

It may be placed as high as possible but its lower edge must not be higher than the uppermost point of the dashboard.

For cars homologated as from 01.01.2007, it must not be positioned below the steering column.

### 8.3.2.1.4 Renfort de toit

Voiture homologuées à partir du 01.01.2005 uniquement :

La partie supérieure de l'armature de sécurité doit être

### Roof reinforcement

Cars homologated as from 01.01.2005 only :

The upper part of the safety cage must comply with one of

conforme à l'un des Dessins 253-12, 253-13 et 253-14.

Les renforts peuvent suivre la courbure du toit.

Pour les compétitions sans copilote, dans le cas du Dessin 253-12 uniquement, une seule entretoise diagonale peut être montée mais sa connexion avant doit être du côté du pilote.

Les extrémités des renforts doivent se trouver à moins de 100 mm des jonctions entre les arceaux et entretoises (non applicable au sommet du V formé par les renforts des Dessins 253-13 et 253-14).

**Jonction des tubes au sommet du V :**

Si les tubes ne sont pas jointifs, la distance entre eux ne doit pas être supérieure à 100 mm au niveau de leurs jonctions avec l'arceau ou l'entretoise transversale.

Drawings 253-12, 253-13 and 253-14.

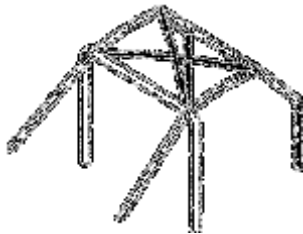
The reinforcements may follow the curve of the roof.

For competitions without co-drivers, in the case of Drawing 253-12 only, only one diagonal member may be fitted but its front connection must be on the driver's side.

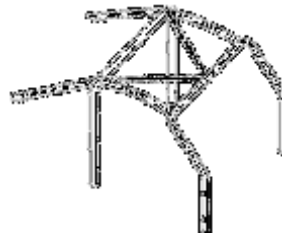
The ends of the reinforcements must be less than 100 mm from the junction between rollbars and members (not applicable to the top of the V formed by reinforcements in Drawings 253-13 and 253-14).

**Junction of tubes at the top of the V:**

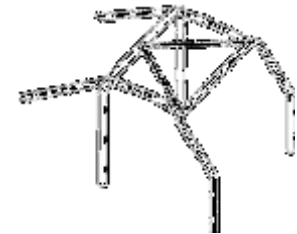
If the tubes do not join each other, the distance between them must not be more than 100 mm at their connection with the rollbar or the transverse member.



253-12



253-13



253-14

**8.3.2.1.5 Renfort de montant de pare-brise**

Il doit être monté de chaque côté de l'arceau avant (Dessin 253-15).

Il peut être coudé à condition qu'il soit rectiligne en vue de côté et que l'angle du coude ne dépasse pas 20°.

Son extrémité supérieure doit se trouver à moins de 100 mm de la jonction entre l'arceau avant (latéral) et l'entretoise longitudinale (transversale).

Son extrémité inférieure doit se trouver à moins de 100 mm du pied d'ancrage (avant) de l'arceau avant (latéral) (voir Dessin 253-52 pour la mesure).

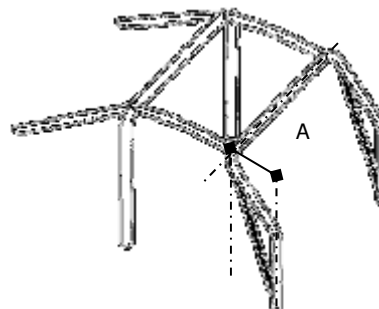
**Windscreen pillar reinforcement**

It must be fitted on each side of the front rollbar (Drawing 253-15).

It may be bent on condition that it is straight in side view and that the angle of the bend does not exceed 20°.

Its upper end must be less than 100 mm from the junction between the front (lateral) rollbar and the longitudinal (transverse) member.

Its lower end must be less than 100 mm from the (front) mounting foot of front (lateral) rollbar (see Drawing 253-52 for the measurement).



253-15

**8.3.2.1.6 Renfort d'angles et de jonctions**

Les jonctions entre :

- les entretoises diagonales de l'arceau principal,
- les renforts de toit (configuration du Dessin 253-12 et uniquement pour les voitures homologuées à partir du 01.01.2007),
- les entretoises de portières (configuration du Dessin 253-9),
- les entretoises de portière et le renfort du montant de pare-brise (Dessin 253-15)

doivent être renforcées par un minimum de 2 goussets conformes à l'Article 283-8.2.14.

Si les entretoises de portière et le renfort du montant de pare-brise ne sont pas situés dans le même plan, le renfort peut être constitué de tôles mécano-soudées à condition de respecter les dimensions de l'Article 283-8.2.14.

**8.3.2.2 Entretoises et renfort facultatifs**

Sauf autre indication de l'Article 283-8.3.2.1, les entretoises et renforts représentés sur les Dessins 253-12 à 253-14, 253-16 à 253-21, 253-23 à 253-28 et 253-30 à 253-33 sont facultatifs et peuvent être installés au gré du fabricant.

Les tubes de renfort doivent être rectilignes.

Ils doivent être soit soudés ou installés au moyen de connexions démontables.

**Reinforcement of bends and junctions**

The junctions between:

- the diagonal members of the main rollbar,
- the roof reinforcements (configuration of Drawing 253-12 and only for cars homologated as from 01.01.2007),
- the doorbars (configuration of Drawing 253-9),

- the doorbars and the windscreen pillar reinforcement (Drawing 253-15), must be reinforced by a minimum of 2 gussets complying with Article 283-8.2.14.

If the doorbars and the windscreen pillar reinforcement are not situated in the same plane, the reinforcement may be made of fabricated sheet metal, provided it complies with dimensions in Article 283-8.2.14.

**Optional members and reinforcements**

Except other indications given in Article 283-8.3.2.1, members and reinforcements shown in Drawings 253-12 to 253-14, 253-16 to 253-21, 253-23 to 253-28 and 253-30 to 253-33 are optional and may be installed as desired by the constructor.

Reinforcement tubes must be straight.

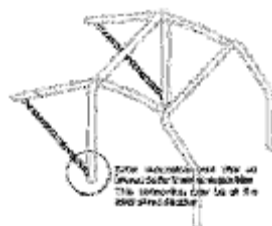
They must be either welded or installed by means of dismantable joints.



<p>Toutes les entretoises et renforts mentionnés ci-dessus peuvent être utilisés séparément ou combinés entre-eux.</p>	<p>All members and reinforcements mentioned above may be used separately or combined with one another.</p>
<p><b>8.3.2.2.1 Renfort de toit (Dessins 253-12 à 253-14 et 253-23 à 253-24)</b></p>	<p><b>Roof reinforcements (Drawings 253-12 to 253-14 and 253-23 to 253-24)</b></p>
<p><u>Uniquement facultatifs pour les voitures homologuées avant le 01.01.2005.</u></p>	<p><u>Only optional for cars homologated before 01.01.2005.</u></p>
<p>Pour les compétitions sans copilote, dans le cas du Dessin 253-12 uniquement, une seule entretoise diagonale peut être montée mais sa connexion avant doit être du côté du pilote. Les entretoises représentées sur les Dessins 253-23 et 253-24 peuvent être constituées de deux tubes.</p>	<p>For competitions without co-drivers, in the case of Drawing 253-12 only, one diagonal member only may be fitted but its front connection must be on the driver's side. Members shown in Drawings 253-23 and 253-24 may be made from two tubes.</p>
<p><b>8.3.2.2.2 Diagonales de jambes de force arrière (Dessins 253-20 et 253-21)</b></p>	<p><b>Backstay diagonals (Drawings 253-20 and 253-21)</b></p>
<p>La configuration du Dessin 253-21 peut-être remplacée par celle du Dessin 253-22 si un renfort de toit conforme au Dessin 253-14 est utilisé.</p>	<p>The configuration of Drawing 253-21 may be replaced with that of Drawing 253-22 if a roof reinforcement complying with Drawing 253-14 is used.</p>
<p><b>Pour les voitures homologuées à partir du 01.01.2014 : La configuration du dessin 253-22 est obligatoire si un renfort de toit conforme au Dessin 253-14 est utilisé.</b></p>	<p><b>For cars homologated as from 01.01.2014 : The configuration of Drawing 253-22 is compulsory if a roof reinforcement complying with Drawing 253-14 is used.</b></p>
<p><b>8.3.2.2.3 Points d'ancrage de suspension avant (Dessin 253-25)</b></p>	<p><b>Front suspension mounting points (Drawing 253-25)</b></p>
<p>Les extensions doivent être reliées aux points d'ancrage supérieurs des suspensions avant.</p>	<p>The extensions must be connected to the front suspension top mounting points.</p>
<p><b>8.3.2.2.4 Entretoises transversales (Dessins 253-26 à 253-28 et 253-30)</b></p>	<p><b>Transverse members (Drawing 253-26 to 253-28 and 253-30)</b></p>
<p>Les entretoises transversales installées sur l'arceau principal ou entre les jambes de force arrière peuvent servir à la fixation des harnais de sécurité conformément à l'Article 253-6.2 (utilisation des connexions démontables interdite). Pour les entretoises représentées par les Dessins 253-26 et 253-27, l' angle entre la jambe de force centrale et la verticale doit être d'au moins 30°.</p>	<p>Transverse members fitted on the main rollbar or between the backstays may be used for the safety harness mountings in accordance with Article 253-6.2 (use of dismantlable joints prohibited). For members shown on Drawings 253-26 and 253-27, the angle between the central leg and the vertical must be at least 30°.</p>
<p><b>8.3.2.2.5 Renfort d'angles ou de jonctions (Dessins 253-31 à 253-34)</b></p>	<p><b>Reinforcement of bends or junctions (Drawings 253-31 to 253-34)</b></p>
<p>Les renforts doivent être constitués soit de tubes soit de tôles pliées en forme de U conformes à l'Article 283-8.2.14. L'épaisseur des composants constituant un renfort ne doit pas être inférieure à 1.0 mm. Les extrémités des renforts tubulaires ne doivent pas être situées plus bas ou plus loin que le milieu des entretoises sur lesquelles ils sont fixés, sauf en ce qui concerne ceux de la jonction de l'arceau avant qui peuvent rejoindre la jonction de l'entretoise de portière/arceau avant ;</p>	<p>Reinforcements must be made of tubes or bent-sheet metal with U shape complying with Article 283-8.2.14. The thickness of the components forming a reinforcement must not be less than 1.0 mm. The ends of the tubular reinforcements must not be more than half way down or along the members to which they are attached, except for those of the junction of the front rollbar, which may join the junction of the door strut/front rollbar;</p>
<p><b>8.3.2.2.6 Fixation des vérins de levage</b></p> <p>Pour les voitures des Groupes T1 et T3, les vérins de levage peuvent être fixés à l'armature de sécurité.</p>	<p><b>Mounting of the lifting jacks</b></p> <p>For Group T1 and T3 cars, the lifting jacks may be fixed to the safety cage.</p>



253-16



253-17



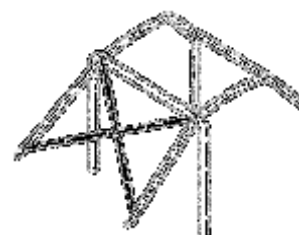
253-18



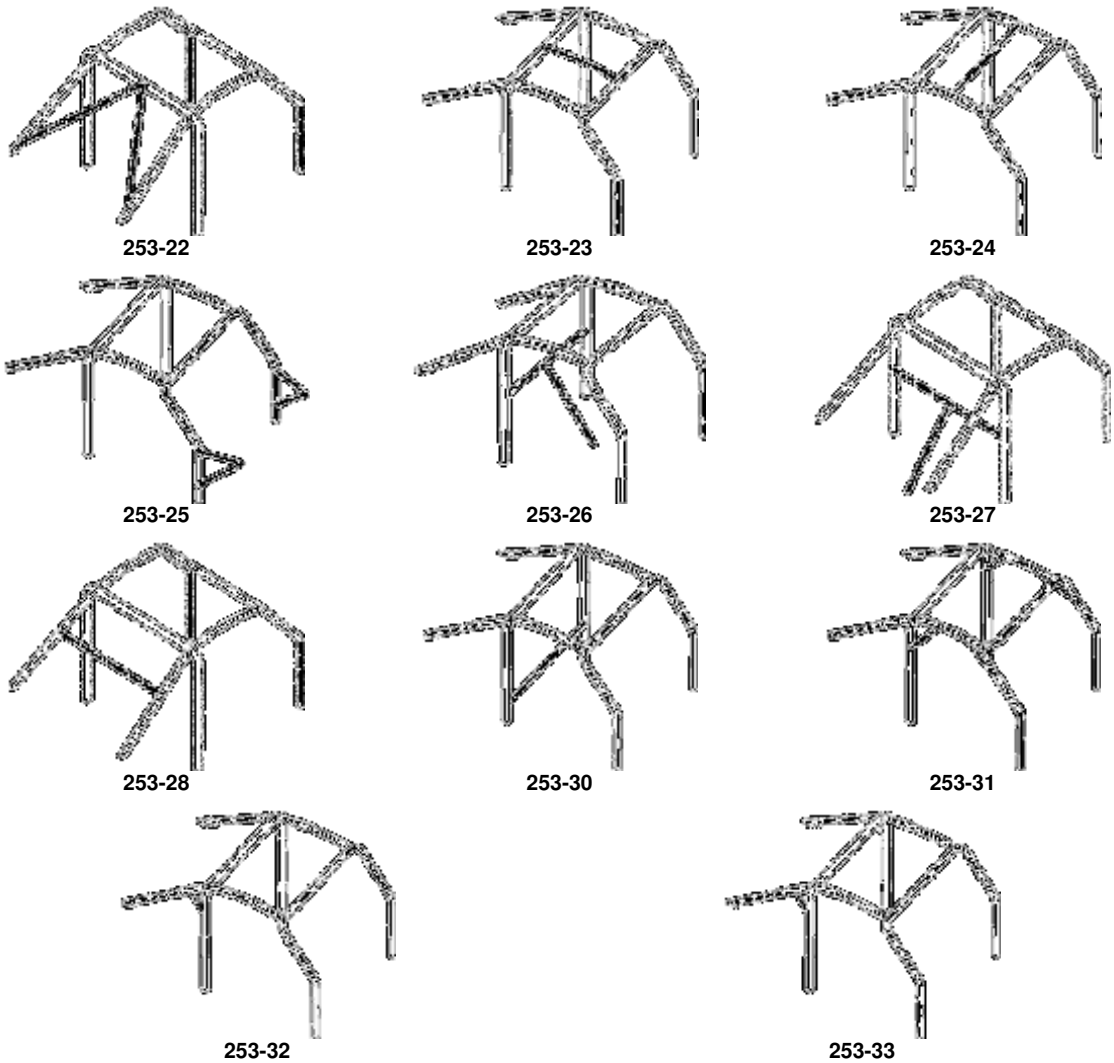
253-19



253-20



253-21



**8.3.2.3 Configuration minimale de l'armature de sécurité**

La configuration minimale d'une armature de sécurité est définie de la façon suivante :

Voitures homologuées	Avec copilote	Sans copilote
avant le 01.01.2005	Dessin 283-1A	Dessin 283-2A ou symétrique
à partir du 01.01.2005	Dessin 283-1B	Dessin 283-2B ou symétrique

L'entretoise diagonale peut différer conformément à l'Article 283-8.3.2.1.1.  
 Le renfort de toit peut différer conformément à l'Article 283-8.3.2.1.4.  
 Dans le cas d'une voiture avec un équipage de trois personnes, l'armature de sécurité doit être conforme au Dessin 283-3, avec un deuxième arceau principal près du (des) dossier(s) des sièges arrière.  
 Pour les voitures type pick-up dont l'habitacle, faute de place suffisante, ne permettrait pas le montage de l'armature de sécurité de base obligatoire, il est possible d'implanter les arceaux selon l'un des Dessins 283-4 à 283-7.  
 Cette possibilité est réservée aux pick-up, à l'exclusion de tout autre type de carrosserie et l'implantation doit être conforme en tous points aux prescriptions des autres paragraphes (y compris les prescriptions matérielles de l'Article 283-8.3.3).  
 Dessin 283-4 : une diagonale obligatoire.  
 Dessin 283-5 : deux diagonales obligatoires, une diagonale

**Minimum configuration of the safety cage**

The minimum configuration of a safety cage is defined as follows :

Cars homologated	With co-driver	Without co-driver
before 01.01.2005	Drawing 283-1A	Drawing 283-2A or symmetrical
as from 01.01.2005	Drawing 283-1B	Drawing 283-2B or symmetrical

The diagonal member may vary vary according to Article 283-8.3.2.1.1.  
 Roof reinforcement may vary according to Article 283-8.3.2.1.4.  
 In the case of a car with a crew of three, the safety cage must comply with Drawing 283-3, with a second main rollbar situated close to the back(s) of the rear seat(s).  
 With regard to pick-up vehicles, the cockpit of which is not large enough to allow the fitting of the compulsory basic safety cage, it is possible to mount the rollbar(s) as per one of the Drawings 283-4 to 283-7.  
 This possibility is open to pick-ups only, to the exclusion of all other types of bodywork and all the points of the installation must comply with the prescriptions of the other paragraphs (including the material specifications of Article 283-8.3.3).  
 Drawing 283-4: one diagonal strut compulsory.  
 Drawing 283-5: two diagonal struts compulsory, one for the

pour l' armature 4 points à l'intérieur de l'habitacle (selon Dessin 253-5), une diagonale pour l'armature 4 points extérieure (selon Dessin 253-4 ou 253-5).

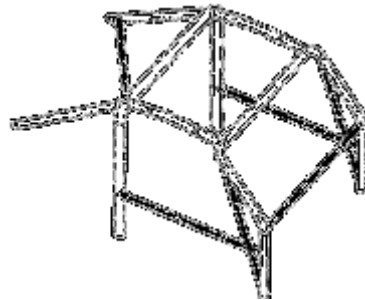
Dessin 283-6 : une diagonale obligatoire (selon Dessin 253-4 ou 253-5).

Dessin 283-7 : deux diagonales obligatoires, une pour l'armature 4 points intérieure, une pour l'armature 6 points extérieure.

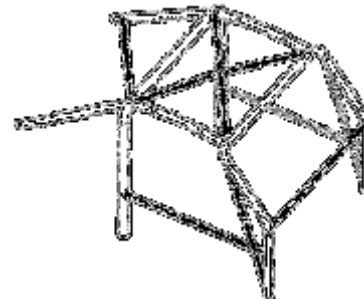
4-point cage inside the cockpit (according to Drawing 253-5), one for the 4-point outside cage (according to Drawing 253-4 or 253-5).

Drawing 283-6: one diagonal strut compulsory (according to Drawing 253-4 or 253-5).

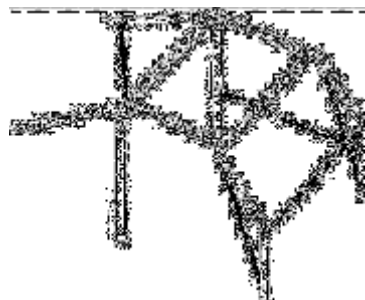
Drawing 283-7: two diagonal struts compulsory, one for the interior 4-point cage, one for the exterior 6-point cage.



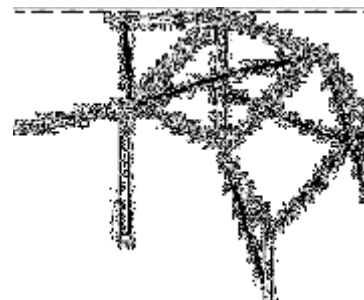
283-1A



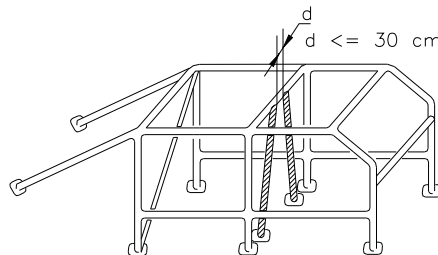
283-1B



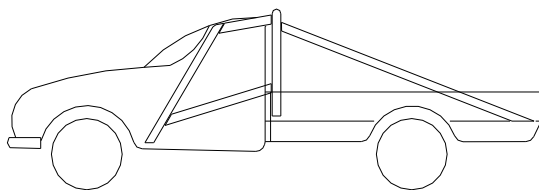
283-2A



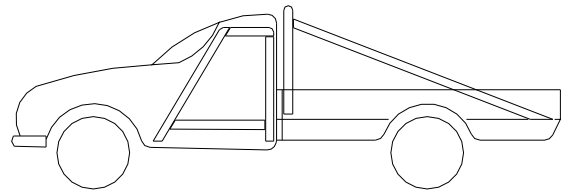
283-2B



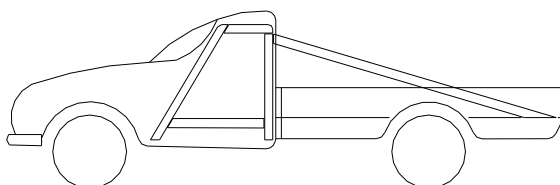
283-3



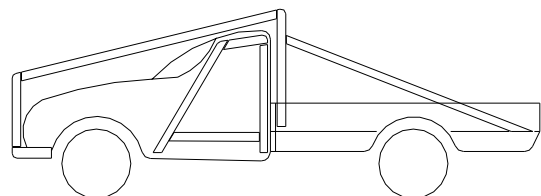
283-4



283-5



283-6



283-7

**8.3.2.4 Entretoises amovibles**

Au cas où des entretoises amovibles sont utilisées dans la construction de l'armature de sécurité, les connexions démontables utilisées doivent être conformes à un type approuvé par la FIA (Dessins 253-37 à 253-47).

Les connexions amovibles doivent être montées dans le prolongement de l'axe des tubes et non pas désaxées.

Elles ne doivent pas être soudées une fois assemblées.

Les vis et les écrous doivent avoir une qualité minimale de 8.8 (norme ISO).

**Removable members**

Should removable members be used in the construction of a safety cage, the dismantable joints used must comply with a type approved by the FIA (Drawings 253-37 to 253-47).

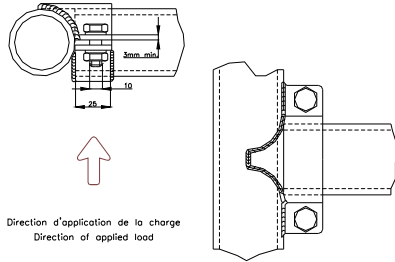
The removable connections must be fitted within the extension of the axis of the tubes, and must not be offset.

They must not be welded once assembled.

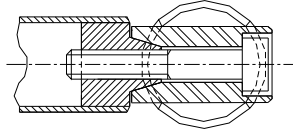
The screws and bolts must have a minimum quality of 8.8 (ISO standard).

Les connexions démontables conformes aux Dessins 253-37, 253-40, 253-43, 253-46 et 253-47 sont réservées à la fixation des entretoises et des renforts facultatifs décrits à l'Article 283-8.3.2.2 et sont interdites pour relier les parties supérieures de l'arceau principal, de l'arceau avant, des demi-arceaux latéraux et des arceaux latéraux.

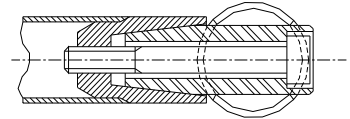
Dismountable joints complying with Drawings 253-37, 253-40, 253-43, 253-46 and 253-47 are solely for attaching optional members and reinforcements described by Article 283-8.3.2.2, and are forbidden for joining the upper parts of the main rollbar, of the front rollbar, of the lateral half-rollbars and of the lateral rollbars.



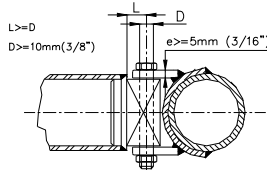
253-37



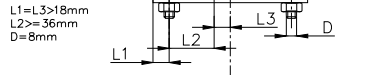
253-38



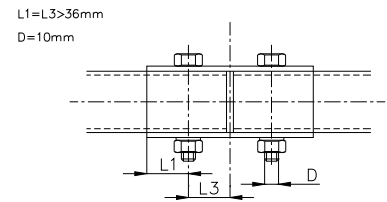
253-39



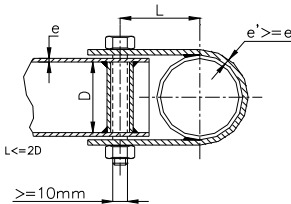
253-40



253-41



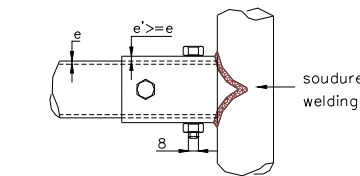
253-42



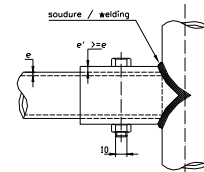
L doit être minimum  
La largeur de la patte doit être d'au moins 25mm

L must be minimum  
The clamp width must be at least 25mm

253-43

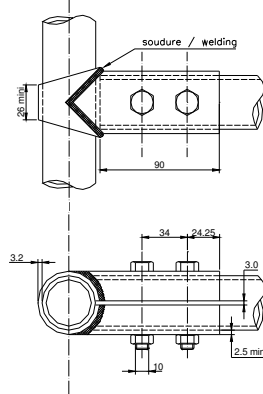
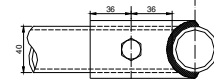
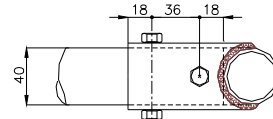


253-44

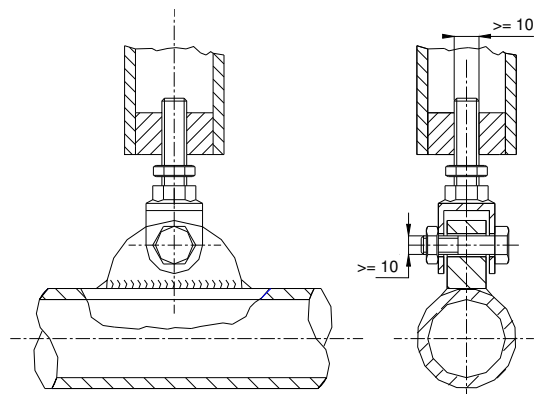


253-45

Dessin / Drawing N° 253-35



253-46



253-47

8.3.2.5 Contraintes supplémentaires

Les cages de sécurité complètes doivent être entièrement comprises entre les limites suivantes :

- 200 mm en avant de l'axe des roues avant,
- axe des roues arrière.

Pendant, les jambes de force peuvent dépasser ce plan pour être fixées au châssis.

Les jambes de force arrière sur les châssis monocoque peuvent se prolonger au-delà des ancrages de suspension arrière, à condition d'être fixées ou soudées sur un corps creux du châssis monocoque.

La face arrière du repose-tête subissant la charge réglementaire définit la position du tube de l'arceau principal

Additional constraints

The safety cage must be entirely contained between the following limits :

- 200 mm in front of the front wheel axis,
- rear wheel axis.

Nevertheless, the backstays may extend beyond this plane to be attached to the chassis.

The rear backstays on a monocoque chassis may extend beyond the rear suspension mounting points, provided that they are fixed or welded onto a hollow body of the monocoque chassis.

The rear face of the headrest subjected to the regulation load defines the position of the tube of the main rollbar which



qui ne peut pas dépasser en projection verticale.  
La distance entre le plan horizontal tangent aux casques des occupants et les tubes de l'armature de sécurité ne doit pas être inférieure à 50 mm.

### 8.3.2.6 Ancrage des armatures de sécurité à la coque/châssis

Les armatures de sécurité doivent être implantées directement sur la coque en acier ou sur le châssis principal, c'est-à-dire sur la structure à laquelle les charges de suspension sont transmises (avec si nécessaire adjonction de renforts de liaison entre châssis et pieds d'arceau).

Les points d'ancrage minimum sont :

- un pour chaque montant de l'arceau avant ;
- un pour chaque montant des arceaux latéraux ou demi-latéraux ;
- un pour chaque montant de l'arceau principal ;
- un pour chaque jambe de force arrière.

Pour parvenir à une fixation efficace sur la coque, la garniture intérieure d'origine peut être modifiée autour des cages de sécurité et de leurs ancrages par découpage ou par déformation.

Cette modification ne permet pas d'enlever des parties complètes de garniture ou de revêtement.

Si nécessaire, la boîte à fusibles peut être déplacée pour permettre le montage d'une cage de sécurité.

#### Points d'ancrage de l'arceau avant, de l'arceau principal, des arceaux latéraux ou demi-latéraux :

Chaque point d'ancrage doit inclure une plaque de renfort d'une épaisseur minimale de 3 mm.

Chaque pied d'ancrage doit être fixé par au moins 3 boulons sur une plaque de renfort en acier soudée à la coque, d'une épaisseur minimale de 3 mm et d'une surface minimale de 120 cm<sup>2</sup>.

Pour les voitures homologuées à partir du 01.01.2007, la surface de 120 cm<sup>2</sup> doit être la surface de contact entre la plaque de renfort et la coque.

Exemples suivant les Dessins 253-50 à 253-56.

Pour le Dessin 253-52, la plaque de renfort ne doit pas nécessairement être soudée à la coque.

Dans le cas du Dessin 253-54, les côtés du point d'ancrage peuvent être refermés par une plaque soudée.

Les boulons de fixation doivent avoir au minimum le diamètre M8 et une qualité minimale de 8.8 (norme ISO).

Les fixations doivent être auto-bloquantes ou équipées de rondelles-freins.

L'angle entre 2 boulons (mesuré par rapport à l'axe du tube au niveau du pied cf. Dessin 253-50) ne doit pas être inférieur à 60 degrés.

#### Points d'ancrage des jambes de force arrière :

Chaque jambe de force arrière doit être fixée par un minimum de 2 boulons M8 avec des pieds d'ancrage d'une surface minimale de 60 cm<sup>2</sup> (Dessin 253-57), ou fixée par un seul boulon en double cisaillement (Dessin 253-58), sous réserve qu'il soit de section et de résistance adéquates et à condition qu'un manchon soit soudé dans la jambe de force. Leurs ancrages doivent être renforcés par des plaques.

#### Ces exigences sont des minima.

En complément, des fixations supplémentaires peuvent être utilisées, les plaques d'appui des pieds d'arceaux peuvent être soudés aux plaques de renfort, l'armature de sécurité (telle que définie par l'Article 283-8.3.1) peuvent être soudées à la coque/châssis.

#### Cas particulier :

Les entretoises diagonales fixées à la coque (voir Dessin 253-6) doivent comporter des plaques de renfort telles que définies ci-dessus.

Pour les coques/châssis d'un matériau autre que l'acier, toute soudure entre l'armature et la coque/châssis est interdite, seul le collage de la plaque de renfort sur la coque/châssis est autorisé.

Dans le cas des véhicules à châssis tubulaires ou semi-tubulaires (Groupes T1 et T3), l'armature de sécurité doit être soudée au châssis ou faire partie intégrante du châssis. Les points d'attache des arceaux avant, latéraux, demi-latéraux et principaux doivent se situer au minimum au

may not protrude beyond it in vertical projection.  
The minimum distance between the occupants' helmets and the tubes of the safety cage must not be less than 50 mm.

### Mounting of rollcages to the bodyshell/chassis

The safety rollcages must be fixed directly to the steel bodyshell or the main chassis, i.e. onto the structure to which the suspension loads are transmitted (with if necessary additional reinforcement at the joint between the chassis and the foot of the rollbar).

Minimum mounting points are:

- 1 for each pillar of the front rollbar ;
- 1 for each pillar of the lateral rollbars or lateral half-rollbars ;
- 1 for each pillar of the main rollbar ;
- 1 for each backstay.

To achieve an efficient mounting to the bodyshell, the original interior trim may be modified around the safety cages and their mountings by cutting it away or by distorting it.

However, this modification does not permit the removal of complete parts of upholstery or trim.

Where necessary, the fuse box may be moved to enable a rollcage to be fitted.

#### Mounting points of the front, main, lateral rollbars or lateral half-rollbars:

Each mounting point must include a reinforcement plate at least 3 mm thick.

Each mounting foot must be attached by at least three bolts on a steel reinforcement plate at least 3 mm thick and of at least 120 cm<sup>2</sup> area which is welded to the bodyshell.

For cars homologated as from 01.01.2007, the area of 120 cm<sup>2</sup> must be the contact surface between the reinforcement plate and the bodyshell.

Examples according to Drawings 253-50 to 253-56.

For Drawing 253-52, the reinforcement plate need not necessarily be welded to the bodyshell.

In the case of Drawing 253-54, the sides of the mounting point may be closed with a welded plate.

Fixing bolts must have a minimum diameter of M8 and a minimum quality of 8.8 (ISO standard).

Fasteners must be self-locking or fitted with lock washers.

The angle between 2 bolts (measured from the tube axis at the level of the mounting foot cf. Drawing 253-50) must not be less than 60 degrees.

#### Mounting points of the backstays:

Each backstay must be secured by a minimum of 2 M8 bolts with mounting feet of at least 60 cm<sup>2</sup> area (Drawing 253-57), or secured by a single bolt in double shear (Drawing 253-58), provided it is of adequate section and strength and provided that a bush is welded into the backstay.

Their mountings must be reinforced by plates.

#### These are minimum requirements.

In addition, more fasteners may be used, the support plates of the mounting feet may be welded to reinforcement plates, the safety cage (as defined by Article 283-8.3.1) may be welded to the bodyshell/chassis.

#### Special case :

Diagonal members fixed to the bodyshell (see Drawing 253-6) must have reinforcement plates as defined above.

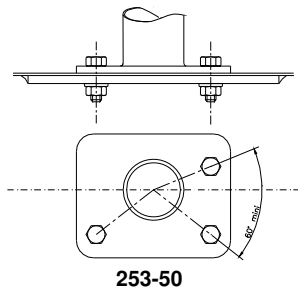
For non-steel bodyshells/chassis, any weld between the cage and the bodyshell/chassis is prohibited, only the bonding of the reinforcement plate on the bodyshell/chassis is permitted.

Rollcages equipping vehicles with a tubular or semi-tubular space frame (Groups T1 and T3) must be welded to the chassis or be an integral part of it.

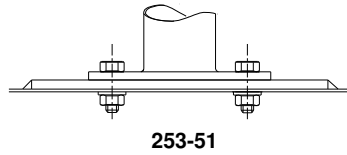
The mounting points of the front, lateral, semi-lateral and main rollbars must be situated at least at the level of the

niveau du plancher de l'habitacle.  
 Au moins un tube de même section et qualité doit prolonger  
 chaque pied d'arceau vers le bas.  
 Une diagonale supplémentaire est recommandée, ainsi  
 qu'un tube horizontal au niveau du plancher.

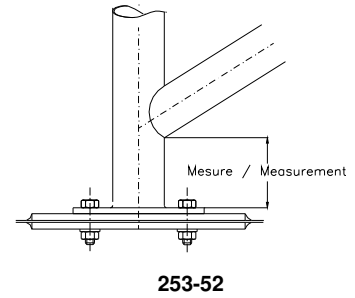
cockpit floor.  
 At least one tube of the same section and quality must  
 extend each foot of the rollbar downwards.  
 Another diagonal is recommended, as well as a horizontal  
 tube at floor level.



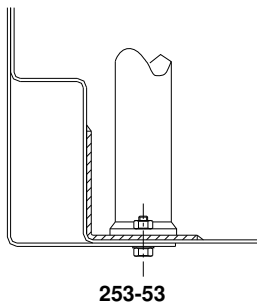
253-50



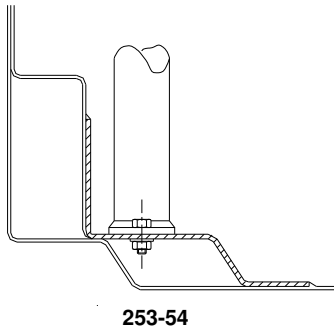
253-51



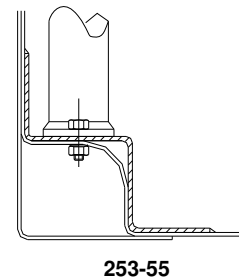
253-52



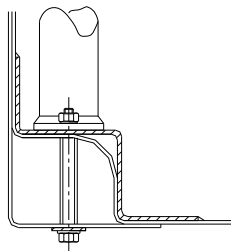
253-53



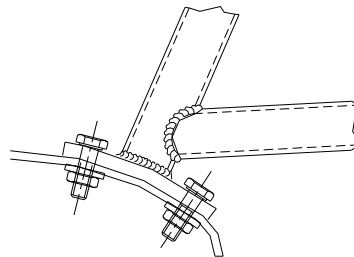
253-54



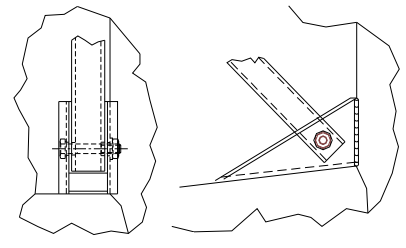
253-55



253-53



253-54



253-55

8.3.3 Spécifications des tubes

Seuls les tubes de section circulaire sont autorisés.  
 Spécifications des tubes utilisés :

**Attention :** Pour les voitures des Groupes T1 et T3, les  
 Articles 285-2 et 286-2 sont prédominants  
 pour les dimensions.

Tube specifications

Only tubes with a circular section are authorised.  
 Specifications of the tubes used:

**Warning :** For Group T1 and T3 cars, Articles 285-2 and  
 286-2 are prevailing for dimensions.

Matériau	Résistance minimale à la traction	Dimensions minimales (mm)	Utilisation
Acier au carbone non allié (voir ci-dessous) étiré à froid sans soudure contenant au maximum 0.3 % de carbone	350 N/mm <sup>2</sup>	45 x 2.5 (1.75"x0.095") ou 50 x 2.0 (2.0"x0.083")	Arceau principal (Dessins 253-1 et 253-3) ou Arceaux latéraux et Entretoise transversale arrière (Dessin 253-2)
		38 x 2.5 (1.5"x0.095") ou 40 x 2.0 (1.6"x0.083")	Demi-arceaux latéraux et autres parties de l'armature de sécurité (sauf indications contraires des articles ci-dessus)

Material	Minimum tensile strength	Minimum dimensions (mm)	Use
Cold drawn seamless unalloyed carbon steel (see below) containing a maximum of 0.3 % of carbon	350 N/mm <sup>2</sup>	45 x 2.5 (1.75"x0.095") or 50 x 2.0 (2.0"x0.083")	Main rollbar (Drawings 253-1 and 253-3) or Lateral rollbars and Rear transverse member (Drawing 253-2)
		38 x 2.5 (1.5"x0.095") or 40 x 2.0 (1.6"x0.083")	Lateral half-rollbars and other parts of the safety cage (unless otherwise indicated in the articles above)

**Note :**

Ces chiffres représentent les minima autorisés.  
En choisissant l'acier, il faudra faire attention à obtenir de bonnes qualités d'élongation et une aptitude correcte à la soudure.  
Le cintrage doit être effectué à froid avec un rayon de courbure (mesuré à l'axe du tube) d'au moins trois fois le diamètre du tube.  
Si le tube est ovalisé pendant cette opération, le rapport entre le petit et le grand diamètre doit être d'au moins 0.9.  
La surface au niveau des cintrages doit être uniforme et dépourvue d'ondulations ou de fissures.

**8.3.4 Indications pour la soudure**

Elles doivent être faites sur tout le périmètre du tube. Toutes les soudures doivent être de la meilleure qualité possible et d'une pénétration totale (de préférence soudure à l'arc sous gaz protecteur).  
Bien qu'une belle apparence extérieure ne soit pas nécessairement une garantie de la qualité des soudures, les soudures de mauvaise apparence ne sont jamais le signe d'un bon travail.  
Lors de l'utilisation des aciers traités thermiquement, les indications spéciales des fabricants doivent être respectées (électrodes spéciales, soudure sous gaz protecteur).

**8.3.5 Garniture de protection**

Aux endroits où le corps des occupants pourrait entrer en contact avec l'armature de sécurité, une garniture ignifugeante doit être utilisée comme protection.  
Aux endroits où les casques des occupants pourraient entrer en contact avec l'armature de sécurité, la garniture doit être conforme à la norme FIA 8857-2001 type A (voir liste technique n°23 "Garniture d'arceau de sécurité homologuée par la FIA") et être fixée à l'armature de façon permanente.  
Application : Pour toutes les catégories.

**Note:**

These figures represent the minima allowed.  
In selecting the steel, attention must be paid to obtaining good elongation properties and adequate weldability.

The tubing must be bent by a cold working process and the centreline bend radius must be at least 3 times the tube diameter.

If the tubing is ovalised during bending, the ratio of minor to major diameter must be 0.9 or greater.

The surface at the level of the bends must be smooth and even, without ripples or cracks.

**Guidance on welding**

These must be carried out along the whole perimeter of the tube. All welds must be of the highest possible quality with full penetration and preferably using a gas-shielded arc.

Although good external appearance of a weld does not necessarily guarantee its quality, poor looking welds are never a sign of good workmanship.

When using heat-treated steel the special instructions of the manufacturers must be followed (special electrodes, gas protected welding).

**Protective padding**

Where the occupants' bodies could come into contact with the safety cage, flame retardant padding must be provided for protection.

Where the occupants' crash helmets could come into contact with the safety cage, the padding must comply with FIA standard 8857-2001, type A (see technical list n°23 "Roll Cage Padding Homologated by the FIA") and must be permanently fixed to the cage.

Application : For all categories.

**ART. 9 RETRO-VISION**

La vision vers l'arrière doit être assurée de façon efficace par au moins deux rétroviseurs extérieurs (un de chaque côté du véhicule).

**REAR VIEW**

The rear view must be efficiently obtained by means of two outside mirrors (one on each side of vehicle).

**ART. 10 ANNEAU DE PRISE EN REMORQUE**

Au moins un anneau de prise en remorque doit être monté à l'avant et à l'arrière des voitures.  
Il doit être très solidement fixé et ne doit pas être utilisé pour soulever la voiture.  
Cet anneau doit être clairement visible et peint en jaune, rouge ou orange, et il doit être inscrit à l'intérieur du périmètre de la voiture. Diamètre intérieur minimum 50 mm.  
Chaque camion doit être équipé à l'avant d'un dispositif permettant l'attache d'une remorque. Sa solidité et sa taille doivent permettre de remorquer le véhicule sur l'itinéraire de la compétition.  
Il doit être peint au moyen d'une peinture contrastée (jaune, rouge ou orange) afin de pouvoir être facilement repéré, et pouvoir être utilisé rapidement en cas de besoin.  
Il ne doit pas dépasser de la surface de la carrosserie.

**TOWING-EYE**

All cars must be at least equipped with a rear and front towing-eye.  
This towing-eye must be very firmly fixed and it must not be used to lift the car.  
It must be clearly visible and painted in yellow, red or orange, and must be located within the perimeter of the car. Minimum inside diameter: 50 mm.  
All trucks must be fitted with a front towing attachment of strength and size adequate for towing the vehicle on the itinerary of the competition.

It must be painted in a contrasting colour (yellow, red or orange) for easy identification and be available for immediate use when required.

It must not project beyond the surface of the bumper bodywork.

**ART. 11 PARE-BRISE, VITRES, OUVERTURES****Pare-brise et vitres**

Les véhicules doivent être équipés d'un pare-brise en verre feuilleté muni d'une indication attestant ce fait.  
Il peut être équipé d'un ou plusieurs films transparents (épaisseur totale maximale de 400 microns) et incolore sur sa surface extérieure, sauf si cela est interdit par la réglementation routière du ou des pays parcourus au cours de la compétition.  
Toutes les autres vitres doivent être constituées de verre de sécurité, de type homologué.  
Une bande pare-soleil est autorisée pour le pare-brise (voir Annexe L), à condition qu'elle permette aux occupants de voir la signalisation routière (feux, panneaux...)  
En cas d'absence de pare-brise au départ d'une étape, le port d'un casque intégral avec visière ou de lunettes de

**WINDSCREEN, WINDOWS, APERTURES****Windscreen and windows**

A windscreen of laminated glass must be fitted, bearing a mark to verify the fact.  
It may be fitted with one or several transparent and colourless films (maximum total thickness of 400 microns) on its outer surface, unless this is forbidden by the traffic regulations of the country(ies) through which the competition is run.

All other windows may be of any type of homologated safety glass.

A sun strip for the windscreen is authorised (see Appendix L), on condition that it allows the occupants to see the road signs (traffic lights, traffic signs...).

In the event of absence of a windscreen at the start of a leg, the wearing of a full face helmet with a visor or of motocross

moto-cross, ou d'un casque ouvert avec lunettes de moto-cross est obligatoire pour tous les membres de l'équipage sinon le départ de l'étape sera refusé.

Durant les étapes, les équipages doivent posséder en permanence dans l'habitacle des lunettes de moto-cross qui doivent être utilisées en cas de bris de pare-brise.

Dans le cas où, à la suite d'un accident, la déformation de carrosserie ne permettrait pas le remplacement de pare-brise par celui d'origine en verre feuilleté, il peut être remplacé par un pare-brise en polycarbonate d'une épaisseur de 5 mm minimum.

Si le pare-brise est collé, il doit être possible de démonter ou de briser les vitres des portes avant depuis l'habitacle. Le démontage doit se faire sans l'aide d'outils.

Les vitres arrière et latérales, lorsqu'elles sont transparentes, doivent être en matériau homologué ou en polycarbonate d'au moins 3 mm d'épaisseur.

L'utilisation de films anti-déflagrants transparents et incolores sur la face intérieure des vitres latérales, de la vitre arrière, de la vitre du toit ouvrant et des miroirs des rétroviseurs extérieurs est obligatoire (parties en verre uniquement). Leur épaisseur ne doit pas être supérieure à 100 microns et ils doivent comporter un témoin permettant de contrôler leur présence.

L'utilisation de vitres teintées est autorisée pour les vitres latérales et arrière. Dans ce cas, une personne située à une distance de 5 m de la voiture doit pouvoir voir les occupants et ce qui est à l'intérieur de la voiture.

#### Filets

Tous les véhicules dont les portières avant sont équipées de vitres descendantes ou de vitres en verre doivent être équipées de filets de protection fixés sur ces portières au moyen d'un système à déconnexion rapide situé en partie inférieure.

L'usage de fixations à "clips" est recommandée.

Les fixations du filet en partie supérieure ne doivent pas être démontables sans l'aide d'outils.

Ces filets doivent avoir les caractéristiques suivantes :

Largeur minimum de bande: 19 mm.

Dimension minimum des ouvertures : 25 x 25 mm.

Dimension maximum des ouvertures : 60 x 60 mm.

et doit s'étendre, en vue de côté, du centre du volant jusqu'au point le plus en arrière du siège du côté concerné.

type goggles, or of an open face helmet with motocross type goggles is compulsory for all members of the crew, otherwise the vehicle shall not be admitted to the start of the leg.

During legs, crews must always have motocross type goggles in the cockpit, to be used in case of windscreen breakage.

If, after an accident, the deformation of the bodywork does not allow the replacement of the windscreen by a windscreen made from laminated glass, it may be replaced by a windscreen made from polycarbonate with a minimum thickness of 5 mm.

If the windscreen is glued, it must be possible, from inside the cockpit, to break the windows of the front doors or to remove them without using tools.

The rear and side windows, if transparent, must be made from a homologated material or from polycarbonate with a minimum thickness of 3 mm.

The use of transparent and colourless anti-shatter films on the interior face of the side windows, the rear window, the glass sunroof and the outside rear-view mirrors is mandatory (only for parts made from glass). The thickness of these films must not be greater than 100 microns and they must be fitted with an indicator allowing the control of their presence.

The use of tinted glass is permitted in side and rear windows. In such cases it must be possible for a person situated 5 m from the car to see the occupants as well as the contents of the car.

#### Nets

All vehicles of which the front doors are fitted with wind-down windows or glass windows must be equipped with protection nets affixed to these doors using a quick release system situated on the lower part.

The use of "clip" fixings is recommended.

The fixings of the net on the upper part must not be removable without the use of tools.

These nets must have the following characteristics :

Minimum width of the strips : 19 mm

Minimum size of the meshes : 25 x 25 mm.

Maximum size of the meshes : 60 x 60 mm.

and, viewed from the side, must reach from the centre of the steering wheel to the rearmost point of the seat on the side concerned.

### ART. 12 FIXATIONS DE SECURITE POUR PARE-BRISE

De telles fixations peuvent être utilisées librement.

### ART. 13 COUPE-CIRCUIT

Le dispositif antivol du commutateur d'allumage principal ("Neiman") d'origine doit être supprimé.

Le coupe-circuit général doit couper tous les circuits électriques (batterie, alternateur ou dynamo, lumières, avertisseurs, allumage, asservissements électriques, etc.) et doit également arrêter le moteur.

Pour les moteurs Diesel ne disposant pas d'injecteurs à commande électronique, le coupe-circuit doit être couplé avec un dispositif étouffeur de l'admission du moteur.

Ce coupe-circuit doit être d'un modèle antidéflagrant, et doit pouvoir être manoeuvré de l'intérieur par le pilote et le(s) copilote(s), assis et attachés par leurs ceintures de sécurité, et de l'extérieur de la voiture.

Les voitures des Groupes T1, T3 et T2 doivent être équipées de deux commandes extérieures, à raison d'une de chaque côté à la base des montants du pare-brise.

Elle doivent être clairement indiquées par un éclair rouge dans un triangle bleu à bordure blanche d'au moins 12 cm de base.

Les camions doivent être équipés d'un coupe-circuit et/ou d'un dispositif étouffeur permettant d'arrêter le moteur et l'alimentation par la batterie de tous les circuits électriques (à l'exception de celui du système d'extinction automatique). Cet interrupteur doit être de couleur jaune et il doit être reconnaissable à une étincelle rouge sur un triangle bleu à bords blancs.

Sa position doit être signalée par une indication visible d'au

### SAFETY FIXING DEVICES FOR WINDSCREEN

Such devices may be used freely.

### GENERAL CIRCUIT BREAKER

The anti-theft device of the original main ignition switch ("Neiman") must be removed.

The general circuit breaker must cut all electrical circuits, battery, alternator or dynamo, lights, hooters, ignition, electrical controls, etc.) and must also stop the engine.

For Diesel engines having no electronically controlled injectors, the circuit breaker must be coupled with a device cutting off the intake into the engine.

It must be a spark-proof model, and must be accessible from inside the car by the driver and the co-driver(s) seated and secured by their safety belts, and from outside the car.

Group T1, T3 and T2 cars must be equipped with two external switches, one on either side of the bottom of the windscreen pillars.

They must be marked by a red spark in a white-edged blue triangle with a base of at least 12 cm.

Trucks must be fitted with a circuit breaker and/or a choker device which shuts down the engine and disconnects the batteries from all electrical circuitry (except any automatic fire extinguisher system).

This switch must be painted yellow and identified by a red spark on a white edged, blue triangle.

A prominent notice not less than 20 cm in width must be

moins 20 cm de large.

Le coupe-circuit et le dispositif étouffeur doivent être placés à l'extérieur, au milieu de la face avant de la cabine, sous le pare-brise.

Le coupe-circuit général doit être facilement accessible à tout moment, même si le véhicule repose sur le côté ou sur le toit.

En outre, un interrupteur principal du moteur doit être placé dans la cabine et ses positions en circuit/hors-circuit doivent être clairement indiquées.

Il doit pouvoir être commuté par le pilote et le(s) copilote(s), assis et attachés par leurs ceintures de sécurité. L'interrupteur doit également mettre hors circuit toutes les pompes électriques à carburant.

Remarque :

Dans le cas de véhicules utilisant un interrupteur moteur mécanique, un dispositif interrupteur peut être monté à l'extérieur s'il est séparé du coupe-circuit électrique. Cependant, ce dispositif doit être monté près du coupe-circuit, être clairement signalé et comporter des instructions claires pour son déclenchement (ex : tirer manette pour arrêter le moteur).

affixed to indicate the location of the switch.

The circuit breaker and the choker device must be placed on the outside, in the middle of the front face of the cab, beneath the windscreen.

The circuit breaker must be easily accessible at all times, even if the vehicle is lying on its side or roof.

In addition, an engine shut-down switch must be fitted in the cab, with its on-off positions clearly marked.

It must be operable by the driver and the co-driver(s) when normally seated and secured by their safety belts. The switch must also isolate any electric fuel pumps.

Note:

In the case of vehicles which use a mechanical engine shut-down system, a shut-down device may be fitted on the outside, separate to the electrical circuit breaker. However, the device must be fitted close to the circuit breaker, be clearly marked and have clear operating instructions (e.g. pull knob to stop engine).

## ART. 14 RESERVOIRS DE SECURITE APPROUVES PAR LA FIA

Lorsqu'un concurrent utilise un réservoir de sécurité, celui-ci doit provenir d'un constructeur agréé par la FIA.

A cette fin, sur chaque réservoir livré doit être marqué le nom du constructeur, les spécifications précises selon lesquelles ce réservoir a été construit, le numéro d'homologation, la date de fin de validité et le numéro de série.

Le processus de marquage doit être indélébile et avoir été préalablement approuvé par la FIA selon la norme en vigueur.

### 14.1 Vieillessement des réservoirs

Le vieillissement des réservoirs souples entraîne au-delà de 5 ans une diminution notable de leurs propriétés physiques. Aucun réservoir ne doit être utilisé plus de cinq ans après sa date de fabrication, à moins qu'il n'ait été vérifié et re certifié par le constructeur pour une période supplémentaire d'au plus deux années.

Un couvercle étanche, en matériau ininflammable, facilement accessible et démontable uniquement à l'aide d'outils, doit être installé dans la protection des réservoirs FT3 1999, FT3.5 ou FT5 afin de permettre d'en vérifier la date de fin de validité.

### 14.2 Installation des réservoirs

Le réservoir peut être remplacé par un réservoir de sécurité homologué par la FIA (spécification FT3 1999, FT3.5 ou FT5), ou un autre homologué par le constructeur de la voiture. Dans ce cas, l'ouverture laissée par la suppression du réservoir d'origine peut être obturée par un panneau.

Le nombre de réservoirs est libre.

On peut également combiner les différents réservoirs homologués (y compris le réservoir standard) et des réservoirs FT3 1999, FT3.5 ou FT5.

Tout réservoir non homologué en même temps que le véhicule par un constructeur reconnu par la FIA doit être de type FT3 1999, FT3.5 ou FT5.

Les réservoirs collecteurs d'une capacité inférieure à 1 litre sont de construction libre. Leur nombre est limité à celui des réservoirs principaux équipant le véhicule.

Le réservoir d'origine peut être conservé mais dans sa position d'origine.

Un réservoir FT3 1999, FT3.5 ou FT5 de capacité accrue peut être monté à l'emplacement du réservoir d'origine.

Pour les voitures du Groupe T2 dont le constructeur a prévu un emplacement clos réservé aux bagages (coffre avant ou arrière), faisant partie intégrante de la carrosserie, ce logement doit être utilisé pour y loger le réservoir supplémentaire.

Des orifices doivent être prévus dans le plancher du coffre afin de permettre l'écoulement du carburant en cas de fuite.

Pour les voitures dont le constructeur n'a prévu aucun emplacement spécifique pour les bagages, faisant partie intégrante de la carrosserie, le réservoir supplémentaire

## FIA APPROVED SAFETY FUEL TANKS

Whenever a competitor uses a safety fuel tank, it must come from a manufacturer approved by the FIA.

To this end, on each tank delivered, the name of the manufacturer, the exact specifications according to which this tank has been manufactured, the homologation number, the date of the end of validity and the series number, must be marked.

The marking process must be indelible and must have been approved beforehand by the FIA according to the prevailing standard.

### Ageing of tanks

The ageing of safety tanks entails a considerable reduction in the strength characteristics after approximately five years. No bladder may be used more than 5 years after the date of manufacture, unless inspected and recertified by the manufacturer for a period of up to another two years.

A leak-proof cover, made from non-flammable material, easily accessible and removable only with the use of tools, must be installed in the protection for FT3 1999, FT3.5 or FT5 tanks, in order to allow the checking of the validity expiry date.

### Installation of tanks

The tank may be replaced by a safety tank homologated by the FIA (FT3 1999, FT3.5 or FT5 specification), or by another tank homologated by the manufacturer of the car. In this case a panel may be used to close off the opening left by the removal of the original tank.

The number of tanks is free.

It is also possible to combine the various homologated tanks (including the standard tank) and FT3 1999, FT3.5 or FT5 tanks.

Any tank which is not homologated with the vehicle by a manufacturer recognized by the FIA must be an FT3 1999, FT3.5 or FT5 tank.

Collecting tanks with a capacity of less than 1 litre are of free construction, but their number is limited by that of the main tanks equipping the vehicle.

The original tank may be conserved in its original position.

An increased capacity FT3 1999, FT3.5 or FT5 tank may be fitted in the position of the original tank.

For Group T2 cars in respect of which the manufacturer has provided for a closed compartment for luggage (front or rear luggage space) which is an integral part of the bodywork, this compartment must be used to house the additional tank.

Holes must be provided for in the floor of the boot in order to allow the outflow of the fuel in the event of a leak.

For cars in respect of which the manufacturer has not provided for a specific luggage compartment, as an integral part of the bodywork, the additional tank may be situated inside the cockpit to the rear of the rearmost seat.



peut se trouver à l'intérieur de l'habitacle en arrière du siège le plus en arrière.

Dans tous les cas, le réservoir, y compris la canalisation de remplissage, doit être totalement isolé au moyen de cloisons ou d'un caisson ininflammables et étanches, empêchant toute infiltration de carburant dans l'habitacle ou tout contact avec la tuyauterie d'échappement.

Au cas où le réservoir serait installé dans le compartiment à bagages et les sièges arrière enlevés, une cloison ou un caisson résistant au feu et étanche aux flammes et aux liquides doit séparer l'habitacle du réservoir.

Dans le cas des voitures à deux volumes, il est possible d'utiliser une cloison non structurelle de plastique transparent et non inflammable entre l'habitacle et l'emplacement du réservoir.

Les réservoirs doivent être efficacement protégés et très solidement fixés à la coque ou au châssis de la voiture.

L'utilisation de mousse de sécurité dans les réservoirs FT3 1999, FT3.5 ou FT5 est recommandée.

L'emplacement et la dimension de l'orifice de remplissage ainsi que du bouchon de fermeture, peuvent être changés à condition que la nouvelle installation ne fasse pas saillie hors de la carrosserie et présente toute garantie contre une fuite de carburant vers un des compartiments intérieurs de la voiture.

Ces orifices peuvent être situés dans les emplacements des vitres arrière ou latérales.

L'orifice de remplissage et la mise à l'air libre doivent toujours être situés à l'extérieur de l'habitacle sur une partie métallique.

