



Universitat de Girona  
Escola Politècnica Superior

## Projecte/Treball Final de Carrera

**Estudi:** Enginyeria Tècn. Ind. Mecànica. Pla 2002

**Títol:**

Disseny de les llantes en material compòsit de les rodes davanteres i roda posterior del vehicle de baix consum "Àguila"

**Document:** 1-Memòria descriptiva

**Alumne:** Iván Recio Gómez

**Director/Tutor:** Joan Andreu Mayugo Majó

**Departament:** Eng. Mecànica i de la Construcció Industrial

**Àrea:** Mecànica

**Convocatòria** (mes/any): Juliol 2006

**ÍNDEX**

	<u>Pag</u>
1 INTRODUCCIÓ_____	4
1.1 Antecedents_____	4
1.2 Objecte_____	4
1.3 Abast_____	4
1.4 Especificacions_____	4
2 DESCRIPCIÓ DE LA SOLUCIÓ ADOPTADA_____	6
2.1 Components_____	7
2.2 Material_____	8
2.3 Unió_____	8
2.4 Perfil_____	9
2.5 Laminat_____	10
3 AVANTATGES DE LA REDUCCIÓ DE PES EN UNA LLANTA_____	14
3.1 L'acceleració i la frenada_____	14
3.2 Efecte giroscòpic_____	14
3.3 Inèrcia de massa_____	14
3.4 Nou disseny Lenticular_____	15
4 METODOLOGIA DE CÀLCUL EMPRADA_____	16
5 RESUM DEL PRESSUPOST_____	18
6 CONCLUSIONS I FUTURES LÍNIES DE TREBALL_____	19
6.1 Conclusions_____	19
6.2. Futures línies de treball_____	19
7 RELACIÓ DE DOCUMENTS_____	21
8 BIBLIOGRAFIA_____	22
ANNEXES_____	25
A ESTUDI D'ALTERNATIVES_____	26
A.1 Disseny adaptat als requeriments_____	26

	<u>Pag</u>
A.2 Desenvolupament d'una idea cap el disseny fina_____	28
B DESCRIPCIONS TÈCNIQUES_____	30
B.1 Teixit preimpregnat_____	30
B.2 Adhesiu estructural_____	33
C DESCRIPCIÓ DE L'ESTAT DE CÀRREGA_____	35
C.1 Introducció_____	35
C.2 Estudi preliminar de la pressió dels pneumàtics_____	35
C.2.1 Estudi del pneumàtic sense càrrega_____	36
C.2.2 Estudi del pneumàtic amb càrrega_____	36
C.2.2 Estudi del pneumàtic en el pas per corba_____	37
C.3 Conclusions_____	39
D METODOLOGIA DE CÀLCUL_____	41
D.1 Obtenció del model d'elements finits_____	41
D.1.1 Realització del model geomètric_____	41
D 1.2 Definició dels elements_____	42
D 1.3 Definició del material_____	44
D 1.4 Dades del material_____	45
D 1.5 Condicions de contorn i càrregues aplicades_____	47
D 1.6 Laminat_____	51
D 1.6.1 Solapaments_____	54
D 1.6.2 Conclusió_____	55
D.2 Anàlisi dels resultats_____	56
D.2.1 Cas pas per corba amb situació límit de bolcada (roda dav.)	56
D.2.1.1 Conclusió cas pas per corba_____	61
D.2.2 Cas aplicant un parell de frenada_____	61
D.2.2.1 Conclusió cas aplicant un parell de frenada_____	67
D.2.3 Cas anàlisi a vinclament_____	67

	<u>Pag</u>
E METODOLOGIA DE FABRICACIÓ_____	71
E.1 Referències al motlle_____	71
E.2 Toleràncies en el tall de patrons_____	73
E.3 Toleràncies en la col·locació dels patrons_____	73
E.4 Col·locació dels patrons en producció_____	73
E.5 Forats i unions adhesives_____	74
F SEGURETAT I HIGIENE EN LA MANIPULACIÓ_____	75

## **1 INTRODUCCIÓ**

### **1.1 Antecedents**

El vehicle de competició de baix consum de l'Escola Politècnica Superior de la UdG, que rep el nom de "Àguila", està rebent millores successives per tal d'augmentar les seves prestacions de cara a la competició anual de la especialitat celebrada a Nogaro (França), la "ECO-Shell marathon".