Si un orifice de remplissage se trouve à l'intérieur de la carrosserie, il doit être entouré d'un réceptacle avec évacuation vers l'extérieur.

La mise à l'air libre doit sortir, soit sur le toit du véhicule, soit faire une boucle le plus haut possible à l'intérieur pour sortir sous le véhicule du côté opposé à son raccordement au réservoir.

Ces mises à l'air libre doivent être équipées de clapets auto-obturant.

Pour les voitures type pick-up engagés en T1 ou T2, et dont l'habitacle est totalement séparé du plateau arrière (cabine métallique complètement fermée), le réservoir doit obligatoirement être un réservoir de sécurité type FT3 1999, FT3.5 ou FT5 et le plateau doit être aménagé de manière à permettre l'écoulement du carburant en cas de fuite.

#### 14.3 Réservoirs avec goulotte de remplissage

Toutes les voitures munies d'un réservoir avec une goulotte de remplissage traversant l'habitacle doivent être équipées d'un clapet anti retour homologué par la FIA. Ce clapet de type "clapet à un ou deux battants" doit être installé dans la goulotte de remplissage côté réservoir.

La goulotte est définie comme étant le moyen utilisé pour relier l'orifice de remplissage de carburant du véhicule au réservoir de carburant lui-même.

#### 14.4 Ravitaillement

Avant tout ravitaillement, il est nécessaire d'établir une mise à la masse commune au véhicule et au dispositif de ravitaillement.

#### 14.5 Ventilation du réservoir

Le réservoir doit être équipé d'une ventilation conforme à l'Article 283-14.2, sauf si le réservoir, le circuit d'alimentation de carburant, et la ventilation de série sont conservés.

### ART. 15 PROTECTION CONTRE L'INCENDIE

Un écran de protection efficace doit être placé entre le moteur et tous les éléments métalliques d'une part, et les sièges des occupants d'autre part, pour éviter la projection directe des flammes en cas d'incendie.

### ART. 16 EQUIPEMENT LUMINEUX

Il doit être en tous points conforme à la convention internationale sur la circulation routière.  
Chaque véhicule doit être équipée d'au moins :  
- 2 phares (combinés code/phare),  
- 2 lanternes avant,

In all cases, the tank including the filling pipes, must be totally insulated by means of flameproof and liquid-tight bulkheads or casing, preventing the infiltration of fuel into the cockpit or contact with the exhaust pipes.

Should the tank be installed in the luggage compartment, and when the rear seats are removed, the cockpit must be separated from the tank by a fire-resistant, flameproof and liquid-tight bulkhead or casing.

In the case of a two-volume car, it is possible to use a non-structural, non-flammable bulkhead made from transparent plastic between the cockpit and the location of the tank.

Tanks must be efficiently protected and very firmly attached to the bodyshell or the chassis of the car.

The use of safety foam in FT3 1999, FT3.5 or FT5 tanks is recommended.

The location and dimension of the filler hole and cap may be changed on condition that the new installation does not protrude beyond the bodywork and gives every guarantee against a possible leakage of fuel into one of the inner compartments of the car.

These holes may be situated in the location of the rear or side windows.

The filler hole and the air vent must always be situated outside the cockpit on a metal part.

If there is a filler hole inside the bodywork, it must be surrounded by a receptacle with outflow to the outside.

The air vent must either come out on the roof of the vehicle or make a loop as high as possible inside the vehicle and come out under the vehicle on the opposite side to its connection to the tank.

These air vents must be fitted with self-sealing valves.

For pick-up cars in T1 or T2, the cockpit of which is totally separated from the rear platform (completely closed metal cabin), the tank must be an FT3 1999, FT3.5 or FT5 type tank and the platform must be modified in order to allow the outflow of the fuel in the event of a leak.

#### Fuel tanks with filler necks

All cars fitted with a fuel tank with a filler neck passing through the cockpit must be equipped with a non-return valve homologated by the FIA. This valve, of the type "with one or two flaps", must be installed in the filler neck on the tank side."

The filler neck is defined as being the means used to connect the fuel filler hole of the vehicle to the fuel tank itself.

#### Refuelling

Prior to any refuelling operation, it is necessary to establish earthing common to the vehicle and to the refuelling device.

#### Tank ventilation

The tank must be equipped with ventilation complying with Article 283-14.2, unless the series production tank, fuel feed circuit and ventilation are retained.

### PROTECTION AGAINST FIRE

An efficient protective screen must be placed between the engine and all the mechanical parts on the one hand, and the occupant's seats on the other hand, in order to prevent the direct passage of flames in case of fire.

### LIGHTING EQUIPMENT

The lighting equipment must comply on all points with the International Convention on Road Traffic.  
Each vehicle must be fitted with at least:  
- 2 headlights (combined passing lights/headlights)  
- 2 front lamps

- 2 lanternes arrière et éclairage de plaque,
- 2 feux stop,
- 2 clignotants indicateurs de direction avant et arrière,
- Feux de détresse.

Deux phares supplémentaires peuvent être installés à condition qu'ils ne soient pas situés à plus de 250 mm au dessus de la base du pare brise.

Ils peuvent être logés dans les supports des rétroviseurs extérieurs.

Chaque feu "stop" doit avoir une surface minimum de 50 cm<sup>2</sup>. Les deux phares et les projecteurs additionnels doivent se trouver en avant de l'axe des roues avant à une hauteur maximum correspondant à celle de la ligne du capot/bas du pare-brise (huit projecteurs maximum).

Tous les phares situés à l'avant, avec une surface de plus de 32 cm<sup>2</sup>, doivent être protégés de façon adéquate, et comporter, en cas de bris, une grille ou un panneau additionnel transparent.

Chaque véhicule doit également être équipée de deux feux arrière rouges additionnels dits "de brouillard", jumelés ou juxtaposés à deux feux "stop" additionnels.

Chacun de ces feux doit être approuvé conformément à la norme routière ECE R38 (ou norme d'un autre pays au moins équivalente), ou approuvé par la FIA (Liste technique n°19).

Ils doivent être situés à au moins 1.25 m du sol, visibles par l'arrière et fixés à l'extérieur. Ils doivent être fixés aux deux extrémités arrière du véhicule ou pour les types "pick-up" dans les angles supérieurs de la partie arrière de la cabine.

Ces feux doivent être constamment allumés pendant le déroulement du secteur sélectif, sur prescription du directeur de course.

Tous ces équipements lumineux doivent être maintenus en parfait état de fonctionnement pendant toute la durée de la compétition.

Un équipage peut se voir refuser le départ d'une étape jusqu'à la remise en état du circuit électrique si celui-ci était constaté défaillant.

#### ART. 17 AVERTISSEUR SONORE

Chaque véhicule doit être équipée d'un avertisseur sonore puissant en état de marche pendant toute la durée de la compétition.

#### ART. 18 ROUES DE SECOURS

Chaque voiture doit comprendre au moins deux roues de secours identiques à celles équipant la voiture et très solidement arrimées et ce, pendant toute la durée de la compétition.

#### ART. 19 BAVETTES

Les bavettes transversales sont acceptées dans les conditions suivantes :

- elles doivent être en matériau souple.
- elles doivent couvrir au moins la largeur de chaque roue, mais au moins un tiers de la largeur de la voiture (voir Dessin 252-6) doit être libre derrière les roues avant et les roues arrière.
- au moins 20 cm d'écart entre la bavette droite et la bavette gauche en avant des roues arrière.
- le bas de ces bavettes doit être à, au plus, 10 cm du sol lorsque la voiture est à l'arrêt, sans personne à bord.
- ces bavettes ne doivent pas dépasser en projection verticale la carrosserie.

Ces bavettes sont obligatoires derrière les roues les plus en arrière et en arrière des roues motrices ; elles doivent satisfaire aux conditions ci-dessus, doivent être en toile caoutchoutée ou en plastique (épaisseur minimale 5 mm) et ne doivent pas présenter d'interstices avec la carrosserie.

Des bavettes contre les projections frontales, en matériau souple, peuvent être installées à l'avant du véhicule.

Elles ne doivent pas dépasser la largeur hors-tout de la voiture, ni dépasser de plus de 10 cm sa longueur hors-tout originale, et au moins un tiers de la largeur de la voiture doit être libre devant les roues avant.

Pour les véhicules à plus de 4 roues motrices, sont seulement considérées les roues les plus en arrière des

- 2 rear lamps and number plate lighting
- 2 stop lights
- 2 flashing indicators at the front and at the rear
- distress lights.

Two additional headlights may be fitted, provided that they are not situated more than 250 mm above the base of the windscreen.

They may be housed inside the supports of the external rear view mirrors.

Each 'stop' light must have a minimum surface of 50 cm<sup>2</sup>. The two headlamps and the additional lamps must be located in front of the axis of the front wheels, at a maximum height corresponding to that of the line of the bonnet/bottom of the windscreen (8 lamps maximum).

All forward facing lamps of more than 32 cm<sup>2</sup> surface area must be adequately protected and secured in case of glass breakage, by a grille or additional translucent panel.

Each vehicle must also be equipped with two additional red rear fog lamps, twinned or placed side by side with two additional "stop" lights.

Each of these lamps must be approved according to the ECE R38 road standard (or an equivalent or stricter standard from another country), or approved by the FIA (Technical list n°19).

They must be situated at a minimum height of 1.25 m from the ground, visible from the rear and attached to the outside of the vehicle. They must be fixed to both rear sides of the vehicle or, for pick-up type vehicles, to the upper angles of the rear part of the cabin.

These lights must be constantly switched on during the running of the selective section upon the directions of the Clerk of the Course.

All the lighting equipment must be maintained in perfect working order throughout the entire duration of the competition.

A crew may not be allowed to start a stage until the electric circuit has been mended should it have been ascertained as being faulty.

#### AUDIBLE WARNING DEVICE

Each vehicle must be equipped with a compressor audible warning device, in working order throughout the entire duration of the competition.

#### SPARE WHEELS

Each vehicle must include at least two spare wheels, identical to those with which the car is fitted, which must be very firmly secured throughout the entire duration of the competition.

#### MUDFLAPS

Transverse mud flaps are accepted under the following conditions:

- they must be made from flexible material.
- they must cover at least the width of each wheel, but at least one third of the width of the car (see Drawing 252-6) must be free behind the front wheels and the rear wheels.
- there must be a gap of at least 20 cm between the right and left mud flaps in front of the rear wheels.
- the bottom of these mud flaps must be no more than 10 cm from the ground when the car is stopped, with nobody on board.
- in vertical projection, these mud flaps must not protrude beyond the bodywork.

These mud flaps are compulsory to the rear of the rearmost wheels and to the rear of the driven wheels ; they must fulfil the preceding conditions, must be made from rubberised canvas or plastic (minimum thickness 5 mm) and be continuous with the bodywork.

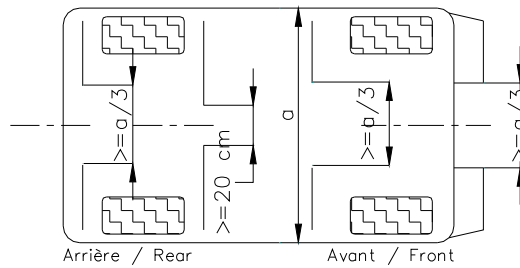
Mud flaps to prevent splashing towards the front, made from flexible material, may be installed at the front of the vehicle.

They must not protrude beyond the overall width of the vehicle, or beyond the original overall length by more than 10 cm, and at least one third of the width of the car must be free in front of the front wheels.

For vehicles with more than 4 driven wheels, the only wheels to be taken into consideration are the rearmost wheels on

essieux avant et arrière.

the front and rear axles.



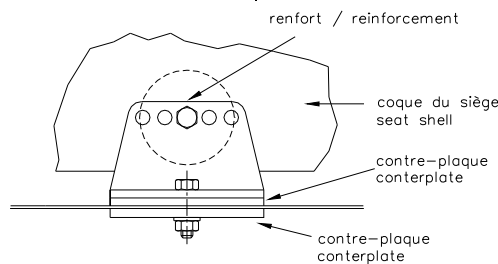
252-6

**ART. 20 SIEGES**

**SEATS**

En T2 et T4, si les fixations sont modifiées, ces pièces doivent, soit avoir été produites par un fabricant approuvé par la FIA, soit être conformes aux spécifications suivantes (voir Dessin 253-65) : Dans tous les cas, le système coulissant d'origine doit être supprimé ou bloqué définitivement.

In T2 and T4 if the original seat attachments are changed, these parts must either be made by a FIA approved manufacturer or must comply with the following specifications (see Drawing 253-65): In all cases, the original sliding system must be removed or permanently blocked.



253-65

- 1) Les fixations sur la coque/châssis doivent comporter au minimum 4 attaches par siège utilisant des boulons de 8 mm minimum de diamètre avec contreplaques conformément au dessin.  
Les surfaces de contact minimales entre support, coque/châssis et contreplaques sont de 40 cm<sup>2</sup> pour chaque point de fixation. Si des systèmes d'ouverture rapide sont utilisés, ils doivent pouvoir résister à des forces horizontale et verticale de 18000 N, non appliquées simultanément.
  - 2) La fixation entre le siège et les supports doit être composée de 4 attaches, 2 à l'avant, 2 sur la partie arrière du siège, utilisant des boulons d'un diamètre minimum de 8 mm et des renforts intégrés aux sièges.  
Chaque attache doit pouvoir résister à une charge de 15000 N quelle qu'en soit la direction.
  - 3) L'épaisseur minimum des supports et des contreplaques est de 3 mm par l'acier et de 5 mm pour les matériaux en alliage léger.  
La dimension longitudinale minimale de chaque support est de 6 cm.
  - 4) En cas d'utilisation d'un coussin entre le siège homologué et l'occupant, ce coussin doit être d'une épaisseur maximale de 50 mm.  
Tous les sièges des occupants doivent être homologués par la FIA (normes 8855/1999 ou 8862/2009), et non modifiés.
- ◆ Sièges conformes à la norme FIA 8855/1999 :  
La limite d'utilisation est de 5 ans à partir de la date de fabrication mentionnée sur l'étiquette obligatoire.  
Une extension supplémentaire de 2 ans peut être accordée par le fabricant et doit être mentionnée par une étiquette supplémentaire.
  - ◆ Sièges conformes à la norme FIA 8862/2009 :  
La limite d'utilisation est de 10 ans à compter de l'année de fabrication.  
L'utilisation des supports homologués avec le siège est obligatoire.

Supports must be attached to the shell/chassis via at least 4 mounting points per seat using bolts with a minimum diameter of 8 mm and counterplates, according to the drawing.  
The minimum area of contact between support, shell/chassis and counterplate is 40 cm<sup>2</sup> for each mounting point. If quick release systems are used, they must be capable of withstanding vertical and horizontal forces of 18000 N, applied non-simultaneously.

The seat must be attached to the supports via 4 mounting points, 2 at the front and 2 at the rear of the seat, using bolts with a minimum diameter of 8 mm and reinforcements integrated into the seat.  
Each mounting point must be capable of withstanding a force of 15000 N applied in any direction.

The minimum thickness of the supports and counterplates is 3 mm for steel and 5 mm for light alloy materials.  
The minimum longitudinal dimension of each support is 6 cm.

If there is a cushion between the homologated seat and the occupant, the maximum thickness of this cushion is 50 mm.

All the occupants' seats must be homologated by the FIA (8855/1999 or 8862/2009 standards), and not modified.

Seats in compliance with 8855/1999 FIA standard:  
The limit for use is 5 years from the date of manufacture indicated on the mandatory label.  
An extension of 2 further years may be authorised by the manufacturer and must be indicated by an additional label.

Seats in compliance with 8862/2009 FIA standard:  
The limit for use is 10 years from the year of manufacture.

The use of supports homologated with the seat is compulsory.

**ART. 21 COUSSINS GONFLABLES DE SECURITE**

**SAFETY AIRBAGS**

Tout système comportant un coussin gonflable de sécurité doit être supprimé.

Any system having a safety airbag must be removed.

ART. 22 EXIGENCES SPECIFIQUES AUX VEHICULES A PROPULSION ELECTRIQUE	SPECIFIC REQUIREMENTS FOR ELECTRICALLY-POWERED VEHICLES
Voir Article 253-18.	See Article 253-18.
<b>MODIFICATIONS APPLICABLES AU 01.01.2015</b> .....	<b>MODIFICATIONS APPLICABLE ON 01.01.2015</b> .....
<b>MODIFICATIONS APPLICABLES AU 01.01.2016</b> .....	<b>MODIFICATIONS APPLICABLE ON 01.01.2016</b> .....

## ANEXO III

ARTIGO 285 – 2014 DA FIA





## Article 285 – 2014

### Réglementation spécifique aux Voitures Tout-Terrain Modifiées Specific regulations for Modified Cross-Country Cars (Groupe T1 / Group T1)

Article modifié - Modified Article	Date d'application - Date of application	Date de publication - Date of publication
<p>Voitures terrestres à moteur unique à propulsion mécanique au sol, de 4 à 8 roues (si le véhicule a plus de 4 roues, l'approbation de la FIA est requise), mues par leurs propres moyens, et dont la propulsion et la direction sont contrôlées par un conducteur à bord de la voiture.</p> <p>Ces voitures peuvent être construites à l'unité mais doivent être immatriculées dans un pays et être conformes à la Convention Internationale sur la Circulation Routière concernant l'éclairage.</p> <p>Les véhicules à 4 roues motrices sont désignés 4x4 et les véhicules à 2 roues motrices sont désignés 4x2 dans les articles ci-dessous.</p> <p>Les 4x4 doivent comporter au minimum 2 places.</p> <p><u>Marque automobile :</u> Une "marque automobile" correspond à une voiture complète.</p> <p>Lorsque le constructeur de la voiture monte un moteur de provenance étrangère à sa propre fabrication, la voiture est considérée comme "hybride" et le nom du constructeur du moteur peut être associé à celui du constructeur de la voiture.</p> <p>Au cas où une Coupe, un Trophée, ou un titre de Champion serait gagné par une voiture hybride, il serait donné au constructeur de la voiture.</p>	<p>Mechanically propelled single-engined land vehicles with 4 to 8 wheels (if the vehicle has more than 4 wheels, it requires FIA approval), propelled by their own means, and of which the propelling device and steering are controlled by a driver on board the vehicle.</p> <p>These cars may be unit-built, but must be registered in one country and must comply with the International Convention on Road Traffic with regard to lighting.</p> <p>The 4-wheel drive vehicles are designated 4x4 and the 2-wheel drive vehicles are designated 4x2 in the articles below.</p> <p>4x4 must have a minimum of 2 seats.</p> <p><u>Automobile make:</u> An "automobile make" corresponds to a complete car.</p> <p>When the car manufacturer fits an engine that it does not manufacture, the car is considered as a hybrid and the name of the engine manufacturer may be associated with that of the car manufacturer.</p> <p>Should a hybrid car win a Championship Title, Cup or Trophy, this will be awarded to the manufacturer of the car.</p>	
<p><b>ART. 1 OBLIGATIONS</b></p> <p>Les voitures du Groupe T1 doivent être conformes aux prescriptions générales et aux équipements de sécurité définis aux Articles 282 et 283 respectivement.</p> <p>Tout réservoir d'huile, et tout réservoir de carburant, doit être situé dans la structure principale du véhicule.</p> <p>Seuls les réservoirs de carburant répondant aux normes FT3 1999, FT3.5 ou FT5 sont acceptés.</p> <p>Il doit être situé en arrière de l'arrière du tube d'arceau principal.</p> <p>Aucune partie du réservoir ne doit être située à moins de 40 mm au-dessus de la surface de référence.</p> <p>Surface de référence : plan défini par la face inférieure des tubes les plus bas du châssis situés à l'intérieur de la projection verticale du réservoir de carburant (Dessin 285-1).</p> <p>Pour les 4x2, plusieurs réservoirs de carburant sont autorisés et ils peuvent se prolonger vers l'avant sous les points de fixation des sièges au châssis, mais pas à moins de 1100 mm en arrière de l'axe d'essieu avant.</p> <p>Tous les véhicules doivent avoir un blindage (plaque en alliage d'aluminium ou acier de 6mm d'épaisseur minimum) fixé directement au châssis en dessous de toute partie du ou des réservoirs située à moins de 200 mm au-dessus de la surface de référence.</p> <p>Le nombre de points d'aspiration est limité à 2 et la pression des pompes de gavage ne doit pas être supérieure à 1 bar.</p> <p>Le nombre de sorties de carburant est limité à 2.</p> <p>En dehors de ce réservoir, la capacité maximale de carburant autorisée est de 6 litres.</p>	<p><b>OBLIGATIONS</b></p> <p>Group T1 cars must comply with the general prescriptions and with the safety equipment defined in Articles 282 and 283 respectively.</p> <p>Any tank containing oil or fuel must be situated within the main structure of the vehicle.</p> <p>Only fuel tanks conforming to the FT3 1999, FT3.5 or FT5 standards are permitted.</p> <p>It must be situated to the rear of the back of the main rollbar tube.</p> <p>No part of the tank may be situated less than 40 mm above the reference surface.</p> <p>Reference surface : plane defined by the lower face of the lowest tubes of the chassis that are situated within the vertical projection of the fuel tank (Drawing 285-1).</p> <p>For 4x2, several fuel tanks are permitted and they may extend forward below the level of the mounting points of the seats to the chassis, but no less than 1100 mm rearward of the front axle centre line.</p> <p>All vehicles must have a shielding (aluminium alloy or steel plate of 6 mm minimum thickness) fitted directly onto the chassis underneath any part of the tank(s) situated less than 200 mm above the reference surface.</p> <p>The number of suction points is limited to 2 and the pressure of the suction pumps must not be more than 1 bar.</p> <p>The number of fuel exits is limited to 2.</p> <p>Outside this tank, the maximum fuel capacity is 6 litres.</p>	
<p><b>ART. 2 CHASSIS ET ARMATURE DE SECURITE</b></p> <p>Seuls les châssis tubulaires en matériaux ferreux sont autorisés.</p>	<p><b>CHASSIS AND SAFETY CAGE</b></p> <p>Only tubular frame chassis in ferrous materials are authorised.</p>	

L'épaisseur des tubes constituant les parties structurelles du châssis ne doit pas être inférieure à 1.5 mm.

Tous les tubes constituant l'armature de sécurité telle que définie à l'Article 283-8.3.1 (Dessins 253-1, 253-2, 253-3) doivent avoir les dimensions minimales suivantes : 50x2 mm (2.0"x0.083") ou 45x2.5 mm (1.75" x 0.095").

L'arrière du tube d'arceau principal au niveau de son pied d'ancrage ne doit pas être à plus de 980 mm du centre de la roue arrière (voir Dessin 285-1).

Pour les voitures construites avec une armature de sécurité comportant un deuxième arceau principal (voir Article 283-3.2.3 et Dessin 283-3), c'est le deuxième arceau principal qui doit être pris comme référence.

Une zone de rembourrage de matériaux de 60-240 g/m<sup>2</sup>, d'une épaisseur minimum de 40 mm, doit être positionnée sur le volant de direction sur une surface minimale de 20000 mm<sup>2</sup> (200 cm<sup>2</sup>) pour protéger le visage du pilote.

La voiture doit avoir une structure immédiatement derrière le siège du pilote, plus large et plus haute que les épaules lorsqu'il est assis normalement dans la voiture, attaché par sa ceinture.

The thickness of the tubes forming the structural part of the chassis must not be less than 1.5 mm.

All tubes of the safety cage defined in Article 283-8.3.1 (Drawings 253-1, 253-2, 253-3) must have a minimum section of 50x2 mm (2.0"x0.083") or 45x2.5 mm (1.75"x0.095").

The back of the main rollbar tube at its anchorage foot level must not be positioned more than 980 mm from the centre of the rear wheel (see Drawing 285-1).

For cars built with a safety cage having a second main rollbar (see Article 283-3.2.3 and Drawing 283-3), the second main rollbar must be considered as the reference.

Padding in the form of 60-240 g/m<sup>2</sup> material, with a minimum thickness of 40 mm, must be fitted on the steering wheel over a minimum surface of 20000 mm<sup>2</sup> (200 cm<sup>2</sup>) to protect the driver's face.

The car must have a structure immediately behind the driver's seat that is wider than his shoulders and extends above them when he is seated normally in the car with his seat belt fastened.

## ART. 3 CARROSSERIE

### 3.1 Extérieur

Le châssis doit soit :

- provenir d'un châssis (ou d'une monocoque) d'une voiture d'une production supérieure à 1000 véhicules par an (approbation de la FIA nécessaire);  
Dans ce cas, le châssis (ou la monocoque) et la carrosserie ne peut être modifié que conformément aux Articles 3.2.2, 3.2.4 et 5.1.2.
- soit être fabriqué à l'aide de tubes en acier.

Le pare-brise est facultatif.

S'il est cependant prévu, il doit être en verre feuilleté, quelles que soient sa forme et sa surface.

Si le pare-brise est collé, il doit être possible de démonter les vitres des portes avant ou les portes avant depuis l'habitacle sans l'aide d'outils.

Tous les éléments de carrosserie doivent être soigneusement et complètement finis, sans pièces provisoires ni de fortune, ni aucun angle vif.

Aucun élément de carrosserie ne peut présenter de parties tranchantes ou pointues.

Tout véhicule doit être équipé d'une carrosserie en matière dure et non transparente s'élevant au minimum jusqu'au centre du volant sans pouvoir être à moins de 420 mm au-dessus du plan de fixation du siège conducteur, et fournissant une protection contre les projections de pierre.

La carrosserie doit recouvrir en projection verticale au minimum 120° de la partie supérieure des roues (située au-dessus de l'axe de roue en vue de côté) et aucun composant mécanique ne doit être visible de dessus à l'exception des amortisseurs, des radiateurs, des ventilateurs et des roues de secours, points d'ancrage et de fixation compris (voir Dessin 285-1).

La carrosserie doit au minimum descendre ou être prolongée vers l'arrière jusqu'au niveau du bord supérieur de la jante.

Toutes les parties ayant une influence aérodynamique et toutes les parties de la carrosserie doivent être rigidement fixées à la partie entièrement suspendue de la voiture (ensemble châssis/carrosserie), ne comporter aucun degré de liberté, être solidement fixées et rester immobiles par rapport à cette partie lorsque la voiture se déplace.

La voiture doit être équipée de deux rétroviseurs, un de chaque côté de la voiture, afin d'obtenir une vision efficace vers l'arrière.

Chaque rétroviseur doit avoir une surface minimale de 90 cm<sup>2</sup>.

Les Commissaires Techniques doivent être assurés par une démonstration pratique que le pilote, assis normalement, aperçoit clairement les véhicules qui le suivent.

A cet effet, le pilote sera prié d'identifier des lettres ou chiffres, de 15 cm de haut et de 10 cm de large, disposés au hasard sur des panneaux placés derrière la voiture selon les instructions suivantes :

- Hauteur : Entre 40 cm et 100 cm du sol.
- Largeur : 2 m d'un côté ou de l'autre de l'axe de la voiture.

## BODYWORK

### Exterior

The chassis must either:

- derive from a chassis (or monocoque body) of a car produced in a quantity greater than 1000 per year (FIA approval required) ;  
In this case, this chassis (or monocoque body) and the bodywork may be modified only in accordance with Articles 3.2.2, 3.2.4 and 5.1.2.
- or be a steel tubular frame chassis.

A windscreen is optional.

However, should there be one, it must be made of laminated glass regardless of its shape and surface.

If the windscreen is glued, it must be possible to remove the front doors or the windows of the front doors from inside the cockpit without using tools.

All parts of the bodywork must be carefully and fully finished, with no temporary or makeshift parts and no sharp corners.

No part of the bodywork may present sharp edges or points.

The bodywork of each car must be made from a hard, non-transparent material extending upwards to at least the centre of the steering wheel without being less than 420 mm above the plane determined by the mounting plane of the driver's seat, and it must provide protection against loose stones.

Seen in vertical projection, the bodywork must cover at least 120° of the upper part of the wheels (situated above the wheel axis as viewed from the side) and no mechanical component may be visible from above with the exception of shock absorbers, radiators, fans and spare wheels, including their anchorage points and attachments (see Drawing 285-1).

The bodywork must reach, or be extended rearwards at least to the level of the upper edge of the rim.

All parts having an aerodynamic influence and all parts of the bodywork must be secured rigidly to the completely sprung part of the car (chassis/body unit), must not have any degree of freedom, must be securely fixed and must remain immobile in relation to this part when the car is in motion.

The car must be fitted with two rear view mirrors, one on each side of the car, to provide efficient views to the rear.

Each mirror must have a minimum area of 90 cm<sup>2</sup>.

The Scrutineers must be assured, by means of a practical demonstration, that the driver, when seated normally, can clearly see the vehicles following him.

To this end, the driver will be asked to identify letters or figures, 15 cm high and 10 cm wide, displayed at random on boards placed behind the car according to the following instructions:

- Height: Between 40 cm and 100 cm from the ground.
- Width: 2 m either side of the centre line of the car.

- Position : 10 mètres derrière l'axe de l'essieu arrière de la voiture.  
Des caméras de rétro vision sont autorisées à condition qu'elles soient fixes.

### 3.2 Dimensions maximales

#### 3.2.1 Largeur

Pour les 4x4, la largeur maximale de la carrosserie est fixée à 2000 mm sans les rétroviseurs.  
Pour les 4x2, la largeur maximale de la carrosserie est fixée à 2200 mm sans les rétroviseurs.

#### 3.2.1b Hauteur (4x4 seulement)

Sur une surface minimum de 1 m<sup>2</sup> (1m x 1m), le toit doit être situé à une distance verticale minimale de 1410 mm de la surface de référence (voir Dessin 285-1).

#### 3.2.2 Porte-à-faux (4x4 seulement)

Les porte-à-faux avant et arrière sont fixés à 660 mm minimum (voir Dessin 285-1).  
Vue en projection verticale, cette valeur de 660 mm doit être maintenue sur une distance minimale de 500 mm autour de l'axe de la voiture (250 mm de chaque côté).  
Cette mesure doit être effectuée par rapport à l'axe d'essieu (voir Dessin 285-1) et sur une partie rigide de la carrosserie.

#### 3.2.3 Empattement

Si le châssis (ou la monocoque) provient d'une voiture d'une production supérieure à 1000 véhicules par an (voir Article 3.1), l'empattement de série doit être conservé, ou peut être modifié à condition de ne pas être inférieur à 2900 mm.

Pour les châssis tubulaires, l'empattement est :

- fixé à 2900 mm +/- 60 mm pour les 4x4 (voir Dessin 285-1).
- libre pour les 4x4 à ponts rigides avant et arrière, et pour les 4x2.

### 3.3 Intérieur

L'axe du pédalier doit se trouver en arrière ou à l'aplomb de l'axe des roues avant.

La carrosserie doit être conçue de manière à fournir confort et sécurité au conducteur et aux éventuels coéquipiers.  
Aucun élément de carrosserie ne peut présenter de parties tranchantes ou pointues.

Aucune partie mécanique ne doit faire saillie à l'intérieur de l'habitacle.

Des trappes de visite sont autorisées dans les cloisons de l'habitacle.

A l'exception du filtre à air, du système d'air conditionné, des conduits de réfrigération des occupants, elles ne doivent permettre ni le montage ni le démontage d'éléments mécaniques.

La surface totale des trappes de visite est limitée à 750 cm<sup>2</sup> (trappes de visite de filtres à air, système d'air conditionné, conduits de réfrigération des occupants exclus).

Elles doivent permettre à l'habitacle de conserver son étanchéité aux liquides et aux flammes.

Tout équipement pouvant entraîner un risque doit être protégé ou isolé et ne pas être situé dans l'habitacle.

Les voitures doivent obligatoirement avoir des ouvertures latérales permettant la sortie du conducteur et des éventuels coéquipiers.

Ces ouvertures doivent avoir des dimensions telles qu'il soit possible d'y inscrire un carré d'au moins 500 mm de large et 500 mm de haut mesurés verticalement et dont les angles peuvent comporter un arrondi d'un rayon maximum de 150 mm.

Les portières pourvues de glaces doivent comporter une ouverture faite d'un matériau transparent qui puisse contenir un parallélogramme dont les côtés horizontaux mesureront au moins 400 mm.

La hauteur mesurée sur la surface de la fenêtre perpendiculairement aux côtés horizontaux doit être d'au moins 250 mm.

Les angles peuvent être arrondis selon un rayon maximum de 50 mm. Les mesures seront prises à la corde.

- Position: 10 metres behind the centre line of the rear axle of the car.  
Rear view cameras are permitted provided they are not moveable.

### Maximum dimensions

#### Width

For 4x4, the maximum width of the bodywork is 2000 mm without rear view mirrors.

For 4x2, the maximum width of the bodywork is 2200 mm without rear view mirrors.

#### Height (4x4 only)

Over a minimum surface of 1 m<sup>2</sup> (1m x 1m), the roof must be at a minimum vertical distance of 1410 mm from the reference surface (see Drawing 285-1).

#### Overhang (4x4 only)

The front and rear overhangs must not be less than 660 mm (see Drawing 285-1).

Seen in vertical projection, this 660 mm value has to be maintained over a minimum distance of 500 mm around the centre line of the car (250 mm each side).

This measurement has to be made from the axle centre line (see Drawing 285-1), on a rigid part of the bodywork.

#### Wheelbase

If the chassis (or monocoque body) is derived from the chassis of a car produced in a quantity greater than 1000 per year (see Article 3.1), the series wheelbase must be retained, or may be modified provided that it is not less than 2900 mm.

For the tubular frame chassis, the wheelbase :

- must be 2900 mm +/- 60 mm for 4x4 (see Drawing 285-1).
- is free for 4x4 with front and rear rigid axles and for 4x2.

### Interior

The axis of the pedal box must be situated behind or directly above the axis of the front wheels.

The bodywork must be designed to ensure the comfort and safety of the driver and possible co-drivers.

No part of the bodywork may present sharp edges or points.

No mechanical part may protrude into the interior of the cockpit.

Inspection hatches are authorised in the bulkheads of the cockpit.

With the exception of the air filter, air conditioning system and cooling ducts for the occupants, they must allow neither the installation nor the removal of mechanical parts.

The total surface of the inspection hatches is limited to 750 cm<sup>2</sup> (inspection hatches for air filters, air conditioning system, cooling ducts for the occupants excluded).

They must allow the cockpit to remain leakproof and flameproof.

Any equipment that could involve a risk must be protected or insulated and must not be situated in the cockpit.

The cars must have lateral openings allowing the exit of the driver and possible co-drivers.

The dimensions of these openings must be such that it is possible to fit into them a rectangle at least 500 mm wide and 500 mm high, measured vertically, the corners of which may be rounded with a maximum radius of 150 mm.

Doors with windows must have an opening made of transparent material and into which it is possible to fit a parallelogram with horizontal sides measuring at least 400 mm.

The height measured on the surface of the window perpendicularly to the horizontal sides must be at least 250 mm.

The angles may be rounded, with a maximum radius of 50 mm. The measurements will be taken across the chord of

Les voitures dépourvues de glaces latérales doivent être équipées de filets latéraux de protection conformément à l'Article 283-11.

L'habitacle doit être conçu de telle sorte qu'un occupant puisse le quitter depuis sa position normale dans le véhicule en 7 secondes en empruntant la portière située de son côté, et en 9 secondes en empruntant la portière située de l'autre côté.

Pour les tests indiqués ci-dessus, l'occupant doit porter tout son équipement normal, les ceintures de sécurité doivent être attachées, le volant doit être en place dans la position la moins pratique, et les portières doivent être fermées.

Ces tests doivent être répétés pour tous les occupants de la voiture.

**- Pour les Monoplaces et les Biplaces :**

La hauteur minimale verticale de l'armature de sécurité est de 1050 mm entre le plancher de l'habitacle (à l'emplacement du siège) mesurée en un point situé 300 mm en avant de la base du montant B et une ligne joignant (à l'extérieur) les deux arceaux principaux (arceau avant et arceau principal) (voir Dessin 285-1).

La largeur minimale pour le logement des pieds doit être de 250 mm, maintenue sur une hauteur de 250 mm, mesurés horizontalement et perpendiculairement à l'axe longitudinal du châssis, à l'aplomb des pédales.

**- Voitures Monoplaces :**

L'emplacement prévu pour le siège doit avoir une largeur minimale de 450 mm maintenue sur toute la profondeur de ce siège.

**- Voitures Biplaces :**

Chaque emplacement prévu pour chaque siège doit avoir une largeur minimale de 450 mm maintenue sur toute la profondeur du siège.

La distance entre les deux axes longitudinaux des deux sièges de la voiture ne doit pas être inférieure à 600 mm.

Au cas où les deux axes ne seraient pas parallèles, la mesure doit être effectuée au creux de chacun des deux sièges.

La largeur intérieure minimale aux places avant est de 1130 mm (975 mm pour les 4x2) sur 400 mm de longueur. Ce rectangle de 1130 x 400 mm (975 x 400 mm pour les 4x2) doit s'insérer dans l'armature de sécurité au-dessus des têtes du pilote et du copilote.

the arc.

Cars without side windows must be fitted with lateral protection nets in accordance with Article 283-11.

The cockpit must be designed so as to allow an occupant to exit it from his normal position in the vehicle within 7 seconds through the door on his side and within 9 seconds through the door on the other side.

For the purpose of the above tests, the occupant must be wearing all his normal equipment, the seat belts must be fastened, the steering wheel must be in place and in the most inconvenient position and the doors must be closed.

These tests must be repeated for all the occupants of the car.

**- For both Single- and Two-seater cars:**

The minimum vertical height of the safety cage is 1050 mm between the cockpit floor (at seat location) measured at a point 300 mm forward of the B pillar bottom and a line joining (on the outside) the two main rollbars (front rollbar and main rollbar) (see Drawing 285-1).

The minimum width of the footwell must be 250 mm, maintained to a height of 250 mm, measured horizontally and perpendicularly to the longitudinal axis of the chassis, directly above the pedals.

**- Single-seater cars:**

The location provided for the seat must have a minimum width of 450 mm maintained over the complete depth of the seat.

**- Two-seater cars:**

Each location provided for each seat must have a minimum width of 450 mm maintained over the complete depth of the seat.

The distance between the lengthwise centre-lines of the two seats of the car must not be less than 600 mm.

If the two centre-lines are not parallel, the measurement must be taken from the hollow of each of the two seats.

The minimum interior width for the front seats is 1130 mm (975 mm for 4x2) over 400 mm in length. This 1130 x 400 mm rectangle (975 x 400 mm for 4x2) must fit inside the safety cage above the heads of the driver and co-driver.

**ART. 4 POIDS MINIMUM**

**4.1** Les voitures sont soumises à l'échelle de poids minimum suivante en fonction de la cylindrée et conformément à l'Article 282-3.2 :

Cylindrée en cm <sup>3</sup>	Poids en kg	
	4x4	4x2
jusqu'à 1600	1150	860
de plus de 1600 à 2000	1350	980
de plus de 2000 à 2250	1500	1010
de plus de 2250 à 2500	1600	1040
de plus de 2500 à 2750	1637.5	1070
de plus de 2750 à 3000	1675	1100
de plus de 3000 à 3250	1712.5	1130
de plus de 3250 à 3500	1750	1160
de plus de 3500 à 3750	1787.5	1190
de plus de 3750 à 4000	1825	1220
de plus de 4000 à 4250	1862.5	1250
de plus de 4250 à 4500	1900	1280
de plus de 4500 à 4750	1937.5	1310
de plus de 4750 à 5000	1975	1340
de plus de 5000 à 5250	2012.5	1370
de plus de 5250	2050	1400

**4.2** C'est le poids de la voiture sans carburant à tout moment de la compétition, avec deux roues de secours.

Les niveaux du liquide de refroidissement et d'huile de lubrification moteur ainsi que du liquide de frein doivent être à leurs positions normales.

Les autres réservoirs de liquides consommables doivent être vidangés et les éléments suivants retirés de la voiture :

- occupants, leurs équipement et leurs bagages;
- outillages, cric de levage et pièces de rechange;
- matériel de survie;
- vivres;

**MINIMUM WEIGHT**

The cars are subject to the following scale of minimum weights in relation to cylinder capacity and in accordance with Article 282-3.2 :

Cylinder capacity in cm <sup>3</sup>	Weight in kg	
	4x4	4x2
up to 1600	1150	860
over 1600 and up to 2000	1350	980
over 2000 and up to 2250	1500	1010
over 2250 and up to 2500	1600	1040
over 2500 and up to 2750	1637.5	1070
over 2750 and up to 3000	1675	1100
over 3000 and up to 3250	1712.5	1130
over 3250 and up to 3500	1750	1160
over 3500 and up to 3750	1787.5	1190
over 3750 and up to 4000	1825	1220
over 4000 and up to 4250	1862.5	1250
over 4250 and up to 4500	1900	1280
over 4500 and up to 4750	1937.5	1310
over 4750 and up to 5000	1975	1340
over 5000 and up to 5250	2012.5	1370
over 5250	2050	1400

This is the weight of the car without fuel at any time during the competition, with two spare wheels.

The engine cooling fluid and lubrication oil as well as the brake fluid must be at their normal levels.

The other tanks for consumable liquids must be drained and the following elements must be removed from the car :

- occupants, their equipment and luggage;
- tools, portable jack and spare parts;
- survival equipment;
- provisions;



- etc...

Si un 4x2, dont les roues complètes sont de diamètre différent à l'avant et à l'arrière, emporte trois roues de secours, il peut être pesé avec ses trois roues de secours.

Il est permis de parfaire le poids de la voiture par un ou plusieurs lests, à condition qu'il s'agisse de blocs solides et unitaires, fixés au moyen d'outils, facilement scellables, placés sur le plancher de l'habitacle, visibles et plombés par les Commissaires.

- etc.

If three spare wheels are carried on board a 4x2 that has front and rear complete wheels with different diameters, this vehicle may be weighed with its three spare wheels.

The weight of the car may be completed by adding one or several ballasts provided that they are strong and unitary blocks, fixed by means of tools, capable of having seals affixed and of being placed on the floor of the cockpit, visible and sealed by the Scrutineers.

ART. 5 MOTEUR	ENGINE
<p><b>5.1 Généralités</b></p> <p>Voir Article 282-3. Les moteurs essence suralimentés sont interdits.</p> <p><b>5.1.1 Type</b></p> <p>Le moteur doit soit :</p>	<p><b>General</b></p> <p>See Article 282-3. Supercharged petrol engines are forbidden.</p> <p><b>Type</b></p> <p>The engine must:</p>
<p><b>a. Provenir d'un moteur d'une voiture homologable* en Groupe N, GT (Règlement d'homologation GT 2012) ou T2, avec les modifications autorisées par l'Article 284.</b></p>	<p><b>Either derive from the engine of a car able to be homologated* in Group N, GT (2012 GT homologation regulations) or T2, with modifications allowed by Article 284.</b></p>
<p>* Satisfaisant les critères d'homologation mais il n'est pas obligatoire que la voiture soit toujours produite.</p>	<p>* Satisfying the homologation criteria but it is not compulsory that the car is still produced.</p>
<p>Le moteur (sa voiture d'origine, son type et son numéro de série) doit être déclaré sur le passeport technique FIA du véhicule après avoir été vérifié au préalable par l'ASN du concurrent (tampon et signature de l'ASN doivent figurer sur le passeport technique FIA). Le volant moteur est libre. Les courroies (chaînes) et les poulies (pignons) sont libres à condition de conserver le principe d'origine. Le (les) couvre culasse est libre à condition d'avoir un poids supérieur ou égal à celui du couvre culasse de série. Le démarreur est libre à condition d'être une pièce de série. Son installation dans le compartiment moteur est libre.</p>	<p>The engine (its original car, its type and its serial number) must be declared on the FIA technical passport of the vehicle after it has undergone a preliminary check by the ASN of the competitor (stamp and sign of the ASN must feature on the FIA technical passport). The flywheel is free. The belts (chains) and the pulleys (pinions) are free on condition that the original principle is retained. The cylinder head cover(s) is free provided it has a weight at least equal to that of the series cylinder head cover. The starter is free provided it is a series part. Its installation inside the engine compartment is free.</p>
<p><u>POUR LES MOTEURS ATMOSPHERIQUES :</u></p>	<p><u>FOR NORMALLY ASPIRATED ENGINES:</u></p>
<p>♦ <b>Bloc moteur</b> L'usinage local et/ou la soudure du bloc moteur sont autorisées dans le seul but de permettre le montage de la boîte de vitesses, ainsi que certains équipements auxiliaires (supports moteurs, supports d'alternateur...).</p>	<p><b>Engine block</b> Local machining and/or welding of the engine block are allowed for the sole purpose of fitting the gearbox, as well as some ancillary equipment (engine mounting, alternator mounting...).</p>
<p>♦ <b>Culasse</b> La culasse complète assemblée doit rester d'origine.  L'usinage, ainsi que l'ajout de soudures sur les parties externes de la culasse, sont autorisés. Les parties externes sont les surfaces qui ne sont pas en contact avec le carburant, le lubrifiant moteur, le liquide de refroidissement moteur, l'air d'admission et les gaz d'échappement.</p>	<p><b>Cylinder head</b> The completely assembled cylinder head unit must be kept original. The machining, as well as the addition of welds on the outer parts of the cylinder head, are permitted. The outer parts are the surfaces not in contact with fuel, engine lubricant, engine coolant, intake air and exhaust gases.</p>
<p>♦ <b>Système de calage variable des arbres à cames</b> Si un système mécanique de calage variable / levée de soupape variable est monté d'origine, il peut être désactivé.</p>	<p><b>Variable camshaft timing system</b> If a mechanical variable timing / variable valve lift system is fitted originally, it may be deactivated.</p>
<p>♦ <b>Couvre chaîne</b> Libre.</p>	<p><b>Chain cover</b> Free.</p>
<p>♦ <b>Collecteur d'admission</b> Libre.</p>	<p><b>Intake manifold</b> Free.</p>
<p>♦ <b>Collecteur d'échappement</b> Libre.</p>	<p><b>Exhaust manifold</b> Free.</p>
<p>♦ <b>Faisceau moteur</b> Libre.</p>	<p><b>Engine loom</b> Free.</p>
<p><u>POUR LES MOTEURS DIESEL SURALIMENTES :</u></p>	<p><u>FOR SUPERCHARGED DIESEL ENGINES:</u></p>
<p>♦ <b>Bloc moteur</b> L'usinage local et/ou la soudure du bloc moteur sont autorisées dans le seul but de permettre le montage de la boîte de vitesses, ainsi que certains équipements auxiliaires (supports moteurs, supports d'alternateur...).</p>	<p><b>Engine block</b> Local machining and/or welding of the engine block are allowed for the sole purpose of fitting the gearbox, as well as some ancillary equipment (engine mounting, alternator mounting...).</p>
<p>♦ <b>Piston</b> Les pistons doivent rester d'origine.</p>	<p><b>Piston</b> The pistons must be kept original.</p>

- ♦ **Bielle**  
Les bielles doivent rester d'origine.  
Les coussinets sont libres.
  - ♦ **Culasse**  
La culasse complète assemblée doit rester d'origine.  
  
L'usinage ainsi que l'ajout de soudures sur les parties externes de la culasse sont autorisés.  
Les parties externes sont les surfaces qui ne sont pas en contact avec le carburant, le lubrifiant moteur, le liquide de refroidissement moteur, l'air d'admission et les gaz d'échappement.
  - ♦ **Couvre chaîne**  
Libre.
  - ♦ **Collecteur d'admission**  
Libre.
  - ♦ **Collecteur d'échappement et turbocompresseur**  
Le collecteur d'échappement est libre pour les systèmes de turbo compression à simple et à double étage.  
Le système de turbo compression et son système de contrôle (type soupape de décharge ou autre) peut être remplacé par 1 ou 2 turbocompresseurs qui proviennent chacun d'un modèle de voiture homologable en Groupe A, GT (règlement d'homologation GT 2012) ou T2.  
Les actionneurs et leur système de contrôle sont libres.  
L'usinage local du carter du turbocompresseur est autorisé pour le montage des canalisations d'air.
  - ♦ **Filtre à particule**  
Interdit.
  - ♦ **Echangeurs**  
De nouveaux échangeurs peuvent être utilisés dans les conditions suivantes :
    - ils doivent provenir d'un modèle de voiture homologable en Groupe A, N ou T2.
    - il est autorisé de modifier les boîtes d'entrée et de sortie du nouvel échangeur dans le seul but de l'adapter aux canalisations de la voiture. Le diamètre intérieur des conduits d'air turbo/échangeur et échangeur/moteur est limité à 80 mm maximum.  
Les canalisations d'air sont libres mais le volume interne maximum entre la bride et l'entrée du collecteur d'admission est fixé à 15 litres.  
  
Afin de dissiper tout doute et conformément aux Articles 281-2.3.8 et 2.3.9, un radiateur est un échangeur de type eau/air.  
Le radiateur contenant le liquide de refroidissement moteur est libre si ce liquide de refroidissement est utilisé uniquement pour refroidir les parties mécaniques du moteur. Le type de thermostat est libre et il peut être également enlevé.  
Un ventilateur peut être ajouté.  
Davantage de ventilateurs peuvent être ajoutés sur les échangeurs mais il n'est pas possible de positionner en série plusieurs ventilateurs et ceux-ci doivent être actionnés électriquement.
  - ♦ **Pompe à eau**  
Les joints d'arbre peuvent être remplacés.
  - ♦ **Faisceau moteur**  
Libre.
- b. Etre un moteur de conception libre de type diesel suralimenté d'une cylindrée nominale maximale de 3000 cm<sup>3</sup>.**
- Le moteur et sa préparation sont libres.  
La cylindrée nominale maximale est fixée à 3000 cm<sup>3</sup>.  
La pression maximale entre la pompe à carburant et les injecteurs est limitée à 2000 bar.  
Le nombre d'étages de suralimentation ne doit pas être supérieur à 2.
- ♦ **Système d'admission**

**Connecting rod**

The connecting rods must be kept original.  
The shell bearings are free.

**Cylinder head**

The completely assembled cylinder head unit must be kept original.

The machining, as well as the addition of welds on the outer parts of the cylinder head, are permitted.

The outer parts are the surfaces not in contact with fuel, engine lubricant, engine coolant, intake air and exhaust gases.

**Chain cover**

Free.

**Intake manifold**

Free.

**Exhaust manifold and turbocharger**

The exhaust manifold is free for single-stage and two-stage turbocharging systems.

The turbocharging system and its control system (waste gate type or other) may be replaced by 1 or 2 turbochargers each of which comes from a model of car able to be homologated in Group A, GT (2012 GT homologation regulations) or T2.

The actuators and control system levers are free.

Local machining of the turbocharger casing is permitted for the fitting of the air ducts.

**Particulate filter**

Prohibited.

**Exchangers**

New exchangers may be used in the following conditions:

- they must come from a model of car able to be homologated in Group A, N or T2.
- it is permitted to modify the inlet and outlet boxes of the new exchangers, for the sole purpose of adapting them to the lines of the car. The internal diameter of the turbo/exchanger and exchanger/engine air ducts is 80 mm maximum.

Air ducts are free but the maximum internal volume between the restrictor and the inlet of the intake manifold is set at 15 litres.

For the avoidance of doubt, and in accordance with Articles 281-2.3.8 and 2.3.9, a radiator is an exchanger of the water/air type.

The radiator containing the engine coolant is free if this coolant is solely used to cool down the engine mechanical parts.

The type of thermostat is free and it may also be removed.

One fan may be added.

More fans may be added on the exchangers but several fans cannot be positioned in serie and they must be electrically driven.

**Water pump**

The shaft seals may be replaced.

**Engine loom**

Free.

**Or be a free design supercharged diesel engine with a maximum nominal cylinder capacity of 3000 cm<sup>3</sup>.**

The engine and its preparation are free.

The maximum nominal capacity is 3000 cm<sup>3</sup>.

The maximum pressure between the fuel pump and the injectors is limited to 2000 bar.

The number of supercharging stages must not be greater than 2.

**Intake system**

Les systèmes variables sont interdits.  
Les éléments variables considérés sont uniquement ceux situés à l'intérieur du collecteur d'admission tel que défini par l'Article 281-2.3.4.

Le volume interne maximum total du (des) collecteur(s) est fixé à 30 litres (volume de liquide nécessaire au remplissage du collecteur, mesuré entre la (les) bride(s) et le (les) plan(s) de joint du (des) collecteur(s) sur la (les) culasse(s)).

♦ **Refroidissement de la charge (uniquement pour moteur diesel suralimenté)**

Les échangeurs de chaleur doivent être du type air/air et/ou air/eau.

Les échangeurs air/air doivent avoir un volume total maximum de faisceau  $V_{1_{max}}$  de 22 dm<sup>3</sup> (litres).

Les échangeurs air/eau doivent avoir un volume total maximum de faisceau  $V_{2_{max}}$  de 7 dm<sup>3</sup> (litres).

Dans le cas d'une combinaison des deux types d'échangeur, le volume total maximum pour l'échangeur air/eau est défini de la façon suivante:

$$\text{Volume total maximum air/eau} = (1-R) \times V_{2_{max}}$$

avec

$$R = \text{Volume total de l'échangeur air/air} / V_{1_{max}}$$

Le volume total du faisceau est déterminé par ses dimensions extérieures (Longueur x Largeur x Epaisseur).

Tout système de pulvérisation ou d'injection d'eau est interdit.

♦ **Système d'échappement**

Les systèmes variables sont autorisés.

Chaque section de passage des gaz (en aval du turbocompresseur) ne doit pas avoir un diamètre inférieur à 40 mm.

Les sorties du système d'échappement doivent être visibles de l'extérieur.

**5.1.2 Position (4x4)**

Le vilebrequin doit être en avant du milieu de l'empattement et installé longitudinalement pour les châssis tubulaires.

La hauteur minimale entre l'axe du vilebrequin la surface de référence est de 190 mm.

Toutes les modifications nécessaires à l'obtention de cette valeur sont autorisées pour un châssis monocoque.

**5.1.3 Bride à air**

Tout l'air nécessaire à l'alimentation du moteur doit passer au travers de une bride, qui doit respecter l'Article 284-6.1, sauf pour ce qui concerne son diamètre intérieur.

Il est possible d'utiliser 2 brides à air à condition de diviser par 1,4142 le diamètre normalement utilisé pour une bride.

**5.1.3.1 Bride pour moteurs à essence**

Tous les moteurs à essence doivent être équipés d'une bride à air de diamètre (en mm) intérieur maximum :

2 soupapes par cylindre	36	
Plus de 2 soupapes par cylindre	35	
Moteur culbuté à 2 soupapes par cylindre (arbres à cames dans le bloc moteur) de cylindrée supérieure à 5400 cm <sup>3</sup>	4x2	4x4
	37.2	36

**5.1.3.2 Bride pour moteurs diesel suralimentés**

Tous les moteurs diesel suralimentés doivent être équipés d'une bride à air de diamètre intérieur maximum de :

Variable systems are forbidden.

The variable components concerned are only those situated inside the intake manifold as defined by Article 281-2.3.4.

The total maximum internal volume of the manifold(s) is set at 30 litres (volume of liquid necessary to fill the manifold, measured between the restrictor(s) and the gasket(s) between the manifold(s) and the cylinder head(s)).

**Cooling of the charge (only for supercharged diesel engine)**

Heat exchangers must be of the air/air and/or air/water type.

Air/air exchangers must have a maximum total volume of the core  $V_{1_{max}}$  of 22 dm<sup>3</sup> (litres).

Air/water exchangers must have a maximum total volume of the core  $V_{2_{max}}$  of 7 dm<sup>3</sup> (litres).

In case of a combination of the two types of exchanger, the maximum total volume for the air/water exchanger is defined as follows:

$$\text{Maximum total volume air/water} = (1-R) \times V_{2_{max}}$$

with

$$R = \text{Total volume of the air/air exchanger} / V_{1_{max}}$$

The total volume of the core is given by its external dimensions (Length x Width x Thickness).

Any water spraying or injection system is prohibited.

**Exhaust system**

Variable systems are allowed.

Each section for the passage of gases (downstream of the turbocharger) may have a diameter no lower than 40 mm.

The exits of the exhaust system must be visible from outside.

**Position (4x4)**

The crankshaft must be ahead of the middle of the wheelbase and installed longitudinally for tubular frame chassis.

The minimum height between the crankshaft axis and the reference surface is 190 mm.

All modifications designed to achieve this value are authorised for a monocoque body chassis.

**Air restrictor**

All the air necessary for feeding the engine must pass through a restrictor, which must comply with Article 284-6.1, except for its internal diameter.

It is possible to use 2 air restrictors provided that the diameter normally used for one restrictor is divided by 1.4142.

**Restrictor for petrol engines**

All petrol engines must be fitted with an air restrictor with a maximum internal diameter (in mm) of :

2 valves per cylinder	36	
More than 2 valves per cylinder	35	
2 valves per cylinder rocker-arm engines (camshaft in the engine block) with a cylinder capacity greater than 5400 cm <sup>3</sup>	4x2	4x4
	37.2	36

**Restrictor for supercharged diesel engines**

All supercharged diesel engines must be fitted with an air restrictor with a maximum internal diameter of:

	Moteur conforme à 5.1.1.a	Moteur conforme à 5.1.1.b
Diamètre intérieur maximum	38 mm	35 mm

	Engine in compliance with 5.1.1.a	Engine in compliance with 5.1.1.b
Maximum internal diameter	38 mm	35 mm

**5.2 Lubrification**

Pompe à huile, boîtier de filtre à huile, radiateur, échangeur huile eau, tubulures, thermostat, carter d'huile, crépines libres.

L'utilisation d'un système de lubrification moteur par carter sec est autorisée. La bache à huile ainsi que les canalisations ne doivent pas se trouver dans l'habitacle ou dans le compartiment à bagage.

La pression d'huile peut être augmentée en changeant le ressort de la soupape de décharge.

Si le système de lubrification prévoit une mise à l'air libre, il doit être équipé de telle manière que les remontées d'huile s'écoulent dans un récipient récupérateur.

Celui-ci doit avoir une capacité minimale de 2 dm<sup>3</sup> (litres) pour les voitures d'une cylindrée moteur inférieure ou égale à 2000 cm<sup>3</sup> et de 3 dm<sup>3</sup> (litres) pour les voitures d'une cylindrée supérieure à 2000 cm<sup>3</sup>.

Ce récipient doit être en matière plastique translucide ou comporter un panneau transparent.

Il est possible de monter un séparateur air/huile à l'extérieur du moteur (capacité maximale 1 litre sauf s'il est intégré au récipient récupérateur), selon le Dessin 255-3.

**Lubrication**

Oil pump, oil filter housing, radiator, oil/water exchanger, lines, thermostat, sump and pump strainers are free.

The use of a system of lubrication by dry sump is authorised. The oil chamber together with the lines must not be located in the cockpit or in the baggage compartment.

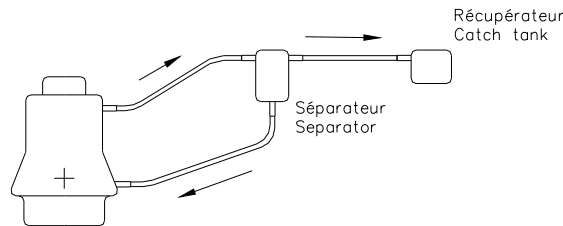
Oil pressure may be increased by changing the discharge valve spring.

If the lubrication system includes an open type sump breather, it must be equipped in such a way that the oil flows into a catch tank.

This must have a minimum capacity of 2 dm<sup>3</sup> (litres) for cars with a cubic capacity equal to or below 2000 cm<sup>3</sup> and 3 dm<sup>3</sup> (litres) for cars with a cubic capacity of over 2000 cm<sup>3</sup>.

This container must either be made of translucent plastic or include a transparent panel.

An air/oil separator may be mounted outside the engine (maximum capacity 1 litre unless integrated into the catch tank) in accordance with Drawing 255-3.



255-3

Il ne peut y avoir de retour de l'huile du récipient récupérateur vers le moteur que par gravité.

Il est autorisé de monter un ou plusieurs ventilateurs pour le refroidissement de l'huile moteur, mais sans que cela implique d'effet aérodynamique.

The oil must flow from the oil catch tank towards the engine by the force of gravity alone.

The fitting of one or several ventilators for cooling the engine oil is authorised, provided that this does not have any aerodynamic effect.

**5.3 Refroidissement du carburant**

Le montage de refroidisseurs de carburant est autorisé sur le circuit de retour au réservoir.

**Fuel cooling**

The fitting of fuel coolers is authorised on the return circuit to the tank.

**ART. 6 TRANSMISSION**

Le système de transmission doit être exclusivement activé et contrôlé par le pilote.

**TRANSMISSION**

The transmission system must be activated and controlled only by the driver.

**6.1 Boîte de vitesses et de transfert**

La boîte de vitesse est libre mais le changement de rapport ne doit se faire par aucun autre intermédiaire dans la chaîne de transmission.

**Gearbox and transfer box**

The design of the gearbox is free but the gear change may not be made by any other means in the transmission chain.

**6.1.1 Commandes de boîte de type "séquentielle"**

Autorisées aux condition suivantes :

- Le système doit être exclusivement mécanique sans aucune assistance.
- Le nombre de rapports avant est limité à 6.
- Un système de coupure de l'allumage et/ou de l'injection moteur actionné mécaniquement par le changement de rapport de la boîte de vitesses est autorisé.

**"Sequential" type gearbox control**

Permitted under the following conditions :

- The system must be exclusively mechanical without any assistance.
- The number of forward gears is limited to 6.
- An engine ignition and/or injection cut-off system activated mechanically by the gear change is allowed.

**6.1.2 Boîte de vitesses de série à commande mécanique en H**

Le nombre de rapports avant est libre mais doit rester identique à l'origine.

**Series H-pattern mechanically controlled gearbox**

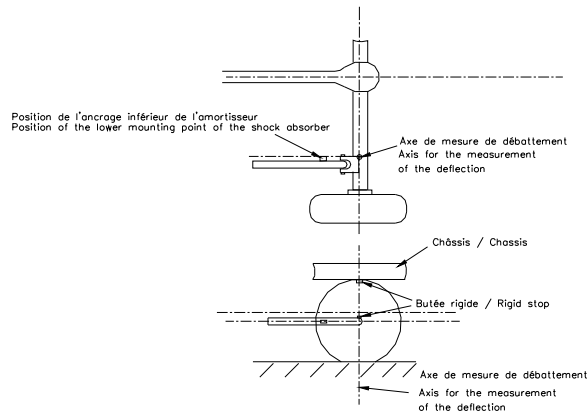
The number of forward gears is free but must remain identical to the original.

**6.1.3 Boîte automatique**

**Automatic gearbox**

<p>Seules les boîtes automatiques utilisant un convertisseur de couple sont autorisées.</p> <p><b>6.2 Embrayage</b> Libre.</p> <p><b>6.3 Couples finaux, différentiels (4x4)</b> Libres. Les différentiels doivent être de type train épicycloïdal simple étage. Les dispositifs autobloquants doivent être entièrement mécanique (à plateaux) et/ou à visco coupleur. Le réglage de leurs paramètres de fonctionnement doit exclusivement se faire à l'aide d'outils lorsque la voiture est à l'arrêt. Les dispositifs autobloquants peuvent comprendre un actuateur permettant uniquement le blocage total du ou des différentiel(s).</p> <p><b>6.4 Arbres de transmission</b> Les arbres de transmission sont libres mais doivent être en acier.</p> <p><b>6.5 Lubrification</b> Un dispositif additionnel de lubrification et de refroidissement d'huile est autorisé (pompes de circulation, radiateur et prises d'air), dans les mêmes conditions que dans l'Article 285-5.2. Pour les composants de série, le principe de la lubrification d'origine doit être conservé. La seule modification autorisée sur le carter de boîte de vitesse / différentiel est celle destinée à adapter le système additionnel de lubrification.</p>	<p>Only automatic boxes using a torque converter are authorised.</p> <p><b>Clutch</b> Free.</p> <p><b>Final drive, differential (4x4)</b> Free. The differentials must be of the single stage epicyclic type. The self-locking devices must be entirely mechanical (with plates) and/or visco coupling. The setting of their functioning parameters must be made exclusively with the use of tools when the car is immobilised. The self-locking devices may have an actuator allowing only the locking of the differential(s).</p> <p><b>Transmission shafts</b> Transmission shafts are free but must be made of steel.</p> <p><b>Lubrication</b> An additional lubrication and oil cooling device is allowed (circulation pump, radiator, and air intakes) under the same conditions as for Article 285-5.2. For production components, the original lubrication principle must be retained. The only modification authorised on the gearbox / differential housing is the one intended for adapting the additional lubrication system.</p>
<p><b>ART. 7 SUSPENSION</b></p>	<p><b>SUSPENSION</b></p>
<p><b>7.1 Généralités</b> La suspension est libre mais l'utilisation d'une suspension active est interdite (système permettant de contrôler la flexibilité, l'amortissement, la hauteur et/ou l'assiette de la suspension lorsque la voiture se déplace).</p> <p><b>7.2 Ressorts et amortisseurs</b> Le réglage des ressorts et/ou des amortisseurs à partir de l'habitacle est interdit. Il ne doit être possible que lorsque la voiture est à l'arrêt et uniquement à l'aide d'outils. Le dispositif de réglage doit être situé sur l'amortisseur ou sa réserve de gaz. Toute connexion entre les amortisseurs est interdite. Les seules connexions autorisées sont les points de fixation de l'amortisseur passant dans le châssis, sans autre fonction.</p> <p><b>7.3 Barres anti-roulis</b> Une seule barre anti-roulis est autorisée par essieu. Le réglage des barre anti-roulis à partir de l'habitacle est interdit. Le système anti-roulis doit être exclusivement mécanique sans activation ou désactivation possible. Toute connexion entre les barres anti-roulis avant et arrière est interdite.</p> <p><b>7.4 Débattement</b> Le débattement vertical des suspensions pour les 4x4 est limité à : - 300 mm (voir Dessin 285-2) pour un pont rigide type pont "banjo" (l'axe de sortie du différentiel étant confondu avec l'axe des roues). - 250 mm pour les autres types de transmission.</p>	<p><b>General</b> The suspension is free but it is forbidden to use active suspension (any system which allows control of flexibility, damping, height and/or attitude of the suspension when the car is in motion).</p> <p><b>Springs and shock absorbers</b> The adjustment of the springs and/or shock absorbers from the cockpit is forbidden. It must only be possible when the car is not in motion and only with the use of tools. The adjustment device must be situated on the shock absorber or its gas reserve. Any connections between dampers are forbidden. The only connections permitted are the damper fixing points passing through the frame; these must have no other function.</p> <p><b>Anti-roll bars</b> Only one anti-roll bar per axle is permitted. The adjustment of the anti-roll bars from the cockpit is forbidden. The anti-roll bar systems must be exclusively mechanical, with no activation or deactivation possible. Any connections between front and rear anti-roll bars are forbidden.</p> <p><b>Suspension travel</b> Vertical suspension travel for 4x4 is limited to : - 300 mm (see Drawing 285-2) for a "banjo" type rigid axle (the axis of the differential outlet merging with the centre line of the wheels). - 250 mm for other types of transmission.</p>





## 285-2

La méthode de mesure des débattements est la suivante :

- Pour les suspensions à roues indépendantes :

Le véhicule doit être monté sur chandelles avec les combinés ressort/amortisseur démontés.

La roue doit être déplacée de butée acier à butée acier.

Le débattement correspond à la moyenne des déplacements verticaux de deux points situés sur le plan médian d'une roue et diamétralement opposés sur un plan vertical.

- Pour les suspensions à pont rigide :

Le véhicule doit être monté sur chandelles avec les combinés ressort/amortisseur démontés et le pont arrêté vers le bas par les sangles de limitation de débattement ou la butée inférieure.

Les roues doivent être déplacées simultanément de la butée acier supérieure à la butée acier inférieure.

Le débattement correspond au déplacement vertical des roues.

The method for measuring the travel is the following:

- For suspensions with independent wheels:

The vehicle must be on stands with the spring/shock absorber units dismantled.

The wheel must be moved from steel bump stop to steel bump stop.

The travel is the average of the vertical displacements of two points of the median plane of the wheel diametrically opposed on a vertical plane.

- For suspension with rigid axles:

The vehicle must be on stands with the spring/shock absorbers units dismantled and with the rigid axle prevented from moving downward by travel limitation straps or the lower bump stop.

The wheels must be moved simultaneously from the upper steel bump stop to the lower steel bump stop.

The travel is the vertical displacement of the wheels.

## ART. 8 ROUES ET PNEUMATIQUES

Seules les roues en alliage d'aluminium coulé d'un poids supérieur à 13 kg sont autorisées pour les 4x4.

Les roues complètes doivent se loger dans la carrosserie (cf. Article 3.1) et avoir un diamètre maximum de 940 mm pour les 4x2 et de 810 mm pour les 4x4.

Le diamètre doit être mesuré sur le pneumatique neuf spécifié par le fabricant.

L'utilisation de pneumatiques destinés aux motocyclettes est interdite.

Il est interdit de monter des éléments intermédiaires entre les roues et les pneus.

Il n'est pas nécessaire que toutes les roues soient du même diamètre.

Les fixations de roues à écrou central sont interdites.

L'utilisation de tout système de gonflage / dégonflage pendant que la voiture se déplace est interdit, sauf pour les 4x2.

Pour les 4x4, l'opération de gonflage / dégonflage doit obligatoirement être effectuée voiture à l'arrêt.

Seul est autorisé un système relié aux roues pendant le temps de l'opération par un tuyau souple branché sur une valve par roue.

Afin d'ajuster la pression des pneumatiques, l'introduction ou l'extraction d'air doit se faire au moyen d'une valve de type conventionnel provenant d'un véhicule utilitaire léger de série ayant une filetage de fixation de type VG5.

Une seule valve est autorisée par roue et elle doit être fixée sur la jante par un seul trou de diamètre maximum 12 mm situé sur la face extérieure de la jante.

Le tuyau et son manomètre de gonflage peuvent être situés dans l'habitacle à condition que la pression d'utilisation soit inférieure à 10 bars.

Les bouteilles d'air comprimé alimentant le système :

- ne doivent pas avoir une capacité supérieure à 15 litres chacune,
- doivent avoir des fixations capables de résister à une décélération de 25 g,
- ne doivent pas être situées dans l'habitacle.

Il est obligatoire que ces bouteilles soient disposées

## WHEELS AND TYRES

Only wheels made from cast aluminium alloy and weighing more than 13 kg are authorised for 4x4.

Complete wheels must be housed within the bodywork (cf. Article 3.1), and must have a maximum diameter of 940 mm for 4x2 and 810 mm for 4x4.

The diameter must be measured on the new tyre specified by the manufacturer.

The use of tyres intended for motor cycles is forbidden.

The fitting of intermediate parts between the wheels and the tyres is forbidden.

The wheels do not have to be of the same diameter.

Central nut wheel fixing is forbidden.

The use of any system for inflating / deflating the tyres when the car is in motion is forbidden, except for 4x2.

For 4x4, the inflating / deflating operation must only be carried out while the car is not in motion.

The only system authorised is a system connected to the wheels through a flexible tube during the operation and connected to one valve per wheel.

In order to adjust the tyre pressure, any air going in or out must pass through a conventional type of valve coming from a series light utility vehicle and having a VG5 type screw thread.

Only one valve is allowed per wheel and it must be fixed to the rim by a single hole, which has a maximum diameter of 12 mm and is positioned on the outer face of the rim.

The tube and its inflating manometer may be situated in the cockpit on condition that the operating pressure is lower than 10 bars.

The compressed air bottles feeding the system:

- must not have a capacity greater than 15 litres each,

- must have mountings able to withstand a deceleration of 25 g,
- must not be situated in the cockpit.

It is compulsory that these bottles be positioned

transversalement dans le véhicule et maintenues par au moins deux sangles métalliques.  
 Un maximum de 3 roues de secours par voiture est autorisé.  
**Il est interdit d'enregistrer ou de diffuser le contrôle de pression des pneumatiques pour les véhicules 4x4.**

transversally in the vehicle and secured by at least two metal straps.  
 A maximum of 3 spare wheels per car is authorised.  
**Screened and recorded tyre pressure control is forbidden for 4x4 vehicles.**

<b>ART. 9 SYSTEME DE FREINAGE</b>	<b>BRAKING SYSTEM</b>
-----------------------------------	-----------------------

Le système de freinage est libre à condition :

- d'être exclusivement activé et contrôlé par le pilote,
- de comprendre au moins deux circuits indépendants commandés par la même pédale (entre la pédale de freins et les étriers, les deux circuits doivent être identifiables séparément, sans interconnexion autre que le dispositif mécanique de répartition),
- que la pression soit identique sur les roues d'un même essieu, à l'exception de la pression générée par le frein à main.

The braking system is free, provided that:

- it is activated and controlled only by the driver,
- it includes at least two independent circuits operated by the same pedal (between the brake pedal and the callipers, the two circuits must be separately identifiable, without any interconnection other than the mechanical braking force balancing device),
- the pressure is identical on the wheels of the same axle, with the exception of the pressure generated by the handbrake.

<b>ART. 10 DIVERS</b>	<b>MISCELLANEOUS</b>
-----------------------	----------------------

**10.1 Cas particuliers**

- Un véhicule 4x4 qui en production présenterait un poids à vide compris entre 2500 et 3500 kg et une largeur supérieure à 2000 mm, peut être accepté en Groupe T1 si le constructeur en fait la demande par écrit à la FIA. En compétition de Tout-Terrain le poids de ce véhicule ne doit pas être inférieur à 2800 kg, et il peut conserver sa largeur d'origine.
- Si le châssis provient d'une monocoque d'une voiture de production (Article 3.1), le Constructeur peut demander une dérogation au Groupe de Travail Technique Tout-Terrain si la hauteur (Article 3.2.1b) et/ou la largeur intérieure minimale aux places avant (Article 3.3) ne peuvent pas être respectés.

**Special cases**

- A 4x4 series production vehicle with a weight of between 2500 and 3500 kg and a width of over 2000 mm, may be accepted in Group T1 if the manufacturer submits a written request to the FIA. In a Cross-Country competition, the weight of this vehicle must not be less than 2800 kg, and the vehicle may retain its original width.
- If the chassis derives from a monocoque body of a production car (Article 3.1), the Manufacturer may apply for a waiver to the Cross-Country Technical Working Group if the height (Article 3.2.1b) and/or the minimum interior width for the front seats (Article 3.3) cannot be complied with.

**10.2 Capteurs**

Sont interdits, tout système radar, système de mesure de la vitesse du véhicule (sauf roue phonique sur la boîte de vitesses), gyroscope, capteur d'effort (sauf capteur de coupure de l'allumage et/ou de l'injection moteur), jauge de contrainte.

Les accéléromètres sont autorisés pour l'acquisition de données uniquement à condition d'être intégrés aux équipements du tableau de bord.

4x2 uniquement :  
 Deux capteurs de vitesses de roues sont autorisés, sur les roues non motrices uniquement.

**Sensors**

Any radar system, vehicle speed measurement system (except pulse ring on the gearbox), gyroscope, load sensor (except sensor for engine ignition and/or injection cut-off), or restraining gauge is forbidden.

Accelerometers are authorized for data logging only on condition they are built-in dashboard equipment.

4x2 only :  
 Two wheel speed sensors are authorised, only on non-driven wheels.

<b>MODIFICATIONS APPLICABLES AU 01.01.2015</b>	<b>MODIFICATIONS APPLICABLE ON 01.01.2015</b>
--	---

<b>ART. 2 CHASSIS ET ARMATURE DE SECURITE</b>	<b>CHASSIS AND SAFETY CAGE</b>
---	--------------------------------

Seuls les châssis tubulaires en matériaux ferreux sont autorisés.  
 L'épaisseur des tubes constituant les parties structurales du châssis ne doit pas être inférieure à 1.5 mm.  
 Tous les tubes constituant l'armature de sécurité telle que définie à l'Article 283-8.3.1 (Dessins 253-1, 253-2, 253-3) doivent avoir les dimensions minimales suivantes : 50x2 mm (2.0"x0.083") ou 45x2.5 mm (1.75" x 0.095").  
 L'arrière du tube d'arceau principal au niveau de son pied d'ancrage ne doit pas être à plus de 980 mm (**1150 mm pour les 4x2**) du centre de la roue arrière (voir Dessin 285-1).

Only tubular frame chassis in ferrous materials are authorised.  
 The thickness of the tubes forming the structural part of the chassis must not be less than 1.5 mm.  
 All tubes of the safety cage defined in Article 283-8.3.1 (Drawings 253-1, 253-2, 253-3) must have a minimum section of 50x2 mm (2.0"x0.083") or 45x2.5 mm (1.75"x0.095").  
 The back of the main rollbar tube at its anchorage foot level must not be positioned more than 980 mm (**1150 mm for 4x2**) from the centre of the rear wheel (see Drawing 285-1).

<b>ART. 3 CARROSSERIE</b>	<b>BODYWORK</b>
---------------------------	-----------------

**3.3 Intérieur**

Des trappes de visite sont autorisées dans les cloisons de l'habitacle.

~~A l'exception du filtre à air, du système d'air conditionné, des~~

**Interior**

Inspection hatches are authorised in the bulkheads of the cockpit.

~~With the exception of the air filter, air conditioning system~~

~~conduite de réfrigération des occupants, elles ne doivent permettre ni le montage ni le démontage d'éléments mécaniques.~~

La surface totale des trappes de visite est limitée à 750 cm<sup>2</sup> (trappes de visite de filtres à air, système d'air conditionné, conduits de réfrigération des occupants exclues).

Elles doivent permettre à l'habitacle de conserver son étanchéité aux liquides et aux flammes.

.....

~~and cooling ducts for the occupants, they must allow neither the installation nor the removal of mechanical parts.~~

The total surface of the inspection hatches is limited to 750 cm<sup>2</sup> (inspection hatches for air filters, air conditioning system, cooling ducts for the occupants excluded).

They must allow the cockpit to remain leakproof and flameproof.

.....

<b>ART. 5</b>	<b>MOTEUR</b>	<b>ENGINE</b>
---------------	---------------	---------------

<b>5.1</b>	<b>Généralités</b>	<b>General</b>
------------	--------------------	----------------

<b>5.1.1</b>	<b>Type</b>	<b>Type</b>
--------------	-------------	-------------

Le moteur doit soit :

- a. **Provenir d'un moteur d'une voiture homologable\* en Groupe N, GT (Règlement d'homologation GT 2012) ou T2, avec les modifications autorisées par l'Article 284.**

.....

POUR LES MOTEURS DIESEL SURALIMENTES :

.....

♦ **Collecteur d'admission**

Libre.

Le volume interne maximum total du collecteur est fixé à 5 litres.

.....

The engine must:

- Either derive from the engine of a car able to be homologated\* in Group N, GT (2012 GT homologation regulations) or T2, with modifications allowed by Article 284.

.....

FOR SUPERCHARGED DIESEL ENGINES:

.....

**Intake manifold**

Free.

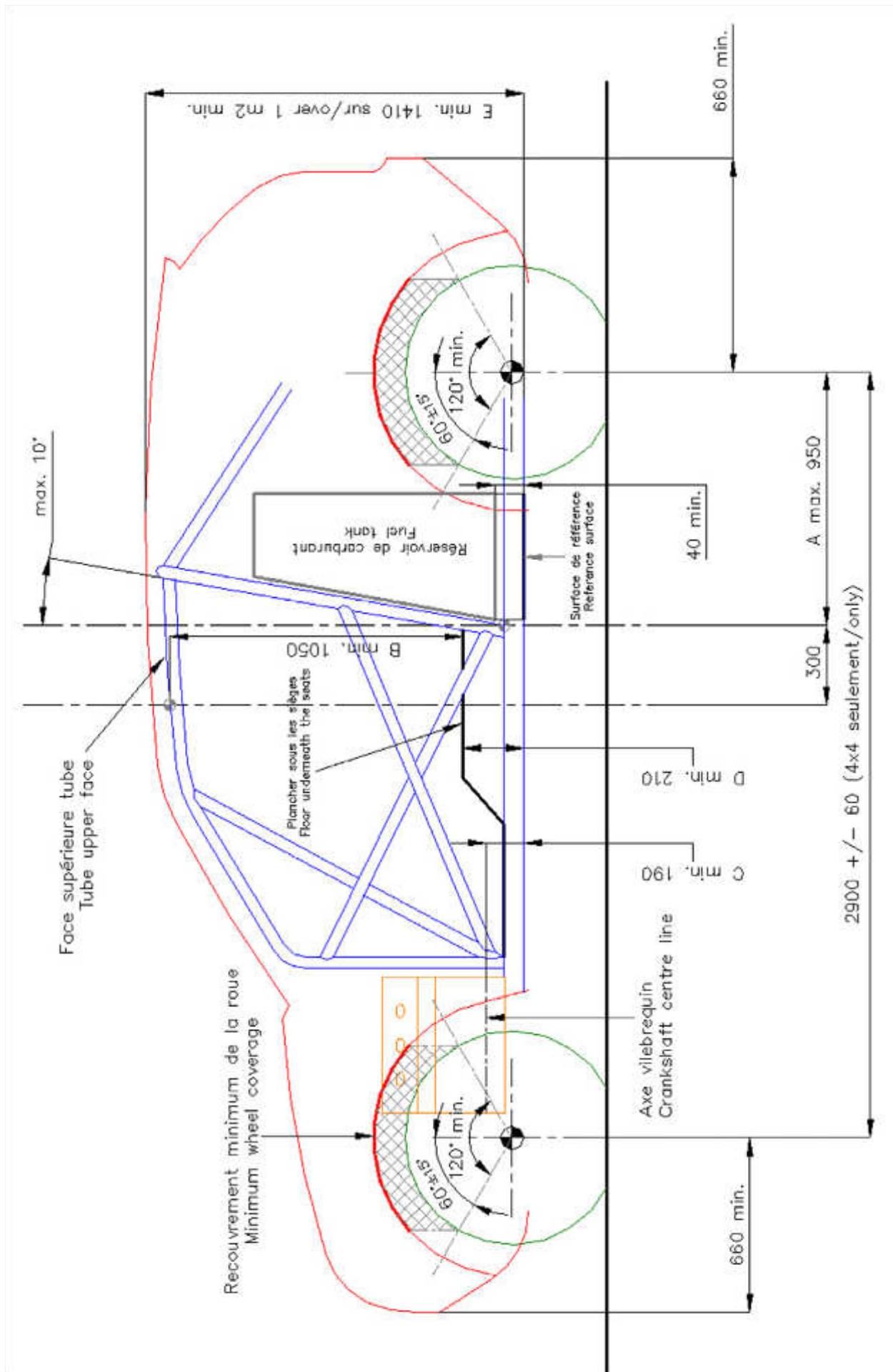
The total maximum internal volume of the manifold is set at 5 litres.

.....

<b>MODIFICATIONS APPLICABLES AU 01.01.2016</b>	<b>MODIFICATIONS APPLICABLE ON 01.01.2016</b>
--	---

.....

.....



285-1





**ANEXO IV**  
**MATERIAIS**



## Normas

As normas apresentadas neste capítulo restringem-se a perfis ocos de aço sem costura de secção circular.

### Europeias (EN)

EN 10216-2 : (2002) - Tubos de aço sem costura recomendados para solicitações de pressão. Aços não ligados e ligados com propriedades específicas para elevadas temperaturas.

EN 10297-1: (2003) - Tubos de aço de secção circular para solicitações mecânicas e engenharia geral. Aços não ligados e ligados.

### Alemãs (DIN)

DIN 17204: (1990) - Tubos de aço de secção circular tratados termicamente (QT\*).

### Norte-Americanas (ASTM)

SAE AMS: (AMS) - Especificações de Material Aeroespacial.

SAE AMS 6361E: Tubo de aço sem costura de composição 0.95Cr - 0.20Mo (0.28 - 0.33C) (SAE 4130), com 862 MPa de Tensão de Ruptura. Tipicamente usado com paredes de espessura fina.

## Legendas

As legendas apresentadas neste capítulo restringem-se aos tratamentos térmicos e às fórmulas do carbono equivalente.

### Tratamentos Térmicos

A\*: fraco recozimento

C\*: estirado a quente

H\*: estirado a frio

NR\*: normalizado

NT\*: normalizado e alívio de tensões

R\*: normalizado e temperado

SR\*: estirado a frio e alívio de tensões

LC\*: *skin pass* através de um fraco estiramento a frio

T\*: temperado

Endurecido e T\*: algum processo de endurecimento prévio à têmpera, como a cementação por exemplo.

TRV\*: temperado e revenido

### Fórmulas do Carbono Equivalente.

As fórmulas presentes na Tabela 4.1 estimam o carbono equivalente de vários aços. Cada fórmula adequa-se a um determinado grupo de aços, cujos elementos de liga presentes nesses aços, coincidam com os elementos presentes na fórmula. O grupo A é representado por aços com um 1/6 da percentagem ponderal de manganês. O grupo C centra-se numa maior influência do carbono do que nos elementos de liga na soldabilidade do aço e é recomendado para aços mais modernos e/ou com baixo teor em carbono. Por sua vez, o grupo A destina-se a aços mais antigos e com maior teor em carbono (entre 0.15 a 0.3 %). As fórmulas do grupo B enquadram-se nos aços situados entre o grupo A e o grupo C (92). O Carbono equivalente não deverá exceder o valor de 0,40 para a ligação ser feita sem a necessidade de serem executados mais processos.

Tabela 4.1: Lista de fórmulas do carbono equivalente.

Grupo	Fórmulas
A	$CE_{IIW} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$ $CE_{WES} = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14}$
B	$CE_{DNV} = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{10} + \frac{Ni + Cu}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{10}$ $CE_T = C + \frac{Mn}{10} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{10}$
C	$P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn + Cu + Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$ $CE_{PLS} = C + \frac{Si}{25} + \frac{Mn + Cu}{16} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{40} + \frac{V}{15}$ $CE_{HSLA} = C + \frac{Mn}{16} - \frac{Ni}{50} + \frac{Cr}{23} + \frac{Mo}{7} + \frac{Nb}{5} + \frac{V}{9}$
D	$CE_N = C + A(C) \left( \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu}{15} + \frac{Ni}{20} + \frac{Cr + Mo + Nb + V}{5} + 5B \right)$ $A(C) = 0.75 + 0.25 \tanh[20(C - 0.12)]$

### 25CrMo4 (DIN)

Norma: DIN 17204, EN 10297-1

Tubos sem Costura

Tratamento Térmico: TRV\*

Espessuras típicas: <= 8 mm

## Propriedades

A Tabela 4.2 apresenta as propriedades mecânicas e físicas do aço 25CrMo4 (DIN).

Tabela 4.2: Propriedades mecânicas e físicas do aço 25CrMo4 (DIN).

	Mínimo	Máximo	Temperatura
$\sigma_{ced}$ 0.2 MPa	700		
$\sigma_{rot}$ Mpa	900	1100	
Alongamento %	12		
M. Elasticidade GPa		212	20°C
Densidade kg/dm <sup>3</sup>		7.83	
Impacto J	45		20°C

## Composição Química

A Tabela 4.3 apresenta a percentagem ponderal de cada elemento químico do aço 25CrMo4 (DIN).

Tabela 4.3: Composição química do aço 25CrMo4 (DIN).

Elementos	Mínimo	Máximo
Carbono, C	0.22	0.29
Crômio, Cr	0.9	1.2
Cobre, Cu		0.3
Ferro, Fe		
Manganês, Mn	0.6	0.9
Molibdênio, Mo	0.15	0.3
Fósforo, P		0.035
Sílicio, Si		0.4
Enxofre, S		0.035
Níquel, Ni		

## Fadiga

A Tabela 4.4 mostra as condições de ensaio(s) de fadiga de provete(s) de aço 25CrMo4 (DIN).

Tabela 4.4: Condições do(s) ensaio(s) de fadiga a que o(s) provete(s) de aço 25CrMo4 (DIN) foi(foram) submetido(s).

Dados – Fadiga			
Espessura mm		<= 16	
Tratamento Térmico		TRV*	
Temperatura °C		20	
P. Mecânicas	Mínimo		Máximo
$\sigma_{ced} 0.2$ MPa	700		
$\sigma_{rot}$ MPa	900		1100
Alongamento %	12		
M. Elasticidade GPa		212	

O gráfico 4.1 mostra a curva S-N resultante do(s) ensaio(s) de fadiga efetuado(s).

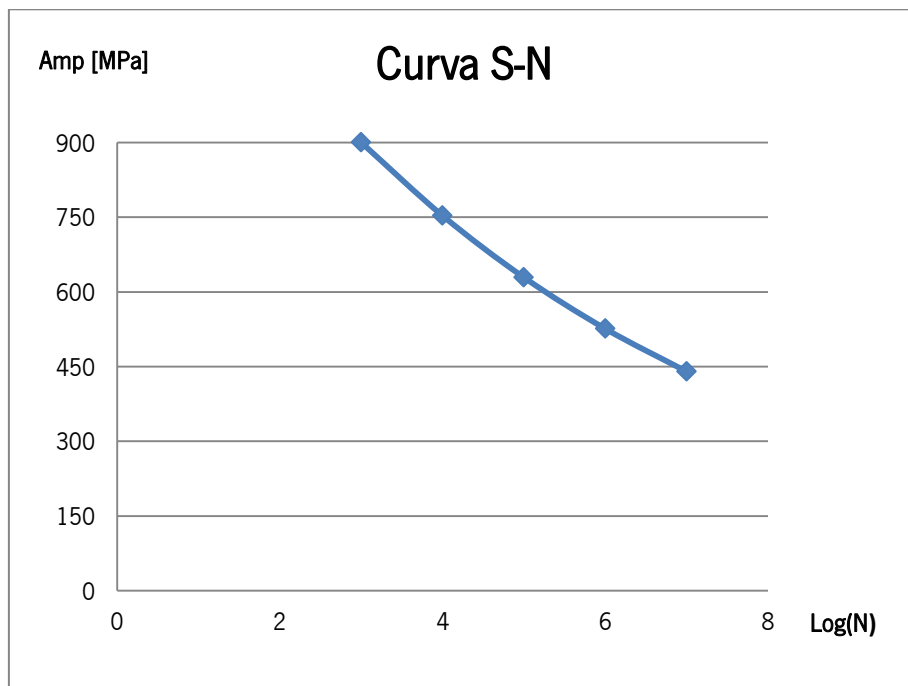


Gráfico 4.1: Curva S-N característica de provete(s) com aço 25CrMo4 (DIN).

## Curva Tensão-Deformação

A tabela 4.5 mostra o tratamento térmico aplicado nos provetes que definem a curva de tensão-deformação do gráfico 4.2.



Tabela 4.5: Condições do tratamento térmico dos provetes do aço 25CrMo4 (DIN).

	T. de Estágio °C	Duração hora	Arrefecimento
Estágio Inicial	930	0.5	Água
Estágio Intermédio	650	0.5	Ar
Dureza final HRC	Mínimo 25	Máximo 27	
Direcção do ensaio	Longitudinal		

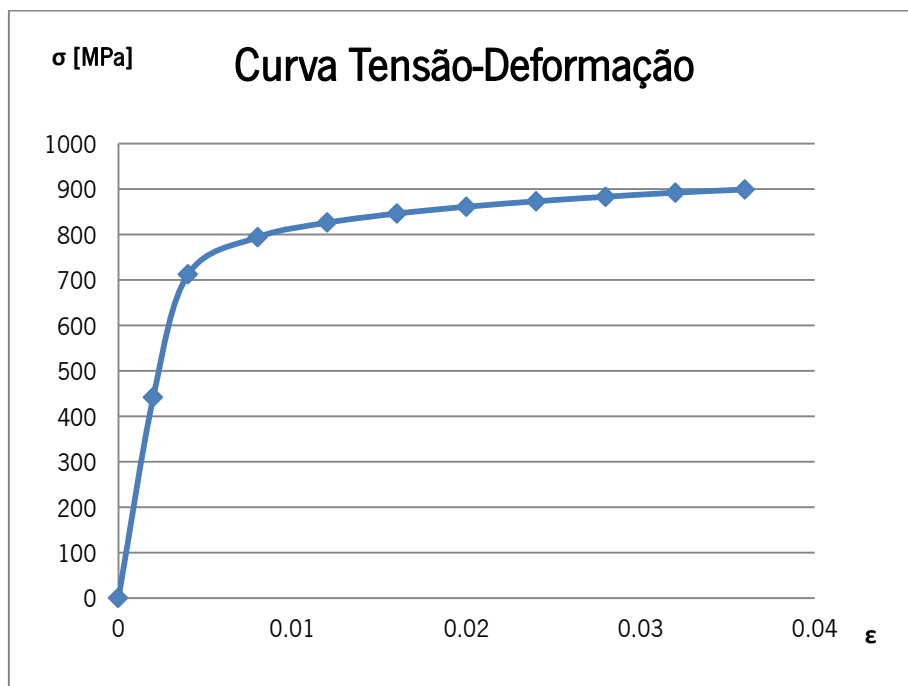


Gráfico 4.2: Curva tensão-deformação do aço 25CrMo4 (DIN).

### Advertências comuns dos Fabricantes

Quando o aço apresenta uma estrutura Ferrítica e Perlítica deve-se evitar a ocorrência da criação da microestrutura Martensite. Analisar as ligações soldadas e rever os resultados com especialistas.

### Temperabilidade

A figura 4.1 mostra o resultado de um ensaio de jomny ao aço 25CrMo4 (DIN), cujas curvas superior corresponde a um arrefecimento rápido desde a temperatura de austenitização e inferior: corresponde a um arrefecimento rápido desde o intervalo de temperaturas de 620 a 680 °C

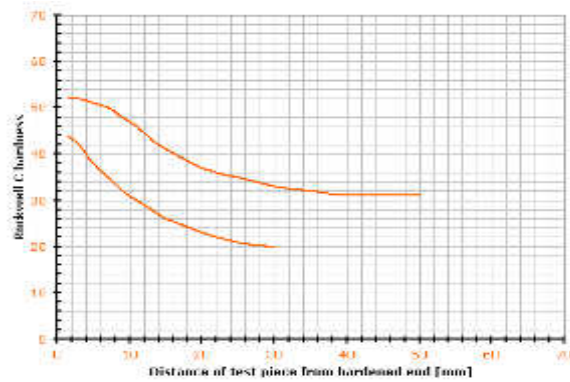


Figura 4.1: Gráfico do ensaio de Jomny do aço 25CrMo4 (DIN).

### Diagrama TTT

A figura 4.2 corresponde a um diagrama TTT indicado para o aço 25CrMo4 (DIN).

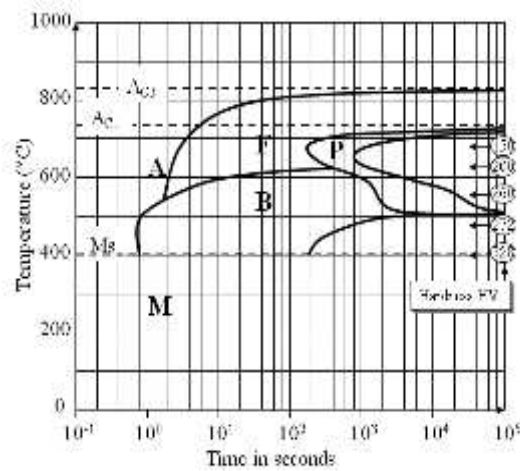


Figura 4.2: Gráfico de um Diagrama TTT indicado para o aço 25CrMo4 (DIN).

### Diagrama TAC

A figura 4.2 corresponde a um diagrama TAC indicado para o aço 25CrMo4 (DIN).

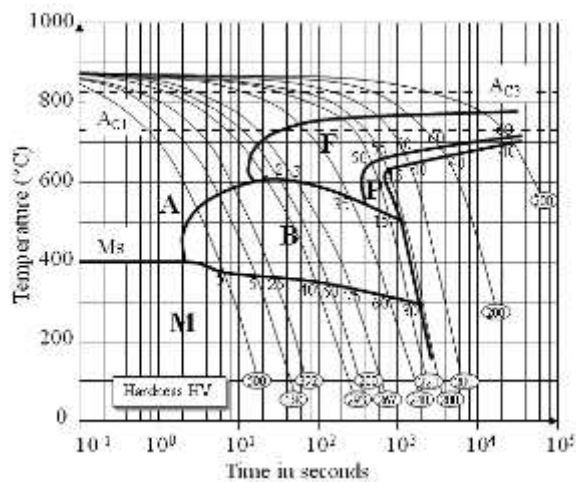


Figura 4.3: Gráfico de um diagrama TAC indicado para o aço 25Crmo4 (DIN).

## Fornecedores

Uma listagem de produtores europeus do aço 25CrMo4 (DIN) pode ser vista na Tabela 4.6.

Material / Norma	Fornecedor	Local	Tipo
25CrMo4 / DIN	Amt s.r.l.	Itália	Produtor
	Georgsmarienhütte Group	Alemanha	
25CrMo4 / DIN, EN 10083-1 e EN 10216-2	Tenaris	Luxemburgo	
25CrMo4 / DIN, EN 10216-2 e EN 10297-1	Železiarne Podbrezová Group	Eslováquia	

Tabela 4.6: Listagem de produtores do aço 25CrMo4 (DIN).

## 4130 (ASTM)

Norma: SAE MAS 6361E

Tubos sem Costura

## Propriedades

A Tabela 4.7 apresenta as propriedades mecânicas e físicas do aço 4130 (ASTM).

Tabela 4.7: Propriedades mecânicas e físicas do aço 4130 SAE MAS 6361E (ASTM).

Tratamento Térmico	Endurecido e T*		Temperatura °C
	Mínimo	Mínimo	
$\sigma_{ced}$ 0.2 MPa	689	689	
$\sigma_{rot}$ MPa	862	862	
Alongamento %	12	7	
M. Elasticidade GPa		202	20
Densidade kg/dm <sup>3</sup>		7.83	20
Coefficiente de Poisson		0.32	20

## Composição Química

A Tabela 4.8 apresenta a percentagem ponderal de cada elemento químico do aço 25CrMo4 (DIN).

Tabela 4.8: Composição química do aço 4130 (ASTM).

Elementos	Mínimo	Máximo
Carbono, C	0.28	0.33
Crômio, Cr	0.8	1.1
Cobre, Cu		0.35
Ferro, Fe		
Manganês, Mn	0.4	0.6
Molibdênio, Mo	0.15	0.25
Fósforo, P		0.025
Sílicio, Si	0.15	0.35
Enxofre, S		0.025
Níquel, Ni		0.25

### Fadiga

A Tabela 4.9 mostra as condições de ensaio(s) de fadiga de provete(s) de aço 4130 (ASTM).

Tabela 4.9: Condições do(s) ensaio(s) de fadiga a que o(s) provete(s) de aço 4130 (ASTM) foi(foram) submetido(s).

Dados – Fadiga	
Temperatura °C	20
Propriedades Mecânicas	
$\sigma_{ced}$ 0.2 MPa	778
$\sigma_{rot}$ MPa	896
Dureza HB	259
M. Elasticidade GPa	221

O gráfico 4.3 mostra a curva S-N resultante do(s) ensaio(s) de fadiga efetuado(s).

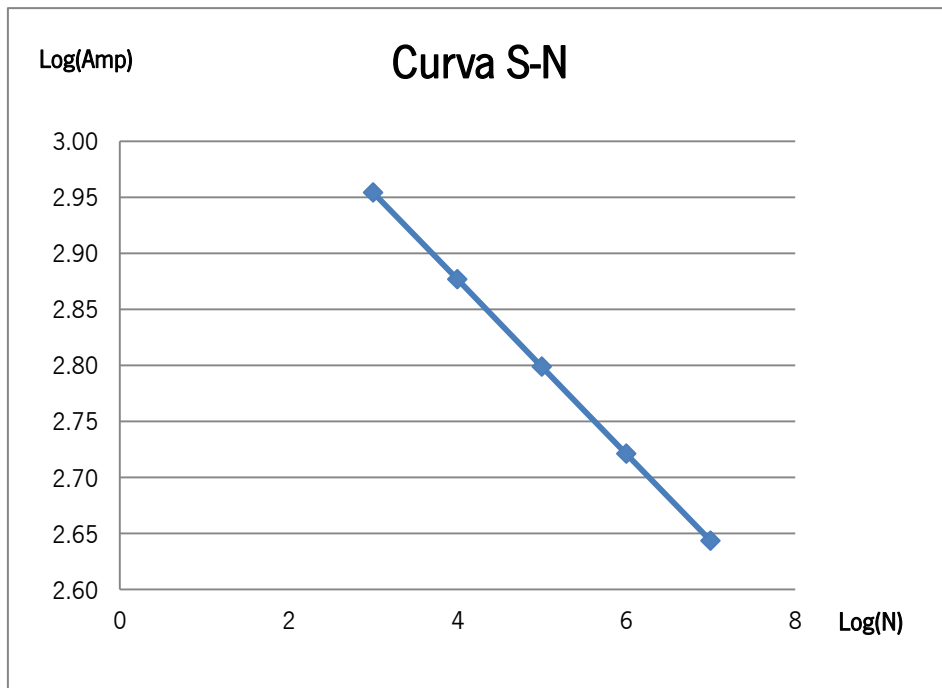


Gráfico 4.3: Curva S-N característica de provete(s) com aço 4130 (ASTM).

### Curva Tensão-Deformação

A Tabela 4.10 mostra o tratamento térmico aplicado nos provetes que definem a curva de tensão-deformação do Gráfico 4.4.

Tabela 4.10: Condições do tratamento térmico dos provetes do aço 4130 (ASTM).

	T. de Estágio °C	Duração hora	Arrefecimento
Estágio Inicial	930	0.5	Água
Estágio Intermédio	650	0.5	Ar
Dureza final HRC	Mínimo 25	Máximo 27	
Direcção do ensaio	Longitudinal		

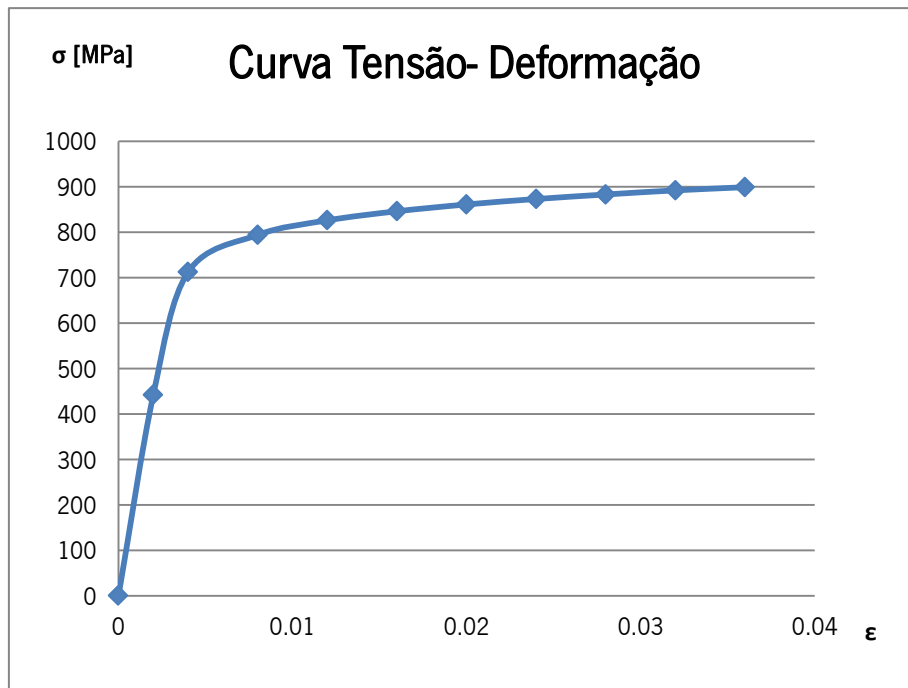


Gráfico 4.4: Curva tensão-deformação do aço 25 CrMo4.

#### Advertências comuns dos Fabricantes

Para aços com C > 0.25 % ponderal e espessuras maiores do que 12 mm, é necessário pré-aquecimento, aplicar uma taxa de arrefecimento constante, controlar o limite e máximo e mínimo de temperatura entre passes de solda, aplicar gás de proteção para proteger a zona de solda sem presença da humidade e ter baixo teor de linhas de difusões. Analisar as ligações soldadas e rever os resultados com especialistas.

#### Fornecedores

Tabela 4.11: Listagem de produtores do aço 4130 (ASTM).

Material / Norma	Fornecedor	Local	Tipo
4130 / AISI e MAS	Jai Balaji Group	Índia	Produtor
	O.P. Jindal Group		
	JFE Holdings, Inc.	Japão	
	Georgsmarienhütte Group	Alemanha	



**ANEXO V**  
**CONSUMÍVEIS DE SOLDADURA**



## **Normas**

### **Europeias (EN)**

EN 439 - Consumíveis de soldadura - gases de proteção para soldadura e corte

EN 439 I1 - Grupo I, número de identificação 1, corresponde a 100% de argon (Ar) do volume total do gás de proteção

EN 439 C1 – Grupo C, número de identificação 1, corresponde a 100% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) do volume total do gás de proteção

EN 439 M13 – Grupo M1, número de identificação 3, corresponde a uma mistura de argon (Ar) e de oxigénio (O<sub>2</sub>) com 2% oxigénio (O<sub>2</sub>) do volume total do gás de proteção

EN 439 M21 – Grupo M2, número de identificação 1, corresponde a uma mistura de argon (Ar) e de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) com um máximo de 25% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e um mínimo de 10% do volume total do gás de proteção.

### **Norte-Americanas (ASME)**

ASME SFA/AWS A5.18 - Norma referente a consumíveis para aços ao carbono com gás de proteção (AWS: ER70S-6, ER70S-3 e ER70S-2)

ASME SFA/AWS A5.28 - Norma referente a consumíveis para aços de baixa liga com gás de proteção (AWS: ER80S-G, ER80S-D2, ER80S-B2)

## **Legendas**

### **Tratamento Térmico**

R\* - Alívio de tensões

## ER80S-G

Tabela 5.1: Gama ER80S-G da LincolnElectric™ (% ponderal)

Processo	GTAW	GMAW			
	LNT 28	Pipeliner 80Ni		Pipeliner 80S-G	
Modelo	Típico	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Composição Química	Típico	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Carbono, C	0.1	0.07	0.08	0.05	0.15
Crómio, Cr			0.05		
Cobre, Cu	0.3		0.2		0.02
Ferro, Fe					
Manganês, Mn	1.4	1.5	1.6	1.4	1.6
Molibdénio, Mo			0.01		
Fósforo, P			0.015		0.02
Sílicio, Si	0.75	0.65	0.75	0.4	0.7
Enxofre, S			0.015		0.02
Níquel, Ni	0.8	0.85	0.95		
Vanádio, V			0.01		
Alumínio, Al			0.01		
Zircônio, Zr					
Titânio, Ti			0.1		
<b>P. Mecânicas</b>	Típico	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
$\sigma_{ced}$ 0.2 MPa	570	620	690	585	620
$\sigma_{rot}$ MPa	620	690	760	620	690
Alongamento %	26	27	28	28	29
Charpy V J a T. °C	80 a -20	99 a -29	119 a -29	72 a -29	92 a -29
Gás de Protecção	l1	M21	C1	M21	C1
D. Mínimo mm	2.4	1 e 1.2	1.1		

Tabela 5.2: Gama ER80S-G da ESAB™ (% ponderal)

Processo	GTAW					
	Ok Tigrod 13.09			Ok Tigrod 13.12		
Modelo						
Composição	Mínimo	Máximo	Típico	Mínimo	Máximo	Típico
Química						
Carbono, C	0.08	0.12	0.1	0.08	0.12	0.1
Crómio, Cr				1	1.3	1.1
Cobre, Cu		0.35	0.2			
Ferro, Fe						
Manganês, Mn	0.9	1.3	1.1	0.8	1.2	1
Molibdénio, Mo	0.4	0.6	0.5	0.4	0.6	0.5
Fósforo, P		0.02	0.015		0.02	0.01
Sílicio, Si	0.3	0.7	0.7	0.5	0.7	0.7
Enxofre, S		0.02	0.015		0.02	0.015
Níquel, Ni						
Vanádio, V						
Alumínio, Al						
Zircónio, Zr						
Titânio, Ti						
<b>P. Mecânicas</b>	Mínimo	Máximo	Típico	Mínimo	Máximo	Típico
$\sigma_{ced}$ 0.2 MPa	460		540	470		560
$\sigma_{rot}$ MPa	530	580	630	550		720
Alongamento %	20		25	19		24
Charpy V J			130 a -			
a T. °C	47 a 20		20			50 a -20
Gás de Protecção	l1	l1				
D. Mínimo mm	1	1				

Tabela 5.3: Gama ER80S-G da ESAB™ (% ponderal)

Processo	GMAW	
Modelo	Ok Aristorod 13.12	
Composição Química	Típico	Típico
Carbono, C	0.1	0.09
Crómio, Cr	1.1	1.1
Cobre, Cu		
Ferro, Fe		
Manganês, Mn	1	1
Molibdénio, Mo	0.5	0.5
Fósforo, P	0.01	0.01
Silício, Si	0.7	0.6
Enxofre, S	0.015	0.015
Níquel, Ni		
Vanádio, V		
Alumínio, Al		
Zircónio, Zr		
Titânio, Ti		
<b>P. Mecânicas</b>	Típico	Típico
$\sigma_{ced}$ 0.2 MPa	605	670
$\sigma_{rot}$ MPa	760	785
Alongamento %	15	18
Charpy V J a T. °C		25 a -20
Gás de Protecção	M21	C1
D. Mínimo mm	0.8, 1 e 1.2	



## ERS80-D2

Tabela 5.4: Gama ER80S-D2 da LincolnElectric™ (% ponderal)

Processo	GTAW		GMAW	
	ER80S-D2		SuperArc LA-90	
Modelo				
Composição Química	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Carbono, C	0.07	0.12	0.09	0.11
Crómio, Cr				
Cobre, Cu		0.5	0.16	0.22
Ferro, Fe				
Manganês, Mn	1.6	2.1	1.63	1.74
Molibdénio, Mo		0.4	0.43	0.46
Fósforo, P		0.025	0.007	0.016
Sílicio, Si	0.5	0.8	0.56	0.64
Enxofre, S		0.025		0.01
Níquel, Ni		0.15		0.04
Vanádio, V				
Alumínio, Al				
Zircónio, Zr				
Titânio, Ti				
<b>P. Mecânicas</b>	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
$\sigma_{ced}$ 0.2 MPa			470	
$\sigma_{rot}$ MPa	550		550	
Alongamento %			17	
Charpy V J a T. °C			27 a -29	
Gás de Protecção	l1		C1	
D. Mínimo mm	1.6		0.9, 1.2, 1.3 e 1.6	

Tabela 5.5: Gama ER80S-D2 da ESAB™ e da WELDWIRE™ (% ponderal)

Processo	GTAW & GMAW			
	ESAB			WELDWIRE
Fabricante	Spoolarc 83			ER80S-D2
Modelo	Típico	Típico	Típico	Típico
Composição Química	Típico	Típico	Típico	Típico
Carbono, C	0.08	0.09	0.07	0.09
Crómio, Cr				
Cobre, Cu				0.15
Ferro, Fe				
Manganês, Mn	1.16	1.65	1.78	1.65
Molibdénio, Mo	0.39	0.43	0.49	0.55
Fósforo, P	0.008	0.013	0.009	0.012
Sílicio, Si	0.34	0.6	0.66	0.58
Enxofre, S	0.012	0.012	0.008	0.006
Níquel, Ni				
Vanádio, V				
Alumínio, Al				
Zircônio, Zr				
Titânio, Ti				
<b>P. Mecânicas</b>	Típico	Típico		Típico
$\sigma_{ced}$ 0.2 MPa	530	655		493
$\sigma_{rot}$ MPa	635	750		586
Alongamento %	23	22		21
Charpy V J a T. °C	60 a -29	118 a -29		81.3 a 0
Gás de Protecção	C1	M13		C1
Mistura		98%Ar/O2		
Diâmetros mm		0.8, 0.9, 1.2, 1.3 e 1.6		

## ER80S-B2

Tabela 5.6: Gama ER80S-B2 da LincolnElectric™ e da ESAB™ (% ponderal)

Processo	GTAW					
	LincolnElectric			ESAB		
Fabricante	ER80S-B2			Tigrod ER80S-B2		
Modelo	ER80S-B2		LNT 19	Tigrod ER80S-B2		
Composição Química	Mínimo	Máximo	Típico	Mínimo	Máximo	Típico
Carbono, C	0.07	0.12	0.1		0.5	
Crómio, Cr	1	1.75	1.2	1	2	
Cobre, Cu		0.35			0.5	
Ferro, Fe						
Manganês, Mn	0.45	1	1		1	
Molibdénio, Mo	0.45	0.65	0.5		1	
Fósforo, P		0.025				
Silício, Si	0.05	0.3	0.6		1	
Enxofre, S		0.025				
Níquel, Ni					0.5	
Vanádio, V						
Alumínio, Al						
Zircónio, Zr						
Titânio, Ti						
<b>P. Mecânicas</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Típico</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Típico</b>
$\sigma_{ced}$ 0.2 MPa			442			559
$\sigma_{rot}$ MPa			545			655
Alongamento %			28			29
Charpy V J a T. °C			177 a -10			
Gás de Protecção			11		11	
Mistura						
D. Mínimo mm		1.6			...	
Tratamento Térmico						R*

Tabela 5.7: Gama ER80S-B2 da LincolnElectric™ e da WELDWIRE™ (% ponderal)

Processo	GMAW	GTAW & GMAW
Fabricante	LincolnElectric	WELDWIRE
Modelo	LN19	ER80S-D2
Composição Química	Típico	Típico
Carbono, C	0.1	0.08
Crómio, Cr	1.2	1.35
Cobre, Cu		0.15
Ferro, Fe		
Manganês, Mn	1	0.55
Molibdénio, Mo	0.5	0.55
Fósforo, P		0.012
Sílicio, Si	0.5	0.48
Enxofre, S		0.006
Níquel, Ni		0.1
Vanádio, V		
Alumínio, Al		
Zircónio, Zr		
Titânio, Ti		
<b>P. Mecânicas</b>	Típico	Típico
$\sigma_{ced}$ 0.2 MPa	315	496
$\sigma_{rot}$ MPa	610	586
Alongamento %	29	21
Charpy V J a T. °C	97 a -10	81.3 a 0
Gás de Protecção	M21	I1 / C1 / M21
Mistura		75%Ar/CO2
Diâmetros mm	0.8, 1, 1.2 e 1.6	0.8, 0.9, 1.2, 1.3 e 1.6
Tratamento Térmico		R*

## ER70S-6

Tabela 5.8: Gama ER70S-6 da LincolnElectric™ (% ponderal)

Processo	GTAW			
	LNT 26	ER70S-6	SuperArc Orbital TIG L-56 N	
Modelo				
Composição Química	Típico	Típico	Mínimo	Máximo
Carbono, C	0.1	0.09	0.08	0.09
Crómio, Cr		0.05	0.01	0.05
Cobre, Cu		0.2	0.17	0.22
Ferro, Fe				
Manganês, Mn	1.5	< 1.6	1.42	1.6
Molibdénio, Mo		0.05		0.01
Fósforo, P		0.007	0.004	0.01
Sílicio, Si	0.9	0.9	0.81	0.87
Enxofre, S		0.007	0.006	0.01
Níquel, Ni		0.05		0.04
Vanádio, V		0.05		0.01
Alumínio, Al				
Zircónio, Zr				
Titânio, Ti				
<b>P. Mecânicas</b>	Mínimo			
$\sigma_{ced}$ 0.2 MPa	460			
$\sigma_{rot}$ MPa	580			
Alongamento %	26			
Charpy V J a T. °C	170 a -20			
Gás de Protecção	11			
Mistura				
D. Mínimo mm	1.6	1.6	0.9	

Tabela 5.9: Gama ER70S-6 da LincolnElectric™ (% ponderal)

Processo		GMAW				
Modelo	SuperGlide S6		SuperArc L-56 e SuperArc L-56 N			
Composição Química	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo		
Carbono, C	0.08	0.09	0.08	0.1		
Crómio, Cr	0.01	0.05	0.01	0.05		
Cobre, Cu	0.01	0.04	0.17	0.22		
Ferro, Fe						
Manganês, Mn	1.42	1.65	1.42	1.6		
Molibdénio, Mo		0.01		0.01		
Fósforo, P	0.004	0.01	0.004	0.01		
Silício, Si	0.81	0.87	0.81	0.87		
Enxofre, S	0.006	0.01	0.006	0.01		
Níquel, Ni		0.04		0.04		
Vanádio, V		0.01		0.01		
Alumínio, Al						
Zircónio, Zr						
Titânio, Ti						
<b>P. Mecânicas</b>	Típico		Típico			
$\sigma_{ced}$ 0.2 MPa	430		440	460	470	455
$\sigma_{rot}$ MPa	540		560	565	580	565
Alongamento %	28		29	27	28	27
Charpy V J a T. °C	71 a -29		71 a -29	82 a -29	119 a -29	122 a -29
Gás de Protecção	C1		C1	M21		M13
Mistura				75%Ar/CO2	90%Ar/CO2	98%Ar/O2
Diâmetros mm	0.9 e 1.1		0.6, 0.8, 0.9, 1.1, 1.3 e 1.6			



Tabela 5.10: Gama ER70S-6 da LincolnElectric™ (% ponderal)