### **1.2 Objecte**

Realitzar dos dissenys de llantes en material compòsit, un per les dues rodes davanteres i l'altre per l'única roda posterior. Les llantes en material compòsit han de representar millores en prestacions respecte les llantes convencional, actualment equipades en el prototip.

### **1.3 Abast**

Recerca d'informació de solucions de llantes en material compòsit disponibles que ajudi a trobar la solució definitiva. En segon lloc s'aplicaran tècniques de disseny computacional, combinat amb l'estudi de les reaccions generades en el vehicle, per tal de simular tots els possibles comportament sota els quals haurien d'estar sotmeses les llantes en cursa. Finalment els resultats seran presentats a la direcció de l'equip de competició que decidirà la possibilitat de la fabricació en un procés posterior.

### **1.4 Especificacions**

Des de l'equip E.P.S. Shell Eco-Marathon, que és qui encarrega el disseny de les rodes, ens ha donat el següent plec d'especificacions:

#### **a/ Geometria**

Les dimensions de les llantes han de satisfer l'allotjament dels pneumàtics oficials que obliga l'organització de la cursa a calçar a tots els prototips. 20 x 1.75 ". A més les boixes s'ha d'adaptar a les dimensions dels eixos del prototip.

b/ disseny

El disseny de les llantes ha de ser del tipus lenticular, per tal de minimitzar la resistència al vent en el cas de que no estiguessin protegides per la carrosseria.

c/ Pes

El pes ha de ser el més reduït possible, si més no sí s'ha de reduir la seva inèrcia per tal de millorar el comportament de les actuals llantes equipades en el vehicle.

d/ Durabilitat i resistència

Haurà d'aguantar els esforços als quals seran sotmesos durant la cursa sense arribar a la fallida dels materials i sense que es produeixin deformacions permanents sota la pressió d'inflat de 6 bars.

e/ Materials

Hauran de ser fabricades en fibra de carboni. Una de les premisses bàsiques de la política de l'equip es base en l'aprenentatge continu en materials compòsits per part dels seus membres, per tal d'anar utilitzant els nous coneixements en les millores que rep el prototip any darrera any.

f/ Fabricació

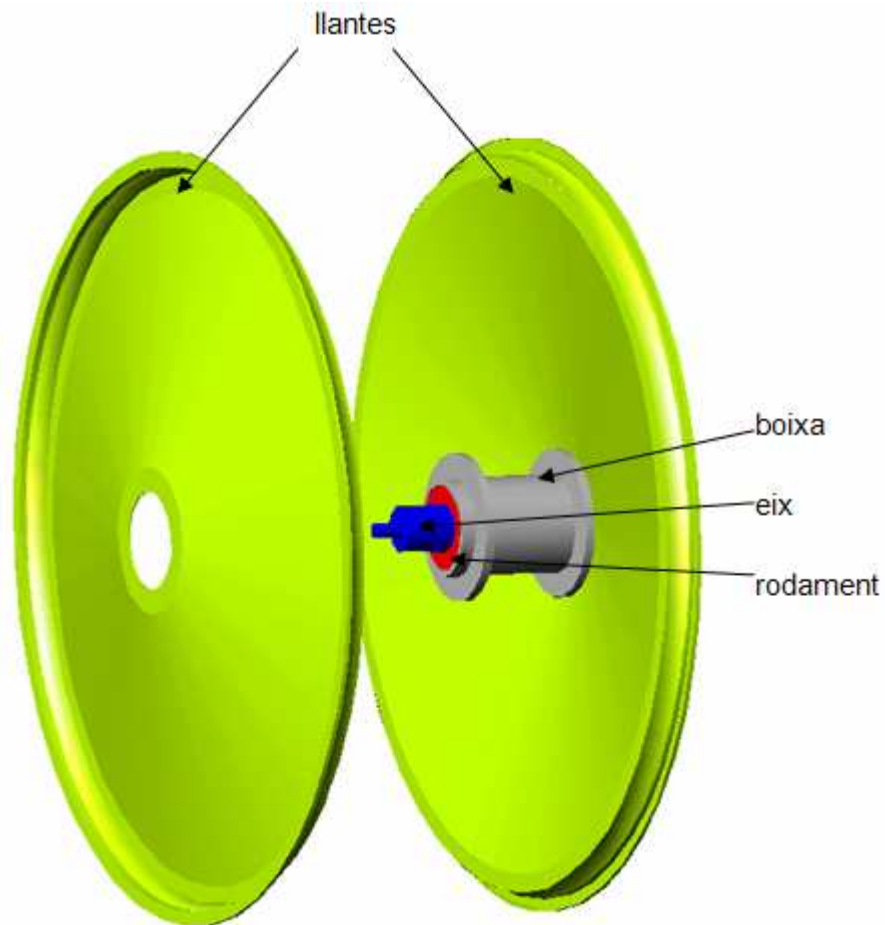
Hauran de ser fabricades pels membres de l'equip i a les instal·lacions d'un dels patrocinadors, per tant cal tenir en compte la maquinària de la qual es disposa, i també la poca qualificació dels encarregats de fabricar la peça. Això implica que caldrà cercar la simplicitat en la fabricació per evitar problemes.