Processo	GMAW		
	Modelo	SuperArc L-59	Murematic S6
Composição Química	Mínimo	Máximo	Típico
Carbono, C	0.06	0.15	0.07
Crómio, Cr		0.15	0.02
Cobre, Cu		0.5	0.21
Ferro, Fe			
Manganês, Mn	1.4	1.85	1.44
Molibdénio, Mo		0.15	0.01
Fósforo, P		0.025	0.011
Silício, Si	0.8	1.15	0.85
Enxofre, S		0.035	0.007
Níquel, Ni		0.15	0.02
Vanádio, V		0.03	
Alumínio, Al			
Zircônio, Zr			
Titânio, Ti			
<b>P. Mecânicas</b>	Típico	Típico	
$\sigma_{ced}$ 0.2 MPa	455	485	460
$\sigma_{rot}$ MPa	565	595	570
Alongamento %	28	25	25
Charpy V J a T. °C	71 a -29	56 a -29	75 a -29
Gás de Protecção	C1	M21	C1
Mistura		75%Ar/CO2	90%Ar/CO2
Diâmetros mm	0.9, 1.1, 1.3 e 1.6	0.9, 1.1 e 1.3	

Tabela 5.11: Gama ER70S-6 da ESAB™ (% ponderal)

<b>Processo</b>	<b>GMAW</b>		
<b>Fabricante</b>	<b>ESAB</b>		
<b>Modelo</b>	<b>OK Aristorod 12.50</b>		
<b>Composição Química</b>	<b>Típico</b>		
Carbono, C	0.07	0.08	0.08
Crómio, Cr			
Cobre, Cu	0.01	0.02	0.01
Ferro, Fe			
Manganês, Mn	1	1.19	1.22
Molibdénio, Mo			
Fósforo, P	0.012	0.012	0.013
Silício, Si	0.56	0.68	0.73
Enxofre, S	0.011	0.012	0.012
Níquel, Ni			
Vanádio, V			
Alumínio, Al			
Zircônio, Zr			
Titânio, Ti			
<b>P. Mecânicas</b>	<b>Típico</b>		
$\sigma_{ced}$ 0.2 MPa	448	455	455
$\sigma_{rot}$ MPa	538	565	565
Alongamento %	25	28	27
Charpy V J a T. °C	27 a -29	44 a -29	82 a -29
Gás de Protecção	C1		M21
Mistura		75%Ar/CO2	90%Ar/CO2
Diâmetros mm		0.8, 0.9, 1.2 e 1.6	

Tabela 5.12: Gama ER70S-6 da ESAB™ e da WELDWIRE™ (% ponderal)

Processo	GTAW & GMAW		
	ESAB		WELDWIRE
Fabricante	Spoolarc 86		ER70S-6
Modelo	Típico		Típico
Composição Química	Típico		Típico
Carbono, C	0.09	0.07	0.09
Crómio, Cr			
Cobre, Cu			0.35
Ferro, Fe			
Manganês, Mn	1.08	1.19	1.65
Molibdénio, Mo			
Fósforo, P	0.014	0.12	0.012
Sílicio, Si	0.51	0.62	0.95
Enxofre, S	0.01	0.011	0.018
Níquel, Ni			
Vanádio, V			
Alumínio, Al			
Zircônio, Zr			
Titânio, Ti			
<b>P. Mecânicas</b>	Típico		Típico
$\sigma_{ced}$ 0.2 MPa	469	497	538
$\sigma_{rot}$ MPa	563	593	445
Alongamento %	30	27	24
Charpy V J a T. °C	61 a -29	91 a -29	61 a -29
Gás de Protecção	C1	M21	I1 / C1 / M13
Mistura	75%Ar/CO2		98%Ar/O2
Diâmetros mm	0.8, 0.9, 1.2, 1.3 e 1.6		

## ER70S-3

Tabela 5.13: Gama ER70S-3 da LincolnElectric™ (% ponderal)

Processo	GMAW			
	SuperGlide S3		SuperArc L-50	
Modelo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Composição Química	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Carbono, C	0.07	0.1	0.08	0.11
Crómio, Cr		0.03		0.04
Cobre, Cu	0.02	0.04	0.15	0.25
Ferro, Fe				
Manganês, Mn	1.15	1.27	1.14	1.23
Molibdénio, Mo		0.01		0.02
Fósforo, P	0.005	0.013	0.003	0.013
Sílicio, Si	0.52	0.59	0.53	0.59
Enxofre, S	0.002	0.008	0.003	0.009
Níquel, Ni		0.04		0.03
Vanádio, V		0.01		0.01
Alumínio, Al				
Zircônio, Zr				
Titânio, Ti				
<b>P. Mecânicas</b>	Típico		Típico	
$\sigma_{ced}$ 0.2 MPa	405		415	420 450 425
$\sigma_{rot}$ MPa	510		515	525 545 540
Alongamento %	26		26	28 30 27
Charpy V J a T. °C	87 a -29		88 a -29	102 a -29 122 a -29 95 a -29
Gás de Protecção	C1		C1	M21 M13
Mistura				75%Ar/CO2 90%Ar/CO2 98%Ar/O2
Diâmetros mm	0.9 e 1.1			0.8, 0.9, 1.1, 1.3 e 1.6

Tabela 5.14: Gama ER70S-3 da LincolnElectric™ e da ESAB™ (% ponderal)

Processo	GMAW	
	LincolnElectric	ESAB
Fabricante		
Modelo	Murematic S3	Spoolarc 92S
Composição Química	Típico	Típico
Carbono, C	0.1	0.07
Crómio, Cr	0.03	
Cobre, Cu	0.17	
Ferro, Fe		
Manganês, Mn	1.23	0.8
Molibdénio, Mo	0.01	
Fósforo, P	0.014	0.009
Sílicio, Si	0.56	0.3
Enxofre, S	0.008	0.009
Níquel, Ni	0.04	
Vanádio, V		
Alumínio, Al		
Zircónio, Zr		
Titânio, Ti		
<b>P. Mecânicas</b>	Típico	Típico
$\sigma_{ced}$ 0.2 MPa	447	420
$\sigma_{rot}$ MPa	559	505
Alongamento %	24	32
Charpy V J a T. °C	91 a -18	129 a -18
Gás de Protecção	C1	C1
Mistura		
Diâmetros mm	0.9, 1.1 e 1.3	0.8, 0.9, 1.2 e 1.6

Tabela 5.15: Gama ER70S-3 da ESAB™ e da WELDWIRE™ (% ponderal)

Processo	GTAW & GMAW		
	ESAB		WELDWIRE
Fabricante	Spoolarc 82		ER70S-3
Modelo	Típico		Típico
Composição Química	Típico		Típico
Carbono, C	0.07	0.8	0.07
Crómio, Cr			
Cobre, Cu			0.4
Ferro, Fe			
Manganês, Mn	0.9	1	1.19
Molibdénio, Mo			
Fósforo, P	0.006	0.006	0.012
Sílicio, Si	0.4	0.5	0.52
Enxofre, S	0.008	0.008	0.022
Níquel, Ni			
Vanádio, V			
Alumínio, Al			
Zircônio, Zr			
Titânio, Ti			
<b>P. Mecânicas</b>	Típico		Típico
$\sigma_{ced}$ 0.2 MPa	415	425	521
$\sigma_{rot}$ MPa	505	525	424
Alongamento %	28	28	23
Charpy V J a T. °C	102 a -29	112 a -29	47.5 a -18
Gás de Protecção	C1	M13	I1 / C1 / M13
Mistura		98%Ar/O2	98%Ar/O2
Diâmetros mm			0.8, 0.9, 1.2, 1.3 e 1.6

## ER70S-2

Tabela 5.16: Gama ER70S-2 da LincolnElectric™ e da ESAB™ (% ponderal)

<b>Fabricante</b>	<b>LincolnElectric</b>		<b>ESAB</b>
<b>Modelo</b>	<b>ER70S-2</b>	<b>SuperArc Orbital TIG L-52 N</b>	<b>Spoolarc 65</b>
<b>Composição Química</b>	<b>Típico</b>	<b>Típico</b>	<b>Típico</b>
Carbono, C		0.04	0.06
Crómio, Cr		0.08	
Cobre, Cu		0.2	
Ferro, Fe			
Manganês, Mn		1.08	1
Molibdénio, Mo		0.08	
Fósforo, P		0.003	0.008
Silício, Si		0.55	0.5
Enxofre, S		0.005	0.007
Níquel, Ni		0.08	
Vanádio, V		< 0.002	
Alumínio, Al		0.08	
Zircónio, Zr		0.07	
Titânio, Ti		0.1	
<b>P. Mecânicas</b>			Típico
$\sigma_{ced}$ 0.2 MPa			505
$\sigma_{rot}$ MPa			565
Alongamento %			31
Charpy V J a T. °C			230 a -29
Gás de Protecção			11
Mistura			
D. Mínimo mm	1.6	0.9	0.6



Tabela 5.17: Gama ER70S-2 da ESAB™ e da WELDWIRE™ (% ponderal)

Processo	GMAW		GTAW & GMAW
Fabricante	ESAB		WELDWIRE
Modelo	Spoolarc 65		ER70S-2
Composição Química	Típico		Típico
Carbono, C	0.08		0.05
Crómio, Cr			
Cobre, Cu			0.35
Ferro, Fe			
Manganês, Mn	0.9		1.15
Molibdénio, Mo			
Fósforo, P	0.008		0.012
Sílicio, Si	0.3		0.45
Enxofre, S	0.007		0.012
Níquel, Ni			
Vanádio, V			
Alumínio, Al			0.09
Zircônio, Zr			0.04
Titânio, Ti			0.06
<b>P. Mecânicas</b>	Típico		Típico
$\sigma_{ced}$ 0.2 MPa	460	480	427
$\sigma_{rot}$ MPa	545	565	516
Alongamento %	26	26	24
Charpy V J a T. °C	47 a -29	61 a -29	61 a -29
Gás de Protecção	C1	M13	I1 / C1 / M13
Mistura	98%Ar/O2		98%Ar/O2
Diâmetros mm	0.6, 0.8, 0.9, 1.2, 1.3 e 1.6		0.8, 0.9, 1.2, 1.3 e 1.6

**ANEXO VI**  
**TIG/GTAW**



Os tipos de elérodos de tungsténio são identificáveis pelas normas, cor e ponta. A Tabela 6.1 apresenta os vários tipos de elérodos de tungsténio classificados pela norma AWS A5.12 e categorizados pela norma ISO 6848 (52) (111) (62).

Tabela 6.1: Características gerais dos tipos de elérodos não consumíveis de tungsténio

Classe (AWS)	Designação	Cor (EN)	Corrente	Ponta
EWP	Tungsténio Puro	Verde	Alternada	Bola
EWL <sub>a</sub> -1	1% Lantânio	Preto	Alternada	Afiada
EWL <sub>a</sub> -1.5	1.5% Lantânio	Dourado		ou em
EWL <sub>a</sub> -2	2% Lantânio	Azul	ou	Bola
EWCe-2	2% Cério	Cinzento	Contínua	Afiada
EWTh-1	1% Tório	Amarelo	Contínua	Afiada
EWTh-2	2% Tório	Vermelho		
EWZr-1	1% Zircónio	Branco	Alternada	Bola

O elétrodo de tungsténio puro (99.5% de tungsténio) é o mais barato e tem menor longevidade. Apresenta boa estabilidade em corrente alternada (onda balanceada ou sinusoidal). Não é recomendado o seu uso em corrente contínua de polaridade negativa por não ter um arco tão forte quanto os elérodos de tório e cério (62).

O elétrodo de tungsténio com óxido de lantânio tem boa longevidade e estabilidade de arco, excelentes características de arranque e de reignição do arco, trabalha com corrente alternada (com onda sinusoidal e ponta em bola) ou contínua (de polaridade negativa com o elétrodo de ponta afiada). O óxido de lantânio está disperso uniformemente pelo elétrodo de tungsténio e ajuda a manter a ponta afiada durante o serviço, o que é vantajoso para soldar aço inoxidável em corrente contínua ou alternada com onda quadrada. Para um determinado tamanho de elétrodo, o óxido de lantânio aumenta a capacidade de condução elétrica do elétrodo em cerca de 50% em comparação com o elétrodo de tungsténio puro. Este tipo de elérodos é indicado para soldar em corrente alternada e permite que o arco arranque e se mantenha em baixas tensões de corrente elétrica (62). Têm um desempenho similar ao elétrodo de tungsténio de óxido de tório, são ideais para melhorar as aptidões do soldador e não são radioativos. O elétrodo de tungsténio de 1.5% de lantânio aparenta ter melhor desempenho geral e é a recomendação mais comum, particularmente para uso nos inversores modernos de TIG/GTAW (62) (52).

Os elérodos de tungsténio com óxido de cério podem ser usados em corrente alternada ou contínua, mas desempenham melhor em corrente contínua com baixa tensão da corrente elétrica. São

muito usados em tubos, folhas de metal ou em ligações delicadas e de pequenas dimensões. Não é recomendado trabalhar com elevada intensidade da corrente elétrica, porque o óxido de cério migra rapidamente para a ponta do eletrodo o que faz com que o óxido seja removido, anulando os benefícios do mesmo. É um substituto do eletrodo de tungstênio de tório e é recomendado para soldar aços ao carbono e inoxidáveis, ligas de alumínio e titânio (62).

O eletrodo de tungstênio com óxido de tório pode ser usado em corrente alternada (ideal para materiais de espessura inferior a 1.5 mm), mas tem um desempenho excepcional em corrente contínua (de polaridade negativa) para ligar aços ao carbono, aços inoxidáveis, níquel ou titânio. A temperatura de serviço deste eletrodo é inferior ao seu ponto de fusão, o que promove um baixo desgaste do eletrodo e uma boa estabilidade do arco ao eliminar desvios do arco (62). O óxido de tório está finamente disperso no tungstênio sob a forma de um pó metalúrgico, aumentando a capacidade de transferência de energia do eletrodo de tungstênio e a manutenção da ponta afiada. Os elétrons requerem menor energia para abandonarem a superfície do tungstênio, acabando por libertar mais energia na peça de trabalho como desejado. Este eletrodo tem um baixo nível de contaminação em relação a outros eletrodos, boa longevidade, são fáceis de usar e são radioativos, exigindo cuidado especial durante a preparação da sua ponta (62) (52).

O eletrodo de tungstênio com óxido de zircônio não é recomendado para o uso em corrente contínua, mas é ideal para soldar em corrente alternada devido à ponta do eletrodo em bola. Este eletrodo tem melhor resistência à contaminação, produz um arco extremamente estável, é resistente ao salpico de tungstênio e tem uma capacidade de condução da eletricidade igual ou maior do que o eletrodo de tungstênio com óxido de tório.

O eletrodo de elementos raros (classificação EWG da AWS) contem aditivos não especificados de óxidos de elementos raros ou de híbridos de diferentes óxidos. Dependendo destes aditivos, o arco pode ser estável em corrente contínua e em corrente alternada, possuir melhor longevidade do que o eletrodo com óxido de tório, diminuir ao salpico de tungstênio e permitir usar eletrodos de menor dimensão e usar maior tensão da corrente para um eletrodo de tamanho similar (62).

Existem 3 tipos de corrente elétrica que produzem o arco elétrico entre o eletrodo de tungstênio e a peça de trabalho. A corrente contínua de polaridade negativa é o tipo de corrente contínua mais comum e usa o eletrodo de tungstênio como carga negativa e a peça de trabalho como carga positiva. Isto é, os elétrons provenientes do eletrodo viajam pelo arco até atingirem a peça. Obrigando a que o gás de proteção equilibre as cargas ao emitir íões que viajam da superfície da peça de trabalho até ao eletrodo de tungstênio. O transporte dos elétrons para a superfície da peça de

trabalho requer uma grande quantidade de energia. Esta gera calor e proporciona boa penetração da solda (52). A corrente contínua de polaridade positiva funciona de forma inversa. O eletrodo de tungstênio tem carga positiva enquanto que a peça de trabalho tem carga negativa. Os elétrons partem da peça de trabalho, viajam através do arco até ao eletrodo de tungstênio. O gás é usado como elemento compensador das cargas durante o processo, ou seja, os seus iões viajam do eletrodo de tungstênio para a superfície da peça de trabalho. Este processo também necessita de uma grande quantidade de energia porque tem de conduzir os elétrons até à ponta do eletrodo de tungstênio. A grande quantidade de calor libertada no eletrodo gerada por este efeito, limita a corrente máxima permitida para evitar um derretimento excessivo do eletrodo (por vezes implica o uso de um eletrodo de maior dimensão do que a pretendida). Esta quantidade de energia cria uma área de fusão larga e pouco profunda na peça de trabalho. O alumínio e o magnésio têm óxidos refratários na sua superfície o que os torna perfeitos candidatos para este tipo de corrente contínua porque estes óxidos são levantados da superfície da peça de trabalho quando os elétrons a abandonam. Julga-se que este efeito é ajudado pelo impacto do gás de proteção na superfície da peça de trabalho. A corrente contínua de polaridade positiva raramente é usada, mesmo para opções de baixa corrente (52). A corrente alternada tem na sua génese a troca de polaridade positiva e negativa, fazendo com que o arco mude de direção entre as duas polaridades duas vezes durante cada ciclo de energia (100 vezes por segundo). Esta mudança de direção obriga a que o arco se extinga e depois se reacenda. Este tipo de corrente cria dois ciclos distintos num ciclo de energia, um responsável pela penetração da solda (corrente contínua de polaridade negativa) e outro pela limpeza da superfície de trabalho (corrente contínua de polaridade positiva). A metade completa de um ciclo de energia é mais do que suficiente para remover a quantidade de óxidos necessária para se fabricar ligações soldadas com qualidade, mas a camada de óxido dificulta a reignição do arco no momento ideal (zona neutra da troca de polaridade da corrente), reduzindo significativamente o tempo gasto no modo de limpeza (por vezes leva ao bloqueio do ciclo de corrente contínua de polaridade positiva). Este efeito pode ser controlado através do uso de uma fonte de energia com elevada tensão e baixa intensidade da corrente que acende rapidamente o arco. A onda sinusoidal convencional é o método mais antigo e convencional para realizar este efeito, o que permite iniciar o arco sem ser necessário contactar fisicamente o eletrodo de tungstênio com a peça de trabalho. Este tipo de onda fornece continuamente uma fonte de elevada tensão e frequência. As fontes de energia mais recentes (inversores) recorrem a componentes [retificador (responsável por transformar corrente alternada monofásica ou trifásica em corrente contínua), um inversor (responsável pelas elevadas frequências), um transformador (usado para baixar a tensão da corrente de soldadura),

um circuito de filtragem e retificação e as unidades de controlo] para criarem uma onda quadrada de corrente alternada, em vez da onda sinusoidal habitual, podendo, também, anular a necessidade de uma alimentação contínua de um circuito de elevada tensão e frequência (112) (52).

Existem dois tipos de fontes de energia para utilizar o processo TIG/GTAW, o transformador e o inversor, e a seleção da fonte de energia é baseada no material a soldar. A evolução destes componentes têm contribuído para a qualidade final das soldas a nível visual e de desempenho da ligação e ao nível de facilidade de fabrico.

O transformador convencional foi direcionado para a soldadura por eléctrodo revestido, mas pode ser usado em TIG/GTAW. Os transformadores antigos apenas fornecem corrente alternada e os mais recentes podem combinar corrente alternada com corrente contínua. Estes transformadores têm dimensões generosas para conseguirem reduzir a tensão da rede (220 V) para uma tensão de soldadura aceitável em vazio (cerca de 80 V). A saída de corrente deste dispositivo é regulada pelo princípio de curva característica estática, neste caso a curva de corrente constante, fazendo com que a curva de tensão seja descendente e haja uma menor variação do comprimento do arco (112) (52). No entanto, para produzir ligações soldadas por TIG/GTAW, é necessário que existam circuitos de arranque e controlo da variação de corrente para soldar tubos de parede fina ou folhas de metal. Como a corrente alternada é essencial para soldar alumínio, transformadores simples de corrente alternada de soldadura por eléctrodo revestido não funcionam por causa da retificação do ciclo de limpeza da superfície da peça de trabalho (como referido anteriormente, a quantidade e óxidos superficiais pode reduzir ou eliminar o ciclo de limpeza). Um gerador de soldadura de alta frequência pode ser adicionado a este transformador, assim como um cilindro com gás de protecção próprio para TIG/GTAW. Esta conversão só é viável monetariamente para pequenos níveis de produção. Este tipo de transformador não possui um fácil ajuste/controlo da corrente, nem permite o uso de um pedal de controlo. Os transformadores de corrente alternada e de corrente contínua têm controlo electrónico, mas não possuem todas as funcionalidades/controlos oferecidas(os) pelos inversores modernos, apenas podem ter pedal de controlo e capacidade pulsante. Esta capacidade não fura peças de fina espessura mas permite atingir um cordão de soldadura de aspeto medalhado (52).

Os inversores não estão dependentes da frequência da corrente eléctrica da rede (50 ciclos por segundo) e conseguem criar a frequência de trabalho desejada (mais de 20000 ciclos de energia por segundo). Eles alteram a corrente alternada da rede para corrente contínua e novamente para corrente alternada de maior frequência. Como os inversores podem ajustar a sua frequência, estes podem atingir a mesma penetração de solda que um transformador convencional de corrente alternada



consegue, mas com baixa intensidade de corrente elétrica. O tamanho do transformador é inversamente proporcional ao valor da frequência da corrente, tornando os transformadores destes aparelhos bastante pequenos e muito leves, facilitando o transporte e armazenamento dos mesmos. Estes aparelhos podem, também, moldar uma onda quadrada de corrente em vez de se cingirem a uma onda sinusoidal simples de corrente, permitindo ajustar a quantidade de uso da corrente contínua de polaridade negativa para obter maior penetração da solda, criando um melhor controlo do arco elétrico e eliminando a necessidade do uso de elevadas frequências para reacender o arco, porque a troca de polaridades da corrente é muito rápida. Um inversor tem os seguintes parâmetros ajustáveis: (i) tempo de pré-fluxo do gás de proteção; (ii) tempo de *upslope* (inclinação da curva característica de tensão-intensidade da corrente) até atingir o pico das definições da corrente; (iii) o declive de intensidade da corrente ao desligar o arco; e (iv) o tempo de pós gás de proteção quando a soldadura é parada. É possível soldar aços de espessura fina através de corrente contínua, porque existe uma opção de micro pulso que minimiza o calor na solda, e também pré aquecer o eletrodo de tungsténio, onde uma percentagem da total corrente ajuda a iniciar o eletrodo (isto prolonga a vida do eletrodo porque diminui o choque térmico sofrido). Existem versões de inversores que apenas fornecem corrente contínua a um custo reduzido, com características de controlo ajustáveis similares aos inversores normais e são menos complexas e mais leves (112) (52).



**ANEXO VII**  
**MIG/MAG/GTAW**



Os gases de proteção inertes são recomendados para protegerem materiais não ferrosos, aços ao carbono, inoxidáveis e de baixa liga. O argônio é mais eficaz do que o hélio na proteção do arco elétrico de soldadura por ser mais denso e tem maior energia no seio da proteção do que nas extremidades, o que gera um arco irregular e um cordão mais fino. Por sua vez, o hélio tem maior condutividade, potencial de ionização (tolera tensões de corrente mais elevadas) e uma distribuição de energia mais uniforme o que resulta num cordão mais largo mas com maior quantidade de respingos. As características do hélio tornam-no muito limitado nas aplicações de soldadura. Portanto, é normal recorrer-se ao uso de misturas daqueles dois gases para se beneficiar das qualidades do hélio (65).

O oxigênio e o dióxido de carbono são os únicos gases de proteção ativos. O dióxido de carbono é muito usado na sua forma pura neste tipo de processo de soldadura porque proporciona alta velocidade de soldadura, excelente penetração e baixo custo. Este gás de proteção ativo pode ser misturado com os gases de proteção inertes e a mistura depende do metal base e das condições superficiais, da geometria da junta, da posição ou da técnica de soldadura. Misturas de dióxido de carbono com argônio são utilizadas em aços ao carbono e de baixa liga e, por vezes, em aços inoxidáveis (65).

O posicionamento e a manipulação da tocha e a correta escolha da posição de soldar é fundamental para determinar a qualidade da ligação. Uma tocha é composta pelo bocal, difusor do gás de proteção, suporte do bico, bico e pelo eletrodo consumível suportado pelo bico (Figura 7.1). A corrente de soldadura é conduzida pela ponta do bico ao eletrodo consumível. Devido à grande diferença de dimensões geométricas e propriedades físicas destes dois elementos o fluxo de corrente concentra-se quase todo no eletrodo. O efeito de resistência elétrica do eletrodo consumível, associado à velocidade de alimentação do mesmo, faz com que o eletrodo apenas esteja muito quente na sua ponta (zona do eletrodo consumível mais próxima da peça de trabalho). A distância da ponta do eletrodo consumível à ponta do bico da tocha influencia o desempenho do processo de soldadura. A resistência elétrica do eletrodo depende desta distância e é altamente dependente da intensidade da corrente de soldadura. Por sua vez, a taxa de fusão do eletrodo é proporcional à intensidade da corrente de soldadura, geometria do eletrodo e à resistência elétrica do mesmo. O aumento da distância entre a ponta do bico da tocha e a ponta do eletrodo consumível, resulta numa queda de tensão da corrente de soldadura e obriga a fonte de energia a reduzir a intensidade da corrente para compensar a queda, encurtando o arco elétrico resultante e a penetração da soldadura. Esta regulação é automática e baseia-se numa curva de tensão de corrente constante, que causa as grandes variações da intensidade da corrente de soldadura. A velocidade de alimentação do eletrodo consumível é

independente desta regulação e é sempre constante, cumprindo a predefinição imposta pelo soldador (65) (52).



Figura 7.1: Vista do Bocal, do suporte do bico e do difusor, seccionados, expondo o bico e o elétrodo consumível de uma tocha de MIG/MAG/GMAW (113).

Comumente, MIG/MAG/GMAW usufrui de corrente contínua de polaridade positiva (elétrodo tem carga positiva e a peça de trabalho tem carga negativa). Como já foi referido no processo TIG/GTAW, esta corrente obriga aos eletrões viajarem para a ponta quente do elétrodo consumível, o que faz com que a energia envolvida neste processo crie temperaturas acima do ponto de fusão do elétrodo consumível (52). Neste tipo de processo de soldadura, a corrente contínua de polaridade positiva proporciona um arco elétrico estável (logo menos respingos), transferência metálica suave, boas características do leito e maior penetração da solda. A corrente contínua de polaridade negativa pode ser usada em operações de revestimento e não existe um meio de usar eficazmente a corrente alternada devido à necessidade de extinção do arco elétrico na zona neutra (65).

MIG/MAG/GMAW admite 4 mecanismos de transferência de metal para a peça de trabalho, em *spray*, por curto-circuito, arco pulsado e globular. Cada mecanismo depende da corrente de soldadura, extensão, diâmetro e composição química do elétrodo consumível e do gás de proteção usado (52) (65).

O mecanismo de transferência por curto-circuito é normalmente usado para unir metais de espessura fina porque produz uma poça de metal pequena devido à dependência de correntes de baixa potência e de elétrodos consumíveis de pequeno diâmetro. Nenhum material é transferido pelo arco

elétrico da soldadura, a transferência de metal só ocorre durante um curto período de tempo onde o eletrodo consumível está em contacto com a poça de metal (cerca de 20 a 200 curtos-circuitos por segundo enquanto o eletrodo consumível é empurrado contra a peça de trabalho). As condições iniciais responsáveis pelo aquecimento do eletrodo são semelhantes ao mecanismo de transferência por *spray* mas de menor valor energético. Uma gota de metal fundido é criada na ponta do eletrodo consumível e após o toque do eletrodo na poça de metal, o arco elétrico de soldadura é extinto através de uma queda abrupta da tensão da corrente de soldadura (relembrar que este mecanismo também se rege por uma curva de tensão constante). Depois, a energia da corrente aumenta a uma taxa mais suave e suficiente para aquecer o eletrodo consumível novamente, restabelecer o arco elétrico e minimizar os respingos (a separação da gota de metal do eletrodo e a subida de energia pode ejetar pequenas quantidades de metal). A gota de metal fundido cai e é atraída para o interior da poça de metal pela tensão superficial. Este aumento de energia é controlado por um indutor adicionado ao circuito convencional de soldadura MIG/MAG/GMAW. O indutor é responsável por limitar a taxa de aumento da energia da corrente e por restabelecer o arco elétrico de soldadura com energia adicional armazenada durante o curto-circuito. A regulação da energia de corrente de soldadura pelo indutor depende da resistência elétrica e da temperatura de fusão do eletrodo consumível. A dimensão do indutor e outras variáveis determinam a quantidade de tempo que o arco elétrico de soldadura está ligado ou desligado. A composição do gás de proteção tem um efeito considerável na tensão superficial do metal fundido, no tamanho das gotas de metal fundido e na duração do curto-circuito. Apesar de dióxido de carbono produzir soldaduras com maior penetração do que os gases inertes, também gera uma vasta quantidade de respingos e gotas de metal fundido de dimensões maiores. A mistura deste gás ativo com argon (num mínimo de 8% de dióxido de carbono do volume total do gás de proteção; valores aconselháveis são de 22% a 25% de dióxido de carbono do volume total do gás de proteção) é um bom compromisso para obter a qualidade desejada do cordão de soldadura e é extensivamente usado na união de aços ao carbono e aços de baixa liga. Hélio combinado com argon (valores recomendados no intervalo 60% a 90% de hélio do volume total do gás de proteção) promove a penetração do cordão da soldadura em metais não ferrosos, a fusão da ponta do eletrodo consumível e o aumento da tensão no arco elétrico de soldadura em relação ao argon puro (52) (65).

O mecanismo de transferência de metal por *spray* é caracterizado por gotas de metal do eletrodo consumível que abandonam a sua ponta e viajam pelo arco elétrico de soldadura até à peça de trabalho. Este processo ocorre através de valores elevados de intensidade da corrente de soldadura que produzem pequenas gotas de metal. Estas gotas são direcionadas axialmente através do arco



elétrico e aceleradas com valores superiores ao da aceleração gravítica. Isto resulta numa boa taxa de deposição das gotas (cerca de 98% do cordão de soldadura é composto pelo elétrodo consumível) e possibilita qualquer posição de soldadura. As reduzidas dimensões das gotas e o uso de árgon como gás de proteção evitam a ocorrência de respingos na soldadura. Normalmente, é adicionado oxigénio, num intervalo de 2% a 5% do volume total do gás de proteção, para criar uma mistura. O hélio não permite a ocorrência de *spray* em qualquer valor de intensidade de corrente. A corrente de soldadura é inversamente proporcional ao diâmetro do elétrodo consumível e varia com a composição do gás de proteção e do elétrodo consumível e da temperatura de fusão do mesmo. Apesar da intensidade da corrente elétrica da soldadura ser elevada, a tensão da corrente também o é, impossibilitando a união de folhas de metal. A energia envolvida pode perfurar o metal de fina espessura e gerar uma poça de metal demasiado larga. O cordão final apresenta boa penetração, mas exige controlo de forças magnéticas para manter a zona mais profunda do cordão de soldadura no seu eixo de simetria longitudinal. Este mecanismo de transferência permite soldar qualquer tipo de metal e ligas por causa das características do árgon (52) (65).

A soldadura MIG/MAG/GMAW executada por arco pulsado deriva do mecanismo de transferência por *spray*, usa valores de energia baixos e semelhantes ao mecanismo de transferência por curto-circuito, sem ocorrer curto-circuito. Existem dois tipos de corrente elétrica distintos: a corrente de fundo/base (de tensão constante) e a corrente de pulsação ou de pico (com valores superiores à corrente necessária para executar a transferência de metal pelo mecanismo de *spray*). O elétrodo consumível é aquecido e o arco elétrico de soldadura estabelecido sob o valor de potência da corrente base de soldadura que forma uma gota na ponta do elétrodo. A gota não tem tempo para crescer e viajar para a poça de metal porque, por breves milissegundos, a tensão e a intensidade da corrente sobem muito rapidamente. Com isto, as pequenas e uniformes gotas de metal fundido do elétrodo são soltas e atraídas para a poça de metal depositado causando o mínimo de respingos. A transferência é executada da mesma maneira que no mecanismo de transferência por *spray* mas com valores de potência média da corrente de soldadura bastante baixos, permitindo o uso de elérodos consumíveis de diâmetro maior do que no mecanismo de transferência por *spray* (valores mínimos da intensidade de corrente de soldadura: para ligar aço cerca de 45 A a 50 A; para ligar alumínio 85 A). Se o pico de tensão da corrente de soldadura, o valor da tensão da corrente base de soldadura e a frequência do pulso forem bem definidos e, se a fonte de energia tiver a capacidade de proporcionar um aumento drástico da energia de soldadura num curto intervalo de tempo (na ordem dos milissegundos), os cordões apresentam boa qualidade, semelhante aos cordões produzidos pelo processo de soldadura

TIG/GTAW. Estas variáveis são dependentes do tipo de eletrodo consumível e do gás de proteção. Normalmente este mecanismo de transferência do metal requer microprocessadores que controlam as variações de energia da corrente (os aparelhos mais modernos, como as fontes de energia sinérgicas, conseguem operar com frequências superiores a 20 000 ciclos por segundo) (52) (65).

O mecanismo de transferência globular gera uma gota de metal fundido de diâmetro maior do que o diâmetro do eletrodo consumível. A separação da gota de metal fundido do eletrodo consumível ocorre por ação gravítica provocado pelo aumento do volume desta gota. A transferência de metal ocorre com valores de corrente relativamente baixos, mas com um comprimento do arco elétrico de soldadura suficientemente longo, para evitar o contacto da gota de metal fundido em expansão com a peça de trabalho (tensão do arco elétrico de soldadura não pode ser extremamente baixa). Isto evita o sobreaquecimento e a explosão da gota de metal fundido. Logo, esta gota tem de se soltar do eletrodo consumível antes de estabelecer contacto com a poça de metal na peça de trabalho. Uma elevada tensão de corrente de soldadura possui fraca fusão e penetração do material de adição, mas se os valores de corrente de soldadura forem ligeiramente maiores do que os valores recomendados para o mecanismo de transferência de curto-circuito e com gás de proteção inerte, é possível obter transferência axial globular. A corrente elétrica de soldadura cria forças eletromagnéticas que afetam a transferência axial pelo arco elétrico de soldadura. O gás de proteção de dióxido de carbono, apesar de ser o gás mais usado na soldadura de aços ao carbono, produz uma transferência globular, promove uma transferência globular instável de direção aleatória, produzindo uma boa quantidade de respingos (65).

Como o processo de soldadura MIG/MAG/GMAW é de corrente contínua de polaridade positiva, as fontes de energia estão limitadas a transformadores retificadores ou geradores. Mas fontes de energia mais recentes em vez de serem controladas por uma curva de corrente constante são controladas por uma curva de tensão constante, como já foi referido (65). Para além das fontes de energia referidas neste capítulo, existe uma fonte de energia portátil baseada num sistema com inversor (52).



## ANEXO VIII

TECNOLOGIA DISPONÍVEL NA DEPIERES DESPORTOS MOTORIZADOS™



O fornecedor dos perfis tubulares, a empresa Chassis Parts™ (96), também vende maquinaria indicada para conformar e maquinar os seus perfis. Para conformação, a DEpieres Desportos Motorizados™ utiliza o modelo básico do dobrador de tubos (Figura 8.1). O dobrador é operado manualmente e é constituído por um atuador hidráulico e por um conjunto de ferramentas responsáveis por segurar o tubo e conferir-lhe um determinado raio (*Diesets*).



Figura 8.1: Imagem do dobrador de tubos da empresa Chassis Parts™ (96).

O tubo também tem as suas limitações de conformação como o tipo de perfis a dobrar e o raio de curvatura máximo do interior do perfil no plano normal ao eixo de curvatura (Tabelas 8.1 e 8.2).

Tabela 8.1: Especificações do dobrador de tubos da empresa Chassis Parts™ (96).

Modelo	GT-Bender Xtra
Manual/Hidráulico	Hidráulico
<i>Anti-Springback</i>	Sim
	1.5 mm (até 35 mm de Diâmetro Máximo)
	2.0 mm (entre 38 a 45 mm de Diâmetro Máximo)
Espessura mínima da parede do tubo	3.0 mm (entre 50 a 60 mm de Diâmetro Máximo)
	entre 2.0 a 2.5 mm (até 50 mm de largura da secção quadrada)

Tabela 8.2: Especificações do dobrador de tubos da empresa Chassis Parts™ (96).

Diâmetro Máximo de tubo dobrável	60 mm (secção circular)	
	50 mm (secção quadrada)	
Diâmetro Mínimo de tubo dobrável	12.7 mm (secção quadrada ou circular)	
Espessura Máxima da parede do tubo	Maciço (até 38 mm de Diâmetro Máximo)	
	Maciço (até 38 mm de largura da secção quadrada)	
	6.0 mm (entre 40 a 50 mm de Diâmetro Máximo)	
	3.0 mm (entre 50 a 60 mm de Diâmetro Máximo)	
	3.0 mm (até 50 mm de largura da secção quadrada)	
Distância mínima entre dobras	110 mm	
	Diâmetro externo do	Raio de Curvatura
	Tubo	máximo
<i>Diesets</i>	30 mm	143 mm
	35 mm	139,7 mm
	40 mm	165 mm
	50 mm	165 mm

A zona de união dos perfis é inteiramente executada numa lixadora abrasiva, Figura 8.2, também vendida pelo fornecedor de perfis tubulares. A lixa trabalha tensionada num sistema de duas polias responsável pela desmultiplicação da rotação do motor, para se obter uma velocidade de serviço da lixa desejada. Uma dessas polias é removível, e a desmultiplicação é regulada por um leque de possíveis polias substitutas (Tabela 8). Esta é a única zona do sistema de transmissão exposta e é responsável pela transformação dos perfis. A lixa atua na face da secção do perfil, onde o eixo do tubo pode ser ajustado na gama de 30 ° a 90 ° em relação ao eixo da polia substituível. Apesar das polias substituíveis terem as mesmas dimensões que os perfis usados nas construções da DEpieres Desportos Motorizados™, as uniões nunca têm as dimensões finais desejadas. Isto deve-se ao facto do conjunto polia substituível e lixa nunca terem o diâmetro total igual ao tubo a que vai servir de base da ligação, os apoios existentes na máquina para segurar e manipular os tubos não são utilizados, a

mesma lixa é utilizada para executar o desbaste total e o acabamento final, e a rugosidade da lixa não é a mais indicada para fazer o acabamento final de uma peça.



Figura 8.2: Imagem do Sistema abrasivo da empresa Chassis Parts (114).

Tabela 8.3: Especificações do sistema abrasivo da empresa Chassis Parts™ (96).

Modelo	GX75
Potência	3 kW
Velocidade Máxima	36 m/s
Rotação Máxima	3450 rpm
Peso	68.4 kg
Dimensões da correia	100 x 2000 mm
Rugosidade/Granulometria	Grit 36 = 530 $\mu$ m
Diâmetro da Polia	25 a 50 mm Em incrementos de 5 mm

A lixa fica danificada durante a ação de elevado desbaste. Pedacos de material abrasivo são eliminados da superfície da lixa limitando o poder de ação da mesma, como demonstra a Figura 8.3. Isto elimina a uniformidade, afetando o valor de rugosidade médio de serviço. A rugosidade e o elevado poder abrasivo desta lixa também a impossibilitam de fornecer o acabamento final desejado.





Figura 8.3: Imagem da lixa danificada.

Os perfis são seccionados por uma Máquina de Serra, que atua perpendicularmente ao eixo dos perfis. A serra é lubrificada e arrefecida para evitar um elevado desgaste dos seus dentes, pois o fluido lava as cavidades criadas e os dentes, retirando o lixo resultante do ato de corte e, evitando que a temperatura da zona de corte atinja valores indesejados para o material de corte. Também se pode variar o ângulo de penetração da serra, no plano perpendicular à secção de corte, num intervalo de  $365^\circ$  a  $45^\circ$ . Os apoios de fixação das peças a cortar de forma estável têm um limite de ação correspondente a um tubo de 45 mm de diâmetro externo, mas tem capacidade para tubos de diâmetro superior a 60 mm.

**ANEXO IX**  
**CONSTANTES DE MOLA**



OHLINS 05174 - 07/30 L3710:

Rigidez N/mm: 30.115

Comprimento livre mm:367

Massa kg: s/info

EIBACH 39/07 ERS-60-60-50:

Rigidez N/mm: 49.237

Comprimento livre mm:106

Massa kg: s/info

OHLINS 05174 - 05/25 L366:

Rigidez N/mm: 24.393

Comprimento livre mm:367

Massa kg: s/info

EIBACH 33/96 ERS-60-60-50:

Rigidez N/mm: 48.396

Comprimento livre mm:106

Massa kg: s/info

OHLINS 05174 - 05/25 L366:

Rigidez N/mm: 24.393

Comprimento livre mm:367

Massa kg: s/info

EIBACH 33/96 ERS-60-60-50:

Rigidez N/mm: 48.396

Comprimento livre mm:106

Massa kg: s/info

OHLINS 05174 - 15/50 L1810:

Rigidez N/mm: 50.371

Comprimento livre mm:363

Massa kg: s/info

SEM MARCAÇÃO – FINA:

Rigidez N/mm: 6.427

Comprimento livre mm:97

Massa kg: s/info

OHLINS 05174 - 11/40 L1210:

Rigidez N/mm: 38.885

Comprimento livre mm:367

Massa kg: s/info

EIBACH OP ERS-50-60-20:

Rigidez N/mm: 18.776

Comprimento livre mm:79

Massa kg: s/info

EIBACH 39/07 ERS-60-60-50:

Rigidez N/mm: 49.237

Comprimento livre mm:106

Massa kg: s/info

SEM MARCAÇÃO – GROSSA:

Rigidez N/mm: 27.34

Comprimento livre mm:98

Massa kg: s/info



**ANEXO X**  
**PESAGENS**



Pneus e jantes:

Michelin montado numa jante  
Tipo 1: 29.5 kg;  
Pirelli Pzero 7.5 R16 montado numa  
jante Tipo 2: 31.8 kg;  
Pirelli Scorpion Rally16 montado  
numa jante Tipo 2: 35.8 kg;  
Fedima montado numa jante  
Tipo 2: 37.5 kg;  
Nortenha montado numa jante  
Tipo 3: 33.6 kg.

Habitáculo:

Proteção do Depósito de Combustível:  
18.2 kg;  
Deposito FIA (inclui mangueira de  
abstecimento): 14.6 kg;  
Assento: 9.2 kg;  
Manete da caixa de velocidades: 2.3  
kg;  
Extintor do veículo: 5.9 kg;  
Extintor portátil: 3.7 kg;  
Caixa de apoio dos pés do condutor:  
1.8 kg;  
Proteção do fundo do habitáculo  
(alumínio): 4.503 kg.

Amortecedor: 3.7 kg

Motor mecanismo do  
limpa para-brisas: 2.9 kg

Sistema de Travagem

Disco: 5.9 kg;  
Maxila com duas pastilhas de travão:  
4.1 kg;

Pedaleira, incluindo a bomba e excluindo os  
cabos: 4.8 kg.

Sistema de Direção:

Direção: 6.8 kg;  
Motor e coluna de direção: 11.3 kg.

Motor e Caixa de Velocidades

Conjunto: 200kg;  
Bateria: 10.3 kg.

Exterior, Fibra de Vidro:

Habitáculo: 32 kg;  
Parachoques frontal: 8 kg;  
Porta frontal: 61.1 kg;  
Guarda lama frontal: 3.1 kg





**ANEXO XI**  
**CENTROS DE GRAVIDADE**



Tabela 11.1: Centros de gravidade de alguns componentes do novo veículo.

Peça	X mm	Y mm	Z mm	la mm
Michelin + Jante Tipo 1	0	0	86.89	90
Pirelli Pzero 7,5 R16 + Jante Tipo 1	0	0	92.93	95
Pirelli Scorpion + Jante 1	0	0	92.93	115
Fedima + Jante Tipo 2	0	0	47.1	105
Nortenha ´jante Tipo 3	0	0	40.7	
Proteção do Depósito de combustível	323.52	323.52	210.14	
Depósito FIA	235.6	235.6	40.87	
Exterior/Fibras	840	840		

\*la: Distância mínima entre a face do disco e a extremidade oposta da roda.



**ANEXO XII**  
**LINHA DE CÓDIGO DO ENSAIO EXPERIMENTAL**



```
KEYW, PR_STRUC, 1
/PREP7
/UNITS, SI
!*
!NUVEM DE PONTOS
!*
N, 1, -1.5205, 0, -0.1225
... (código incompleto)
!*
*DIM, matri2, , 1, 1
NSORT, U, Y,,1
*GET, UMAX, SORT, 0, MAX
*VFILL, matri2(1,1), DATA, UMAX
!*
/output,VALIDACAO,txt,C:\Users\ricardo\Desktop\TESTE1
!*
*VWRITE,matri2(1,1)
(1XF11.10,' ',F10.10)
!*
/output
!*
FINISH
```





**ANEXO XIII**  
**CÁLCULO DE ESFORÇOS EM CURVA (CEC)**



## Transferência de carga entre as rodas do veículo

A Tabela 13.1 apresenta as variáveis do modelo (CEC) necessárias definir para se obterem os valores na simulação numérica.

Tabela 13.1: *Inputs* do método CEC.

Variáveis
$G'$
<i>Número de Pilotos</i>
<i>Massa média de um piloto</i> kg
$M_{total}$ kg
$t_f$ m
$l_{pf}$ m
$t_t$ m
$l_{pt}$ m
$l$ m
$a$ m
$b$ m
$h$ m
$e_f$ m
$e_t$ m
$d_f$ m
$d_t$ m

O peso do veículo com os pilotos é definido através da Equação 13.1

$$M_{total} = M_f + M_t + (\text{número de pilotos} * \text{massa média de um piloto})$$

Equação 13.1

$G'$  é uma variável adimensional que representa a aceleração centrífuga ( $AC$ ) do veículo sentida durante uma curva em relação à aceleração gravítica ( $g$ ).  $G'$  pode ter um valor positivo (indica que veículo está a efetuar uma curva à direita) ou um valor negativo (indica que veículo está a efetuar uma curva à esquerda).

$$AC = G' * g \quad \text{Equação 13.2}$$

A Figura 62 mostra duas vigas infinitamente rígidas num formato em T, onde a viga horizontal representa a largura da via desse eixo (distância entre o centro dos pneus do mesmo eixo, ou seja,  $e' + d'$ ), e a viga vertical liga a viga horizontal aos esforços atuantes no centro de gravidade do veículo

(CG). Na Figura 13.1,  $M_{total}'$  é o peso do veículo no eixo em análise ( $M_{totalf}$  é a massa do veículo no eixo frontal e  $M_{totalt}$  é a massa do veículo no eixo traseiro), e  $h$  é altura do centro de gravidade do veículo em relação ao solo. Os apoios da viga horizontal da Figura 13.1 encontram-se nos centros das pegadas dos pneus do eixo correspondente e cada um tem apenas dois graus de liberdade restringidos (verticalmente e lateralmente). Isto porque a pegada de um pneu suporta apenas os esforços verticais impostos pelo chassis e a força centrífuga imposta no veículo.  $'ez$  e  $'dz$  são as reações transversais de cada pneu que são definidas no apoio ( $F_{ez}$  e  $F_{dz}$  são as reações de um eixo frontal e  $T_{ez}$  e  $T_{dz}$  são as reações de um eixo traseiro),  $'ey$  e  $'dy$  são as reações verticais de cada pneu ( $F_{ey}$  e  $F_{dy}$  são as reações de um eixo frontal e  $T_{ey}$  e  $T_{dy}$  são as reações de um eixo traseiro). Os valores de  $'ez$  e  $'dz$  estão ligados aos valores de  $'ey$  e  $'dy$ , porque a força lateral de um pneu é proporcional à carga vertical aplicada (estes valores variam para cada marca e modelo de pneus) e o somatório das forças laterais dos quatro pneus do veículo tem de ser equivalente ao valor de aceleração centrífuga (72).

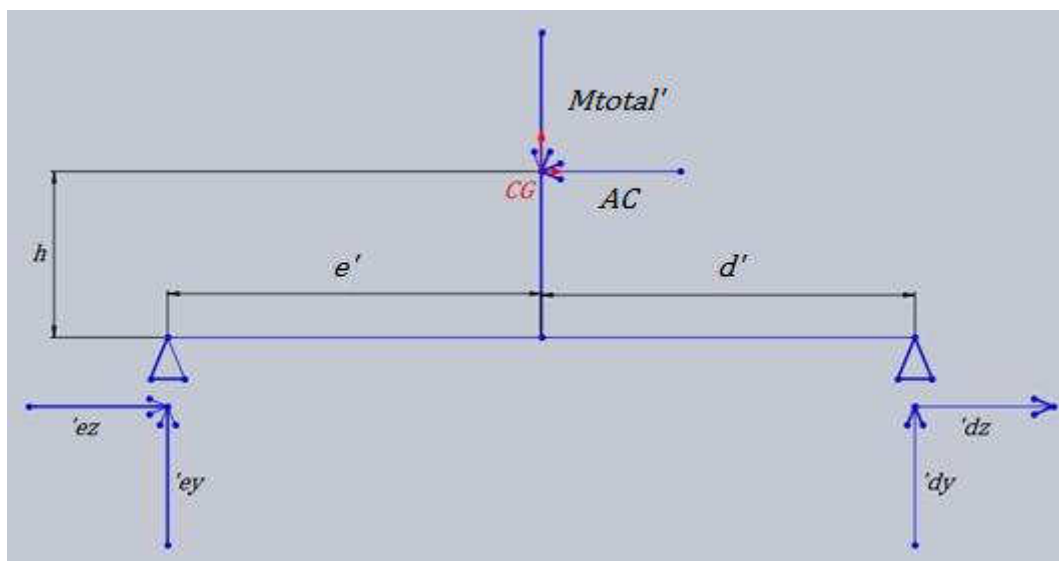


Figura 13.1: Mecanismo de transferência de carga lateral de um veículo.

$$M_{totalt} = M_{total} * \frac{a}{l} \quad \text{Equação 13.3}$$

$$M_{totalf} = M_{total} - M_{totalt} \quad \text{Equação 13.4}$$

A variável  $MAC'$  ( $MACf$  para o eixo frontal e  $MACt$  para o eixo traseiro) é o esforço do peso de um determinado eixo do veículo (Equação 13.5).

$$MAC' = M_{total}' * AC \quad \text{Equação 13.5}$$

A formulação do mecanismo de transferência de carga lateral de um veículo da Figura 13.1 resulta num sistema hiperestático de grau 1. As cargas laterais dos pneus são calculadas através da Equações 13.6, assume-se que  $F_{ez} = F_{dz}$  e  $T_{ez} = T_{dz}$ .

$$\sum Fz = 0 (=)'ez+'dz - MAC' = 0(=)$$

$$(=)MAC' = Fez + Fdz$$

Equações 13.6

$$(=)MAC' = Tez + Tdz$$

Através de duas equações de equilíbrio estáticas, (Equação 13.7) e (Equação 13.8), é possível determinar os valores de carga vertical em cada pneu do eixo em análise.

$$\sum M_E = 0(=)MAC' * e' - MAC' * h - 'dy * (e' + d') = 0(=)$$

$$(=)Fdy = \frac{MACf * ef - MACf * h}{ef + df}$$

Equação 13.7

$$(=)Tdy = \frac{MACt * et - MACt * h}{et + dt}$$

$$\sum Fy = 0 (=) 'ey+'dy - Mtotal' * 9.81 = 0(=)$$

$$(=)Fey = Mtotal' * 9.81 - Fdy$$

Equação 13.8

$$(=)Tey = Mtotal' * 9.81 - Tdy$$

Assim, é possível estimar o comportamento do veículo em curva através do cálculo de um hipotético coeficiente de atrito dinâmico para cada roda (Equações 13.9 e 13.10).  $\mu d'ec$  é o atrito dinâmico da roda esquerda ( $\mu dFec$  corresponde ao eixo frontal e  $\mu dTec$  corresponde ao eixo traseiro) e  $\mu d'dc$  é o atrito dinâmico da roda direita ( $\mu dFdc$  corresponde ao eixo frontal e  $\mu dTdc$  corresponde ao eixo traseiro).

$$\mu d'ec = 'ey/'ez$$

Equação 13.9

$$\mu d'dc = 'dy/'dz$$

Equação 13.10

### Cargas no chassis provenientes das mangas-de-eixo

A Figura 13.2 representa a manga de eixo esquerda de um veículo conectada ao chassis pelo sistema de braços triangulares duplos. Nesta figura, o referencial está posicionado no eixo da manga de eixo [ $m1'$  e  $m2'$  são as distâncias entre o centro do pneu no eixo da manga de eixo e os centros de rotação das rótulas que conectam a manga de eixo aos braços da suspensão e  $m3'$  é a distância entre o centro do pneu e o vértice da interseção do eixo da manga-de-eixo com o mecanismo de quatro formado pelos braços da suspensão, manga-de-eixo e chassis ( $m1f$ ,  $m2f$  e  $m3f$  correspondem às medidas das mangas de eixo frontais e  $m1t$ ,  $m2t$  e  $m3t$  correspondem às medidas das mangas de eixo traseiros)], onde a reta vertical azul representa o pneu [ $ra'$  é o raio de um pneu do eixo frontal ( $raf$  ou do eixo traseiro  $rat$ )], enquanto que os braços triangulares e os apoios dos braços no chassis

estão no lado direito da imagem ( $I'e'$  e  $S'e'$  são as reações nos centros das duas rótulas, onde  $Ife'$  é a reação no centro da rótula inferior da roda esquerda do eixo traseiro,  $Ite'$  é a reação no centro da rótula inferior da roda esquerda do eixo traseiro,  $Ifd'$  é a reação no centro da rótula inferior da roda direita do eixo traseiro,  $It'd'$  é a reação no centro da rótula inferior da roda direita do eixo traseiro,  $Sfe'$  é a reação no centro da rótula superior da roda esquerda do eixo traseiro,  $Ste'$  é a reação no centro da rótula superior da roda esquerda do eixo traseiro,  $Sfd'$  é a reação no centro da rótula superior da roda direita do eixo traseiro,  $Std'$  é a reação no centro da rótula superior da roda direita do eixo traseiro). Os esforços atuantes na manga de eixo provêm da interação entre o pneu e o piso,  $'ez$  e  $'ey$ . O caso retratado na Figura 13.2 é semelhante ao caso de um veículo a curvar para a direita, onde as rodas que descrevem o maior raio (rodas esquerdas) têm as maiores cargas verticais.

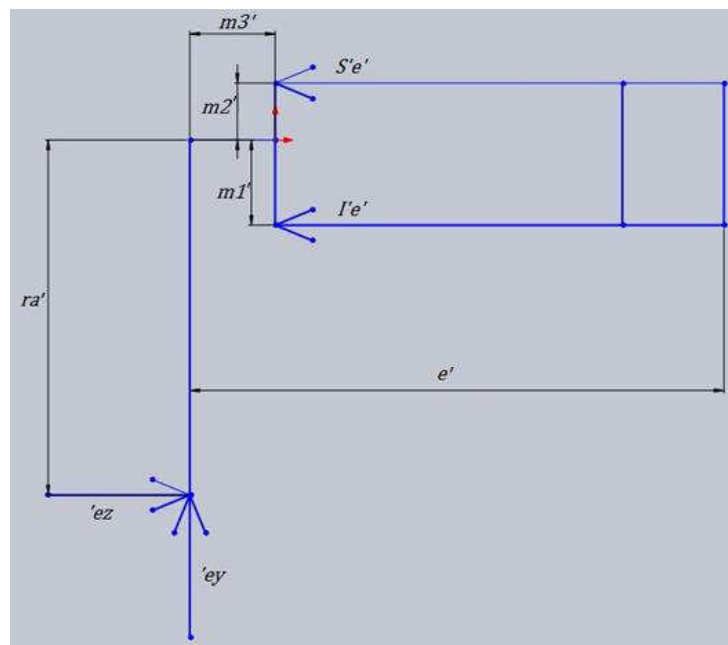


Figura 13.2: Modelo de cálculo dos esforços da manga de eixo.

Os esforços a atuar nos braços da suspensão de uma das rodas esquerdas (Figura 13.2) são determinados a partir de três equações, sendo duas delas equações de equilíbrio estático, (Equação 13.11), (Equação 13.12) e (Equação 13.13). Para as rodas do lado direito do veículo, os esforços laterais da pegada do pneu  $'dz$ , têm o sentido inverso de  $'ez$  segundo o referencial expresso na Figura 13.2 e geram as reações  $I'd'$ ,  $S'd'$  por eixo. Este tipo de avaliação também considera o cálculo para curvas à esquerda, caso a aceleração centrífuga tenha um valor negativo.

$$\sum Fz = 0 \quad (=) \quad -' ez + I'e' + S'e' = 0 \quad \text{Equação 13.11}$$

$$M_{iez} = ' ez * ra$$

$$M_{iey} = ' ey * m3' \quad \text{Equação 13.12}$$

$$\sum M_S = 0 (=)$$

$$(-)'ez * m2' + l'e' * (m1' + m2') - M_{iez} + M_{iey} = 0$$

Equação 13.3

### Cargas no chassis provenientes dos componentes do veículo

#### Conjunto Motor e Caixa de velocidades

Número de apoios: 6

Massa: 200 kg

Esforço vertical:  $Evmcv = 200 * -9.81/6$

Esforço transversal:  $Ehmcv = 200 * AC/6$

#### Força de Tração do veículo

Binário do Motor:  $Bm = 500 \text{ Nm}$

Potência Máxima:  $Pmax = 250 \text{ cv}$

Rotação do motor em regime de binário máximo:  $Rotpmax = 2500 \text{ rpm}$

Diâmetro máximo das rodas traseiras:  $drt = 788 \text{ mm}$

Número de rodas no eixo traseiro:  $nrt = 2$

Relação da primeira velocidade:  $rpv = 3.3$

Relação final do diferencial traseiro:  $rf = 3.62$

Esforço por roda:  $Frtr = Bm * rpv * rf * 2 / (drt * 10^{-3} * nrt)$

Números de apoios dos braços da suspensão do eixo traseiro: 8

Esforço nos apoios dos braços da suspensão do eixo traseiro:  $Frt = Frtr * nrt/8$

#### Bateria

Número de apoios: 4

Massa: 10.3 kg

Esforço vertical:  $Evbt = 10.3 * -9.81/4$

Esforço transversal:  $Ehbt = 10.3 * AC/4$

#### Depósito de combustível

Massa da proteção em alumínio: 18.2 kg

Massa da manete da caixa de velocidades e do travão de mão: 2.3 kg

Massa do depósito: 14.6 kg

Capacidade total do depósito: 110 dm<sup>3</sup>



Densidade do combustível:  $0.95 \text{ kg/ dm}^3$

Massa do combustível:  $104.5 = 110 * 0.95$

Massa total do conjunto:  $139.6 = 18.2 + 2.3 + 14.6 + 104.5$

Número de apoios: 12

Esforço vertical:  $E_{vdc} = 139.6 * -9.81/12$

Esforço transversal:  $E_{hdc} = 139.6 * AC/12$

#### Pilotos

Número de pilotos: 2

Número de apoios: 12

Massa média de cada piloto: 76 kg

Esforço vertical:  $E_{vp} = 76 * 2 * -9.81/12$

Esforço transversal:  $E_{hp} = 76 * 2 * AC/12$

#### Conjunto da pedaleira

Número de apoios: 2

Massa da caixa de apoio dos pés do piloto: 1.8 kg

Massa da pedaleira: 4.8 kg

Esforço vertical:  $E_{vjtp} = (1.8 + 4.8) * -9.81/2$

Esforço transversal:  $E_{hjtp} = (1.8 + 4.8) * AC/2$

#### Extintores

Número de apoios: 5

Massa do extintor ligado ao veículo: 5.9 kg

Massa do extintor portátil: 3.7 kg

Esforço vertical:  $E_{vext} = (5.9 + 3.7) * -9.81/5$

Esforço transversal:  $E_{hext} = (5.9 + 3.7) * AC/5$

#### Caixa de direção

Número de apoios: 2

Massa da caixa de direção: 6.8 kg

Esforço vertical:  $E_{vcdd} = 6.8 * -9.81/2$

Esforço transversal:  $E_{hcdd} = 6.8 * AC/2$

#### Cargas no chassis provenientes de uma queda vertical

Aceleração vertical:  $Gv = -9.81 * 4 \text{ m/s}^2$

### Pneus suplentes

Número de apoios: 6

Massa do pneu suplente do eixo frontal: 29.5 kg

Massa do pneu suplente do eixo traseiro: 35.4 kg

Esforço vertical do pneu do eixo frontal:  $E_{vpsf} = 29.5 * Gv/6$

Esforço vertical do pneu do eixo traseiro:  $E_{vpst} = 35.4 * Gv/6$

Para os restantes componentes mencionados apenas são considerados os seus esforços verticais cujos seus valores são multiplicados por quatro. Os esforços transversais são ignorados.



**ANEXO XIV**  
**SIMULAÇÕES NUMÉRICAS**



### **Análise em curva 1.1**

!FORÇA GRAVÍTICA

fg=1

!FORÇA G TRANSVERSAL

fgg=1.1

!\*  
/PREP7

KEYW, PR\_STRUC, 1

/UNITS, SI

!\*  
!NUVEM DE PONTOS

!\*  
N, 1, -1.5205, 0, -0.1225

... (código incompleto)

!\*

!\*

!\*

!\*

!\*

!\*

!\*

!\*

!\*

!\*

!\*

### **Análise de impacto vertical 1.1**

!FORÇA GRAVÍTICA

fg=4

!\*  
/PREP7

KEYW, PR\_STRUC, 1

/UNITS, SI

!\*  
!NUVEM DE PONTOS

!\*  
N, 1, -1.5205, 0, -0.1225

... (código incompleto)

!\*

```
N, 1, -1.5205, 0, -0.1225
... (código incompleto)
*VFILL,Value(1,1),DATA,F1
!*
/output,FATORCARGASALTO,txt,C:\Users\ricardo\Desktop\TESTE1
!*
*VWRITE,Value(1,1)
(1XF11.5,' ',F10.5)
!*
/output
!*
FINISH
```

**ANEXO XV**  
**DIMENSIONAMENTO DE UNIÕES TUBULARES SOLDADAS**





Os diâmetros externos dos dois tubos a ligar, assim como o ângulo da junta ( $\phi$ ), uma estimativa da dimensão da garganta do cordão ( $ga$ ) (este valor pode representar a garganta de um cordão único ou de duplo passe ambos com penetração parcial) e o coeficiente de segurança (pela sua presença neste dimensionamento, o coeficiente de segurança não é usado como fator de correção da tensão limite de fadiga) são *inputs* deste método de dimensionamento. A Figura 15.1 é uma representação gráfica da vista lateral de uma junta em Y e a junta é simétrica no plano XY.  $R$  corresponde ao raio externo do tubo base e  $r$  ao raio externo do tubo a ligar. A inclinação da junta é definida pela Equação 15.1, onde o valor 100 é adicionado à equação de modo que a curva se desloque sem unidades para a direita das ordenadas.

$$y = -x * \tan \phi + 100 \quad \text{Equação 15.1}$$

Agora definem-se os pontos das meias elipses superior e inferior, onde  $A'$  é o ponto mais alto do arco da elipse superior,  $B'$  é o ponto mais alto do arco da elipse inferior e  $C$  e  $C'$  são os pontos de intercessão das duas meias elipse e representam, figuras 15.1 e 15.2.  $c$  é a distância do vértice  $C$  ao eixo do tubo base e é determinado pela interceção de duas equações (Equações 15.2).

$$\begin{cases} x^2 + z^2 = R^2 \\ z = r \end{cases} \quad \text{Equações 15.2}$$

Através do conjunto de sistemas (Equações 15.3, 15.4 e 15.5) é possível determinar as coordenadas nos pontos  $A'$  ( $R, q$ ),  $B'$  ( $R, i$ ),  $C$  ( $c, j$ ) e  $C'$  ( $-c, j$ ).

$$\begin{cases} x = R \\ q = -x * \tan \phi + g \end{cases} \quad \text{Equações 15.3}$$

$$\begin{cases} x = R \\ i = -x * \tan \phi + f \end{cases} \quad \text{Equações 15.4}$$

$$\begin{cases} x = c \\ j = -x * \tan \phi + 100 \end{cases} \quad \text{Equações 15.5}$$

Por sua vez,  $g$  e  $f$  são definidos pelo conjunto de Equações 15.6 e 15.7.

$$e = r / \cos \phi \quad \text{Equação 15.6}$$

$$\begin{aligned} f &= 100 - e \\ g &= 100 + e \end{aligned} \quad \text{Equações 15.7}$$

Através da Figura 15.1, é possível verificar a presença de dois triângulos distintos, no plano XY, que definem a secção variada do cordão de soldadura neste tipo de ligações. A Figura 56 ajuda a compreender o cálculo dos ângulos envolvidos, que são essenciais para definir a inclinação da linha teórica representativa da garganta do cordão.

Como é possível verificar na Figura 15.1, o perímetro da união ou a linha média do cordão podem ser descritas matematicamente por um conjunto de duas meias elipses tridimensionais. Uma

simple elipse planar é definida pela Equação 15.8, em que a variável  $b1$  está ligada à largura da elipse e a variável  $b2$  corresponde à altura da elipse.

$$\left(\frac{z}{b1}\right)^2 + \left(\frac{y}{b2}\right)^2 = 1 \quad \text{Equação 15.8}$$

No caso da Figura 15.2,  $b1 = r$  e é o valor de metade da largura das 2 meias e elipses superior e inferior e  $b1' = b1 + ga/2$  é o valor de metade da largura das 2 meias elipses superior e inferior do centro do cordão de soldadura, para simplificação dos cálculos. Através do teorema de Pitágoras é possível definir a altura de todas as meias elipses (Equações 15.9 e 15.10).

$$b2s = \sqrt{(R - c)^2 + (h - j)^2} \quad \text{Equação 15.9}$$

$$b2i = \sqrt{(R - c)^2 + (i - j)^2} \quad \text{Equação 15.10}$$

O método de cálculo das variáveis  $b2s'$  e  $b2i'$  é semelhante ao método usado para determinar  $b1'$ .

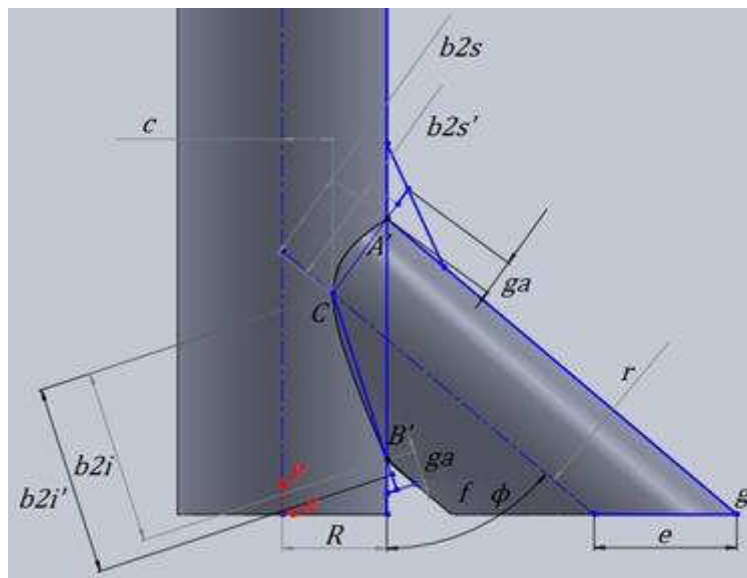


Figura 15.1: Representação gráfica de uma junta em Y, vista lateral.

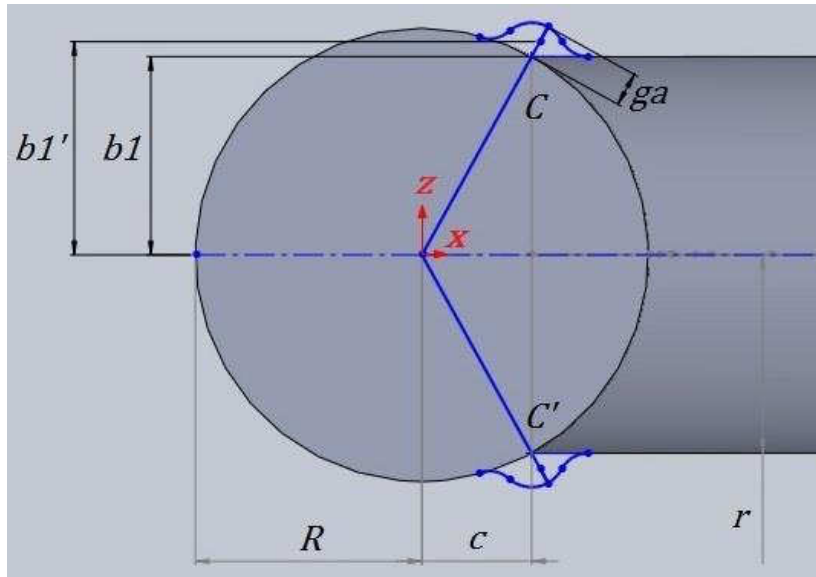


Figura 15.2: Representação gráfica de uma junta em Y, vista do topo.

Os esforços atuam nos 2 centróides ( $\bar{y}$ ) das 2 meias elipses superior e inferior do centro do cordão de soldadura. A posição de cada centróide varia apenas em altura, de acordo com a geometria de cada meia elipse e ao longo do eixo de simetria de cada meia elipse. A localização do centróide é dada pela variável  $\bar{y}_s$  ou  $\bar{y}_i$ , sendo a primeira variável indicada para a meia elipse superior e a seguinte para a meia elipse inferior, (Equação 15.11).  $MA = b1' * b2'^2 / 3$  é o momento de área de uma meia elipse e  $\text{Área} = \pi * b1' * b2' / 2$  é corresponde à área dessa meia elipse.

$$\bar{y} = \frac{MA}{\text{Área}} \quad \text{Equação 15.11}$$

O perímetro de cada meia elipse superior ou inferior do centro do cordão de soldadura ( $p_s$  ou  $p_i$ ) é estimado pela equação aproximada de Euler (Equação 15.12) (115).  $p_{total}$  é o perímetro total da zona de contacto e é determinado pela soma de  $p_s$  e  $p_i$ .

$$p \approx \frac{\pi}{2} * \sqrt{2 * [(b1')^2 + (b2')^2]} \quad \text{Equação 15.12}$$

Os esforços que atuam na ligação deveriam ser divididos pelas duas meias elipses, no entanto por questões de segurança, a totalidade dos esforços é considerável com a mesma intensidade nas duas meias elipses do centro do cordão de soldadura. A carga axial crítica ( $FX$ ) e o momento fletor crítico ( $M$ ) obtidos no nó da união são divididos de forma igual pelos 2 centroides de cada meia elipse do centro do cordão de soldadura, ajudando o aumento do nível de segurança do dimensionamento. Os esforços que atuam no centro da garganta do cordão de soldadura,  $F_{axi}$  e  $F_m$ , são calculados a partir da carga axial crítica e do momento fletor crítico respectivamente e atuam no mesmo sentido e perpendicularmente à direção da garganta (Equações 15.13 e 15.14).

$$F_{axi} = FX * \cos y \quad \text{Equação 15.13}$$

$$Fm = M * d'$$

Equação 15.14

Legenda:

- $y$  é o ângulo entre a direção da garganta do cordão e o eixo perpendicular ao eixo do tubo a ligar, onde  $y_s = 90 - (\varphi_s/2)$  é correspondente à meia elipse superior do centro do cordão de soldadura
- $y_i = \varphi_i/2$  é correspondente à meia elipse inferior do centro do cordão de soldadura
- $\varphi_s = 180 - \phi$  e  $\varphi_i = \phi$ , Figura 15.3.

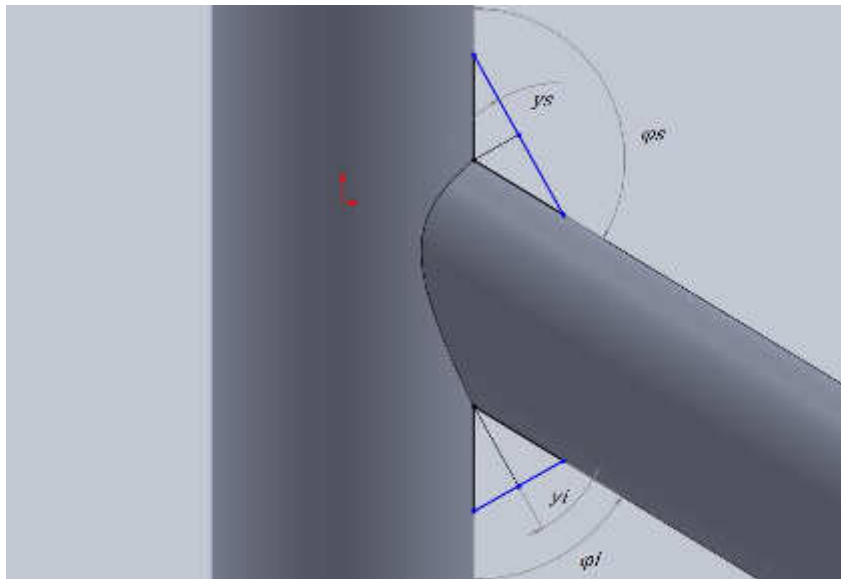


Figura 15.3: Representação gráfica dos cordões de uma junta em Y, vista lateral.

$d'$  é a distância entre um centróide de uma meia elipse ao centro do cordão de soldadura no topo dessa meia elipse ( $b_2'$ ) e é denominado de  $dsup$  e de  $dinf$  de acordo com a elipse que representam, superior ou inferior. A total carga axial a atuar no centro do cordão de soldadura na zona A' denomina-se de  $Ftotal_{sup}$  e na zona B' denomina-se de  $Ftotal_{inf}$  e o seu somatório perfaz o valor de  $Fmáximo$ . A tensão equivalente ( $\sigma_{equ}$ ) a atuar no cordão é calculada por  $Fmáximo / (ptotal * ga)$ . Se esta tensão for superior à tensão de limite de fadiga corrigida ( $\sigma_f$ ) as dimensões do reforço são calculadas. Caso esta consideração se verifique, a geometria da chapa/placa num formato de um triângulo isósceles é definida pela Equação 15:15.

$$m = \frac{(Fmáximo * n / \sigma_f) - A''}{ga} - ptotal \quad \text{Equação 15.15}$$

$m$  (ou  $m'$  que é usado se forem usados dois reforços no mesmo local) é o comprimento dos dois cordões de soldadura de um reforço de figura triangular isósceles na junta soldada a dimensionar,  $n$  é o coeficiente de segurança e  $A''$  é a área da secção triangular do cordão de soldadura. A área de secção  $A''$  é perpendicular aos esforços do tubo a ligar e a área de secção do cordão de soldadura do

reforço ligado ao tubo base da ligação, ou seja  $m$ (ou  $m'$ )\*ga é um prolongamento do cordão de soldadura da ligação tubular e suporta o restante esforço.



**ANEXO XVI**  
**ENSAIOS DE TRAÇÃO**





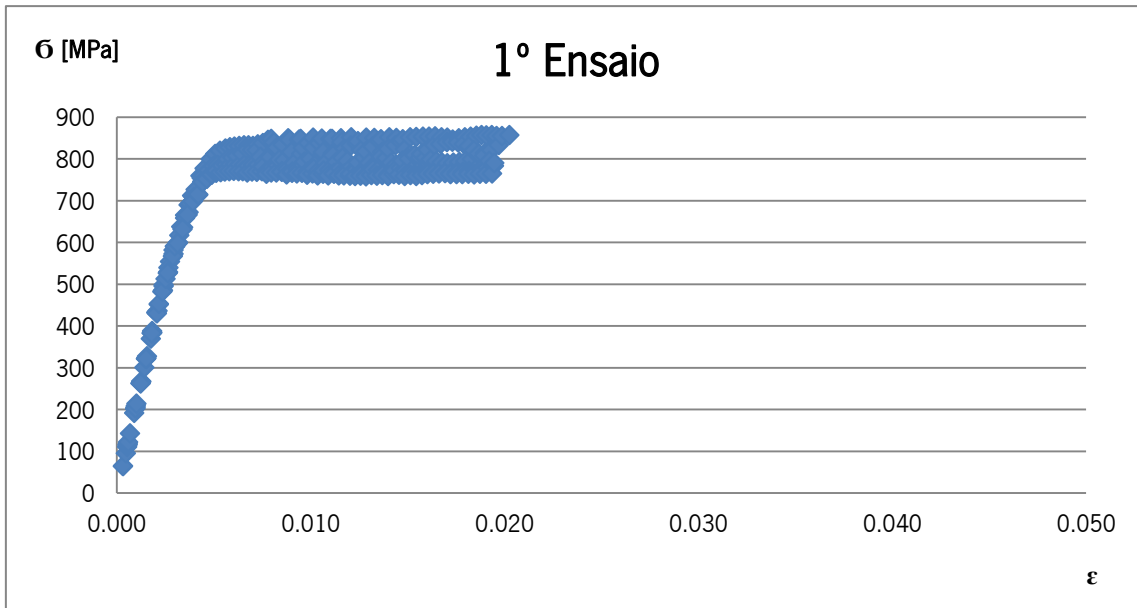


Gráfico 16.1: Primeiro provete analisado.

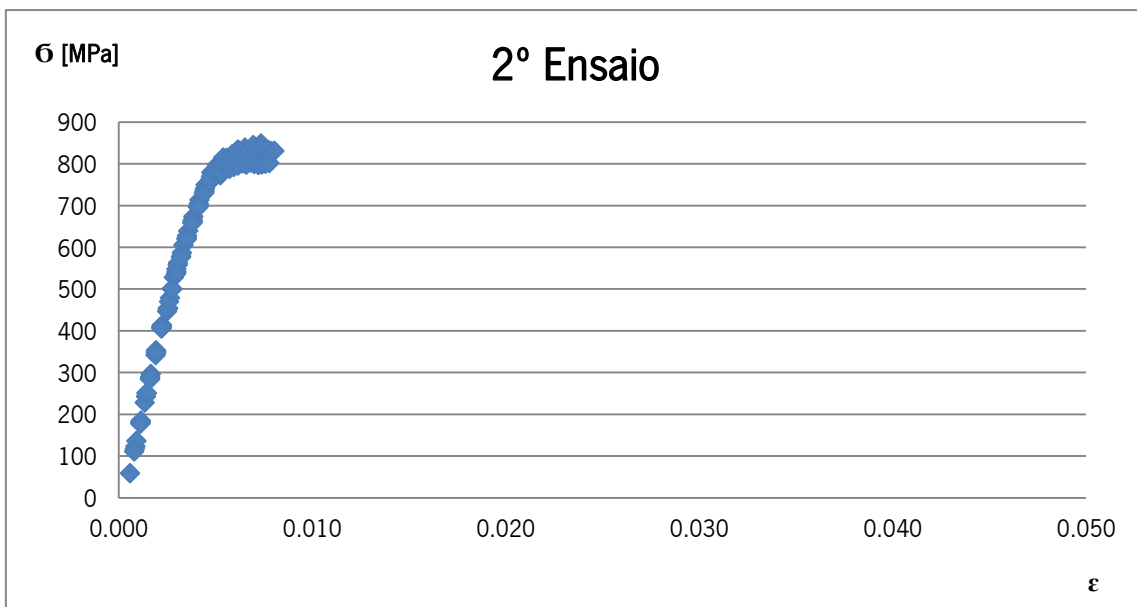


Gráfico 16.2: Segundo provete analisado.

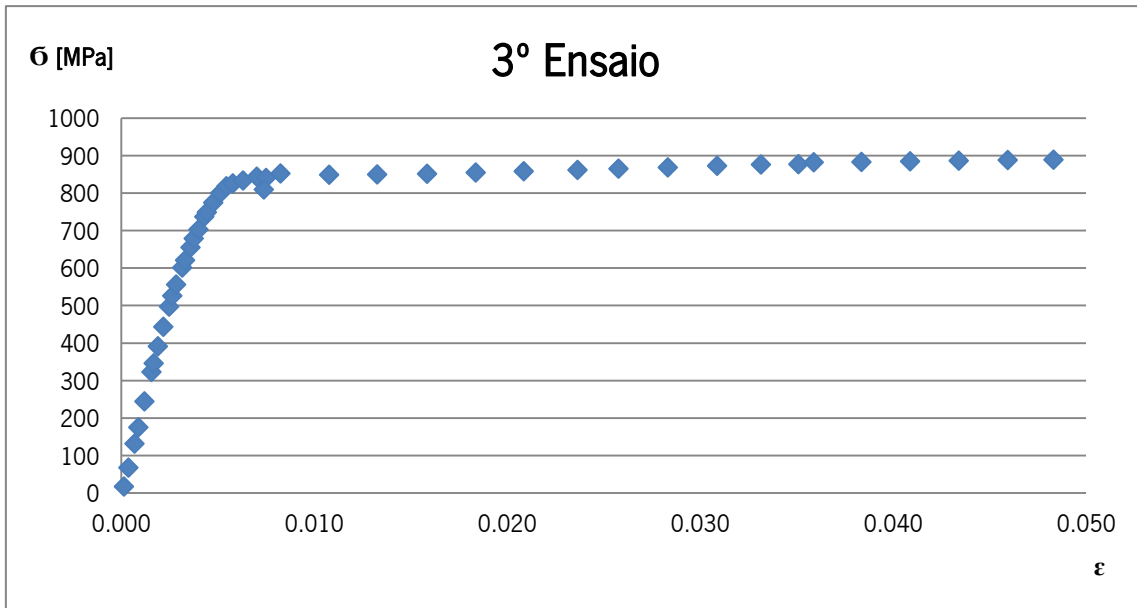


Gráfico 16.3: Terceiro provete analisado.

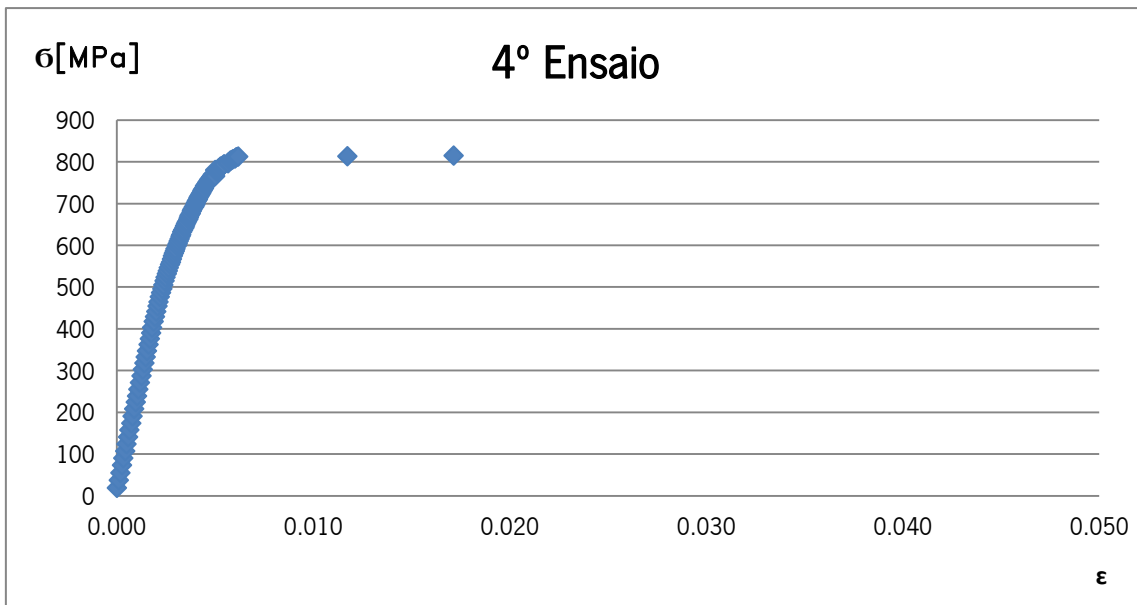


Gráfico 16.4: Quarto provete analisado.

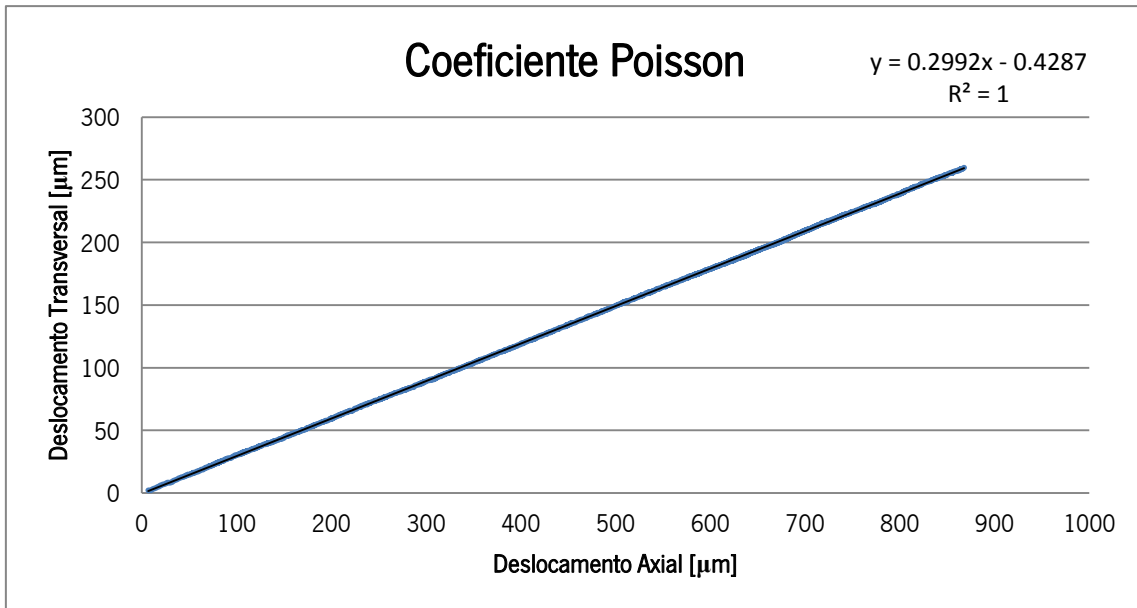


Gráfico 16.5: Primeiro registo dos deslocamentos axial e transversal do quarto provete dos ensaios de tração.

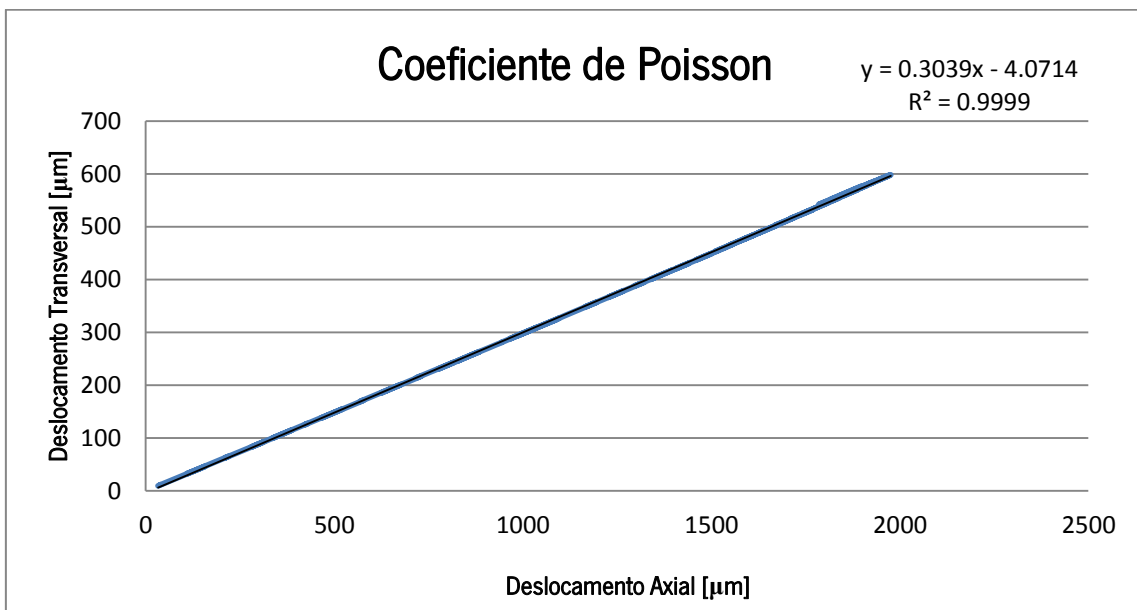


Gráfico 16.6: Segundo registo dos deslocamentos axial e transversal do quarto provete dos ensaios de tração.

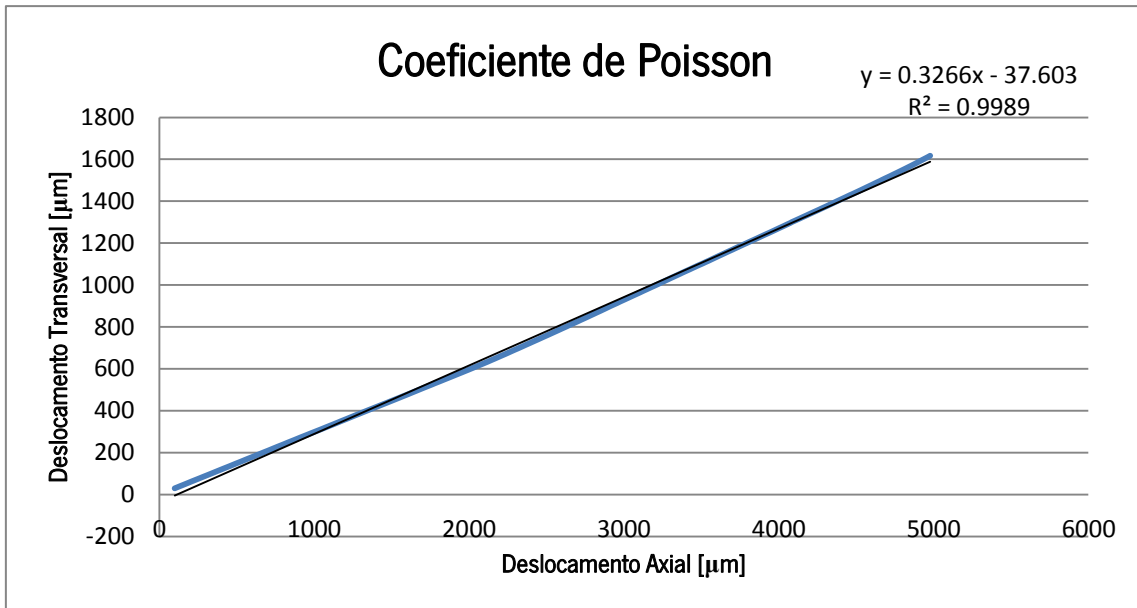


Gráfico 16.7: Terceiro registo dos deslocamentos axial e transversal do quarto provete dos ensaios de tração.

**ANEXO XVII**  
**COMPARAÇÃO DE AÇOS**



[1]: São necessárias boas propriedades de alongamento e de soldabilidade. O tubo tem de ser dobrado a frio e o raio de dobra tem de ser no mínimo três vezes o diâmetro do tubo. Se o tubo ovalizar durante o processo de dobra, o rácio entre o menor e o maior diâmetro tem de ser igual ou maior do que 0.9. A superfície externa não pode apresentar ondas ou rompimento.

[2]: Arrefecido no forno a 11 °C/hora até 680 °C e depois arrefecido ao ar.

[3]: Mergulhado em água até ultrapassar  $M_f$ . Reaquecido a 480 °C e depois arrefecido ao ar. Diâmetro externo do provete analisado de 50 mm.

[4]: Mergulhado em água até ultrapassar  $M_f$ . Reaquecido a 540 °C e depois arrefecido ao ar. Diâmetro externo do provete analisado de 25 mm.



Tabela 17.1: Comparação de aços de alta resistência.

Composição Química	FIA	Normalizado a	Recozido a 865°C	Recozido a 865°C	Temperado a	Temperado a	DEpieres
		870°C	Mínimo		Máximo	855°C	
Carbono, C	<= 0.3		0.28		0.33		0.25
Crómio, Cr			0.8		1.1		1.01
Cobre, Cu				...			0.0237
Ferro, Fe			97.03		98.22		97.6
Manganês, Mn			0.4		0.6		0.634
Molibdénio, Mo			0.15		0.25		0.215
Fósforo, P				<= 0.035			0.0237
Silício, Si			0.15		0.3		0.164
Enxofre, S				<= 0.04			0.0215
Níquel, Ni				...			0.0237
Rp [MPa]		435	360	460	758	896	805.880
Rm [MPa]	>= 350	670	560	460	917	993	888.063
Alongamento [%]		25.5	28.2	21.5	19	18.5	17.7
M. Elasticidade [GPa]		205	205	205	205	309	201.672
Coeficiente Poisson $\nu$		0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.302
HV		207	163	228	284	284	310.41
Densidade [kg/dm <sup>3</sup> ]		7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	7.898
	[1]			[2]	[3]	[4]	

**ANEXO XVIII**  
**CURVA DE TENSÃO DA MÁQUINA KEMPPI™**



Tabela18.1: Curva de tensão d corrente de soldadura da máquina Kemppi™ MinarcTig 250.

Tensão da corrente	Intensidade da corrente
V	A
20.4	10
22.4	60
22.6	65
22.8	70
22.88	72
23.12	78
28.8	220



**ANEXO XIX**  
**IMAGENS DO CHASSIS NOVO INICIAL**



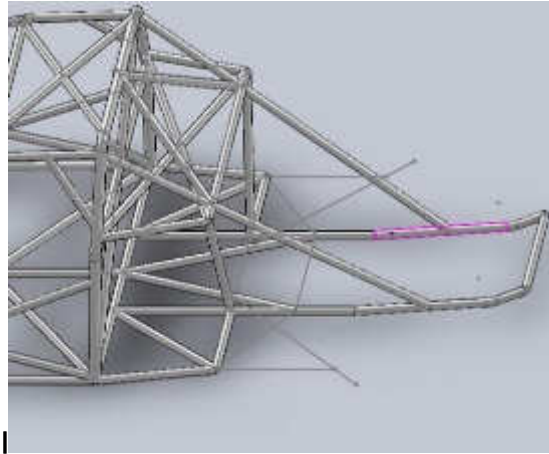


Figura 19.1: Imagem dos braços de arrasto traseiros do chassis novo inicial.

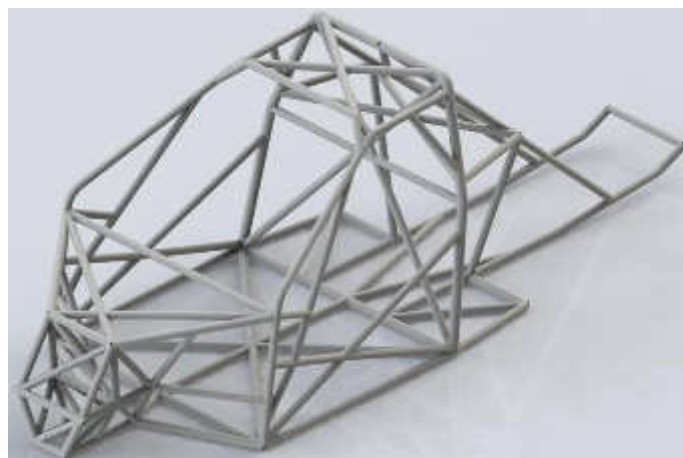


Figura 19.2: Vista em perspectiva da frente do modelo virtual chassis novo inicial.

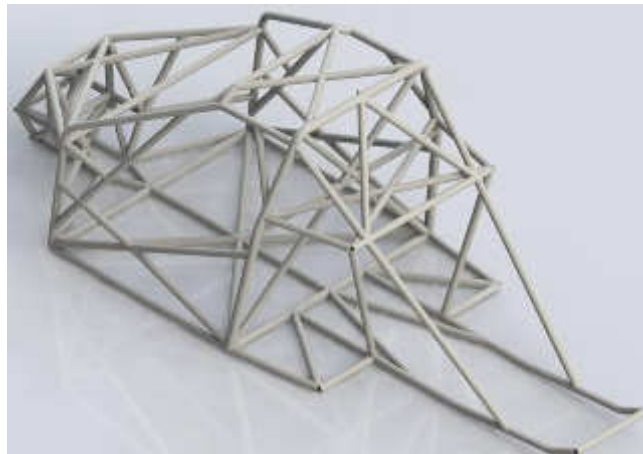


Figura 19.3: Vista em perspectiva da traseira do modelo virtual chassis novo inicial.





**ANEXO XX**  
**IMAGENS DO CHASSIS NOVO**



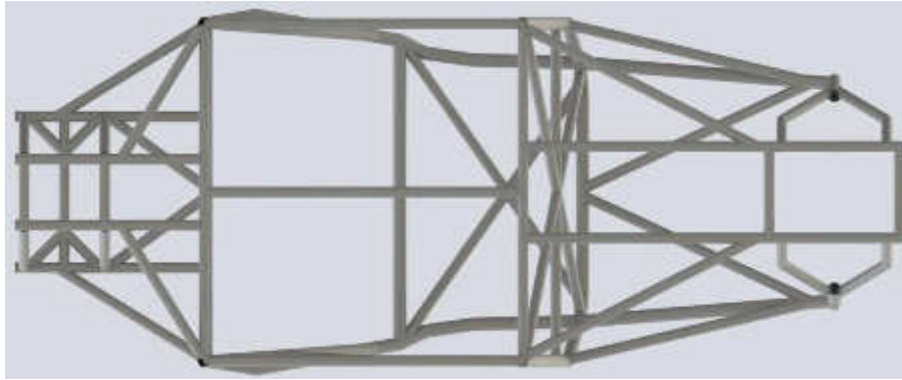


Figura 20.1: Vista do fundo do modelo virtual do chassi novo.

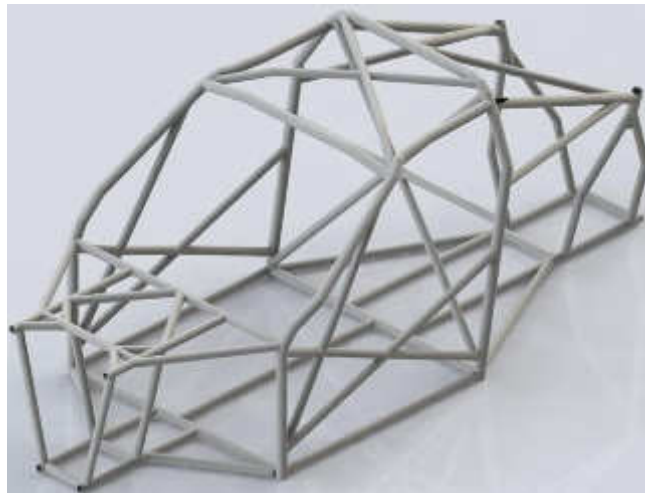


Figura 20.2: Vista em perspectiva da frente do modelo virtual do chassi novo.

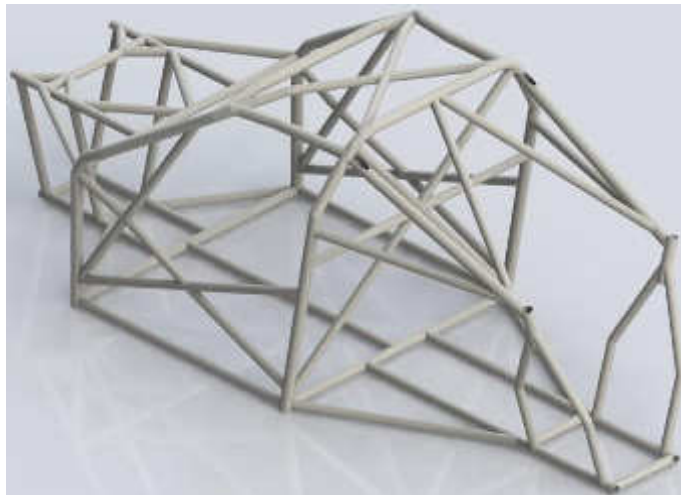


Figura 20.3: Vista em perspectiva da traseira do modelo virtual do chassi novo.



**ANEXO XXI**  
**SOLUÇÕES DESENVOLVIDAS PARA O CHASSIS NOVO**



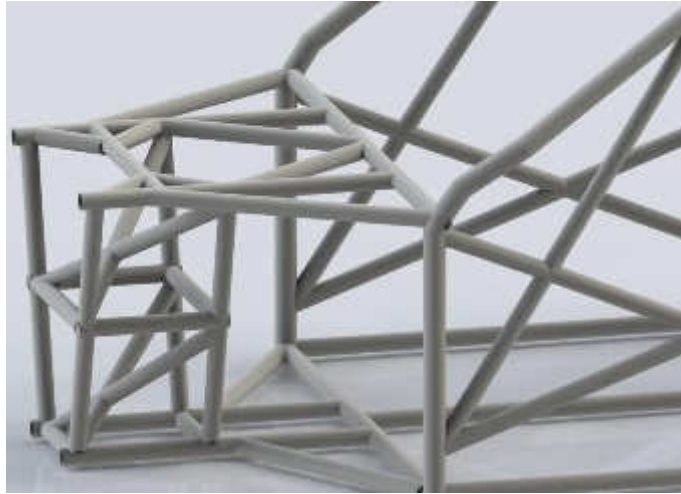


Figura 21.1: Chassis novo - Apoio Frontal 1.

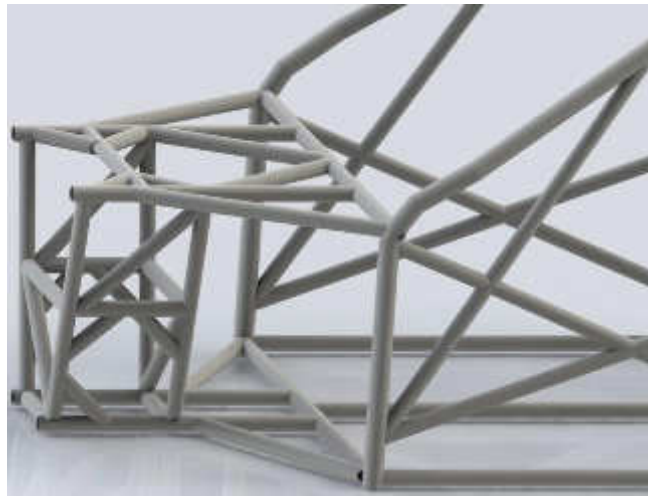


Figura 21.2: Chassis novo - Apoio Frontal 2.



Figura 21.3: Chassis novo - Apoio Frontal 3.



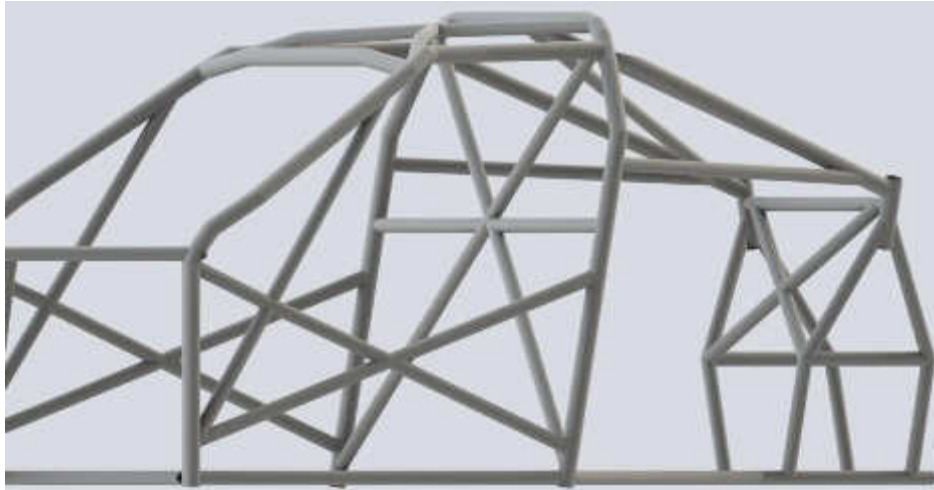


Figura 21.4: Chassis novo - Apoio Traseiro 1.

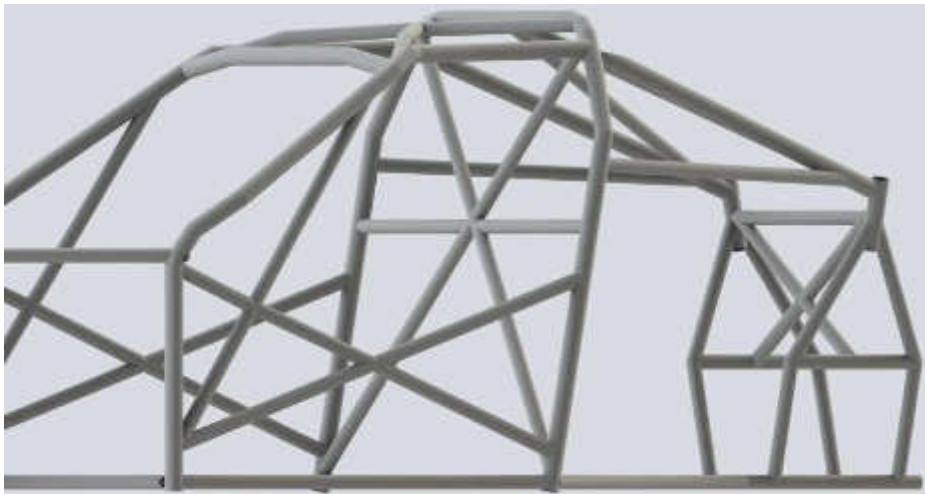


Figura 21.5: Chassis novo - Apoio Traseiro 2.

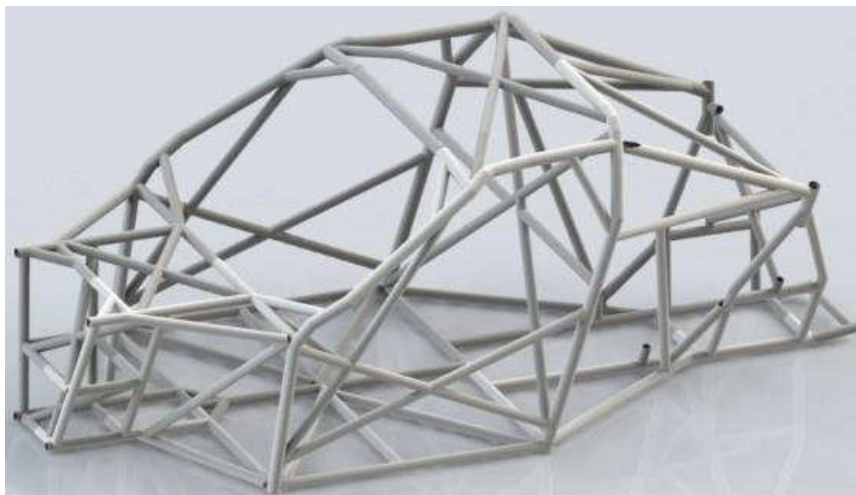


Figura 21.6: Chassis novo - Conjunto 1 vista em perspetiva da frente.

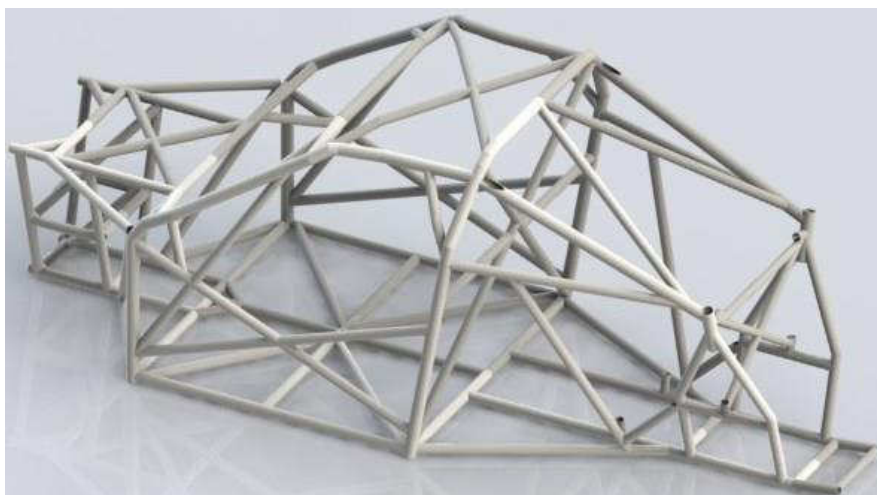


Figura 21.7: Chassis novo - Conjunto 1 vista em perspectiva da traseira.

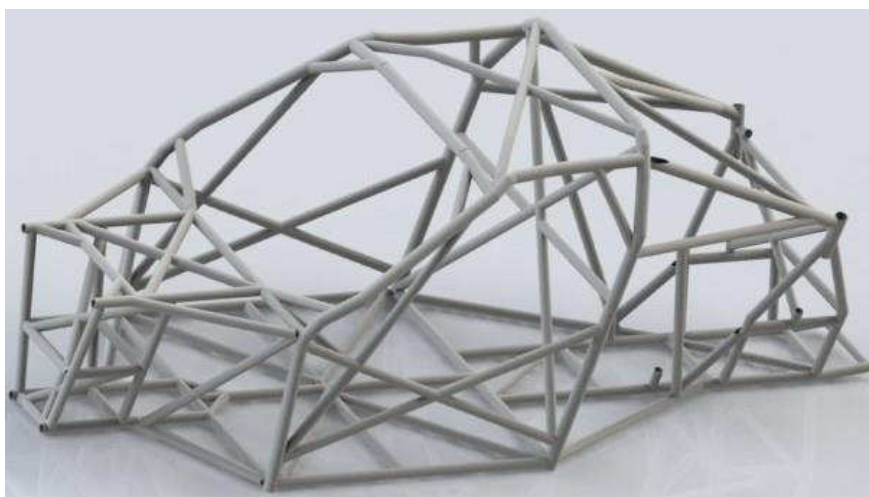


Figura 21.8: Chassis novo - Conjunto 1.1 vista em perspectiva da frente.

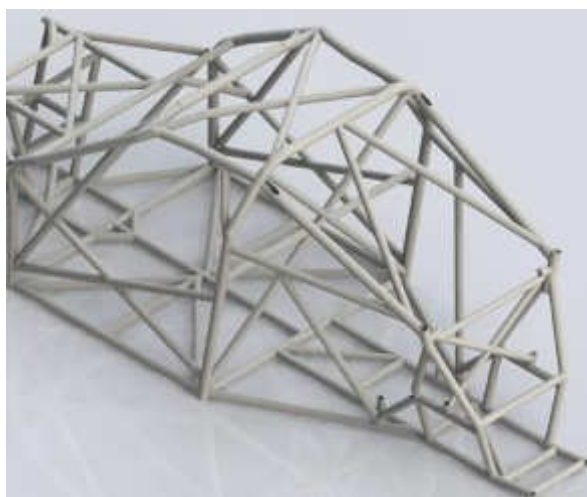


Figura 21.9: Chassis novo - Conjunto 1.1 vista em perspectiva da traseira.

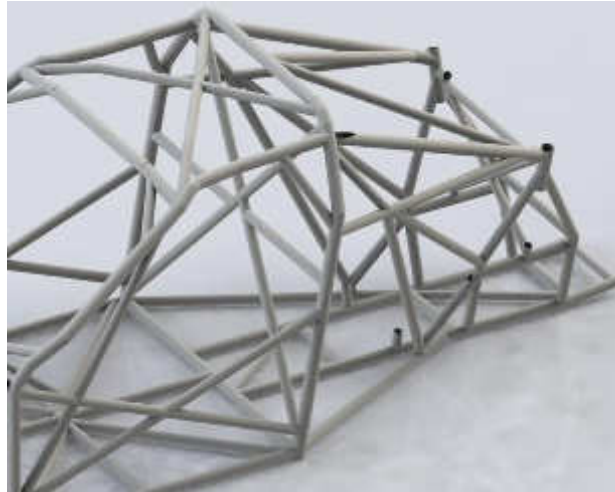


Figura 21.10: Chassis novo - Conjunto 1.2 vista em perspectiva da frente.

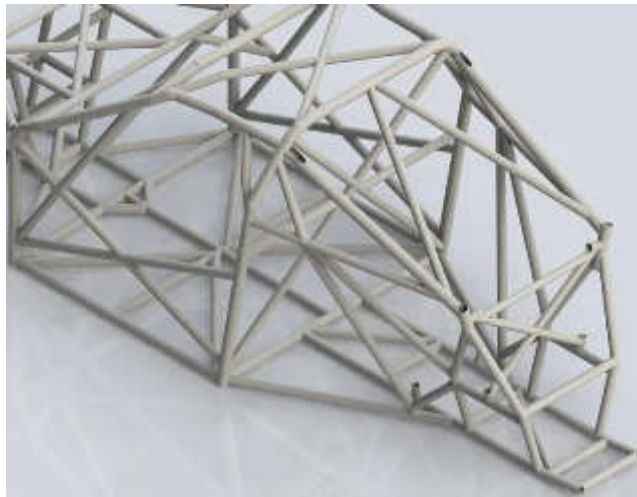


Figura 21.11: Chassis novo - Conjunto 1.2 vista em perspectiva da traseira.

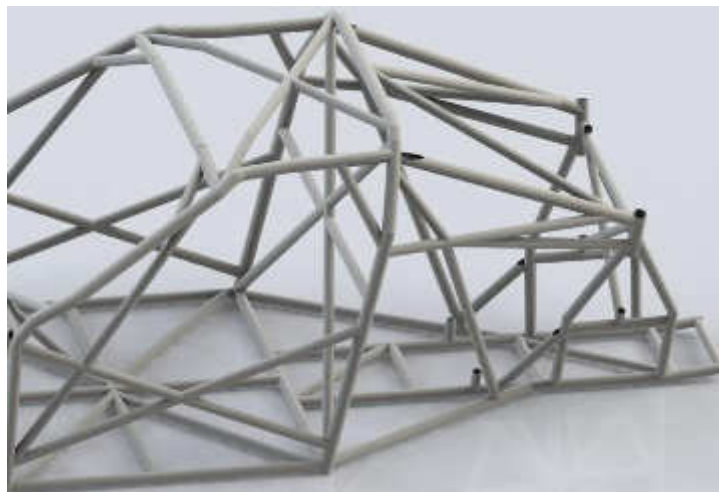


Figura 21.12: Chassis novo - Conjunto 1.3 vista em perspectiva da frente.

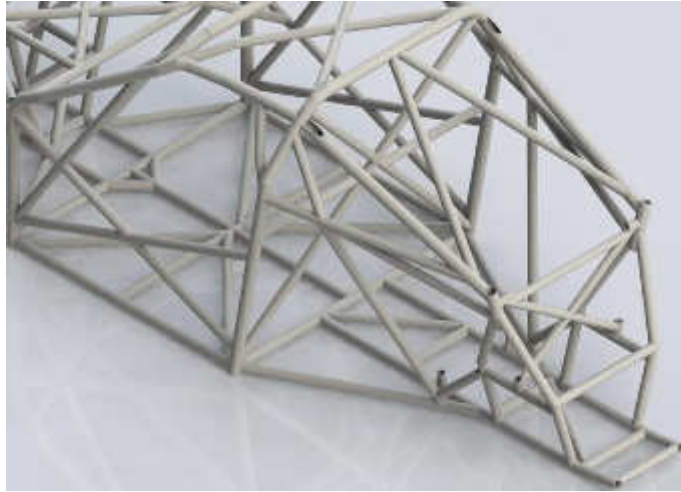


Figura 21.13: Chassis novo - Conjunto 1.3 vista em perspectiva da traseira.

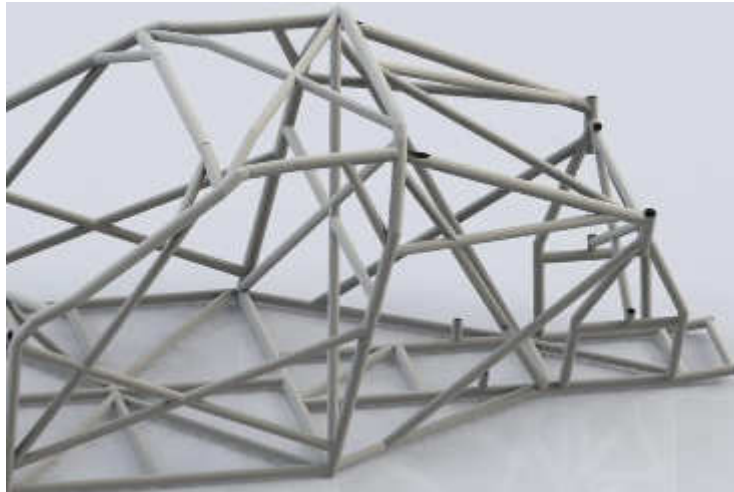


Figura 21.14: Chassis novo - Conjunto 1.4 vista em perspectiva da frente.

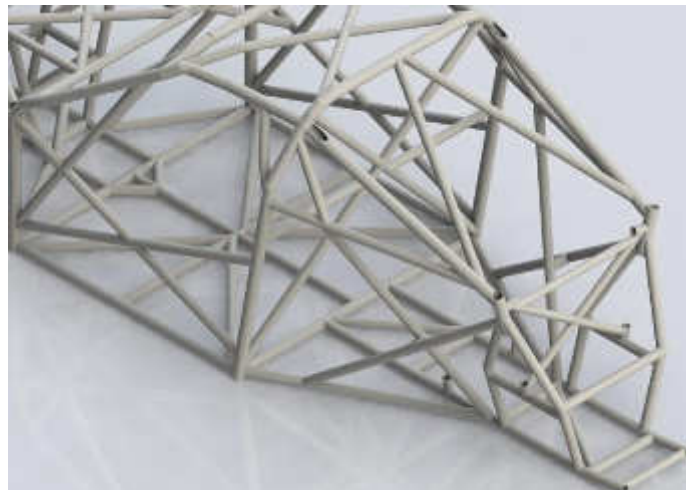


Figura 21.15: Chassis novo - Conjunto 1.4 vista em perspectiva da traseira.



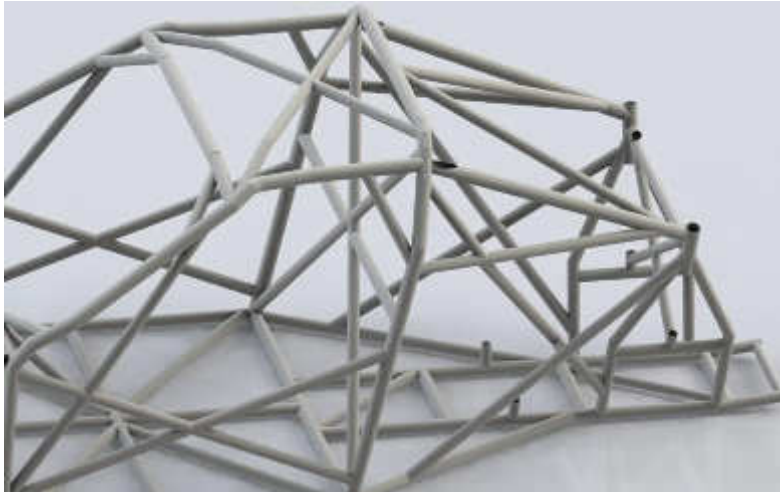


Figura 21.16: Chassis novo - Conjunto 1.5 vista em perspectiva da frente.

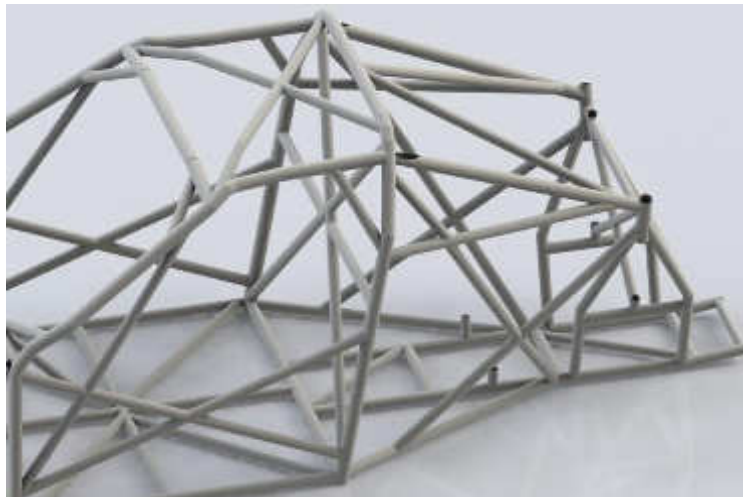


Figura 21.17: Chassis novo - Conjunto 1.6 vista em perspectiva da frente.

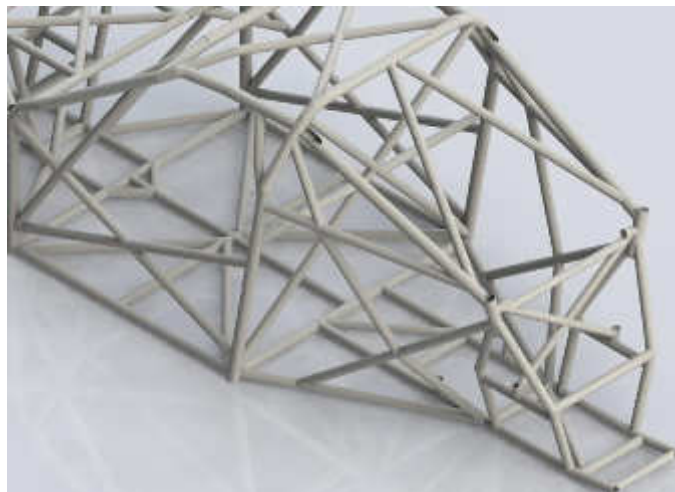


Figura 21.18: Chassis novo - Conjunto 1.6 vista em perspectiva da traseira.

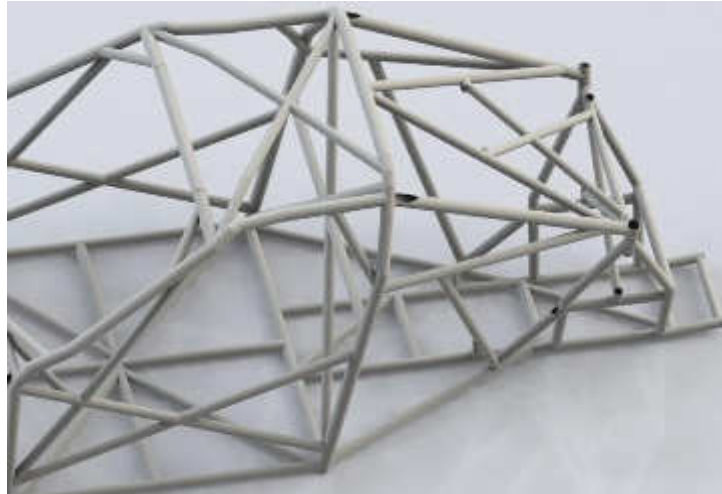


Figura 21.19: Chassis novo - Conjunto 1.7 vista em perspectiva da frente.

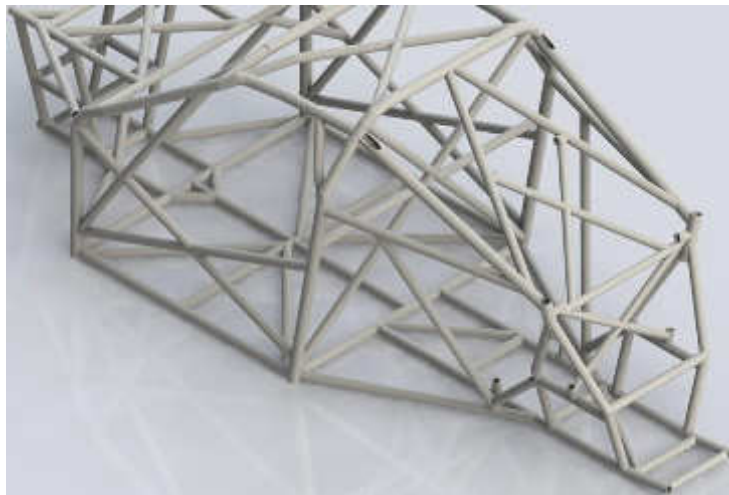


Figura 21.20: Chassis novo - Conjunto 1.7 vista em perspectiva da traseira.

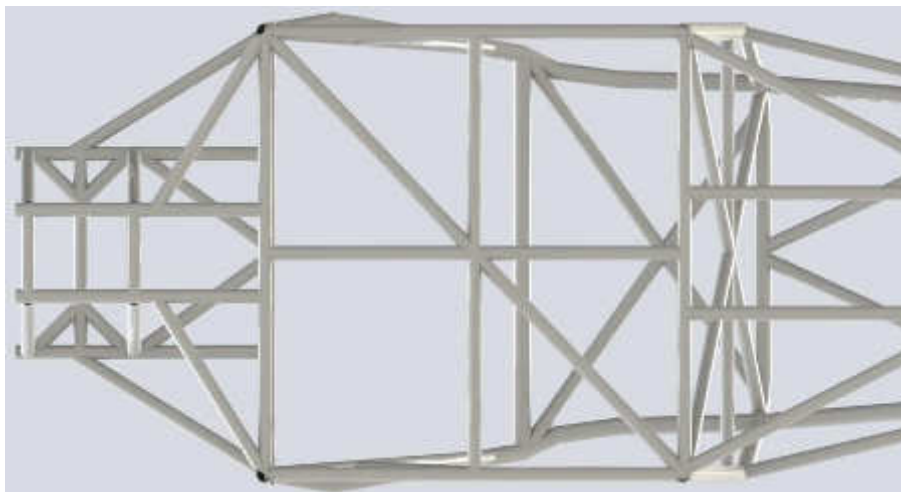


Figura 21.21: Chassis novo – Fundo do habitáculo 1.

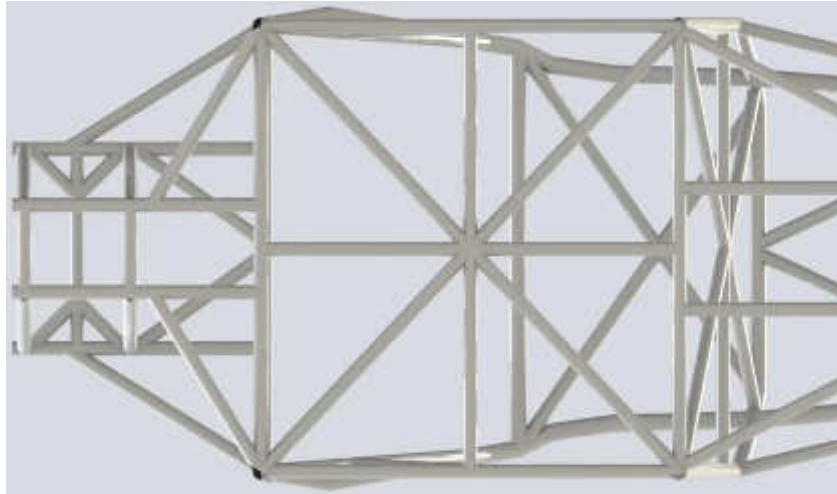


Figura 21.22: Chassis novo – Fundo do habitáculo 2.

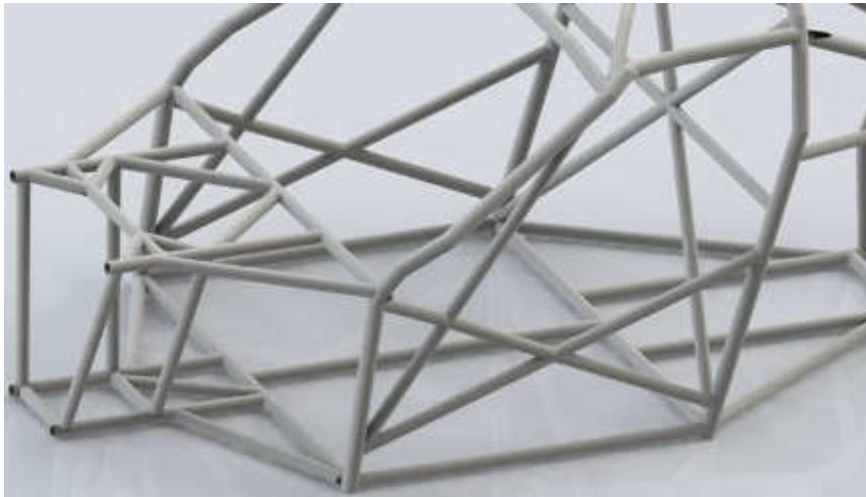


Figura 21.23: Chassis novo – Reforço frontal de fundo.

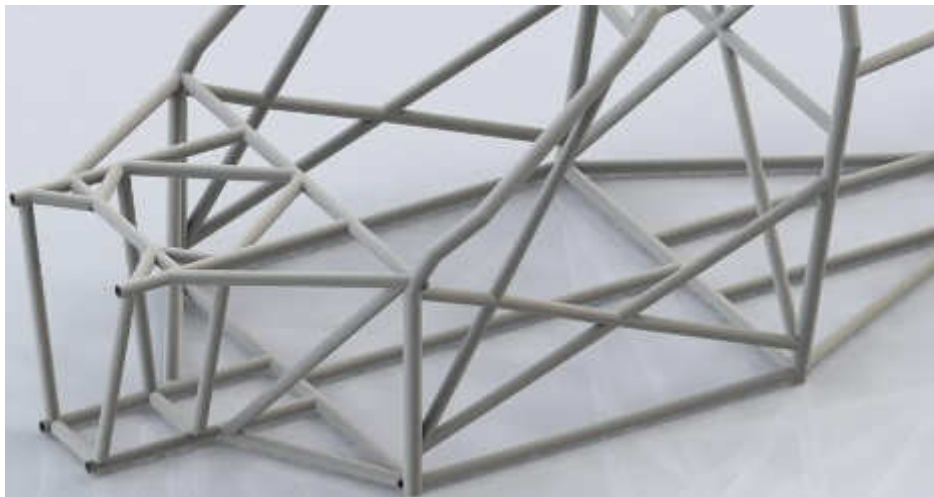


Figura 21.25: Chassis novo – Reforço frontal lateral.

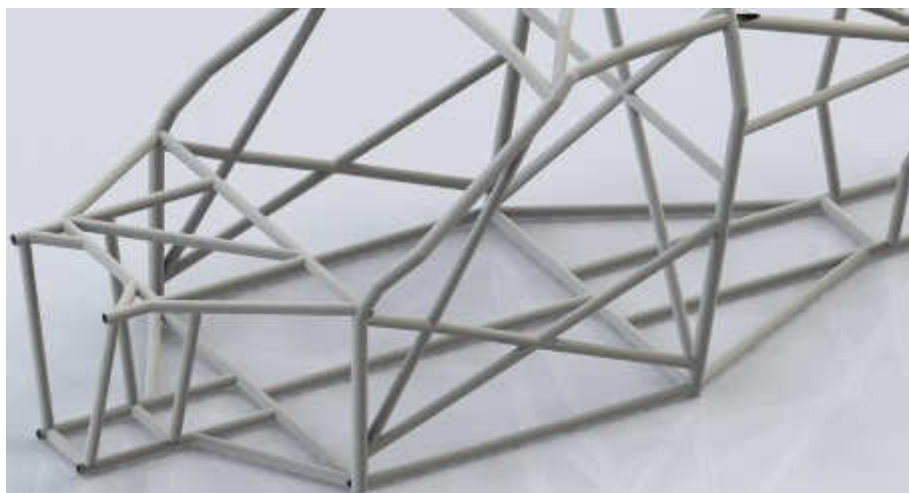


Figura 21.26: Chassis novo – Reforço frontal topo.

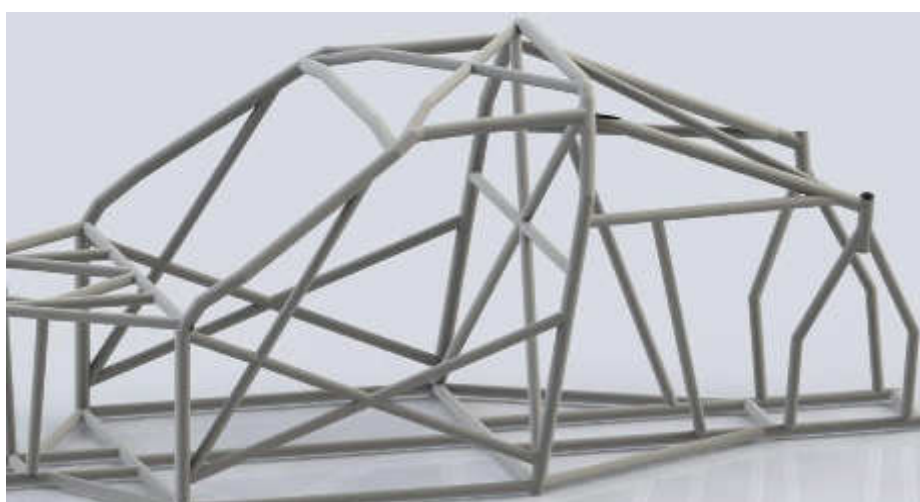


Figura 21.27: Chassis novo – Reforço traseiro 1.

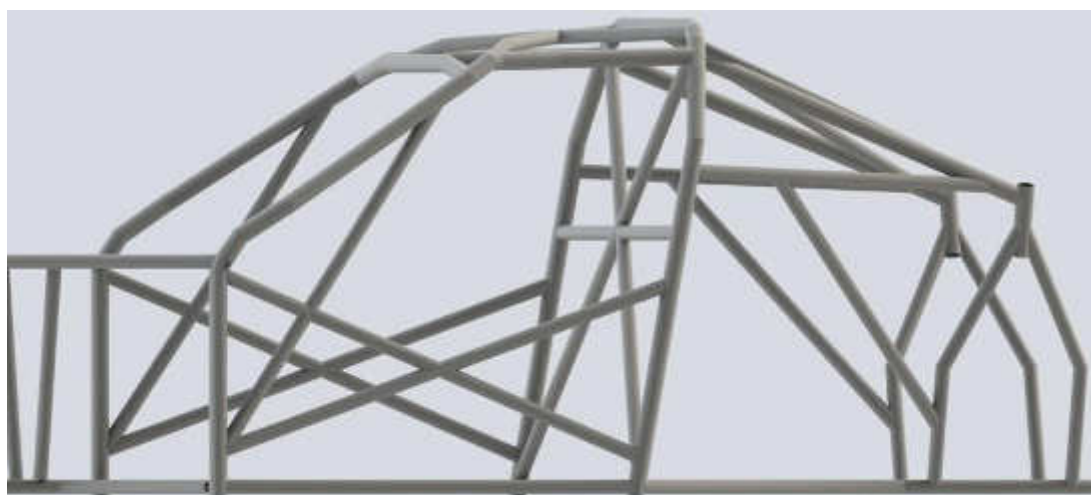


Figura 21.28: Chassis novo – Reforço traseiro 2.



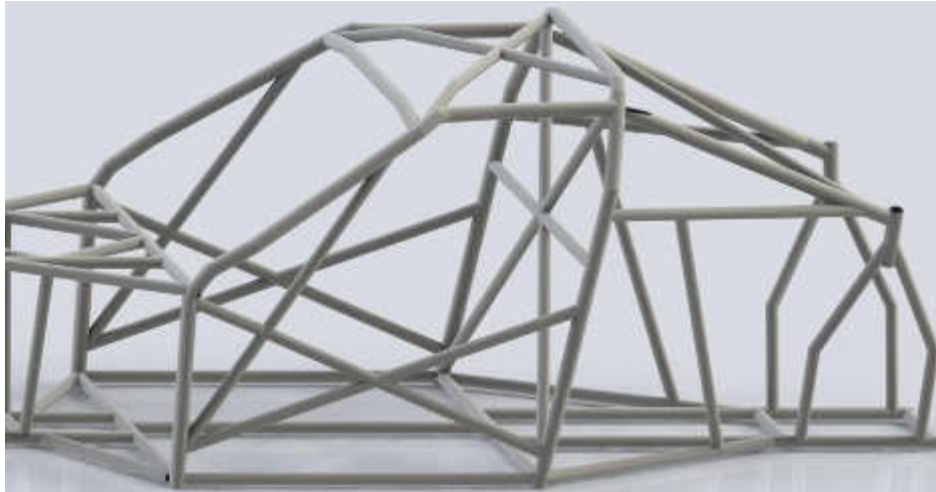


Figura 21.29: Chassis novo – Reforço traseiro 3.

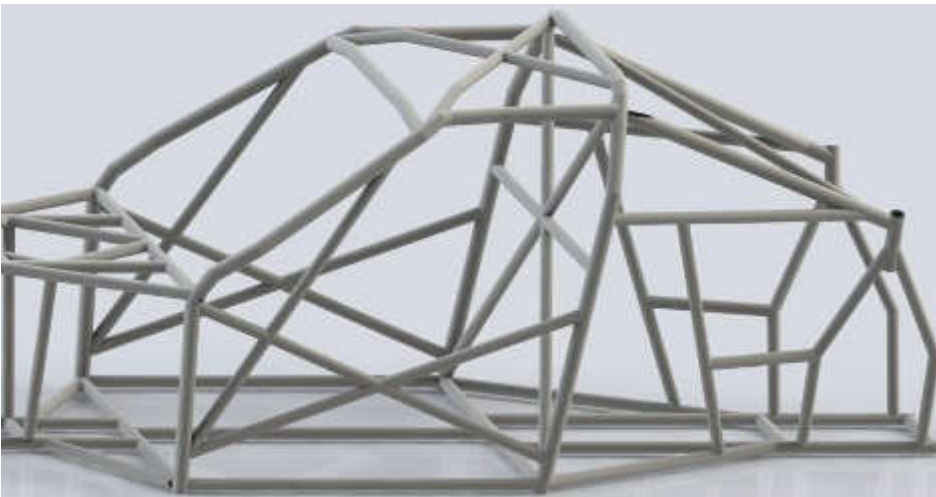


Figura 21.30: Chassis novo – Reforço traseiro 4.

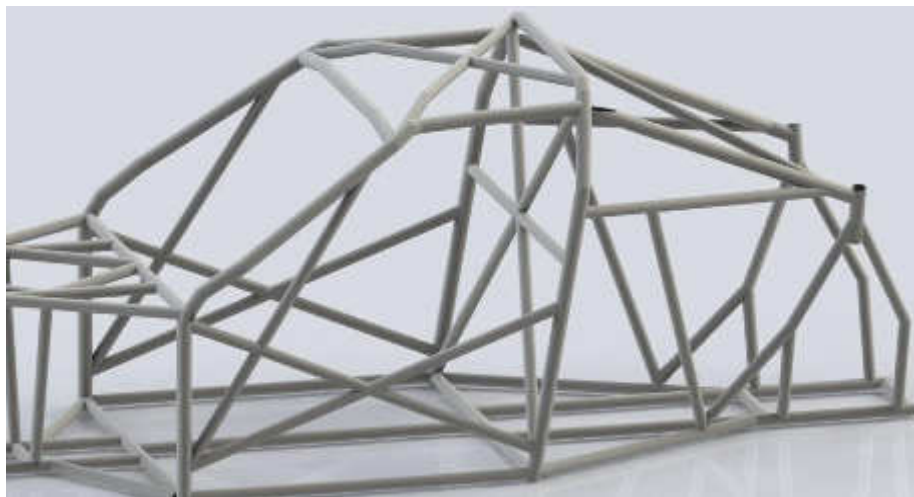


Figura 21.31: Chassis novo – Reforço traseiro 5.

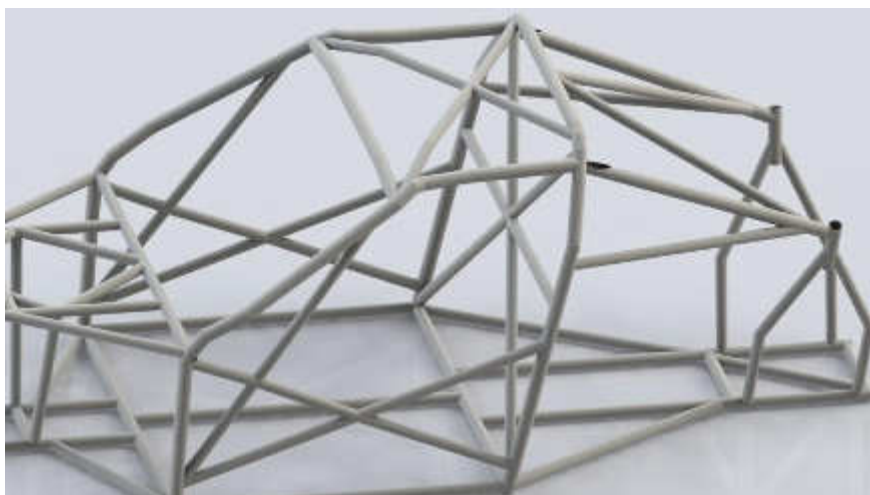


Figura 21.32: Chassis novo – Reforço traseiro 6.

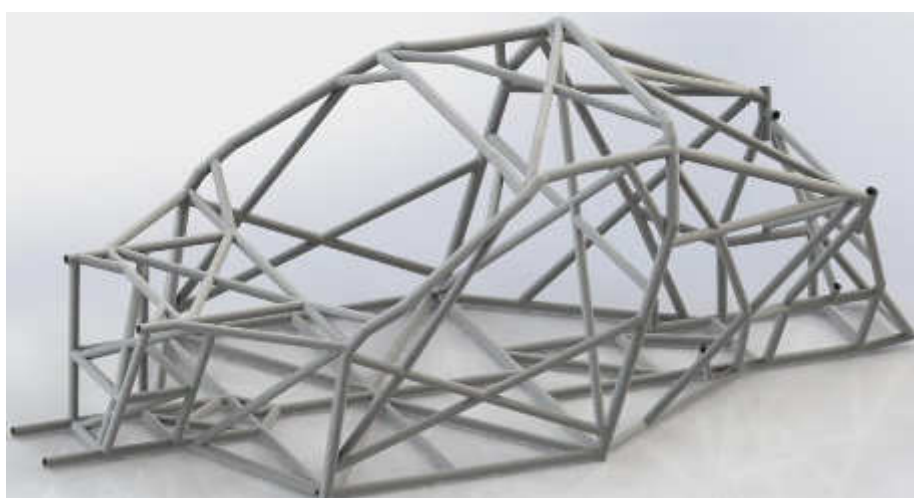


Figura 21.33: Chassis novo real – Vista em perspectiva da frente.

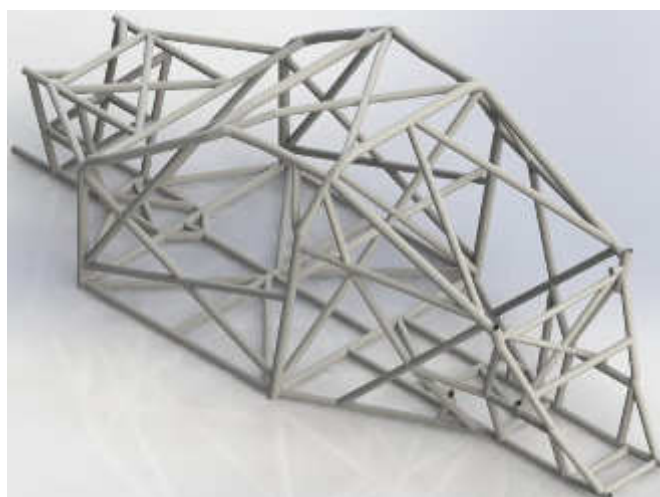


Figura 21.34: Chassis novo real – Vista em perspectiva da traseira.



**ANEXO XXII**  
**SIMULAÇÕES DO MODELO VIRTUAL NOVO REAL**



*Inputs:*

- Esforços N

*Outputs:*

- DINAMICANum:
  - Resultados numa Matriz, onde a primeira linha identifica o número de frequências e o número de pontos estudados
  - Listagem das 25 frequências mais críticas Hz, primeira coluna a partir da segunda linha
  - Listagem das deformações registadas em 4 pontos (4 colunas) m
- TesteFLEXAO: Deformação vertical máxima mm
- TesteTORCAO: Deformação vertical máxima de dois apoios dos amortecedores frontais mm
- TesteTORCAOFRENTE: Deformação vertical máxima em dois pontos dos suportes dos braços da suspensão frontal mm
- TesteTORCAOTRASEIRA: Deformação vertical máxima em dois pontos dos suportes dos braços da suspensão traseira mm
- MASSANum: Massa estimada kg

**Ensaio modal e estimativa da massa final**

KEYW, PR\_STRUC, 1

/PREP7

/UNITS, SI

!\*  
!

!DEFINIÇÃO DAS COLUNAS DA MATRIZ

!\*  
!

PRM=4

!\*  
!

!DEFINIÇÃO DA FREQUÊNCIA MÁXIMA

!\*  
!

PRFRQ=2000

!\*  
!

!NUVEM DE PONTOS

!\*  
!

```

N, 1, -1.5205, 0, -0.1225
... (código incompleto)
!*
*VFILL, massa1(1,1), DATA, MASSA
!*
/output,MASSAnum,txt,C:\Users\ricardo\Desktop\TESTE1
!*
*VWRITE, massa1(1,1)
(1XF11.5,' ',F10.5)
!*
/output
!*
FINISH

Ensaio de flexão vertical
!ESFORÇO EM CADA APOIO
!*
a=800                !Esforço [N]
!*
KEYW, PR_STRUC, 1
/PREP7
/UNITS, SI
!*
!NUVEM DE PONTOS
!*
N, 1, -1.5205, 0, -0.1225
... (código incompleto)
!*
/output,TesteTORCAO,txt,C:\Users\ricardo\Desktop\TESTE1
!*
*VWRITE,matri(1,1),matri(1,2)
(1XF11.5,' ',F10.5,' ',F10.5)
!*

```

/output

!\*  
FINISH

**Ensaio de torção longitudinal da baía de suporte dos braços de suspensão frontais**

!ESFORÇO EM CADA APOIO DOS BRAÇOS TRIANGULARES SUPERIORES FRONTAIS DAS  
SUSPENSÕES

!\*  
a=3\*100

!Esforço [N]

!\*  
KEYW, PR\_STRUC, 1

/PREP7

/UNITS, SI

!\*  
!NUVEM DE PONTOS

!\*  
N, 1, -1.5205, 0, -0.1225

... (código incompleto)

!\*  
/output,TesteTORCAOFRENTE,txt,C:\Users\ricardo\Desktop\TESTE1

!\*  
\*VWRITE,matri(1,1),matri(1,2),matri(1,3),matri(1,4)

(1XF11.5,' ',F10.5,' ',F10.5,' ',F10.5,' ',F10.5)

!\*  
/output

!\*  
FINISH

**Ensaio de torção longitudinal da baía de suporte dos braços de suspensão traseiros**

!ESFORÇO EM CADA APOIO DOS BRAÇOS TRIANGULARES SUPERIORES FRONTAIS DAS  
SUSPENSÕES

!\*  
a=3\*100

!Esforço [N]

!\*  
FINISH



```
KEYW, PR_STRUC, 1
/PREP7
/UNITS, SI
!*
!NUVEM DE PONTOS
!*
N, 1, -1.5205, 0, -0.1225
... (código incompleto)
!*
/output,TesteTORCAOFRENTE,txt,C:\Users\ricardo\Desktop\TESTE1
!*
*VWRITE,matri(1,1),matri(1,2),matri(1,3),matri(1,4)
(1XF11.5,' ',F10.5,' ',F10.5,' ',F10.5,' ',F10.5)
!*
/output
!*
FINISH
```

**ANEXO XXIII**  
**SIMULAÇÕES NUMÉRICAS DE OTIMIZAÇÃO**



**MODnum\_inicial**

KEYW, PR\_STRUC, 1

/PREP7

/UNITS, SI

!\*  
/

PRM=4

PRFRQ=2000

!\*  
/

PRA1=2.5

PRXA1=2

PRA2=2.5

... (código incompleto)

\*VFILL, matri4(1,1), DATA, UMAX3

!\*  
/

/output,ESTATICAnum4,txt,C:\Users\ricardo\Desktop\TESTE1

!\*  
/

\*VWRITE,matri4(1,1)

(1XF11.5,' ',F10.5)

!\*  
/

/output

!\*  
/

FINISH

**MODnum\_final**

KEYW, PR\_STRUC, 1

/PREP7

/UNITS, SI

!\*  
/

PRM=4

PRFRQ=2000

!\*  
/

PRA1=2.2798580624421589e+000

PRXA1=1.9950041345838740e+000

PRA2=2.1651867949855919e+000

... (código incompleto)

\*VFILL, matri4(1,1), DATA, UMAX3

!\*  
!

/output,ESTATICAnum4,txt,C:\Users\ricardo\Desktop\TESTE1

!\*  
!

\*VWRITE,matri4(1,1)

(1XF11.5,' ',F10.5)

!\*  
!

/output

!\*  
!

FINISH

**ANEXO XXIV**  
**MODELO VIRTUAL CHASSIS NOVO OTIMIZADO**



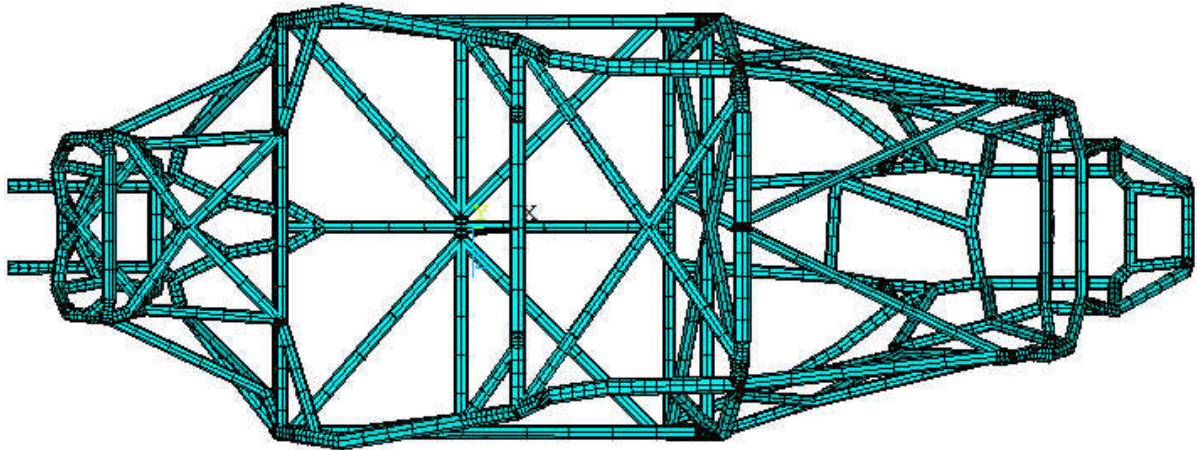


Figura 24.1: Vista de topo do modelo virtual chassis novo otimizado.

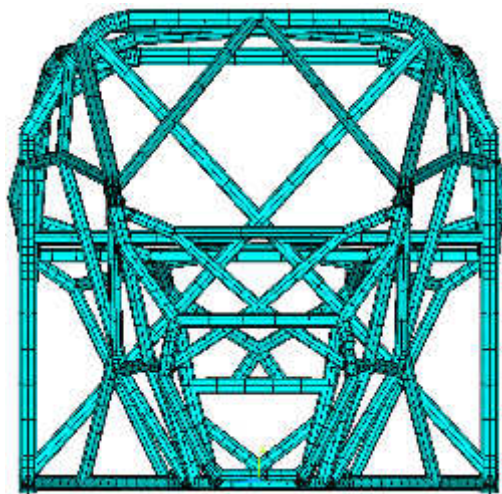


Figura 24.2: Vista da traseira do modelo virtual chassis novo otimizado.

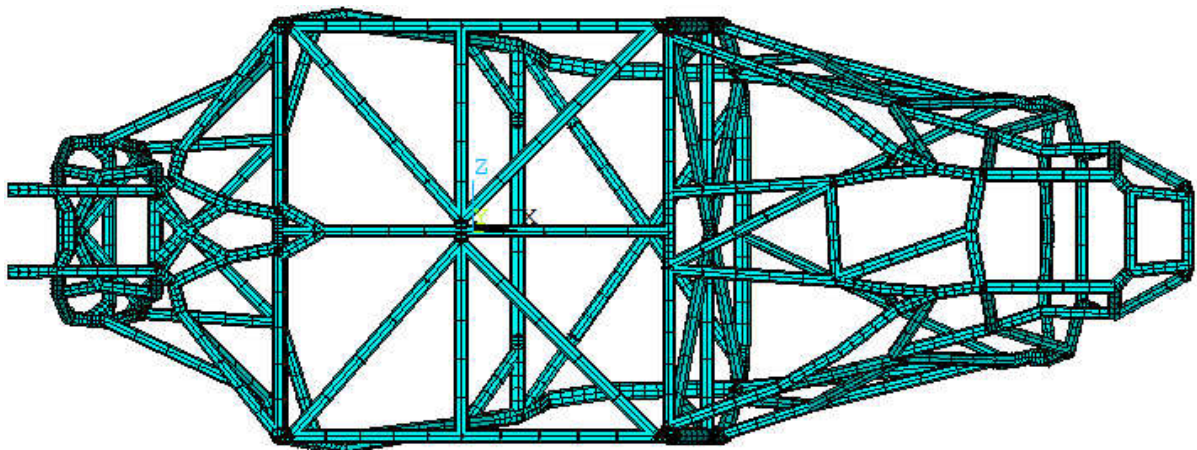


Figura 24.3: Vista do fundo do modelo virtual chassis novo otimizado.



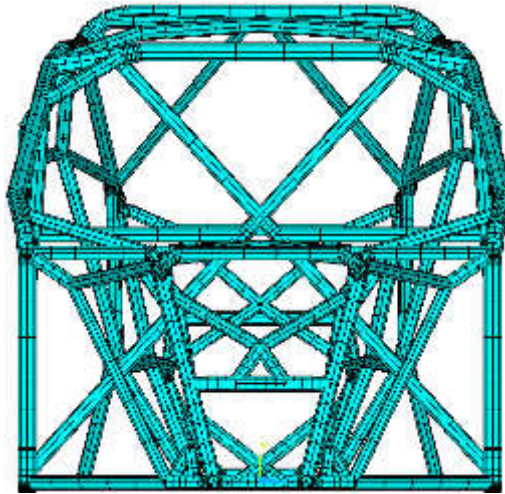


Figura 24.4: Vista frontal do modelo virtual chassis novo otimizado.

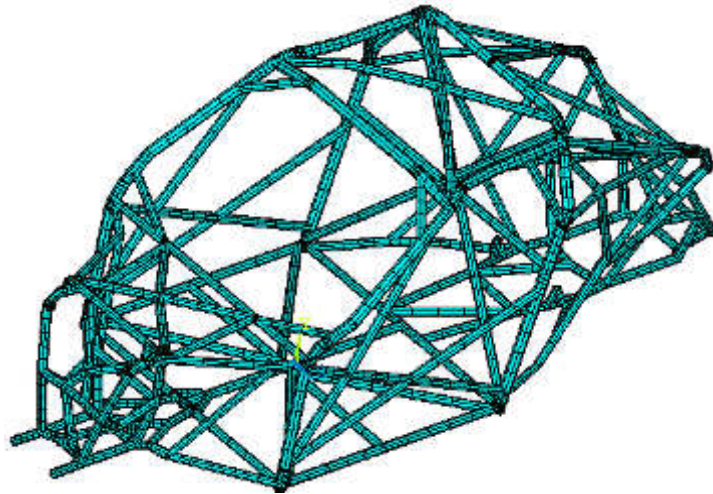


Figura 24.5: Vista em perspectiva frontal do modelo virtual chassis novo otimizado.

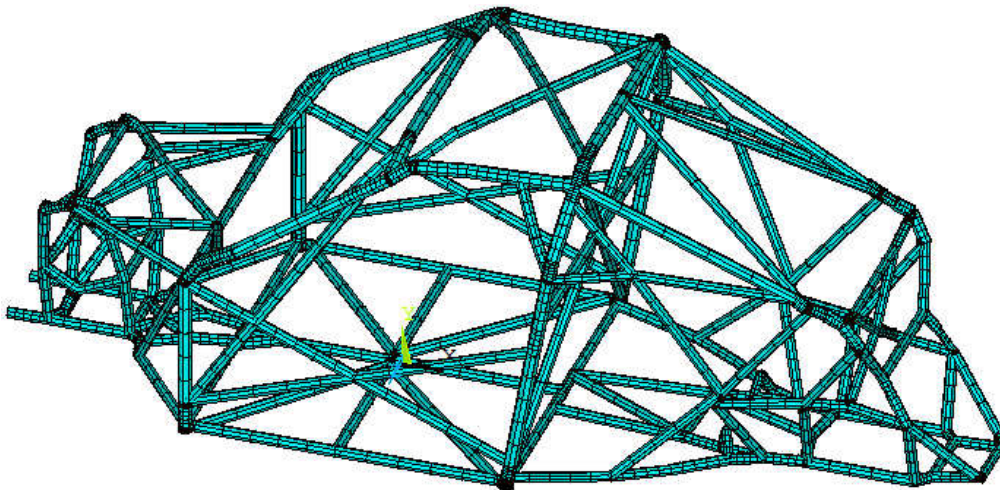


Figura 24.6: Vista em perspectiva traseira do modelo virtual chassis novo otimizado.

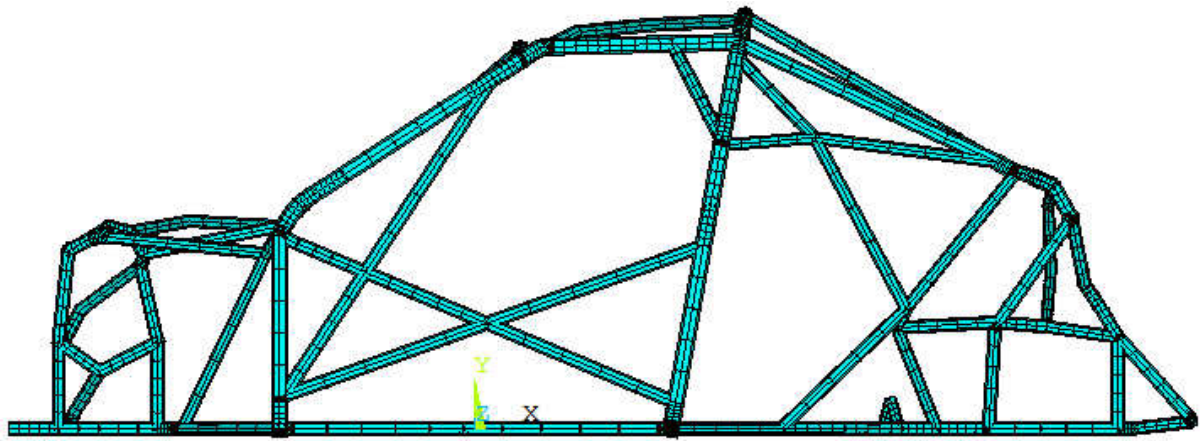


Figura 24.7: Vista lateral do modelo virtual chassis novo otimizado.



## **ANEXO XXV**

### **A Two-Stage Structural Modification-Updating Technique Using Multi-Objective Function Optimization**



# A Two-Stage Structural Modification-Updating Technique Using Multi-Objective Function Optimization

Marco Dourado<sup>1, a</sup>, José Meireles<sup>1, b</sup>, Irene Brito<sup>2, c</sup>, Ricardo Botelho<sup>3, d</sup>

<sup>1</sup>Mechanical Engineering Department, Azurém Campus, University of Minho, 4800-058  
Guimarães, Portugal

<sup>2</sup>Centre of Mathematics, Department of Mathematics and Applications, Azurém  
Campus, University of Minho, 4800-058 Guimarães, Portugal

<sup>3</sup>DEpieres Desportos Motorizados Lda, Lugar de Pieres, 4560-131 Penafiel, Portugal

<sup>a</sup>mdourado@dem.uminho.pt, <sup>b</sup>meireles@dem.uminho.pt, <sup>c</sup>ireneb@math.uminho.pt,  
<sup>d</sup>depieres@gmail.com

**Keywords:** Uncorrelated Mode Pairs, Mode Shapes, Structural Modification, Updating,  
Multi-Objective Function

## **Abstract**

This paper proposes a sequential two stage structural modification-updating method based on multi-objective function optimization. This method is new in the sense that it integrates static and dynamic analysis in the same optimization problem. Different sets of updating parameters are updated in two stages. The first stage is based on the use and comparison of geometric characteristics or static behavior between numerical and reference model, and the second stage is based on the use and comparison of modal characteristics. This method can be applied to models with uncorrelated mode pairs, which exist due to uncorrelated mode shapes.

Two numerical examples are presented to enquire the robustness of the method. The first example is a simple model based on beam elements, whose shape is modified, starting from a square for a T-shape. The second example is an off-road rally car chassis, with large number of variables to update, which is intended to improve its static and dynamic behavior by applying the proposed method.

The algorithm is developed in MATLAB<sup>®</sup>, and a multi-objective function, to be minimized, is used to evaluate the closeness between numerical and reference models after each iteration. The results show that the proposed methodology to perform the structural modification and updating of numerical models is found to estimate correctly the optimal parameters, even in the presence of uncorrelated mode pairs.

## **1 – Introduction**

Two models are correlated when their corresponding mode pairs, composed by mode shape and frequency, are also correlated. Two models can have mode shapes, which are all correlated, but if the frequencies are not correlated, then the mode pairs are also not correlated. Therefore, the models are said to have uncorrelated mode pairs. In order to adjust the model to optimize to the reference model, there exist techniques of improvement of Finite Element models, also known as updating and structural modification techniques.

The updating technique is applied when it is necessary to update simplified numerical models, which are representatives of detailed physical models presenting high computation time. The simplified model is submitted to updating until a similar dynamic behavior to the physical model is obtained. The physical model is also

denominated as reference model [1]. Thus, it is possible to obtain a light computational model and at the same time a representative of the physical model. It is important to refer that in these cases, the estimated parameters may not have any physical meaning.

The structural modification technique is applied to cases where it is necessary to improve the structural behavior acting mainly on geometric parameters, which are more advantageous from the design point of view. The estimated parameters must have physical meaning [2].

These principles are applied in this work, which can help the industrial designers to get better structural solutions.

Improvement of Finite Element models is nowadays a reliable technique and it has been widely explored and developed. The work of Meireles [3] is an example. In this work, the author makes with success the updating of a simplified plate model, using reference modal test data. Nevertheless, the author refers that a major factor for the updating success is the relative closeness between the initial numerical model to update and the reference model. Indeed, in some cases the updating is not done successfully. This happens when, for example, the numerical model to update is too coarse and geometrically far from the reference model, promoting uncorrelated mode shapes between the models. With these conditions the updating, using modal characteristics, cannot be performed with success. The work of Zivanovic et al. [4] is based on this same principle. The authors divide the updating process in four stages: modeling the Finite Element model; modal test; manual refinement of the model; automatic updating. A manual adjustment, empiric and time consuming, in Finite Element model is necessary to reduce the initial frequency error of 30% to 4%. After applying the adjustment, the numerical model is sufficiently close to the reference model. Only then the authors are able to update automatically with success the Finite Element model. It is clear that the problem arises when these conditions are unsatisfied, and some mode pairs cannot be correlated, due to uncorrelated mode shapes. This is a disadvantage, since the uncorrelated modes also contribute to the information about the structural behavior of the model. Therefore, the quantity of modes for updating is also smaller, which contributes to a poor or even impossible updating process.

Taking into account this problem, a recent work developed by Modak [5], proposes a new solution to overcome this limitation in the form of a new method of Finite Element model updating that accepts both correlated as well as uncorrelated modes for updating.



Although this work is an important and relevant step in the updating area, the proposed technique is applied to numerical models geometrically similar to the reference models. The problem of correlating initial numerical models with reference models, when the first is far from the second, motivated the development of a new method described in this work. Indeed, in some real problems, initial models show lacking correlation or a different dynamic behavior from the desired one for the intended application. For this reason, a better process is necessary to deal with such cases. It is important to develop a new methodology which allows the adjustment of initial models, which are different of the desired models.

The new proposed method can be applied both to correlated and uncorrelated models. Moreover, it is also able to use geometric characteristics information of the models, while the traditional updating methods are based only on modal information.

It is known that geometric characteristics are related with the geometric shape of the solids. On the other hand, the mode shapes are also related with the geometric shape. Then, a relationship between the geometric characteristics and mode shapes can be established. If the geometric characteristics between the numerical and reference model are correlated, then the mode shapes are also correlated. According to this principle, the new methodology allows that, in a first step, the geometric characteristics of the numerical model are modified towards a reference model. However, at the end of this stage the mode shapes of the modified model are correlated with the reference model, but the mode pairs may not be. Then, in a second step, the modal information is used to update the frequencies of the numerical model. Now, the mode pairs of both models are correlated. The reason to apply two stages in the new methodology is related with the fact that the updating process can not be performed in some cases, when the models have uncorrelated mode shapes. Therefore, a first stage is necessary to get an approach of the mode shapes between the numerical and reference model and a second stage to carry out the final update using modal information.

This new method also allows the optimization, for example, of the structural static behavior of the model using information about displacements and rotations. Finally, the dynamic behavior can be also optimized in a second stage.

It is a potential interest of this method the fact that the user can choose several different structural characteristics, which is more advantageous from the design point of view.

The methodologies that exist in the literature can be grouped in direct and indirect methods. Direct methods make the improvement directly on the mass and stiffness matrices of the model to updating, which are adjusted directly using the respective matrices obtained from experimental tests. There are some direct methods for the improvement of the Finite Element model, such as the Direct Matrix Updating Method (DMU) [6], the Error Matrix method (EMM) [7], the methods based on Lagrange multiplier proposed by Kabe [8], and the Quasi-Newton methods used by Smith and Beattie [9] to improve the stiffness matrix. Carvalho et al. [10] proposed a direct method based on the improvement of the stiffness matrix for undamped models. It is a method that does not require complete experimental mode shapes, so it is called Incomplete Data Handling Method (IDHM).

Indirect methods, such as inverse eigensensitivity method [11], response function method [12] and time domain method [13], are most often used in the updating of Finite Element models. Several authors have applied the inverse sensitivity method to update simplified Finite Element models of complex structures, neglecting the damping. Wu and Li [14] perform the updating for improvement of a television antenna tower model. Sinha et al. [15] validate simplified models of nuclear central components through modal test data. Jaishi et al. [16] and Schlune et al. [17] apply the updating to improve a simplified model of a bridge operating in conditions of use.

The response function method based on frequency domain, uses directly the Frequency Response Functions (FRFs) data to update Finite Element models. This method is preferably used when extracting modal parameters becomes difficult or to intend to include damping [18] [19] [20] [21].

Indirect methods are strongly dependent on the optimization methodologies that help to fit the control of the updating process. Optimization methods based on probabilistic background became relevant to solve most updating problems.

Important works in the Finite Element model updating area using Simulated Annealing and Genetic Algorithms, which are probabilistic search algorithms capable of finding the global minimum amongst many local minima, can be found in Levin and Lieven [22], who compared various implementations of the two algorithms for model updating purposes, in particular the Finite Element model updating of a flat plate wing structure in the frequency domain. Teughels et al. [23] use the Coupled Local Minimizers (CLM)

method in the Finite Element model updating program for the damage identification of a reinforced concrete beam. The method combines the fast convergence of the local gradient-based algorithms with the global approach of GA, resulting in an efficient global optimization algorithm, able to find the global minimum of the objective function. The same method was used by Bakir et al. [24] to update the Finite Element model of a reinforced concrete frame, using 24 design variables. The authors compare the CLM method with different optimization local search methods, such as the Gauss–Newton method, Levenberg–Marquardt algorithm and Sequential Quadratic Programming (SQP) algorithm, and prove that the global method gave better results. Ameri et al. [25] used the Globalized Bounded Nelder-Mead method to find the optimal fiber orientation of laminated cylindrical panels based on natural frequencies by maximization of fundamental natural frequency. The obtained results show good accuracy and cost optimization when compared with results of GA.

In this work the authors use a global stochastic optimization solver from MATLAB® [26] to perform the structural modification-updating process, explained in section 4, or more detailed in [27]. The proposed process is divided in two stages. The first stage is based on the use and comparison of geometric characteristics or static behavior between numerical and reference model, and the second stage is based on the use and comparison of modal characteristics.

The robustness of the algorithm is studied with the application of two examples.

The first finite element model to improve is composed by beam elements forming a square-shape. The reference model is also a finite element model based on a T-shape composed of beam elements, as described in section 5.1. The models are uncorrelated, due to the obvious geometric differences. Then, in the first stage, the process provides a sufficient approximation to the reference model, so that at the beginning of the second stage, the models are geometrically close so that there are no uncorrelated mode shapes. However, the frequencies are not correlated, whereby the mode pairs are not correlated yet. The second stage is performed with all modes, since all mode shapes are correlated, and modal information can be used to update the model successfully.

The second example is a chassis of an off-road rally car, modeled with beam elements, as presented in section 5.2. It is intended to minimize its mass and maximum displacements and rotations, keeping the modal behavior constant. In the first stage, the process makes the structural modification acting on geometric parameters, in order to

minimize the mass and maximum displacements and rotations of the structure. Due to the structural modification, the dynamic behavior suffers a weakness. In order to improve the dynamic behavior, the second stage is applied. A large number of 911 variables are used in this example. As far as we know, a large number of variables has never been used in similar studies.

To evaluate the closeness between the numerical and reference model a multi-objective function, to be minimized, presented in section 3, is used.

The structural modification and updating process was made with success in both examples, and the optimal parameters were correctly estimated, as presented in section 6. Furthermore, the problem of dealing with uncorrelated mode shapes in the updating process, due to geometric differences between the numerical model to update and the reference model, is overcome with this methodology, as concluded in section 7.

## 2 – Mathematical Formulation

In this section, a review of the theory involved in this work is presented.

### 2.1 – Equation of Motion

For a dynamic system with multiple degrees of freedom (DOF's), the equation of motion that represents the dynamic response of the system, when subject to external vibrations, is given in the generalized matrix form

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{x}(t) = \mathbf{f}(t), \quad (1)$$

where  $\mathbf{M}$ ,  $\mathbf{C}$  and  $\mathbf{K} \in \mathbb{R}^{n \times n}$ ,  $n$  being the DOF's, denote the mass, damping and stiffness matrices of the system, respectively, and  $\ddot{\mathbf{x}}(t)$ ,  $\dot{\mathbf{x}}(t)$ ,  $\mathbf{x}(t)$  and  $\mathbf{f}(t) \in \mathbb{R}^{n \times 1}$  denote the acceleration, velocity, displacement and external excitation time-dependent vectors, respectively.

For an undamped and unexcited system, Eq. (1) is reduced to

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{x}(t) = \mathbf{0}. \quad (2)$$

A solution of the second order homogeneous linear system (2) can be written as

$$\mathbf{x}(t) = \boldsymbol{\varphi}_i \cos(\omega_i t + \psi_i), \quad (3)$$

where  $\psi_i$  is a phase shift angle,  $\boldsymbol{\varphi}_i$  represents an eigenvector and  $\omega_i$  is related with an eigenvalue of the eigenvalue-eigenvector problem explained below.

Calculating the second order derivative of (3) with respect to  $t$  one obtains

$$\ddot{\mathbf{x}}(t) = -\omega_i^2 \boldsymbol{\varphi}_i \cos(\omega_i t + \psi_i), \quad (4)$$

which together with (3) can be inserted into expression (2), yielding

$$\mathbf{K}\boldsymbol{\varphi}_i = \omega_i^2 \mathbf{M}\boldsymbol{\varphi}_i. \quad (5)$$

Pre-multiplying this equation by  $\mathbf{M}^{-1}$  one can write equivalently

$$\mathbf{M}^{-1}\mathbf{K}\boldsymbol{\varphi}_i = \omega_i^2 \boldsymbol{\varphi}_i, \quad (6)$$

or, introducing the identity matrix  $\mathbf{I}$ ,

$$(\mathbf{M}^{-1}\mathbf{K} - \omega_i^2 \mathbf{I})\boldsymbol{\varphi}_i = \mathbf{0}. \quad (7)$$

In order for a non-trivial solution to exist,  $\mathbf{M}^{-1}\mathbf{K} - \omega_i^2 \mathbf{I}$  must be singular. Therefore, one must have

$$\det(\mathbf{M}^{-1}\mathbf{K} - \omega_i^2 \mathbf{I}) = 0. \quad (8)$$

Thus, from  $\det(\mathbf{M}^{-1}\mathbf{K} - \lambda_i \mathbf{I}) = 0$  one can determine the eigenvalues  $\lambda_i = \omega_i^2$  and each eigenvalue has an associated eigenvector  $\boldsymbol{\varphi}_i \neq \mathbf{0}$ , which can then be obtained from solving (7).

The eigenvectors  $\boldsymbol{\varphi}_i$  correspond to mode shapes, whose components represent amplitudes, and  $\omega_i$  represent natural circular frequencies measured in rad/s, defined as the positive square roots of the eigenvalues.

Note that for systems of  $n$  equations (or  $n$  degrees of freedom), there exist  $n$  eigenvalues  $\omega_i^2, i = 1, \dots, n$ , with associated eigenvectors  $\boldsymbol{\varphi}_i, i = 1, \dots, n$ .

The general solution to (2) can be expressed as linear combination of  $n$  linearly independent solutions (3), which happens if the eigenvalues are distinct, in the following way

$$\mathbf{x}(t) = \sum_{i=1}^n c_i \boldsymbol{\varphi}_i \cos(\omega_i t + \psi_i), \quad (9)$$

where the constants  $c_i, i = 1, \dots, n$ , and  $\psi_i, i = 1, \dots, n$ , can be determined through initial conditions.

Equations (5) and (7), where  $i = 1, \dots, n$ , can also be written in matrix form, respectively, as

$$\mathbf{K}\boldsymbol{\Phi} = \mathbf{M}\boldsymbol{\Lambda}^2\boldsymbol{\Phi}, \quad (10)$$

and

$$(\mathbf{M}^{-1}\mathbf{K} - \boldsymbol{\Lambda}^2)\boldsymbol{\Phi} = \mathbf{O}, \quad (11)$$

where  $\boldsymbol{\Phi}$  is a  $n \times n$  matrix containing the eigenvectors  $\boldsymbol{\varphi}_i$  in its columns, i.e.  $\boldsymbol{\Phi} = [\boldsymbol{\varphi}_1 \cdots \boldsymbol{\varphi}_n]$ , and  $\boldsymbol{\Lambda}^2$  is a diagonal matrix containing the eigenvalues  $\omega_i^2, i = 1, \dots, n$ , and  $\mathbf{O}$  is the zero  $n \times n$  matrix. The general solution (9) can be written in terms of the matrix  $\boldsymbol{\Phi}$  and the vector  $\mathbf{w}(t) = [c_1 \cos(\omega_1 t + \psi_1), \dots, c_n \cos(\omega_n t + \psi_n)]^T$  as

$$\mathbf{x}(t) = \boldsymbol{\Phi}\mathbf{w}(t). \quad (12)$$

The problem of finding the natural frequencies and the mode shapes of a given dynamic system is important for estimating the modal response of the system to be used in the second updating stage of the models, as presented in section 6.

## 2.2 – Static Equilibrium Equations

For the particular case of a static equilibrium system, Eq. (1) is reduced to Hooke's law

$$\mathbf{K}\mathbf{x}(t) = \mathbf{f}(t). \quad (13)$$

By Eq. (13) is established a linear relationship between stress  $\sigma$  and strain  $\varepsilon$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}, \quad (14)$$

where  $E$  is the Young's Modulus of the material.

A three-dimensional system subjected to normal stresses  $\sigma_{xx}$ ,  $\sigma_{yy}$  and  $\sigma_{zz}$ , and shear stresses  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$  and  $\tau_{zx}$ , promotes normal extensions  $\varepsilon_{xx}$ ,  $\varepsilon_{yy}$  and  $\varepsilon_{zz}$ , and shear extensions  $\gamma_{xy}$ ,  $\gamma_{yz}$  and  $\gamma_{zx}$ . This relationship can be written, for isotropic materials, in matrix notation as follows

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{zz} \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{bmatrix}, \quad (15)$$

or in a more compact way

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{D}\boldsymbol{\varepsilon}, \quad (16)$$

where  $\boldsymbol{\sigma}$  and  $\boldsymbol{\varepsilon}$  are the stress and extension vectors, respectively,  $\mathbf{D}$  is the elastic constant matrix, and  $\nu$  denotes the Poisson's ratio.

The system can be divided into a finite number of elements. Each element has geometrical and elastic properties defined in a stiffness factor  $k$ . Then, the stiffness

matrix  $\mathbf{K}$  can be decomposed in several stiffness factors  $k_{ij}(i, j = 1, \dots, n)$  that interconnect any coordinate defined in the system. Eq. (13) is re-written as

$$\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{21} & k_{21} & \dots & k_{2n} \\ k_{31} & k_{21} & k_{21} & \dots & k_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{n1} & k_{n2} & k_{n3} & \dots & k_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ \dots \\ f_n \end{bmatrix}. \quad (17)$$

From Eq. (17) it is possible to determine any displacements, rotations and reactions of the structure to be used in the first updating stage.

### 3 – Multi-objective Function Formulation

In this section the multi-objective function formulation is described. The multi-objective function  $F$  is given by

$$F = f_s(\mathbf{u}) + f_d(\mathbf{v}), \quad (18)$$

where  $f_s(\mathbf{u})$  is an objective function depending on parameters  $\mathbf{u}$  and quantifies the difference between the numerical and the reference model in the first stage, and  $f_d(\mathbf{v})$  is a objective function depending on parameters  $\mathbf{v}$  and quantifies the difference between the numerical and the reference model in the second stage. The parameters  $\mathbf{u}$  can be based on geometric characteristics (e.g. coordinates of points) of the models and the parameters  $\mathbf{v}$  can be based on material properties (e.g. Young's Modulus, Poisson Ratio and Density), and also on geometric characteristics.

The two sets of updating parameters are sequentially updated in order to minimize the multi-objective function  $F$ .

The objective function  $f_s(\mathbf{u})$  is defined by a sum of functions

$$f_s(\mathbf{u}) = f_1(\mathbf{u}) + f_2(\mathbf{u}) + f_3(\mathbf{u}) + \dots + f_f(\mathbf{u}), \quad (19)$$

where the functions  $f_1(\mathbf{u})$ ,  $f_2(\mathbf{u})$ ,  $f_3(\mathbf{u})$ , ...,  $f_f(\mathbf{u})$ , represent the quantification of the differences between geometric characteristics or static behavior of the numerical and



reference model. For instance, considering a geometric characteristic or static behavior, with reference value  $R$ , the function  $f_1$  is given by

$$f_1(\mathbf{u}) = \frac{\left(R - \hat{N}_q(\hat{\mathbf{u}}_q)\right)^2}{\left(R - \hat{N}_0(\hat{\mathbf{u}}_0)\right)^2}, \quad (20)$$

where  $\hat{N}_0$  is the initial estimated numerical value,  $\hat{\mathbf{u}}_0$  is a vector containing the first stage initial parameters,  $\hat{N}_q$  is the estimated numerical value at iteration  $q$  and  $\hat{\mathbf{u}}_q$  is a vector containing the updated parameters at iteration  $q$ , with  $q \geq 0$ . The quadratic term in Eq. (20) is used to accelerate the convergence and to obtain only positive differences, and the denominator is used to obtain the normalized difference. The estimated numerical value  $\hat{N}_q$  is function of the parameters of the vector  $\hat{\mathbf{u}}_q$ . The relationship between them can be written as

$$\hat{N}_q = f\left(\hat{u}_{q_1}, \hat{u}_{q_2}, \hat{u}_{q_3}, \dots, \hat{u}_{q_p}\right), \quad (21)$$

where  $p$  is the number of parameters to optimize.

The objective function  $f_d(\mathbf{v})$  is defined by a sum of three specific functions as described below

$$f_d(\mathbf{v}) = f_{\phi C}(\mathbf{v}) + f_{\phi U}(\mathbf{v}) + f_{\lambda}(\mathbf{v}), \quad (22)$$

where the function  $f_{\phi C}$  represents the quantification of the difference between numerical and reference correlated mode shapes, the function  $f_{\phi U}$  represents the quantification of the difference between numerical and reference uncorrelated mode shapes, and the function  $f_{\lambda}$  represents the quantification of the difference between numerical and reference frequencies.

The function  $f_{\phi C}$  is given by

$$f_{\phi_C}(\mathbf{v}) = - \frac{\sum_{i=1}^{N_C} \hat{MAC}_{ii_q} \left( \hat{\mathbf{v}}_q \right)}{\sum_{i=1}^{N_C} \hat{MAC}_{ii_0} \left( \hat{\mathbf{v}}_0 \right)}, \quad (23)$$

where  $N_C$  is the number of correlated mode shapes values of the diagonal MAC matrix,  $\hat{MAC}_{ii_0}$  are the diagonal elements of the initial estimated MAC matrix,  $\hat{\mathbf{v}}_0$  is a vector containing the second stage initial parameters,  $\hat{MAC}_{ii_q}$  are the diagonal elements of the estimated MAC matrix at iteration  $q$  and  $\hat{\mathbf{v}}_q$  is a vector containing the updated parameters at iteration  $q$ , with  $q \geq 0$ . The MAC value between two modes  $\phi_i$  and  $\phi_{j_q}$  is defined by [28]

$$MAC_{ij_q} = \frac{\left( \phi_i^T \hat{\phi}_{j_q} \right)^2}{\left( \phi_i^T \phi_i \right) \left( \hat{\phi}_{j_q}^T \hat{\phi}_{j_q} \right)}, \quad (24)$$

where  $\phi_i$  is the reference vector containing the reference mode shape  $i$  and  $\hat{\phi}_{j_q}$  is the estimated numerical vector containing the estimated numerical mode shape  $j$  at iteration  $q$ , with  $q \geq 0$ .

The function  $f_{\phi_U}$  is given by

$$f_{\phi_U}(\mathbf{v}) = \left( \frac{1}{N_U} \right) \frac{\sum_{j=1}^{N_U} \sum_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^{N_U} \hat{MAC}_{ij_q} \left( \hat{\mathbf{v}}_q \right)}{\sum_{j=1}^{N_U} \sum_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^{N_U} \hat{MAC}_{ij_0} \left( \hat{\mathbf{v}}_0 \right)}, \quad (25)$$

where  $N_U$  is the number of uncorrelated mode shapes values, outside of the diagonal of the MAC matrix.

The function  $f_{\lambda}$  is given by

$$f_{\lambda}(\mathbf{v}) = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\lambda}} \left( \omega_i - \hat{\omega}_{i_q} \left( \hat{\mathbf{v}}_q \right) \right)^2}{\sum_{i=1}^{N_{\lambda}} \left( \omega_i - \hat{\omega}_{i_0} \left( \hat{\mathbf{v}}_0 \right) \right)^2}, \quad (26)$$

where  $N_{\lambda}$  is the number of eigenvalues  $\lambda$  corresponding to the correlated mode shapes

(see section 2.1),  $\omega_i$  is the  $i^{\text{th}}$  reference natural frequency defined by  $\omega_i = \sqrt{\lambda_i/2\pi}$ ,

$\hat{\omega}_{i_0}$  is the  $i^{\text{th}}$  initial estimated numerical natural frequency defined by  $\hat{\omega}_{i_0} = \sqrt{\hat{\lambda}_{i_0}/2\pi}$ ,

$\hat{\omega}_{i_q}$  is the  $i^{\text{th}}$  estimated natural frequency at iteration  $q$  defined by  $\hat{\omega}_{i_q} = \sqrt{\hat{\lambda}_{i_q}/2\pi}$ ,  $\lambda_i$

is the  $i^{\text{th}}$  reference eigenvalue,  $\hat{\lambda}_{i_0}$  is the  $i^{\text{th}}$  initial estimated numerical eigenvalue and

$\hat{\lambda}_{i_q}$  is the  $i^{\text{th}}$  estimated numerical eigenvalue at iteration  $q$ , with  $q \geq 0$ . The quadratic

term in Eq. (26) is used to accelerate the convergence and to obtain only positive differences between the frequencies of both models. The denominator is used to obtain

the normalized difference. The estimated numerical mode shapes vectors  $\hat{\boldsymbol{\phi}}_{i_q}$  and

estimated numerical eigenvalues  $\hat{\lambda}_{i_q}$  are functions of the parameters of the vector  $\hat{\mathbf{v}}_q$ .

The relationship between them can be written, respectively, as

$$\hat{\boldsymbol{\phi}}_{i_q} = f \left( \hat{\mathbf{v}}_{q_1}, \hat{\mathbf{v}}_{q_2}, \hat{\mathbf{v}}_{q_3}, \dots, \hat{\mathbf{v}}_{q_p} \right) \quad (27)$$

and

$$\hat{\lambda}_{i_q} = f \left( \hat{\mathbf{v}}_{q_1}, \hat{\mathbf{v}}_{q_2}, \hat{\mathbf{v}}_{q_3}, \dots, \hat{\mathbf{v}}_{q_p} \right), \text{ for } i = 1, \dots, n, \quad (28)$$

where  $p$  is the number of parameters to optimize and  $n$  is the number of DOF's.

The parameters  $\hat{u}_{q_1}, \dots, \hat{u}_{q_p}$  and  $\hat{v}_{q_1}, \dots, \hat{v}_{q_p}$  of the vectors  $\hat{\mathbf{u}}_q$  and  $\hat{\mathbf{v}}_q$  are, respectively,

subject to

$$u_{\text{LB}} \leq \hat{u}_{q_i} \leq u_{\text{UB}} \quad (29)$$

and

$$v_{LB} \leq \hat{v}_{q_i} \leq v_{UB}, \text{ for } i = 1, \dots, p, \quad (30)$$

where the quantities  $u_{LB}$  and  $v_{LB}$  represent lower bounds, and  $u_{UB}$  and  $v_{UB}$  represent upper bounds.

#### 4 – Structural Modification Algorithm

The structural modification algorithm is presented in this section. The structural modification consists in applying the multi objective function formulation, presented in section 3, which is implemented in MATLAB<sup>®</sup>, using some tools from its *Toolbox*, and it is prepared to interact with the numerical Finite Element calculation program ANSYS<sup>®</sup>.

The structural modification process is divided in two stages. In the first stage the process approaches the numerical model to update to the reference model, using and comparing geometric characteristics or static behavior, of both models. In the presented examples, the reference model is a Finite Element model. The optimal value of the objective function  $f_s$  is found when these characteristics between both models are similar. Consequently the values of the vector  $\hat{\mathbf{u}}$  are correctly estimated. The second stage begins with the numerical model, using the initial values of the vector  $\mathbf{v}_0$ . In this step, the process uses the information about modal characteristics of both models in order to calculate the optimal value of the objective function  $f_d$ . The optimal value of this function is found when the modal characteristics between the two models are similar. Consequently the parameters  $\hat{\mathbf{v}}$  are correctly estimated. The optimal value of the multi-objective function  $F$  is the sum of the optimal value of functions  $f_s$  and  $f_d$ .

##### 4.1 – Algorithm Description

Let  $\hat{N}_q(\hat{\mathbf{u}}_q)$  be the numerical estimate of the reference value  $R$ , where  $q \geq 0$  is the iteration parameter.

The algorithm is initialized using the initial parameters  $\hat{N}_0(\hat{\mathbf{u}}_0)$ , and the initial objective function  $f_s^0$  given in Eq.(19) is calculated depending on the differences of the

reference values and estimates through Eq. (20), as explained in section 3 (the superscript in  $f_s^0$  denotes the iteration. If  $f_s^0 \rightarrow 0$ , then the first stage of the algorithm stops, or, if the condition  $\|f_s^{q+1} - f_s^q\| \leq 10^{-6}$  is satisfied as stopping criterion. If no one of the above conditions is satisfied, then  $q = q + 1$  and new updated estimates  $\hat{N}_{q+1}(\hat{\mathbf{u}}_{q+1})$  are calculated. Again, these values are compared with the reference values using the updated objective function  $f_s^{q+1}$  based on Eq. (19). If for some iteration  $q = h \geq 1$ , such that  $f_s^h \rightarrow 0$ , or, if the condition  $\|f_s^{q+1} - f_s^q\| \leq 10^{-6}$  is satisfied, then the first stage is concluded and we have found the optimal values  $\hat{N}_h(\hat{\mathbf{u}}_h)$ .

Let  $\hat{\varphi}_0(\hat{\mathbf{v}}_0)$  and  $\hat{\lambda}_0(\hat{\mathbf{v}}_0)$  be the initial estimate for the numerical eigenvector and the initial estimate for the numerical eigenvalue, respectively, from which one can calculate the initial  $\hat{MAC}_{i_0}(\hat{\mathbf{v}}_0)$ ,  $\hat{MAC}_{j_0}(\hat{\mathbf{v}}_0)$  and  $\hat{\omega}_{i_0}(\hat{\mathbf{v}}_0)$ , where  $\hat{MAC}_{i_0}(\hat{\mathbf{v}}_0)$  are the diagonal entries of the MAC matrix, which should be equal to 1, and  $\hat{MAC}_{j_0}(\hat{\mathbf{v}}_0)$  are the non-diagonal values, which should be equal to zero.

In this stage, the initial objective function  $f_d^0$ , defined in Eq. (22), depending on Eqs. (23) - (26), is used in order to compare the initial estimated numerical values with the reference values. If  $f_d^0 \rightarrow -1^+$ , where  $-1^+ = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} (-1 + \epsilon)$ , then the second stage of the algorithm stops, or, if the condition  $\|f_d^{q+1} - f_d^q\| \leq 10^{-6}$  is satisfied as stopping criterion. If no one of the above conditions is satisfied, then  $q = q + 1$  and new updated estimates  $\hat{\varphi}_{q+1}(\hat{\mathbf{v}}_{q+1})$  and  $\hat{\lambda}_{q+1}(\hat{\mathbf{v}}_{q+1})$  are calculated. Again, these values are compared with the reference values using the updated objective function  $f_d^{q+1}$  based on Eq. (22). If for some iteration  $q = h \geq 1$ , such that  $f_d^h \rightarrow -1^+$ , or, if the condition  $\|f_d^{q+1} - f_d^q\| \leq 10^{-6}$  is

satisfied, then the second stage is concluded and the optimal values  $\hat{\varphi}_h(\hat{\mathbf{v}}_h)$  and  $\hat{\lambda}_h(\hat{\mathbf{v}}_h)$ .

#### **4.2 – Flowchart Description**

The interaction algorithm flowchart between the structural modification processes in MATLAB<sup>®</sup> and ANSYS<sup>®</sup> is represented in Figure 1.

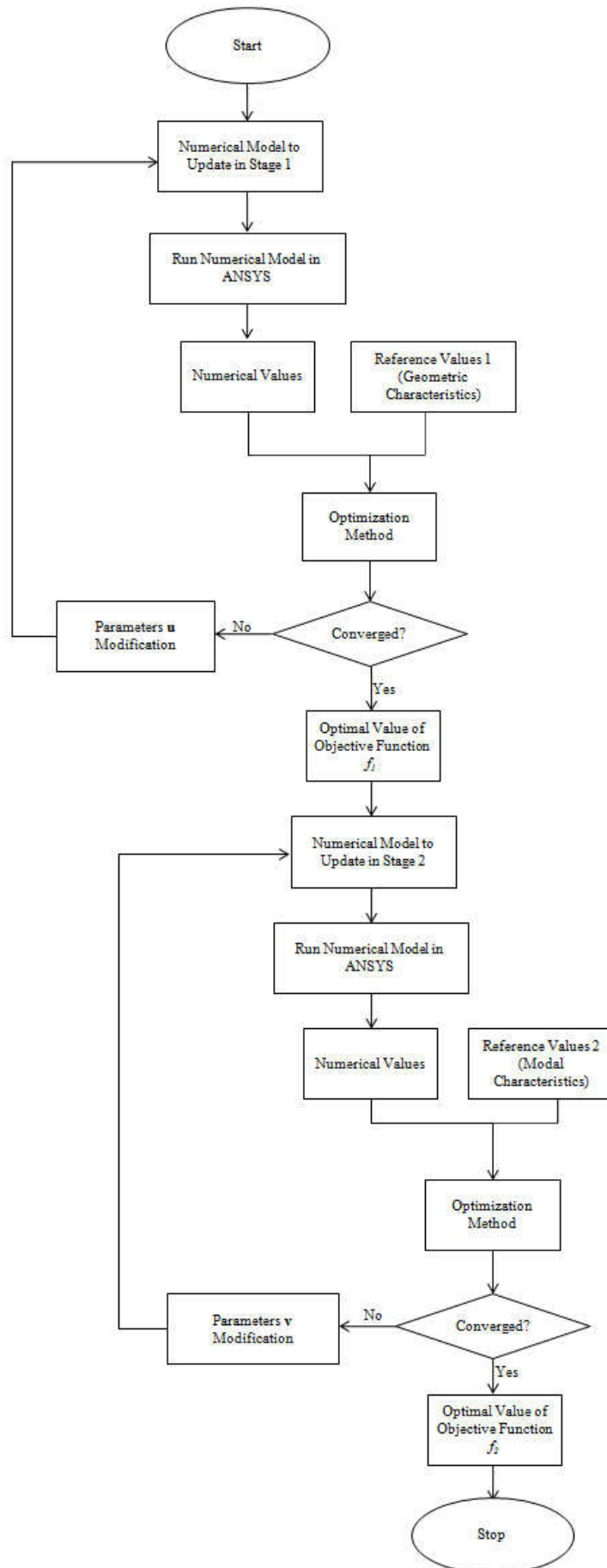


Figure 1 - Interaction flowchart between Matlab<sup>®</sup> and Ansys<sup>®</sup>.

The main steps of the structural modification process are the following:

1. Stage 1

1.1. Start the ANSYS<sup>®</sup> program with a given numerical model to update in an input.txt file, with initial parameters  $\mathbf{u}_0$ ;

1.2. Read the output.txt file of the ANSYS<sup>®</sup> program and compare the estimated values with the reference values in order to build the objective function  $f_s$  and constraints, defined by the condition (29), used for the optimization process;

1.3. Stop the calculation process if an optimal value has been achieved and go to stage 2, or go to the step 1.4;

1.4. Obtain the new design parameters  $\hat{\mathbf{u}}_{q+1}$  defined by the optimization algorithm, through MATLAB<sup>®</sup>;

1.5. Modify the Finite Element model in the input.txt file with the new parameters  $\hat{\mathbf{u}}_{q+1}$ ;

1.6. Start a new analysis by going to Step 1.1 with the new input.txt file.

2. Stage 2

2.1. Start the ANSYS<sup>®</sup> program with a given numerical model to update in an input.txt file, with parameters  $\mathbf{v}_0$ ;

2.2. Read the output.txt file of the ANSYS<sup>®</sup> program and compare the estimated values with reference values in order to build the objective function  $f_d$  and constraints, defined by condition (30), used for the optimization process;

2.3. Stop the calculation process if an optimal value has been achieved, or go to the step 2.4;

2.4. Obtain the new design parameters  $\hat{\mathbf{v}}_{q+1}$  defined by the optimization algorithm, through MATLAB<sup>®</sup>;

2.5. Modify the Finite Element model in the input.txt file with the new parameters  $\hat{\mathbf{v}}_{q+1}$ ;

2.6. Start a new analysis by going to Step 2.1 with the new input.txt file.

The structural modification process uses in its optimizer the *GlobalSearch* solver, provided by the *Global Optimization Toolbox*, to search for the global optimal value of the objective functions  $f_s$  and  $f_d$ , and consequently of the multi-objective function  $F$ .



## **5 – Structural Applications**

In this section are presented the models used to demonstrate the effectiveness of the proposed algorithm. The first is a simple model and the second is a more complex model with industrial application.

### **5.1 – Model 1**

The example 1 intends to demonstrate a case in which the reference and the model to improve are uncorrelated. The models are uncorrelated due to the geometric differences, and this fact promotes uncorrelated mode shapes between them. Therefore, the traditional updating methods can not be applied. Furthermore, the natural frequencies between both models are also uncorrelated. To perform the updating with success, first it is necessary to make the structural modification, in order that both models are geometrically correlated, and consequently correlated in the mode shapes. Then, in this step the updating process can be applied.

The reference model 1 is a finite element model T-shape composed by beam elements (BEAM 3 available in ANSYS<sup>®</sup>), as presented in Figure 2a. The initial model to update is also finite element model square-shape composed by beam elements (BEAM 3) as presented in Figure 2b.

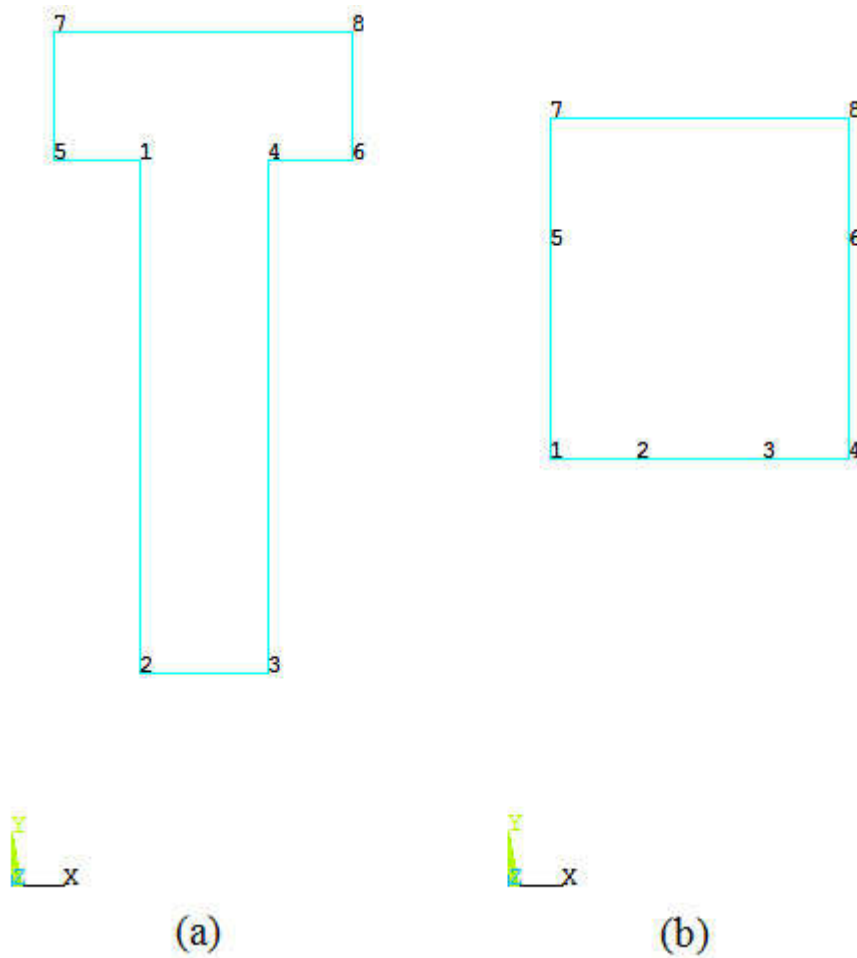


Figure 2 - (a) Reference model 1 and (b) respective initial numerical model to update.

The reference model is built using eight nodes, whose coordinates are presented in Table 1, and seven beam elements.

The beam element has three degrees of freedom at each node: translations in the nodal x and y directions and rotation about the nodal z-axis. The Young's modulus and Poisson ratio of the reference model are  $2.0 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$  and 0.28, respectively. The density is  $7800 \text{ kg/m}^3$ . The model is solved to extract the eigenvalues and eigenvectors in its eight nodes. These data are considered as reference or experimental measured data.

Table 1 – Node coordinates of the reference model.

Node Number	Coordinates	
	x (mm)	y (mm)
1	300	1700
2	300	500
3	600	500
4	600	1700
5	100	1700
6	800	1700
7	100	2000
8	800	2000

The model to update is modeled using eight nodes, whose coordinates are presented in Table 2, and seven beam elements. Ten coordinate components depending on six unknown variables  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $G$  and  $F$  are assumed to be unknown.

The Young's modulus, denoted as  $E$ , and Poisson ratio, denoted as  $\nu$ , of the model to update are  $1.0\text{e}+11$  N/m<sup>2</sup> and 0.25, respectively. The density, denoted as  $\rho$ , is 5000 kg/m<sup>3</sup>. We use the principle that the material characteristics of the reference model are unknown and initial values of the material characteristics of the model to optimize are chosen arbitrarily.

Table 2 – Node coordinates of the initial model to update.

Node Number	Coordinates	
	x (mm)	y (mm)
1	$A$	$B$
2	300	$C$
3	600	$C$
4	$D$	$B$
5	100	$F$
6	800	$F$
7	100	$G$
8	800	$G$

The initial model to modify is modeled with eight nodes in different coordinates relatively to the T-shape reference model. Consequently, the models differ in their geometric characteristics and the presence of uncorrelated mode shapes and, consequently, uncorrelated mode pairs, is a fact. The improvement using normal information of modal characteristics cannot be applied to update this model with success. Therefore, the model is submitted to update using the new structural modification routine described in section 4. In the first stage, the structural modification is performed in order to estimate correctly the vector  $\mathbf{u}$  containing the variables, presented in Table 3, related with node coordinate values that can be related with geometric characteristics such as volume, mass centroid and moments and product inertia.

Table 3 – Parameter vectors of the model 1 to update.

Vector	Variable	Units	Initial Value	Lower Bound	Upper Bound
<b>u</b>	<i>A</i>	mm	100	100	300
	<i>B</i>	mm	1000	1000	1700
	<i>C</i>	mm	1000	500	1000
	<i>D</i>	mm	800	600	800
	<i>F</i>	mm	1500	1500	1700
	<i>G</i>	mm	1800	1800	2000
	<b>v</b>	<i>E</i>	N/m <sup>2</sup>	1.0e+11	1.0e+11
$\rho$		kg/m <sup>3</sup>	5000	5000	8000
<i>v</i>		-	0.25	0.25	0.28

In the first stage, the objective function  $f_s(\mathbf{u})$  is used to compare the initial estimated numerical values with the reference values based on geometric characteristics. The objective function  $f_s(\mathbf{u})$ , described in section 3 is now defined by

$$f_s(\mathbf{u}) = f_{VOL}(\mathbf{u}) + f_C(\mathbf{u}) + f_I(\mathbf{u}), \quad (31)$$

where  $f_{VOL}$  represents the quantification of the difference between the numerical and the reference volume, respectively denoted as  $\hat{V}_q$  and  $V$ , the function  $f_C$  represents the quantification of the difference between the numerical and reference mass centroid, respectively denoted as  $\hat{C}_q$  and  $C$ , and the function  $f_I$  represents the quantification of the difference between the numerical and reference moments and product inertia about origin, respectively denoted as  $\hat{I}_q$  and  $I$ .

The function  $f_{VOL}$  is given by

$$f_{VOL}(\mathbf{u}) = \frac{\left( V - \hat{V}_q(\hat{\mathbf{u}}_q) \right)^2}{\left( V - \hat{V}_0(\hat{\mathbf{u}}_0) \right)^2}. \quad (32)$$

The function  $f_C$  is given by

$$f_C(\mathbf{u}) = \frac{\sum_{k=1}^{N_D} \left( C_k - \hat{C}_{k_q}(\hat{\mathbf{u}}_q) \right)^2}{\sum_{k=1}^{N_D} \left( C_k - \hat{C}_{k_q}(\hat{\mathbf{u}}_0) \right)^2}, \quad (33)$$

where  $N_D$  is the number of dimensions of the model. Three dimensions can be used, ‘x’, ‘y’ and ‘z’. For:  $k=1$  corresponds the dimension x;  $k=2$  corresponds the dimension y;  $k=3$  corresponds the dimension z.

The function  $f_I$  is given by

$$f_I(\mathbf{u}) = \frac{\sum_{m=1}^{N_R} \left( I_m - \hat{I}_{m_q} \left( \hat{\mathbf{u}}_q \right) \right)^2}{\sum_{m=1}^{N_R} \left( I_m - \hat{I}_{m_0} \left( \hat{\mathbf{u}}_0 \right) \right)^2} + \frac{\sum_{n=1}^{N_P} \left( I_n - \hat{I}_{n_q} \left( \hat{\mathbf{u}}_q \right) \right)^2}{\sum_{n=1}^{N_P} \left( I_n - \hat{I}_{n_0} \left( \hat{\mathbf{u}}_0 \right) \right)^2}, \quad (34)$$

where  $N_R$  is the number of axes. Three axes can be used, ‘x’, ‘y’ and ‘z’. For:  $m=1$  corresponds to the axis ‘x’;  $m=2$  corresponds to the axis ‘y’ and  $m=3$  corresponds to the axis ‘z’.  $N_P$  is the number of rotation planes. Three rotation planes can be used,  $n=1$  corresponds to the rotation plane ‘xy’;  $n=2$  corresponds to the rotation plane ‘xz’ and  $n=3$  corresponds to the rotation plane ‘yz’.

The estimated numerical geometric characteristics  $\hat{V}_q$ ,  $\hat{C}_q$ , and  $\hat{I}_q$  are functions of the variables of the vector  $\mathbf{u}$  presented in Table 3. Then Eq. (21) can be re-written to describe the relationship between them as

$$\left( \hat{V}_q, \hat{C}_q, \hat{I}_q \right) = f \left( \hat{A}_q, \hat{B}_q, \hat{C}_q, \hat{D}_q, \hat{F}_q, \hat{G}_q \right), \quad (35)$$

where  $\hat{A}_q, \dots, \hat{G}_q$  denote the numerical values corresponding to the variables presented in Table 3.

After the first stage is accomplished, the second stage is performed using modal characteristics information in order to estimate correctly the vector  $\mathbf{v}$  corresponding to the material parameters Young’s modulus, Poisson Ratio and density value, as presented in Table 3. The relationship between them can be obtained re-writing, respectively, Eqs. (27) and (28) as

$$\hat{\Phi}_{i_q} = f \left( \hat{E}_q, \hat{\nu}_q, \hat{\rho}_q \right) \quad (36)$$

and

$$\hat{\lambda}_{i_q} = f\left(\hat{E}_q, \hat{\nu}_q, \hat{\rho}_q\right), \quad (37)$$

where  $\hat{E}_q$  denotes the estimated numerical Young's Modulus,  $\hat{\nu}_q$  stands for the estimated numerical Poisson ratio and  $\hat{\rho}_q$  is the estimated numerical density.

The objective function  $f_d(\mathbf{v})$  (Eq. 22) is used to compare the initial estimated numerical values with the reference values based on modal characteristics.

All variables to update in stage 1 and stage 2 are subject to lower and upper bounds inequality constraints whose values are shown in Table 3.

## 5.2 – Model 2

The second numerical model to improve is a chassis of an off-road rally car, modeled with beam elements, as presented, in Figure 3.

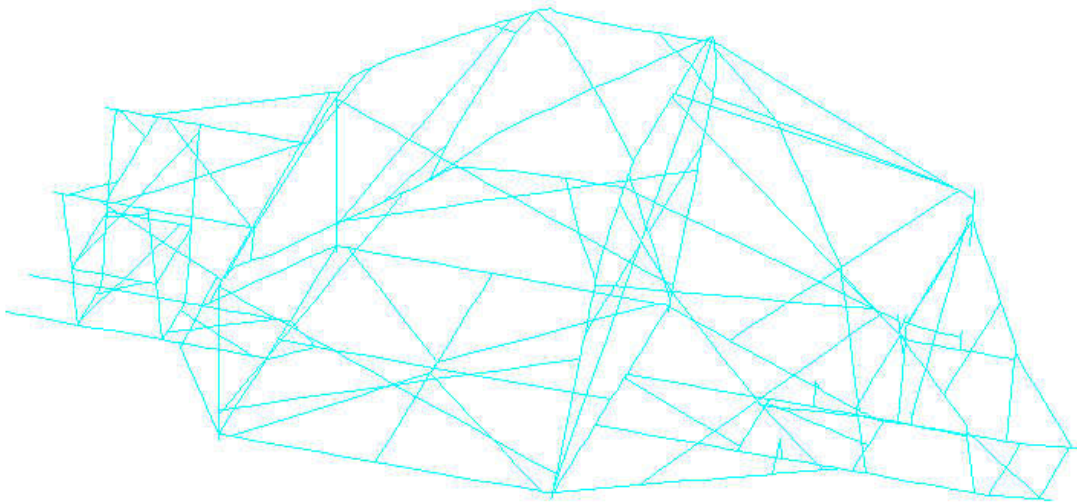


Figure 3 - Model 2 based on chassis of an off-road rally car.

The chassis is modeled with 342 elements BEAM 188, available in ANSYS<sup>®</sup>, and 241 nodes. BEAM188 has six degrees of freedom at each node: translations in the 'x', 'y', and 'z' directions and rotations in the planes 'xy', 'yz', and 'xz'. The beam element has also associated a circular hollow section.

The Young's modulus  $E$  and Poisson ratio  $\nu$  are  $2.02\text{e}+11$  N/m<sup>2</sup> and 0.30, respectively. The density  $\rho$  is 7898 kg/m<sup>3</sup>.

Of the 241 nodes, 66 nodes in the front and 104 nodes in the rear of the chassis are used in the structural modification in the first updating stage. The nodes selected for structural modification were chosen taking into account the restrictions imposed by the project. The not selected nodes are those that the project does not allow to change. Each node is defined by a three-dimensional coordinate (x, y and z), such that, in the total are used 510 variables related with nodes used in the structural modification. Furthermore, some beam elements are subjected to change in their section characteristics, such as external radius and thickness. The chassis is composed by five types of sections as presented in Table 4, and 400 variables related with the section characteristics are used in the structural modification. The sections selected for structural modification were chosen taking into account the restrictions imposed by the project. The not selected sections are those that the project does not allow to change.

Table 4 – Section characteristics used in the chassis.

Type	Quantity	Quantity subject to change	External Radius (mm)	Thickness (mm)	Quantity of Variables
1	84	16	25	2	32
2	214	152	20	2	304
3	24	18	20	1.5	36
4	14	9	17.5	2	18
5	6	5	17.5	1.5	10

In the total are used 910 variables to perform the structural modification in the first stage.

In the first stage the structural modification is performed in order to estimate correctly the vector  $\mathbf{u}$ , containing the 910 variables, that correspond to minimize the mass, minimize the maximum displacements in the ‘y’ and ‘z’ directions, and minimize the maximum rotation in the plane ‘yz’ of the chassis. The objective function  $f_s(\mathbf{u})$  is used to compare the initial estimated numerical values with the reference values and is now defined by

$$f_s(\mathbf{u}) = f_M(\mathbf{u}) + f_{DY}(\mathbf{u}) + f_{DZ+}(\mathbf{u}) + f_{DZ-}(\mathbf{u}) + f_\gamma(\mathbf{u}), \quad (38)$$

where  $f_M$  represents the quantification of the difference between numerical and the reference mass, respectively denoted by  $\hat{M}_q$  and  $M$ , the function  $f_{DY}$  represents the quantification of the difference between the numerical and the reference displacement in

the y direction, respectively denoted by  $\hat{DY}_q$  and  $DY$ , the function  $f_{DZ+}$  represents the quantification of the difference between the numerical and the reference displacement in the positive z direction, respectively denoted by  $\hat{DZ}_{+q}$  and  $DZ+$ , the function  $f_{DZ-}$  represents the quantification of the difference between the numerical and the reference displacement in the negative z direction, respectively denoted by  $\hat{DZ}_{-q}$  and  $DZ-$ , and the function  $f_\gamma$  represents the quantification of the difference between the numerical and the reference rotation plane in the ‘yz’, respectively denoted by  $\hat{D\gamma}_q$  and  $D\gamma$ .

The functions  $f_M$ ,  $f_{DY}$ ,  $f_{DZ+}$ ,  $f_{DZ-}$  and  $f_\gamma$  are defined as follows

$$f_M(\mathbf{u}) = \frac{\left( M - \hat{M}_q \left( \hat{\mathbf{u}}_q \right) \right)^2}{\left( M - \hat{M}_0 \left( \hat{\mathbf{u}}_0 \right) \right)^2}, \quad (39)$$

$$f_{DY}(\mathbf{u}) = \frac{\left( DY - \hat{DY}_q \left( \hat{\mathbf{u}}_q \right) \right)^2}{\left( DY - \hat{DY}_0 \left( \hat{\mathbf{u}}_0 \right) \right)^2}, \quad (40)$$

$$f_{DZ+}(\mathbf{u}) = \frac{\left( (DZ+) - \left( \hat{DZ}_{+q} \left( \hat{\mathbf{u}}_q \right) \right) \right)^2}{\left( (DZ+) - \left( \hat{DZ}_{+0} \left( \hat{\mathbf{u}}_0 \right) \right) \right)^2}, \quad (41)$$

$$f_{DZ-}(\mathbf{u}) = \frac{\left( (DZ-) - \left( \hat{DZ}_{-q} \left( \hat{\mathbf{u}}_q \right) \right) \right)^2}{\left( (DZ-) - \left( \hat{DZ}_{-0} \left( \hat{\mathbf{u}}_0 \right) \right) \right)^2}, \quad (42)$$

$$f_\gamma(\mathbf{u}) = \frac{\left( D\gamma - \hat{D\gamma}_q \left( \hat{\mathbf{u}}_q \right) \right)^2}{\left( D\gamma - \hat{D\gamma}_0 \left( \hat{\mathbf{u}}_0 \right) \right)^2}, \quad (43)$$



where  $\hat{\mathbf{u}}_0$  is the vector containing the first stage initial parameters and  $\hat{\mathbf{u}}_q$  stands for the vector containing the updated parameters at iteration  $q$ , with  $q \geq 0$ .

The estimated  $\hat{M}_q$ ,  $\hat{DY}_q$ ,  $\hat{DZ}_{+q}$ ,  $\hat{DZ}_{-q}$  and  $\hat{D\gamma}_q$ , are functions of the 910 variables of vector  $\mathbf{u}$ . Then Eq. (21) can be re-written enabling the description of the relationship between the estimated values and variables as

$$\left( \hat{M}_q, \hat{DY}_q, \hat{DZ}_{+q}, \hat{DZ}_{-q}, \hat{D\gamma}_q \right) = f \left( \hat{A1}_q, \dots, \hat{A910}_q \right), \quad (44)$$

where  $\hat{A1}_q, \dots, \hat{A910}_q$  denote the variables of vector  $\hat{\mathbf{u}}_q$ .

After the first stage is accomplished, the second stage is performed using modal characteristics information in order to estimate the optimum vector  $\mathbf{v}$  corresponding to the Young's modulus  $E$ . The relationship between these quantities can be obtained re-writing, respectively, Eqs. (27) and (28) as

$$\hat{\Phi}_{i_q} = f \left( \hat{E}_q \right) \quad (45)$$

and

$$\hat{\lambda}_{i_q} = f \left( \hat{E}_q \right). \quad (46)$$

The objective function  $f_d(\mathbf{v})$  (Eq. (22)) is used to compare the initial estimated numerical values with the reference values based on modal characteristics.

All variables to update in stage 1 and stage 2 are subject to lower and upper bounds inequality constraints, as presented in Table 5. The variables related with nodes can vary between -200 mm or +200 mm from the initial value  $g_n, n = 1, \dots, 510$ . The external radius can vary between 6 and 25 mm for the variables  $A511$  to  $A710$ , and thickness can vary between 1.5 and 2.5 mm from the variables  $A711$  to  $A910$  (see Table 5).

Table 5 – Parameters vectors of the model 2 to update.

Vector	Section Characteristic	Type of Section	Variable	Units	Initial Value	Lower Bound	Upper Bound	
<b>u</b>	-	-	$A1$		$g_1$	$g_1 - 200$	$g_1 + 200$	
			...	mm	...	...	...	
			$A510$		$g_{510}$	$g_{510} - 200$	$g_{510} + 200$	
		External Radius	1	$A511$	mm	25	6	25
			2	...				
			2	$A527$	mm	20	6	25
			3	...				
			3	$A679$	mm	20	6	25
			4	...				
			4	$A697$	mm	17.5	6	25
			5	...				
			5	$A706$	mm	17.5	6	25
				...				
				$A710$				
		Thickness	1	$A711$	mm	2	1.5	2.5
		2	...					
		2	$A727$	mm	2	1.5	2.5	
		3	...					
		3	$A879$	mm	1.5	1.5	2.5	
		4	...					
		4	$A897$	mm	2	1.5	2.5	
		5	...					
		5	$A906$	mm	1.5	1.5	2.5	
			...					
			$A910$					
<b>v</b>	-	-	$E$	N/m <sup>2</sup>	2.02e+11	2.02e+11	2.2e+11	

The columns two and three of Table 5, are respectively related with the section characteristics and type of sections used in the chassis, as presented in Table 4.

The reference values are imposed to be zero (the minimum possible) and the numerical values of the the mass, of the maximum displacements in the ‘y’ and ‘z’ directions, and of the maximum rotation in the plane ‘yz’ are calculated and obtained from the respective DOF by the Finite Element software ANSYS®.

## 6 – Structural Modification Results

In this section the results are presented. First, the solutions obtained in the first stage and then the solutions obtained in the second stage, are shown for both models (Model 1 and Model 2).

## 6.1 – Results for Model 1

In this sub-section are presented the results for model 1.

### 6.1.1 – First Stage Results

In the first stage the initial numerical model (square-shape) is updated using geometric characteristics information. The variables  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $F$  and  $G$  start from initial values, presented in Table 3, and are updated until approaching the reference values presented in Table 1.

Table 6 contains the first eight natural reference frequencies, as well as the first eight numerical initial frequencies. For comparison is presented the difference in natural frequencies before and after applying the first stage. Also the initial and final MAC values are presented.

Table 6 – Modal characteristics evolution during first stage for model 1.

Mode	Ref. Freq. (Hz)	Initial Num. Freq. (Hz)	Difference before 1 <sup>st</sup> Stage (%)	Initial MAC	Final Num. Freq. (Hz)	Difference after 1 <sup>st</sup> Stage (%)	Final MAC
1	271.3	357.5	31.8	0	239.6	11.7	1
2	297.7	590.3	98.3	0	262.9	11.7	1
3	353.3	1110.9	214.4	0	312.0	11.7	1
4	709.3	1194.7	68.4	0	626.4	11.7	1
5	1006.0	1488.4	48.0	0	888.5	11.7	1
6	1214.6	2025.6	66.8	0	1072.7	11.7	1
7	1892.3	2131.1	12.6	0	1671.2	11.7	1
8	2021.0	2638.3	30.5	0	1784.9	11.7	1

Observing Table 6, it becomes evident that the initial numerical model is not correlated with the reference model. The initial MAC values indicate a bad correlation (all MAC values are equal to zero, as shown in column 5) and no one mode shape can be used to form a pair. With these conditions, structural modification cannot be performed with success using modal information.

After applying the new methodology, it turns out that there are no uncorrelated mode shapes (the final MAC values are equal to 1, as shown in column 8 of Table 6). In this stage, the geometric characteristics are equal in both models, as presented in Table 7.

Table 7 – Geometric characteristics evolution during first stage for model 1.

Geometric Characteristic Notation	Units	Reference Value	Numerical Initial Value	Difference before 1 <sup>st</sup> Stage (%)	Numerical Final Value	Difference after 1 <sup>st</sup> Stage (%)
$V$	$m^3$	0.14	0.09	35.7	0.14	0
$C_x$		0.45	0.45	0	0.45	0
$C_y$	$m$	1.36	1.40	2.9	1.36	0
$C_z$		0	0	0	0	0
$I_x$		9.28	6.19	33.3	9.28	0
$I_y$		1.08	0.86	20.4	1.08	0
$I_z$	$m^4$	10.36	7.05	31.9	10.36	0
$I_{xy}$		-2.69	-1.89	29.7	-2.69	0
$I_{xz}$		0	0	0	0	0
$I_{yz}$		0	0	0	0	0

The notation  $C_x$ ,  $C_y$  and  $C_z$ , indicates the mass centroid characteristic in the ‘x’, ‘y’ and ‘z’ directions. The notation  $I_x$ ,  $I_y$  and  $I_z$ , indicates the inertia moment characteristic in the ‘x’, ‘y’ and ‘z’ directions. The notation  $I_{xy}$ ,  $I_{xz}$  and  $I_{yz}$ , indicates the inertia product moment characteristic in the ‘xy’, ‘xz’ and ‘yz’ rotation planes.

The updated values for vector  $\mathbf{u}$  are correctly estimated, as presented in Table 8, and the objective function  $f_s(\mathbf{u})$  is minimized to zero. This means that the optimization process made a correctly approximation to the reference model.

Table 8 – Values of vector  $\mathbf{u}$  after first stage for model 1.

Vector	Variable	Unit	Updated Value	Reference Value
$\mathbf{u}$	$A$	mm	300	300
	$B$	mm	1700	1700
	$C$	mm	500	500
	$D$	mm	600	600
	$F$	mm	1700	1700
	$G$	mm	2000	2000

The difference between the numerical and the reference natural frequencies is reduced after the first stage (see column 7 of Table 6). Nevertheless, it cannot be considered that both models have the mode pairs correlated, because natural frequencies are not correlated. In order to achieve the correlation in the natural frequencies between both models, the second stage is applied.

### 6.1.2 – Second Stage Results

In the second stage, the numerical model is updated based on its mechanical properties, and using modal characteristics information. The variables Young's Modulus  $E$ , Density  $\rho$  and Poisson Ratio  $\nu$  start from initial values, presented in Table 3, and are updated until achieving the reference values, as described in section 5.1.

In Table 9, the modal characteristics evolution during the second stage is presented. The difference in natural frequencies after the second stage is 0% and now both models have the same modal characteristics and are totally correlated.

Table 9 – Dynamic behavior evolution during the second stage for model 2.

Mode	Ref. Freq. (Hz)	Initial Num. Freq. (Hz)	Difference before 2 <sup>nd</sup> Stage (%)	Initial MAC	Final Num. Freq. (Hz)	Difference after 2 <sup>nd</sup> Stage (%)	Final MAC
1	271.3	239.6	11.7	1	271.3	0	1
2	297.7	262.9	11.7	1	297.7	0	1
3	353.3	312.0	11.7	1	353.3	0	1
4	709.3	626.4	11.7	1	709.3	0	1
5	1006.0	888.5	11.7	1	1006.0	0	1
6	1214.6	1072.7	11.7	1	1214.6	0	1
7	1892.3	1671.2	11.7	1	1892.3	0	1
8	2021.0	1784.9	11.7	1	2021.0	0	1

The updated values for vector  $\mathbf{v}$  are correctly estimated, as presented in Table 10. This means that the process made a correct approximation to the reference model.

Table 10 – Values of vector  $\mathbf{v}$  after the second stage for model 1.

Vector	Variable	Unit	Update Value	Reference Value
$\mathbf{v}$	$E$	N/m <sup>2</sup>	2.0e+11	2.0e+11
	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	7800	7800
	$\nu$	-	0.28	0.28

## 6.2 – Results for Model 2

In this sub-section are presented the results for model 2.

### 6.2.1 – First Stage Results

In the first stage the initial numerical model is submitted to structural modification using the information about the mass, the displacement in the y and z directions, and the rotation in the plane 'yz'. The variables  $A1$  to  $A910$  start from initial values, presented in Table 5, and are optimized until minimizing the objective function  $f_s(\mathbf{u})$  presented in Eq. (38).

Table 11 –Evolution during first stage for model 2.

Characteristic Symbol	Units	Reference Value	Numerical Initial Value	Numerical Final Value	Improvement (%)
$M$	kg	0	157.8	143.4	9.1
$DY$	mm	0	0.038	0.033	13.2
$DZ+$	mm	0	0.049	0.050	-2
$DZ-$	mm	0	0.001	0.001	0
$D\gamma$	rad	0	0.003	0.003	0

After applying the new methodology, it is demonstrated (see Table 11) that the chassis suffered some improvements reducing the mass and maximum displacement in the y direction, although a slight worsening in the positive z direction. The maximum rotation in the plane ‘yz’, as well as the displacement in the negative z direction did not suffer any change. The modified chassis is presented in Figure 4.

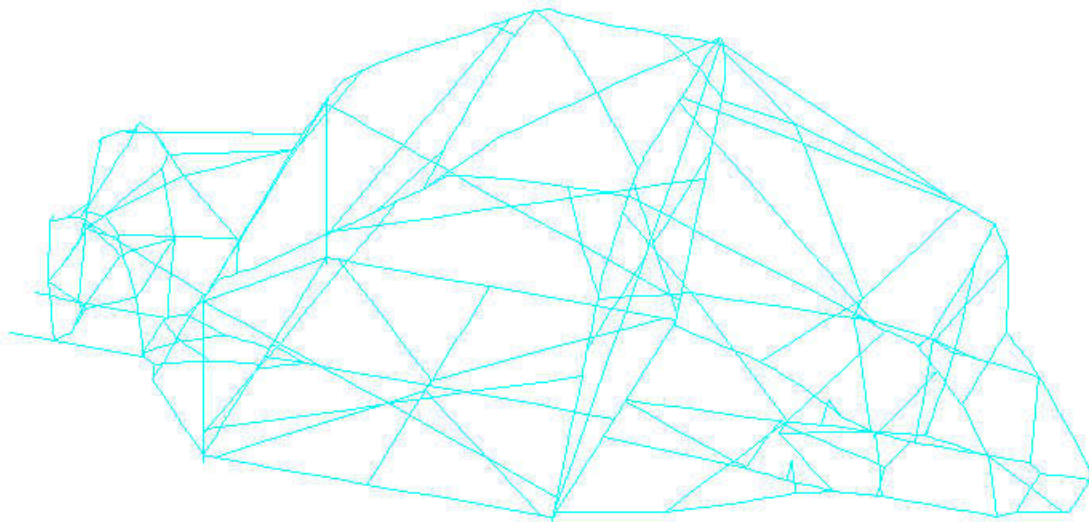


Figure 4 - Model 2 modified after the first stage is applied.

In Table 12 are presented the first four initial and final numerical natural frequencies. The initial numerical frequencies are related with the initial chassis, and the final numerical frequencies are related with the modified chassis. For comparison, the percentage differences in the natural frequencies after applying the first stage are presented. Also the MAC values are presented.

Table 12 – Modal characteristics evolution during first stage for model 2.

Mode	Initial Num. Freq. (Hz)	Final Num. Freq. (Hz)	Difference after 1 <sup>st</sup> Stage (%)	MAC
1	70.2	68.3	2.7	1
2	76.7	79.6	3.8	0.98
3	92.9	89.8	3.3	0.95
4	97.6	92.9	4.8	0.82

Observing Table 12, it becomes evident that the four mode shapes are well correlated after the first stage is applied. However, after the first stage is accomplished one can verify a worsening in the natural frequencies. The percentage average difference in natural frequencies after the second stage is 3.65%. In order to minimize this difference and to approach the dynamic behavior to the initial chassis, the second stage is applied.

### 6.2.2 – Second Stage Results

In the second stage, the numerical model is updated based on the Young's Modulus  $E$ . The variable starts from the initial value, presented in Table 5, and is updated until minimizing the difference between the first four natural frequencies of the modified chassis in the first stage and the initial chassis.

In Table 13, the modal characteristics evolution during the second stage is presented. In column 2 of the Table 13 are presented the reference frequencies related with the initial chassis. In column 3 are presented the initial numerical frequencies related with the modified chassis in the first stage. The percentage average difference in natural frequencies after the second stage is now 1.83%, which corresponds to an improvement of 55% relatively to the difference obtained in the first stage. The final MAC value did not suffer any change relatively to the initial MAC.

Table 13– Modal characteristics evolution during second stage for model 2.

Mode	Ref. Freq. (Hz)	Initial Num. Freq. (Hz)	Difference before 2 <sup>nd</sup> Stage (%)	Initial MAC	Final Num. Freq. (Hz)	Difference after 2 <sup>nd</sup> Stage (%)	Final MAC
1	70.2	68.3	2.7	1	70.2	0	1
2	76.7	79.6	3.8	0.98	81.9	6.8	0.98
3	92.9	89.8	3.3	0.95	92.4	0.5	0.95
4	97.6	92.9	4.8	0.82	95.6	0	0.82

The updated value for vector  $\mathbf{v}$  containing the Young's Modulus is estimated to be  $2.14e+11 \text{ N/m}^2$ .

Despite the Young's Modulus affects the static behavior optimized in the first stage, the estimated value affects positively the maximum values of displacements and rotations, since the rigidity of the chassis is increased.

## 7 – Conclusions

In this paper, a sequential two stage methodology to modify and update structural models is proposed. This methodology is supported by a multi-objective function, developed to quantify the correlation between numerical and reference model. The

proposed method has the advantage of accepting models with correlated and uncorrelated mode pairs. In the first stage the numerical model is updated using geometric characteristics or static behavior information, and in the second stage the numerical model is updated using modal information.

In the first example, it is shown that the proposed methodology is able to deal with uncorrelated mode pairs, where the model to update differs geometrically in a significant way from the reference model. It is shown that after the first stage is applied, the numerical model has all mode shapes correlated, and consequently the second stage can be applied using modal information with success.

Furthermore the robustness of the algorithm is demonstrated with the application of a case with a large number of variables. The methodology is applied, with success, to the improvement of the static and dynamic behavior of an off-road rally car chassis, using 911 variables to modify.

### **Acknowledgements**

The authors gratefully acknowledge the Centre for Mechanical and Materials Technologies (CT2M), and the motorsports company DEpieres Desportos Motorizados Lda. IB thanks the Centre of Mathematics (CMAT) for support through the Portuguese Funds from the “Fundação para a Ciência e a Tecnologia”, within the Project PEstOE/MAT/UI0013/2014.

### **References**

- [1] J. E. Mottershead, M. I. Friswell, Model updating in structural dynamics: A survey. *Journal of Sound and Vibrations* 167 (1993) 347-375.
- [2] N. Maia, J. Montalvão e Silva, *Theoretical and Experimental Modal Analysis*. Hertfordshire: Research Studies Press Ltd (1997).
- [3] J. Meireles, *Análise Dinâmica de Estruturas por Modelos de Elementos Finitos Identificados Experimentalmente*, Ph.D. thesis in Mechanical Engineering, University of Minho (2007).



- [4] S. Zivanovic, A. Pavic, P. Reynolds, Finite Element modelling and updating of a lively footbridge: The complete process, *Journal of Sound and Vibration* 301 (2007) 126-145.
- [5] S. V. Modak, Model Updating Using Uncorrelated Modes, *Journal of Sound and Vibration* 333 (2014) 2297-2322.
- [6] J. He, Identification of Structural Dynamics Characteristics, Ph.D. Thesis, Imperial College of Science, Technology and Medicine, University of London (1987).
- [7] R. M. Lin, Identification of the Dynamic Characteristics of Non-linear Structures, Ph.D. Thesis, Imperial College of Science, Technology and Medicine, University of London (1991).
- [8] A. M. Kabe, Stiffness Matrix Adjustment using Model Data, *AIAA Journal* 23(9) (1987) 1431-1436.
- [9] S. W. Smith, C. A. Beattie, Secant-Method Adjustment for Structural Models, *AIAA Journal* 29(1) (1991) 119-126.
- [10] J. Carvalho, N. B. Datta, A. Gupta A, M. Lagadapati, A direct method for model updating with incomplete measured data and without spurious modes *Mechanical Systems and Signal Processing* 21 (2007) 2715–2731.
- [11] J. D. Collins, C. G. Hart, T. K. Hasselman, B. Kennedy, Statistical identification of structures, *AIAA Journal* 12 (1974) 185-190.
- [12] C. P. Fritzen, Identification of mass, damping and stiffness matrices of mechanical systems, *ASME Journal of Vibration, Acoustics Stress and Reliability in Design* 108 (1986) 9-17.
- [13] E. M. Hernandez, D. Bernal, Iterative Finite Element model updating in the time domain, *Mechanical Systems and Signal Processing* 34(1-2) (2013) 39-46.

- [14] J. R. Wu, Q. S. Li, Finite Element model updating for a high-rise structure based on ambient vibration measurements, *Engineering Structures* 26 (2004) 979–990.
- [15] J. K. Sinha, A. R. Rao, R. K. Sinha, Realistic seismic qualification using the updated Finite Element model for in-core components of reactors, *Nuclear Engineering and Design* 236 (2006) 232-237.
- [16] B. Jaishi, H. J. Kim, M. K. Kim, W. X. Ren, H. S. Lee, Finite Element model updating of concrete-filled steel tubular arch bridge under operational condition using modal flexibility, *Mechanical Systems and Signal Processing* 21 (2007) 2406-2426.
- [17] H. Schlune, M. Plos, K. Gylltoft, Improved bridge evaluation through Finite Element model updating using static and dynamic measurements, *Engineering Structures* 31 (2009) 1477-1485.
- [18] M. I. Friswell, J. E. Mottershead, *Finite Element Model Updating in Structural Dynamics*, Swansea, Kluwer Academic Publishers (1995).
- [19] H. Liu, Y. Yuan, New model updating method for damped structural systems, *Computers and Mathematics with Applications* 57 (2008) 685-690.
- [20] Y. Yuan, A symmetric inverse eigenvalue problem in structural dynamic model updating, *Applied Mathematics and Computation* 213 (2009) 516-521.
- [21] V. Arora, S. P. Singh, T. K. Kundra, Damped FE model updating using complex updating parameters: Its use for dynamic design, *Journal of Sound and Vibration* 324 (2009) 350-364.
- [22] R. Levin, N. Lieven, Dynamic Finite Element Model Updating Using Simulated Annealing and Genetic Algorithms, *Mechanical System Signal Processing Journal* 12 (1998) 91–120.

- [23] A. Teughels, G. De Roeck, J. A. K. Suykens, Global Optimization by coupled local minimizers and its application to FE model updating, *Composite Structures* 81 (2003) 2337-2351.
- [24] P. G. Bakir, E. Reynders, G. De Roeck, An improved Finite Element model updating method by the global optimization technique 'Coupled Local Minimizers', *Composite Structures* 86 (2008) 1339-1352.
- [25] E. Ameri, M. M. Aghdam, M. Shakeri, Global optimization of laminated cylindrical panels based on fundamental natural frequency, *Composite Structures* 94 (2012) 2697-2705.
- [26] MathWorks, Global Optimization Toolbox: User's Guide R2011b. Massachusetts: The MathWorks Inc (2011).
- [27] M. Dourado, J. Meireles, A. M. A. C. Rocha, A Global Optimization Approach Applied to Structural Dynamic Updating, *Lecture Notes in Computer Science* 8580 (2014) 195-210.
- [28] R. J. Allemang, D. L. Brown, A Correlation Coefficient for Modal Vector Analysis. In *Proceedings of the 1st International Modal Analysis Conference*, Florida (1982).

**ANEXO XXVI**  
**SEQUÊNCIA DE SOLDADURA**



As Tabelas 26.1 e 26.2 representam a sequência de soldadura definida para o modelo virtual chassis novo real.

Tabela 26.1: Primeira parte da sequência de soldadura.

Ordem	Valores	Nó	Nó	Ordem	Valores	Nó	Nó
1	89.712	81	163	23	30.567	2	84
2	88.909	78	160	24	28.735	10	92
3	85.337	65	147	25	28.224	13	95
4	80.060		178	26	28.224		177
5	75.791	66	148	27	27.981	9	91
6	71.322		176	28	26.916	14	96
7	67.360	80	162	29	25.578	15	97
8	59.281	73	155	30	25.385	44	126
9	53.470	67	149	31	24.618	51	133
10	51.265	7	89	32	24.250	62	144
11	51.265		171	33	24.225	16	98
12	49.252	71	153	34	23.720	59	141
13	48.816	43	125	35	23.322	74	156
14	46.435	79	161	36	22.621		166
15	45.344	72	154	37	21.761	1	83
16	44.441	64	146	38	21.654	3	85
17	41.425	58	140	39	21.295		165
18	40.537	63	145	40	20.989		167
19	34.425	77	159	41	20.481		175
20	34.130	61	143	42	20.196	42	124
21	33.344	12	94	43	19.960	75	157
22	32.592	69	151	44	19.154		174

Tabela 26.2: Segunda parte da sequência de soldadura.

Ordem	Valores	Nó	Nó	Ordem	Valores	Nó	Nó
45	19.028	82	164	75	8.239	33	115
46	18.881		173	76	8.211	38	120
47	18.725	76	158	77	7.671	37	119
48	18.151	70	152	78	7.528	19	101
49	17.433	68	150	79	7.469	26	108
50	17.341	17	99	80	7.389	40	122
51	16.734	5	87	81	6.515	24	106
52	16.734		169	82	6.515	25	107
53	16.650	11	93	83	6.292	32	114
54	15.144	6	88	84	6.036	28	110
55	14.305		172	85	5.968	55	137
56	14.122		170	86	5.845	39	121
57	13.675	21	103	87	5.759	29	111
58	13.303	52	134	88	5.292	56	138
59	12.853	60	142	89	5.137	41	123
60	12.443	27	109	90	5.050	45	127
61	12.426	18	100	91	4.856	49	131
62	12.000	53	135	92	4.070	34	116
63	11.946	23	105	93	3.803	30	112
64	11.796	8	90	94	3.498	22	104
65	11.575	4	86	95	1.903	50	132
66	11.532	48	130	96	1.823	35	117
67	11.311	36	118				
68	11.097		168				
69	10.772	54	136				
70	10.364	20	102				
71	9.782	46	128				
72	9.441	47	129				
73	9.100	57	139				
74	8.599	31	113				

**ANEXO XXVII**  
**CÁLCULO DE ESFORÇOS EM CURVA CORRIGIDO (CECC)**





## Transferência de carga entre as rodas do veículo

A Tabela 27.1 apresenta as variáveis do modelo (CECc) necessárias definir para se obterem os valores na simulação numérica.

Tabela 27.1: *Inputs* do método CECc.

Variáveis
$G'$
$Alo$
$\mu d$
<i>Número de Pilotos</i>
<i>Massa média de um piloto kg</i>
$Mtotal$ kg
$tf$ m
$lpf$ m
$tt$ m
$lpt$ m
$l$ m
$a$ m
$b$ m
$h$ m
$ef$ m
$et$ m
$df$ m
$dt$ m

O peso do veículo com os pilotos é definido através da Equação 13.1

$$Mtotal = Mf + Mt + (\text{número de pilotos} * \text{massa média de um piloto})$$

Equação 13.1

$G'$  é uma variável adimensional que representa a aceleração centrífuga ( $AC$ ) do veículo sentida durante uma curva em relação à aceleração gravítica ( $g$ ).  $G'$  pode ter um valor positivo (indica que veículo está a efetuar uma curva à direita) ou um valor negativo (indica que veículo está a efetuar uma curva à esquerda).

$$AC = G' * g$$

Equação 13.2

A Figura 13.1 mostra duas vigas infinitamente rígidas num formato em T, onde a viga horizontal representa a largura da via desse eixo (distância entre o centro dos pneus do mesmo eixo, ou seja,  $e' + d'$ ), e a viga vertical liga a viga horizontal aos esforços atuantes no centro de gravidade do veículo ( $CG$ ). Na Figura 62,  $Mtotal'$  é o peso do veículo no eixo em análise ( $Mtotalf$  é a massa do veículo no eixo frontal e  $Mtotalt$  é a massa do veículo no eixo traseiro), e  $h$  é altura do centro de gravidade do veículo em relação ao solo. Os apoios da viga horizontal da Figura 62 encontram-se nos centros das pegadas dos pneus do eixo correspondente e cada um tem apenas dois graus de liberdade restringidos (verticalmente e lateralmente). Isto porque a pegada de um pneu suporta apenas os esforços verticais impostos pelo chassis e a força centrífuga imposta no veículo.  $'ez$  e  $'dz$  são as reações horizontais de cada pneu que são definidas no apoio ( $Fez$  e  $Fdz$  são as reações de um eixo frontal e  $Tez$  e  $Tdz$  são as reações de um eixo traseiro),  $'ey$  e  $'dy$  são as reações verticais de cada pneu ( $Fey$  e  $Fdy$  são as reações de um eixo frontal e  $Tey$  e  $Tdy$  são as reações de um eixo traseiro). Os valores de  $'ez$  e  $'dz$  estão ligados aos valores de  $'ey$  e  $'dy$ , porque a força lateral de um pneu é proporcional à carga vertical aplicada (estes valores variam para cada marca e modelo de pneus) e o somatório das forças laterais dos quatro pneus do veículo tem de ser equivalente ao valor de aceleração centrífuga (72).

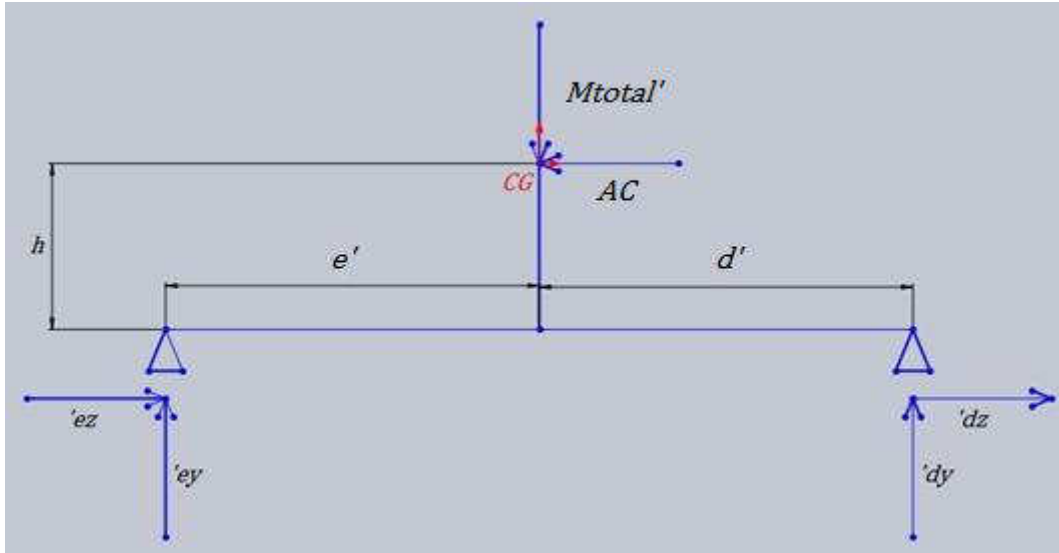


Figura 13.1: Mecanismo de transferência de carga lateral de um veículo.

$$Mtotalt = Mtotal * \frac{a}{l} \quad \text{Equação 13.3}$$

$$Mtotalf = Mtotal - Mtotalt \quad \text{Equação 13.4}$$

A variável  $MAC'$  ( $MACf$  para o eixo frontal e  $MACt$  para o eixo traseiro) é o esforço do peso de um determinado eixo do veículo (Equação 14.5).

$$MAC' = Mtotal' * AC \quad \text{Equação 13.5}$$

A formulação do mecanismo de transferência de carga lateral de um veículo da Figura 13.1 resulta num sistema hiperestático de grau 1. As cargas laterais dos pneus são calculadas através das Equações 14.6, assume-se que  $F_{ez} = Fdz$  e  $T_{ez} = Tdz$ .

$$\sum Fz = 0 \quad (=) 'ez + 'dz - MAC' = 0 \quad (=)$$

$$(=) MAC' = F_{ez} + Fdz$$

Equações 13.6

$$(=) MAC' = T_{ez} + Tdz$$

Através de duas equações de equilíbrio estáticas, (Equação 13.7) e (Equação 13.8), é possível determinar os valores de carga vertical em cada pneu do eixo em análise.

$$\sum M_E = 0 \quad (=) MAC' * e' - MAC' * h - 'dy * (e' + d') = 0 \quad (=)$$

$$(=) Fdy = \frac{MACf * ef - MACf * h}{ef + df}$$

Equação 13.7

$$(=) Tdy = \frac{MACt * et - MACt * h}{et + dt}$$

$$\sum Fy = 0 \quad (=) 'ey + 'dy - Mtotal' * 9.81 = 0 \quad (=)$$

$$(=) Fey = Mtotal' * 9.81 - Fdy$$

Equação 13.8

$$(=) Tey = Mtotal' * 9.81 - Tdy$$

Assim, é possível estimar o comportamento do veículo em curva através do cálculo de um hipotético coeficiente de atrito dinâmico para cada roda (Equações 13.9 e 13.10).  $\mu d'ec$  é o atrito dinâmico da roda esquerda ( $\mu dFec$  corresponde ao eixo frontal e  $\mu dTec$  corresponde ao eixo traseiro) e  $\mu d'dc$  é o atrito dinâmico da roda direita ( $\mu dFdc$  corresponde ao eixo frontal e  $\mu dTdc$  corresponde ao eixo traseiro).

$$\mu d'ec = 'ey / 'ez$$

Equação 13.9

$$\mu d'dc = 'dy / 'dz$$

Equação 13.10

### Esforços exteriores do chassis

Os esforços envolvidos em curva são calculados na mesma maneira que foram calculados no método CEC (visível no Anexo XIII). Devido à aceleração do veículo é necessário calcular a influência da mesma na transferência de carga nas rodas do veículo, portanto é considerada a fórmula reduzida, *LLT* (Equação 5.23), adaptada para apresentar os valores de transferência de carga para uma aceleração com direção longitudinal (Equação 27.1 e Figura 27.1).  $\Delta Fy'$  é a carga vertical transferida entre os dois eixos do veículo ( $\Delta FyA$  corresponde à aceleração do veículo e  $\Delta FyB$  corresponde à travagem do veículo),  $Mtotal$  é a massa total estimada para o veículo, 9.81 é o valor aproximado da

aceleração gravítica em  $m/s^2$  e  $Alo$  é o valor da aceleração longitudinal expresso na quantidade de aceleração gravítica (valor adimensional) ( $Alo$  tem valor positivo durante a aceleração do veículo e tem valor negativo durante a travagem do mesmo).

$$\Delta Fy' = Mtotal * 9.81 * Alo * h/l \quad \text{Equação 27.1}$$

Durante a aceleração, a carga transferida é adicionada ao peso do veículo no eixo traseiro e subtraída ao peso do veículo no eixo dianteiro. O procedimento é exatamente o mesmo para a travagem, mas devido ao valor negativo, o eixo frontal do veículo passa a ser o eixo com maior carga vertical. O valor da força vertical obtido em cada eixo [ $f_y'f$  força vertical total exercida no eixo frontal ( $f_yaf$  durante a aceleração e  $f_ybf$  durante a travagem) e  $f_y't$  força vertical total exercida no eixo traseiro ( $f_yat$  durante a aceleração e  $f_ybt$  durante a travagem)] é dividido por cada roda do respetivo eixo de acordo com a distribuição de massa do veículo novo, obtendo o valor da reação vertical de cada roda do veículo. A carga vertical do eixo frontal é definida pela Equação 27.2 e a do eixo traseiro pela Equação 27.3.

$$\begin{cases} f_yaf = Mtotalf - \Delta Fy, & \text{em aceleração} \\ f_ybf = Mtotalf + \Delta Fy, & \text{em travagem} \end{cases} \quad \text{Equação 27.2}$$

$$\begin{cases} f_yat = Mtotalt + \Delta Fy, & \text{em aceleração} \\ f_ybt = Mtotalt - \Delta Fy, & \text{em travagem} \end{cases} \quad \text{Equação 27.3}$$

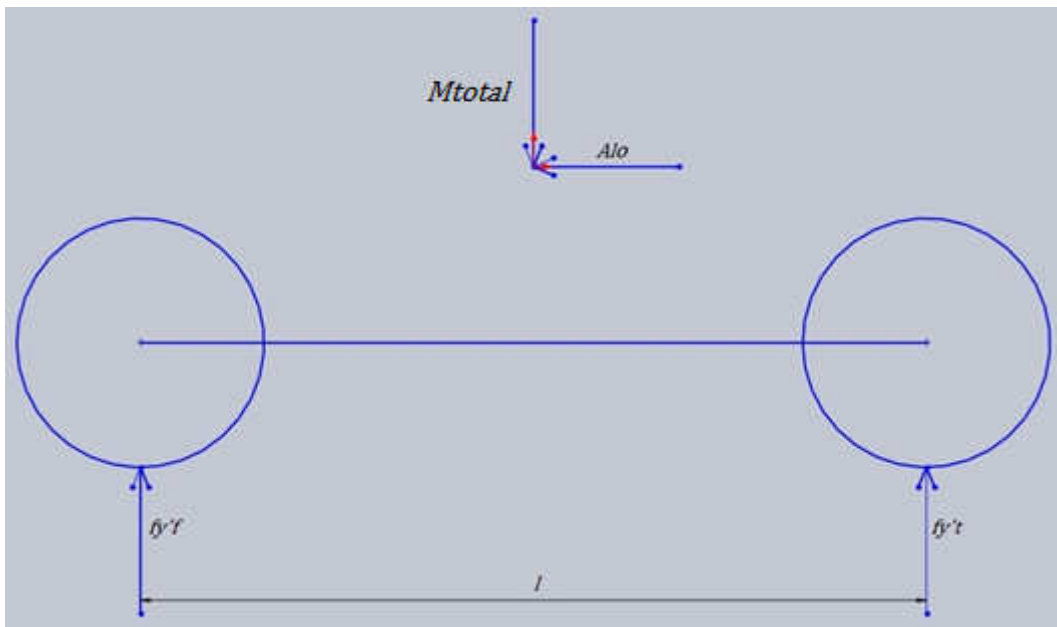


Figura 27.1: Mecanismo de transferência de carga longitudinal de um veículo.

**Combinação dos esforços provenientes das acelerações longitudinal (arranque) e centrífuga (curva do veículo)**

Com o valor do coeficiente de atrito dinâmico entre o piso e o pneu ( $\mu d$ ), podem ser definidas as forças longitudinais resistentes produzidas por pneus das rodas não motrizes (resistentes ao rolamento) e das rodas motrizes no caso de aceleração:

- Roda frontal esquerda:

$$fyafe = fyaf * df/df \quad \text{Equação 27.4}$$

$$\begin{cases} fxafe = -\mu d * fyafe, & \text{se o eixo frontal do veículo tem rodas motrizes} \\ fxafe = \mu d * fyafe, & \text{se o eixo traseiro do veículo tem rodas motrizes} \end{cases} \quad \text{Equação 27.5}$$

- Roda frontal direita:

$$fyafd = fyaf * ef/df \quad \text{Equação 27.6}$$

$$\begin{cases} fxafd = -\mu d * fyafd, & \text{se o eixo frontal do veículo tem rodas motrizes} \\ fxafd = \mu d * fyafd, & \text{se o eixo traseiro do veículo tem rodas motrizes} \end{cases}$$

Equação 27.7

- Roda traseira esquerda:

$$fyate = fyat * dt/df \quad \text{Equação 27.8}$$

$$\begin{cases} fxate = -\mu d * fyate, & \text{se o eixo frontal do veículo tem rodas motrizes} \\ fxate = \mu d * fyate, & \text{se o eixo traseiro do veículo tem rodas motrizes} \end{cases} \quad \text{Equação 27.9}$$

- Roda traseira direita:

$$fyatd = fyat * et/df \quad \text{Equação 27.10}$$

$$\begin{cases} fxatd = -\mu d * fyatd, & \text{se o eixo frontal do veículo tem rodas motrizes} \\ fxatd = \mu d * fyatd, & \text{se o eixo traseiro do veículo tem rodas motrizes} \end{cases}$$

Equação 27.11

Com isto, é possível definir as reações nos cubos das rodas do veículo ( $Ft''y$ ,  $Ft''x$ ,  $Ft''z$ ,  $M''z$  e  $M''x$ ), Figura 27.2 e obter os valores a inserir na simulação numérica. A direção e sentido dos esforços partilham o mesmo sistema de coordenadas global do modelo virtual a analisar.  $Ft''y$  é a reação vertical exercida na pegada de cada pneu ( $Ftfe$  é correspondente ao pneu esquerdo frontal,  $Ftfd$  ao pneu direito frontal,  $Ftfe$  ao pneu esquerdo traseiro,  $Ftfd$  ao pneu direito traseiro - o ponto de referência visual é o do piloto dentro do veículo),  $Ft''x$  é a reação à força resistente ou de tração exercida pela pegada de cada pneu no piso (caso a força de tração exercida na pegada de cada pneu das rodas motrizes durante a aceleração, ou a força de travagem produzida pelos travões do veículo forem superiores às reações mencionadas, as rodas derrapam) ( $Ftfe$  é correspondente ao pneu esquerdo frontal,  $Ftfd$  ao pneu direito frontal,  $Ftfe$  ao pneu esquerdo traseiro,  $Ftfd$  ao

pneu direito traseiro),  $Ft''z$  é a reação transversal exercida pela pegada de cada pneu no piso ( $Ftfez$  é correspondente ao pneu esquerdo frontal,  $Ftfdz$  ao pneu direito frontal,  $Fttez$  ao pneu esquerdo traseiro,  $Fttdz$  ao pneu direito traseiro),  $M''z$  é o binário atingível por cada pneu durante uma travagem, se o valor de binário da travagem ultrapassar este valor, os pneus bloqueiam e derrapam ( $Mfez$  é correspondente ao pneu esquerdo frontal,  $Mfdz$  ao pneu direito frontal,  $Mtez$  ao pneu esquerdo traseiro,  $Mtdz$  ao pneu direito traseiro) e  $M''x$  é o binário provocado pela força transversal exercida pela pegada de cada pneu no piso ( $Mfex$  é correspondente ao pneu esquerdo frontal,  $Mfdx$  ao pneu direito frontal,  $Mtex$  ao pneu esquerdo traseiro,  $Mtdx$  ao pneu direito traseiro). Como  $M''z$  é binário produzido no eixo do cubo da roda, durante o estudo da aceleração longitudinal do veículo este binário é considerado nulo, porque os rolamentos das mangas-de-eixo não permitem que o binário das transmissões não sejam transferidas às mangas-de-eixo. Durante o processo de travagem do veículo o binário proveniente da travagem é transmitido às mangas-de-eixo pelos suportes das pinças dos travões de cada roda do veículo. Se a reação vertical exercida na pegada de um pneu for negativa, indica que esse pneu não está a exercer força sobre o piso, logo todos os valores dos esforços associados a essa roda serão tidos como zero.

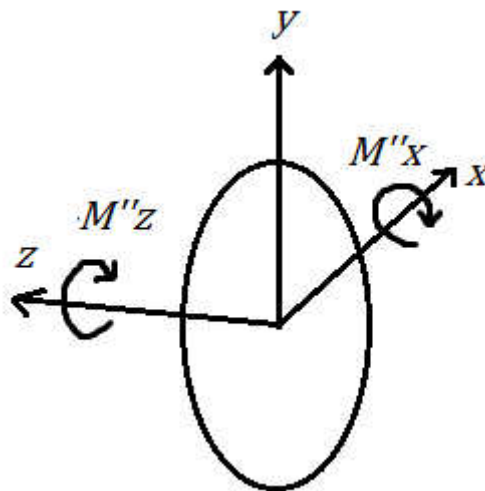


Figura 27.2: Representação gráfica da orientação das reações existentes num pneu.

Este método exporta as reações supracitadas para cada roda no seguinte modo:

- Roda frontal esquerda:

$$\begin{cases} Ftfez = fyafe, & \text{se } fyafe \geq 0 \\ Ftfez = 0 \end{cases} \quad \text{Equação 27.12}$$

Os valores da reação à força resistente exercida pela pegada de cada pneu das rodas não motrizes são positivos e os valores da reação à força de tração exercida pela pegada de cada pneu das rodas motrizes são negativos.

$$\begin{cases} Ft_{fex} = 0, & \text{se } Ft_{fey} = 0 \\ Ft_{fex} = fx_{afe} - Fr_{tr}, & \text{se o eixo frontal do veículo tem rodas motrizes} \\ Ft_{fex} = fx_{afe}, & \text{se o eixo traseiro do veículo tem rodas motrizes} \end{cases}$$

Equação 27.13

$$\begin{cases} Ft_{fez} = 0, & \text{se } Ft_{fex} = 0 \\ Ft_{fez} = Fez \end{cases} \quad \text{Equação 27.14}$$

$$M_{fez} = 0 \quad \text{Equação 27.15}$$

$$M_{fex} = Ft_{fez} * drt / (2 * 1000) \quad \text{Equação 27.16}$$

- Roda frontal direita:

$$\begin{cases} Ft_{fdy} = fy_{afd}, & \text{se } fy_{afd} \geq 0 \\ Ft_{fdy} = 0 \end{cases} \quad \text{Equação 27.17}$$

$$\begin{cases} Ft_{fdx} = 0, & \text{se } Ft_{fdy} = 0 \\ Ft_{fdx} = fx_{afd} - Fr_{tr}, & \text{se o eixo frontal do veículo tem rodas motrizes} \\ Ft_{fdx} = fx_{afd}, & \text{se o eixo traseiro do veículo tem rodas motrizes} \end{cases}$$

Equação 27.18

$$\begin{cases} Ft_{fdz} = 0, & \text{se } Ft_{fdx} = 0 \\ Ft_{fdz} = Fdz \end{cases} \quad \text{Equação 27.19}$$

$$M_{fdz} = 0 \quad \text{Equação 27.20}$$

$$M_{fdx} = Ft_{fdz} * drt / (2 * 1000) \quad \text{Equação 27.21}$$

- Roda traseira esquerda:

$$\begin{cases} Ft_{tey} = fy_{ate}, & \text{se } fy_{ate} \geq 0 \\ Ft_{tey} = 0 \end{cases} \quad \text{Equação 27.22}$$

$$\begin{cases} Ft_{tex} = 0, & \text{se } Ft_{tey} = 0 \\ Ft_{tex} = fx_{ate} - Fr_{tr}, & \text{se o eixo frontal do veículo tem rodas motrizes} \\ Ft_{tex} = fx_{ate}, & \text{se o eixo traseiro do veículo tem rodas motrizes} \end{cases}$$

Equação 27.23

$$\begin{cases} Ft_{tez} = 0, & \text{se } Ft_{tex} = 0 \\ Ft_{tez} = Tez \end{cases} \quad \text{Equação 27.24}$$

$$M_{tez} = 0 \quad \text{Equação 27.25}$$

$$M_{tex} = Ft_{tez} * drt / (2 * 1000) \quad \text{Equação 27.26}$$

- Roda traseira direita:

$$\begin{cases} Ft_{tdy} = fy_{atd}, & \text{se } fy_{atd} \geq 0 \\ Ft_{tdy} = 0 \end{cases} \quad \text{Equação 27.27}$$

$$\begin{cases} Ft_{tdx} = 0, & \text{se } Ft_{tdy} = 0 \\ Ft_{tdx} = fx_{atd} - Fr_{tr}, & \text{se o eixo frontal do veículo tem rodas motrizes} \\ Ft_{tdx} = fx_{atd}, & \text{se o eixo traseiro do veículo tem rodas motrizes} \end{cases}$$

Equação 27.28



$$\begin{cases} F_{ttdz} = 0, & \text{se } F_{ttdx} = 0 \\ F_{ttdz} = T_{dz} \end{cases} \quad \text{Equação 27.30}$$

$$M_{tdz} = 0 \quad \text{Equação 27.31}$$

$$M_{tdx} = F_{ttdz} * d_{rt} / (2 * 1000) \quad \text{Equação 27.32}$$

**Combinação dos esforços provenientes da desaceleração longitudinal (travagem) e aceleração centrífuga (curva do veículo)**

Definição das forças longitudinais resistentes produzidas pelos pneus das rodas durante a travagem do veículo:

- Roda frontal esquerda:

$$f_{ybf e} = f_{ybf} * d_f / t_f \quad \text{Equação 27.33}$$

$$f_{xbf e} = \mu_d * f_{ybf e} \quad \text{Equação 27.34}$$

- Roda frontal direita:

$$f_{ybfd} = f_{ybf} * e_f / t_f \quad \text{Equação 27.35}$$

$$f_{xbfd} = \mu_d * f_{ybfd} \quad \text{Equação 27.36}$$

- Roda traseira esquerda:

$$f_{ybte} = f_{ybt} * d_t / t_t \quad \text{Equação 27.37}$$

$$f_{xbte} = \mu_d * f_{ybte} \quad \text{Equação 27.38}$$

- Roda traseira direita:

$$f_{ybt d} = f_{ybt} * e_t / t_t \quad \text{Equação 27.39}$$

$$f_{xbt d} = \mu_d * f_{ybt d} \quad \text{Equação 27.40}$$

Com isto, é possível definir as reações nos cubos das rodas do veículo e obter os valores a inserir na simulação numérica:

- Roda frontal esquerda:

$$\begin{cases} F_{tfey} = f_{ybf e}, & \text{se } f_{ybf e} \geq 0 \\ F_{tfey} = 0 \end{cases} \quad \text{Equação 27.41}$$

$$\begin{cases} F_{tfex} = 0, & \text{se } F_{tfey} = 0 \\ F_{tfex} = f_{xbf e} \end{cases} \quad \text{Equação 27.42}$$

$$\begin{cases} F_{tfez} = 0, & \text{se } F_{tfex} = 0 \\ F_{tfez} = F_{ez} \end{cases} \quad \text{Equação 27.43}$$

$$\begin{cases} M_{fez} = 0, & \text{se } F_{tfez} \leq 0 \\ M_{fez} = \frac{d_{rt}}{2 * 1000} \end{cases} \quad \text{Equação 27.44}$$

$$M_{fex} = F_{tfez} * d_{rt} / (2 * 1000) \quad \text{Equação 27.45}$$

- Roda frontal direita:

$$\begin{cases} Ftfdy = fybfd, & \text{se } fybfd \geq 0 \\ Ftfe y = 0 \end{cases} \quad \text{Equação 27.46}$$

$$\begin{cases} Ftfdx = 0, & \text{se } Ftfdy = 0 \\ Ftfdx = fxbfd \end{cases} \quad \text{Equação 27.47}$$

$$\begin{cases} Ftfdz = 0, & \text{se } Ftfdx = 0 \\ Ftfdz = Fdz \end{cases} \quad \text{Equação 27.48}$$

$$\begin{cases} Mfdz = 0, & \text{se } Ftfdx \leq 0 \\ Mfdz = \frac{drt}{2 \cdot 1000} \end{cases} \quad \text{Equação 27.49}$$

$$Mfdx = Ftfdz * drt / (2 * 1000) \quad \text{Equação 27.50}$$

- Roda traseira esquerda:

$$\begin{cases} Fttey = fybte, & \text{se } fybte \geq 0 \\ Fttey = 0 \end{cases} \quad \text{Equação 27.51}$$

$$\begin{cases} Fttex = 0, & \text{se } Fttey = 0 \\ Fttex = fxbte \end{cases} \quad \text{Equação 27.52}$$

$$\begin{cases} Fttez = 0, & \text{se } Fttex = 0 \\ Fttez = Fez \end{cases} \quad \text{Equação 27.53}$$

$$\begin{cases} Mtez = 0, & \text{se } Fttex \leq 0 \\ Mtez = \frac{drt}{2 \cdot 1000} \end{cases} \quad \text{Equação 27.54}$$

$$Mtex = Fttez * drt / (2 * 1000) \quad \text{Equação 27.55}$$

- Roda traseira direita:

$$\begin{cases} Fttdy = fybtd, & \text{se } fybtd \geq 0 \\ Fttdy = 0 \end{cases} \quad \text{Equação 27.56}$$

$$\begin{cases} Fttdx = 0, & \text{se } Fttdy = 0 \\ Fttdx = fxbtd \end{cases} \quad \text{Equação 27.57}$$

$$\begin{cases} Fttdz = 0, & \text{se } Fttdx = 0 \\ Fttdz = Fdz \end{cases} \quad \text{Equação 27.58}$$

$$\begin{cases} Mtdz = 0, & \text{se } Fttdx \leq 0 \\ Mtdz = \frac{drt}{2 \cdot 1000} \end{cases} \quad \text{Equação 27.59}$$

$$Mtdx = Fttdz * drt / (2 * 1000) \quad \text{Equação 27.60}$$

### Esforços provenientes da queda vertical do veículo

As reações das mangas-de-eixo do veículo em análise são obtidas através da Equação 27.61.

$$\left\{ \begin{array}{l} Ft_{fey} = M_{totalf} * Gv * df/_{tf} \\ Ft_{fdy} = M_{totalf} * Gv * ef/_{tf} \\ Ft_{tey} = M_{totalt} * Gv * dt/_{tt} \\ Ft_{tdy} = M_{totalt} * Gv * et/_{tt} \\ Ft''_x = Ft''_z = M''_z = M''_x = 0 \end{array} \right. \quad \text{Equação 27.61}$$

## Esforços Interiores do Chassis

Combinação dos esforços provenientes das acelerações longitudinal (arranque) e centrífuga (curva do veículo)

Conjunto Motor e Caixa de velocidades

Número de apoios: 6

Massa: 200 kg

Esforço transversal:  $E_{hmcv} = 200 * AC/6$  N

Esforço longitudinal:  $E_{lomcv} = 200 * Alo * 9.81/6$  N

Binário do Motor:  $Bm = 500$  Nm

Potência Máxima:  $P_{max} = 250$  cv

Rotação do motor em regime de binário máximo:  $Rot_{pmax} = 2500$  rpm

Diâmetro máximo das rodas traseiras:  $drt = 788$  mm

Número de rodas no eixo traseiro:  $nrt = 2$

Relação da primeira velocidade:  $rpv = 3.3$

Relação final do diferencial traseiro:  $rf = 3.62$

Distância mínima entre o eixo da cambota e um apoio do conjunto motor e caixa de velocidades (medida no plano YZ):  $dmcapmcv = 170$  mm

Esforço vertical:  $E_{vmcv} = - \frac{\left( \frac{Bm * 1000}{dmcapmcv} + 200 * 9.81 \right)}{6}$  N

Número de apoios do bloco do motor: 2

Distância mínima do centro de rotação da coroa do diferencial aos apoios do bloco do motor:  $dctrm = 492.5$  mm

Número de apoios centrais do bloco da caixa de velocidades: 2

Distância mínima do centro da coroa do diferencial aos apoios centrais da caixa de velocidades:  $dctrv1 = 242.5$  mm

Número de apoios traseiros do bloco da caixa de velocidades: 2

Distância mínima do centro de rotação da coroa do diferencial aos apoios traseiros do bloco da caixa de velocidades:  $dctr_{cv1} = 418.2$  mm

Esforço vertical em cada apoio do bloco do motor:

$$Evmcv_{pam} = \left( (2 * Evmcv) - \left( \frac{Bm * rpv * rf}{3 * 0.493} \right) \right) / 2 \text{ N}$$

Esforço vertical em cada apoio central da caixa de velocidades:

$$Evmcv_{pccv} = \left( (2 * Evmcv) + \left( \frac{Bm * rpv * rf}{3 * 0.243} \right) \right) / 2 \text{ N}$$

Esforço vertical em cada apoio traseiro da caixa de velocidades:

$$Evmcv_{patcv} = \left( (2 * Evmcv) + \left( \frac{Bm * rpv * rf}{3 * 0.418} \right) \right) / 2 \text{ N}$$

#### Bateria

Número de apoios: 4

Massa: 10.3 kg

Esforço vertical:  $E_{vbt} = 10.3 * 9.81/4$

Esforço transversal:  $E_{hbt} = 10.3 * AC/4$

Esforço longitudinal:  $E_{lobt} = 10.3 * A_{lo}/4$

#### Depósito de combustível

Massa da proteção em alumínio: 18.2 kg

Massa da manete da caixa de velocidades e do travão de mão: 2.3 kg

Massa do depósito: 14.6 kg

Capacidade total do depósito: 110 dm<sup>3</sup>

Densidade do combustível: 0.95 kg/ dm<sup>3</sup>

Massa do combustível:  $104.5 = 110 * 0.95$

Massa total do conjunto:  $139.6 = 18.2 + 2.3 + 14.6 + 104.5$

Número de apoios: 12

Esforço vertical:  $E_{vdc} = 139.6 * -9.81/12$

Esforço transversal:  $E_{hdc} = 139.6 * AC/12$

Esforço longitudinal:  $E_{lodc} = 139.6 * A_{lo}/12$

#### Pilotos

Número de pilotos: 2

Número de apoios: 12

Massa média de cada piloto: 76 kg

$$\text{Esforço vertical: } E_{vp} = 76 * 2 * -9.81/12$$

$$\text{Esforço transversal: } E_{hp} = 76 * 2 * AC/12$$

$$\text{Esforço longitudinal: } E_{lop} = 76 * 2 * A_{lo}/12$$

#### Conjunto da pedaleira

Número de apoios: 2

Massa da caixa de apoio dos pés do piloto: 1.8 kg

Massa da pedaleira: 4.8 kg

$$\text{Esforço vertical: } E_{vjtp} = (1.8 + 4.8) * -9.81/2$$

$$\text{Esforço transversal: } E_{hjtp} = (1.8 + 4.8) * AC/2$$

$$\text{Esforço longitudinal: } E_{lojtp} = (1.8 + 4.8) * A_{lo}/2$$

#### Extintores

Número de apoios: 5

Massa do extintor ligado ao veículo: 5.9 kg

Massa do extintor portátil: 3.7 kg

$$\text{Esforço vertical: } E_{vext} = (5.9 + 3.7) * -9.81/5$$

$$\text{Esforço transversal: } E_{hext} = (5.9 + 3.7) * AC/5$$

$$\text{Esforço longitudinal: } E_{loext} = (5.9 + 3.7) * A_{lo}/5$$

#### Caixa de direção

Número de apoios: 2

Massa da caixa de direção: 6.8 kg

$$\text{Esforço vertical: } E_{vcdd} = 6.8 * -9.81/2$$

$$\text{Esforço transversal: } E_{hcdd} = 6.8 * AC/2$$

$$\text{Esforço longitudinal: } E_{locdd} = 6.8 * A_{lo}/2$$

### **Combinação dos esforços provenientes da desaceleração longitudinal (travagem) e aceleração centrífuga (curva do veículo)**

Nesta secção, todos os esforços mencionados na secção anterior são tidos em conta e a variável  $A_{lo}$  assume um valor negativo por representar a desaceleração do veículo.

#### **Esforços provenientes da queda vertical do veículo**

$$\text{Aceleração vertical: } G_v = -9.81 * 4 \text{ m/s}^2$$

Pneus suplentes

Número de apoios: 6

Massa do pneu suplente do eixo frontal: 29.5 kg

Massa do pneu suplente do eixo traseiro: 35.4 kg

Esforço vertical do pneu do eixo frontal:  $E_{vpsf} = 29.5 * Gv/6$

Esforço vertical do pneu do eixo traseiro:  $E_{vpst} = 35.4 * Gv/6$

Para os restantes componentes mencionados apenas são considerados os seus esforços verticais cujos seus valores são multiplicados por quatro. Os esforços transversais são ignorados.



**ANEXO XXVIII**  
**SIMULAÇÕES NUMÉRICAS CORRIGIDAS**





### **Análise em curva e aceleração**

```
/CLEAR
KEYW, PR_STRUC,1
/PREP7
/UNITS, SI
!*
!NUVEM DE PONTOS
!*
N,1,-1.5205,0,-0.1225
... (código incompleto)
*DIM,Value,,1,1
!*
*VFILL,Value(1,1),DATA,F1
!*
/output,FCCURVAACELERACAOext,txt,C:\Users\ricardo\Desktop\TESTE1
!*
*VWRITE,Value(1,1)
(1XF11.5,' ',F10.5)
!*
/output
!*
FINISH
```

### **Análise em curva e travagem**

```
/CLEAR
KEYW, PR_STRUC,1
/PREP7
/UNITS, SI
!*
!NUVEM DE PONTOS
!*
N,1,-1.5205,0,-0.1225
... (código incompleto)
```

```

*DIM,Value,,1,1
!*
*VFILL,Value(1,1),DATA,F1
!*
/output,FCCURVATRAVAGEMext,txt,C:\Users\ricardo\Desktop\TESTE1
!*
*VWRITE,Value(1,1)
(1XF11.5,' ',F10.5)
!*
/output
!*
FINISH
Análise de impacto vertical
/CLEAR
KEYW, PR_STRUC,1
/PREP7
/UNITS, SI
!*
!NUVEM DE PONTOS
!*
N,1,-1.5205,0,-0.1225
... (código incompleto)
*DIM,Value,,1,1
!*
*VFILL,Value(1,1),DATA,F1
!*
/output,FCSALTOext,txt,C:\Users\ricardo\Desktop\TESTE1
!*
*VWRITE,Value(1,1)
(1XF11.5,' ',F10.5)
!*
/output

```

!\*

FINISH



**ANEXO XXIX**  
**SIMULAÇÕES NUMÉRICAS CORRIGIDAS - CONTINUAÇÃO**



## **Análise em curva e travagem 1.2**

!FORÇA GRAVÍTICA

fg=1

!FORÇA G TRANSVERSAL

fgg=1.1

!\*  
/PREP7

KEYW, PR\_STRUC,1

/UNITS, SI

!\*  
!NUVEM DE PONTOS

!\*  
N,1,-1.5205,0,-0.1225

... (código incompleto)

!\*  
/output,FATORCARGACURVAACELERACAOint,txt,C:\Users\ricardo\Desktop\TESTE1

!\*  
\*VWRITE,Value(1,1)

(1XF11.5,' ',F10.5)

!\*  
/output

!\*  
FINISH

!\*  
\*VWRITE,Value(1,1)

(1XF11.5,' ',F10.5)

!\*  
/output

!\*  
FINISH

!\*  
FINISH

FINISH

## **Análise em curva e travagem 1.2**

!FORÇA GRAVÍTICA

fg=1

!FORÇA G TRANSVERSAL

fgg=1.1

!\*  
/PREP7

KEYW, PR\_STRUC,1

/UNITS, SI

!\*  
!NUVEM DE PONTOS

!\*  
N,1,-1.5205,0,-0.1225

... (código incompleto)

!\*  
/output,FATORCARGACURVAACELERACAOint,txt,C:\Users\ricardo\Desktop\TESTE1

!\*  
\*VWRITE,Value(1,1)

(1XF11.5,' ',F10.5)



!NUVEM DE PONTOS

!\*  
/output,FATORCARGACURVATRAVAGEMint,txt,C:\Users\ricardo\Desktop\TESTE1

N,1,-1.5205,0,-0.1225

... (código incompleto)

!\*

!\*  
\*VWRITE,Value(1,1)

(1XF11.5,' ',F10.5)

!\*

!\*

/output

!\*  
FINISH

!\*

## **Análise de Impacto vertical 1.2**

!FORÇA GRAVÍTICA

fg=4

!\*  
KEYW, PR\_STRUC,1

!\*

/PREP7

/UNITS, SI

!\*

!NUVEM DE PONTOS

!\*  
/output,FATORCARGASALTOint,txt,C:\Users\ricardo\Desktop\TESTE1

N,1,-1.5205,0,-0.1225

... (código incompleto)

!\*

!\*  
\*VWRITE,Value(1,1)

(1XF11.5,' ',F10.5)

!\*

!\*

/output

!\*  
FINISH

!\*

## ANEXO XXX

### DIMENSIONAMENTO DE UNIÕES TUBULARES SOLDADAS - CORRIGIDO



A junta é separada em duas formas geométricas distintas, uma correspondente à elipse superior da junta e outra à inferior. Com os esforços extraídos das simulações por elementos finitos, a tensão equivalente máxima da junta é determinada em dois pontos críticos da junta. Segundo o plano  $XY$  da Figura 30.1, estes dois pontos estão juntos à face exterior dos dois cordões de soldadura, ou seja nos pontos  $A1'$  e  $B1'$ . Este tipo de dimensionamento não recorre a grandes simplificações no cálculo de tensões nos cordões de soldadura como acontece no método de dimensionamento anterior. Isto obriga a um controlo do sistema de coordenadas local de cada perfil em análise de forma a poder adaptar os esforços obtidos no sistema de coordenadas local para o sistema usado no dimensionamento [apesar do eixo do perfil tubular a ligar na junta em estudo ser sempre coincidente com o eixo das abcissas ( $XX$ ) do sistema do dimensionamento, os eixos das ordenadas ( $YY$ ) e das cotas ( $ZZ$ ) podem não ser]. Este dimensionamento não foi validado por um estudo experimental, o que se considera que seja um trabalho a desenvolver no futuro, assim como o estudo referente à otimização da geometria da(s) chapa(s) de cada reforço.

Os *inputs* permitidos neste método de dimensionamento envolvem os diâmetros externos dos dois tubos a ligar, o ângulo da junta ( $\phi$ ), uma estimativa da dimensão da garganta do cordão ( $ga$ ) (este valor pode representar a garganta de um cordão único ou de duplo passe e ambos com penetração parcial) e o coeficiente de segurança (pela sua presença neste dimensionamento, o coeficiente de segurança não foi usado como fator de correção da tensão limite de fadiga nem dos esforços considerados em todas as simulações relacionadas com o dimensionamento das juntas). Pressupõe-se que a junta a dimensionar seja simétrica no plano  $XY$  e a Figura 30.1 é uma representação gráfica da vista lateral dessa junta.  $R$  corresponde ao raio externo do tubo base e  $r$  ao raio externo do tubo a ligar. A inclinação da junta é definida pela Equação 4.47, onde o eixo do tubo base é representado no eixo das ordenadas ( $YY$ ) e o eixo do tubo a ligar é representado por esta equação. A origem do referencial cartesiano é o ponto de interseção dos dois eixos dos tubos da junta.

$$y = x / \tan \phi \quad \text{Equação 30.1}$$

Agora definem-se os pontos das meias elipses superior e inferior, onde  $A'$  é o ponto mais alto do arco da elipse superior,  $B'$  é o ponto mais alto do arco da elipse inferior e  $C$  e  $C'$  são os pontos de interseção das duas meias elipse e representam, Figuras 30.1 e 30.2.  $c$  é a distância do vértice  $C$  ao eixo do tubo base e é determinado pela interseção de duas Equações 30.2.

$$\begin{cases} c^2 + z^2 = R^2 \\ z = r \end{cases} \quad \text{Equações 30.2}$$

$j$  é altura do vértice C em relação ao eixo das abcissas (eixo  $XX$ ) e é definido pela Equação 30.3.  $Rj$  é a altura do ponto de interseção com o raio externo do tubo base ( $R$ ) em relação ao eixo das abcissas, (Equação 30.4).

$$\begin{cases} x = c \\ j = x / \tan \phi \end{cases} \quad \text{Equações 30.3}$$

$$\begin{cases} x = R \\ Rj = x / \tan \phi \end{cases} \quad \text{Equações 30.4}$$

$sup$  é a distância de  $Rj$  ao ponto  $A1'$  (ponto mais alto do arco da elipse superior) e  $inf$  é a distância de  $Rj$  ao ponto  $B1'$  (ponto mais alto do arco da elipse inferior) e ambas são definidas pelas equações (Equações 30.5) e (Equações 30.6), respetivamente.

$$\begin{cases} x = r \\ sup = Rj + x / \tan \phi \end{cases} \quad \text{Equações 30.5}$$

$$\begin{cases} x = r \\ inf = Rj - x / \tan \phi \end{cases} \quad \text{Equações 30.6}$$

Através da Figura 30.1, é possível verificar a presença de dois triângulos distintos, no plano  $XY$ , que definem a secção variada do cordão de soldadura neste tipo de ligações. Como é possível verificar nesta figura, o perímetro da união ou a linha média do cordão podem ser descritas matematicamente por um conjunto de duas meias elipses tridimensionais. Uma simples elipse planar é definida pela Equação 30.7, a variável  $b1$  está ligada à largura da elipse e a variável  $b2$  corresponde à altura da elipse.

$$\left(\frac{z}{b1}\right)^2 + \left(\frac{y}{b2}\right)^2 = 1 \quad \text{Equação 30.7}$$

No caso da Figura 30.2,  $b1$  é o valor de metade da largura das 2 meias e elipses superior e inferior e  $b1'$  é o valor de metade da largura das 2 meias elipses superior e inferior do centro do cordão de soldadura, Equações 30.8 e 3.19, respetivamente.

$$-c^2 + R^2 = b1^2 \quad \text{Equação 30.8}$$

$$-c^2 + \left(R + \frac{ga}{2}\right)^2 = b1'^2 \quad \text{Equação 30.9}$$

Através do teorema de Pitágoras é possível definir a altura de todas as meias elipses (Equação 30.20 e 30.21).  $b2s$  é a altura da elipse superior e  $b2i$  é a altura da elipse inferior.

$$b2s = \sqrt{(R - c)^2 + (h - j)^2} \quad \text{Equação 30.20}$$

$$b2i = \sqrt{(R - c)^2 + (i - j)^2} \quad \text{Equação 30.21}$$

As alturas das elipses do cordão de soldadura superior e do cordão de soldadura inferior,  $b2s'$  e  $b2i'$ , são determinadas através da adição de metade da garganta do cordão de soldadura às variáveis  $b2s$  e  $b2i$ , respetivamente.

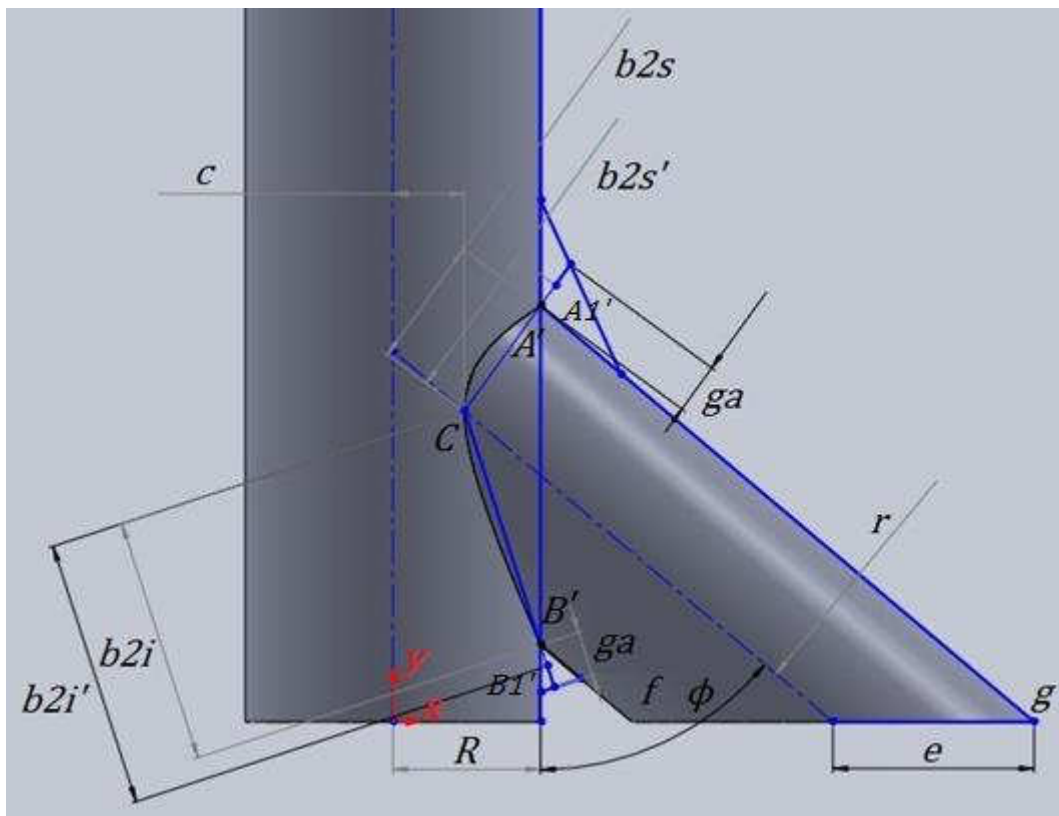


Figura 30.1: Representação gráfica de uma junta em Y, vista lateral.

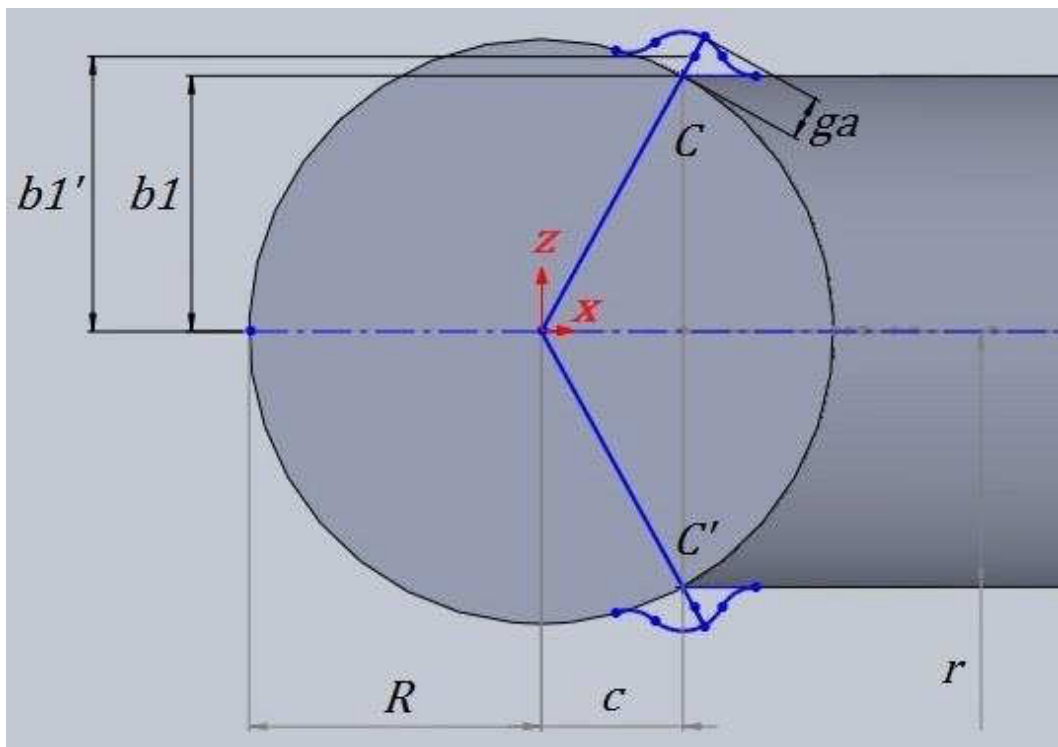


Figura 30.2: Representação gráfica de uma junta em Y, vista de topo.

O perímetro de cada meia elipse superior ou inferior do centro do cordão de soldadura ( $ps$  ou  $pi$ ) é estimado pela equação aproximada de Euler (115) (Equação 30.22).  $ptotal$  é o perímetro total da zona de contacto e é determinado pela soma de  $ps$  e  $pi$ .

$$p \approx \frac{\pi}{2} * \sqrt{2 * [(b1')^2 + (b2'')^2]} \quad \text{Equação 30.22}$$

Durante o cálculo da tensão equivalente máxima da junta, apenas duas zonas críticas do cordão de soldadura são estudadas ( $A1'$ ) e ( $B1'$ ). Para isto ser possível é efetuada uma simplificação do caso, onde é estudada a secção do cordão de penetração parcial nos pontos mencionados. Portanto, o tubo de ligação é seccionado em dois planos normais ao eixo do tubo a ligar nos pontos  $A1'$  e  $B1'$ . Em cada plano definido, a secção de soldadura em análise é definida por dois círculos, sendo que o raio interno é igual ao raio externo do tubo da ligação ( $r$ ) e o raio externo da secção é a soma do raio externo do tubo de ligação com a dimensão da garganta do cordão projetada no plano em questão ( $r'$ ) (Equações 30.23, 30.24 e 30.25).  $r's$  é o raio máximo da secção da casca da divisão superior e o seu topo é coincidente com o ponto  $A1'$  e  $r'i$  é o raio máximo da secção da casca da divisão inferior e o seu topo é coincidente com o ponto  $B1'$ .  $\gamma$  ( $\gamma_s$  e  $\gamma_i$ ) são ângulos de dois planos da garganta do cordão de soldadura provenientes das secções superior (ponto  $A'$ ) e inferior (ponto  $B'$ ) e estão representados na Figura 30.3.

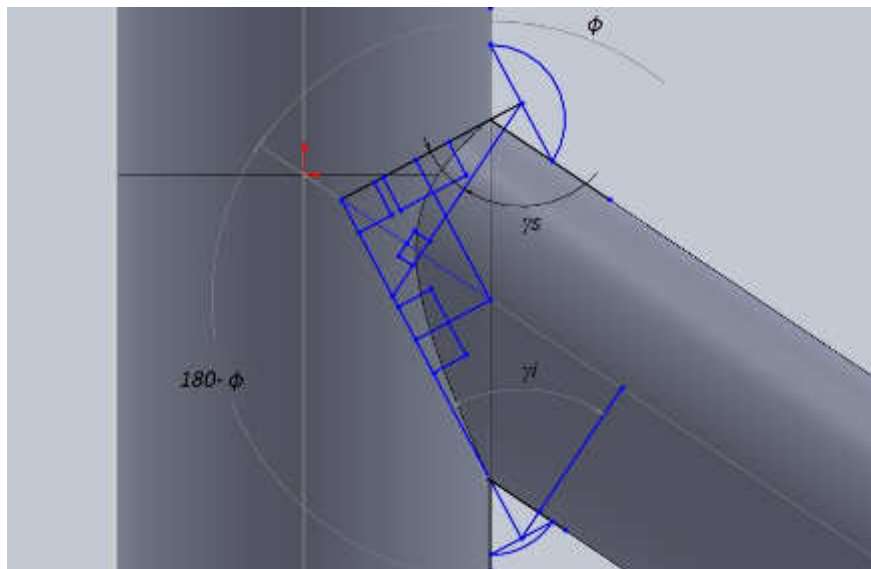


Figura 30.3: Representação gráfica dos cordões de uma junta em Y, vista lateral.

$$\gamma_s = \phi/2 \quad \text{Equação 30.23}$$

$$\gamma_i = (180 - \phi)/2 \quad \text{Equação 30.24}$$

$$r' = r + ga * \cos(\gamma) \quad \text{Equação 30.25}$$

Isto permite determinar as tensões equivalentes de dois cordões de soldadura de duas hipotéticas juntas do tipo Topo-a-Topo nos pontos  $A1'$  e  $B1'$ . Cada junta hipotética tem um plano de tensões semelhante à Figura 30.4 no seu respetivo ponto crítico.

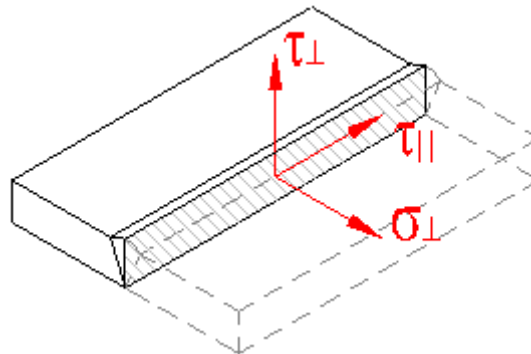


Figura 30.4: Representação gráfica do plano de tensões do cordão de soldadura nos pontos críticos  $A1'$  e  $B1'$  (116).

Para o ponto crítico de cada secção e de acordo com a Figura 30.4 o plano de tensões é definido pelas Equações 30.26, 30.27 e 30.28.  $\sigma_{\perp}$  é a tensão máxima resultante da carga axial e dos dois momentos flectores presentes na secção segundo (117),  $Area$  é a área da secção em análise ( $Area_s$  é referente à área da secção do ponto  $A1'$  e  $Area_i$  é referente à área da secção do ponto  $B1'$ ),  $I$  é o momento de inércia de área da secção ( $I_s$  é referente à área da secção do ponto  $A1'$  e  $I_i$  é referente à área da secção do ponto  $B1'$ ),  $\tau_{\perp}$  é a tensão de corte máxima segundo o eixo das ordenadas ( $YY$ ),  $\tau_{||}$  é a tensão de corte máxima segundo o eixo das cotas ( $ZZ$ ) e  $J$  é o momento de polar de inércia da secção ( $J_s$  é referente à área da secção do ponto  $A1'$  e  $J_i$  é referente à área da secção do ponto  $B1'$ ).

$$\sigma_{\perp} = \frac{Fx}{Area} + \frac{Mz*r'}{I} + \frac{My*r'}{I} \quad \text{Equação 30.26}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{SVxy*2}{Area} \quad \text{Equação 30.27}$$

$$\tau_{||} = \frac{SVxz*2}{Area} + \frac{Tx*r'}{J} \quad \text{Equação 30.28}$$

O valor da tensão equivalente ( $\sigma_{equ}$ ) de uma junta é determinado pela Equação 30.29 (69), sendo que  $\sigma_s$  corresponde à tensão equivalente no ponto  $A1'$ ,  $\sigma_i$  corresponde à tensão equivalente no ponto  $B1'$  e  $n$  é o coeficiente de segurança definido pelo utilizador.

$$\sigma_{equ} = n * \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2)} \quad \text{Equação 30.29}$$

Os reforços são calculados com o mesmo procedimento encontrado no Aexo XIII.