g/ Manteniment

El manteniment ha de ser nul, només s'haurà de posar atenció als canvis de pneumàtics.

## 2 DESCRIPCIÓ DE LA SOLUCIÓ ADOPTADA

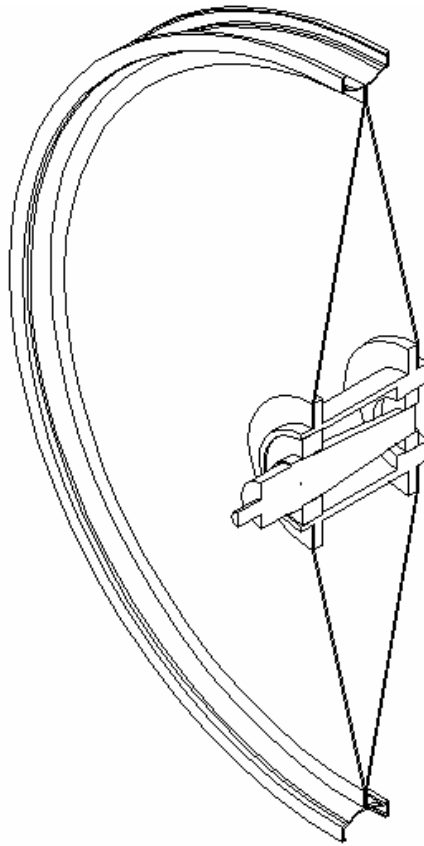
La solució final adoptada pel disseny de les llantes consta per la unió adhesiva de dues peces iguals fabricades en fibra de carboni. La facilitat de poder fabricar dos "plats" simètrics resulta el punt fort d'aquest disseny, el qual, amb un únic motllo s'arriben a construir la totalitat de les llantes. (Veure figura 1)



**Fig.1** Conjunt obert

## 2.1 Components

Com mostra la figura 2 la geometria del disseny escollit a implicat el disseny d'una caixa singular, la qual pugui acollir les dues peces en fibra de carboni i l'actual eix. La unió de les peces de fibra entre elles i a la caixa conformen la geometria final de la roda.



**Fig.2** Secció de la roda

Les úniques premisses tingudes en compte per dur a terme la caixa han estat que la roda pogués equipar uns rodaments d'alta precisió utilitzats en la indústria aeroespacial. Aquest fet ha incrementat sensiblement les dimensions de la caixa, però des de l'equip s'ha cregut convenient la utilització d'aquest tipus de rodaments sempre i quan el pressupost ho permeti. En el seu defecte s'utilitzaran un tipus de rodaments més convencionals, ja que s'ha triat una sèrie de mesures estàndard de rodaments d'alta precisió.

Les dimensions de l'eix es mantenen intactes per aprofitar la peça actual i per no variar els paràmetres de la nova direcció dissenyada. El fet de conservar el mateix eix també dona la possibilitat d'utilitzar, en qualsevol moment, les llantes convencionals a forma de ràpid recanvi, cosa molt valorada pel la direcció de l'equip, pensant en futures situacions d'emergència.



## **2.2 Material**

Escollir la fibra de carboni com el material a emprar no ha estat a l'atzar. Els avantatges que comporta la fibra de carboni en referència als rati rigidesa/pes i resistència/pes són indiscutibles. La resistència a la fatiga d'aquest tipus de material és més elevada que la de l'alumini, material utilitzat en les actuals llantes, a més, la voluntat d'entendre millor el comportament i els processos de fabricació d'aquest material per part dels membres de l'equip posicionen a la fibra de carboni com el material més idoni.

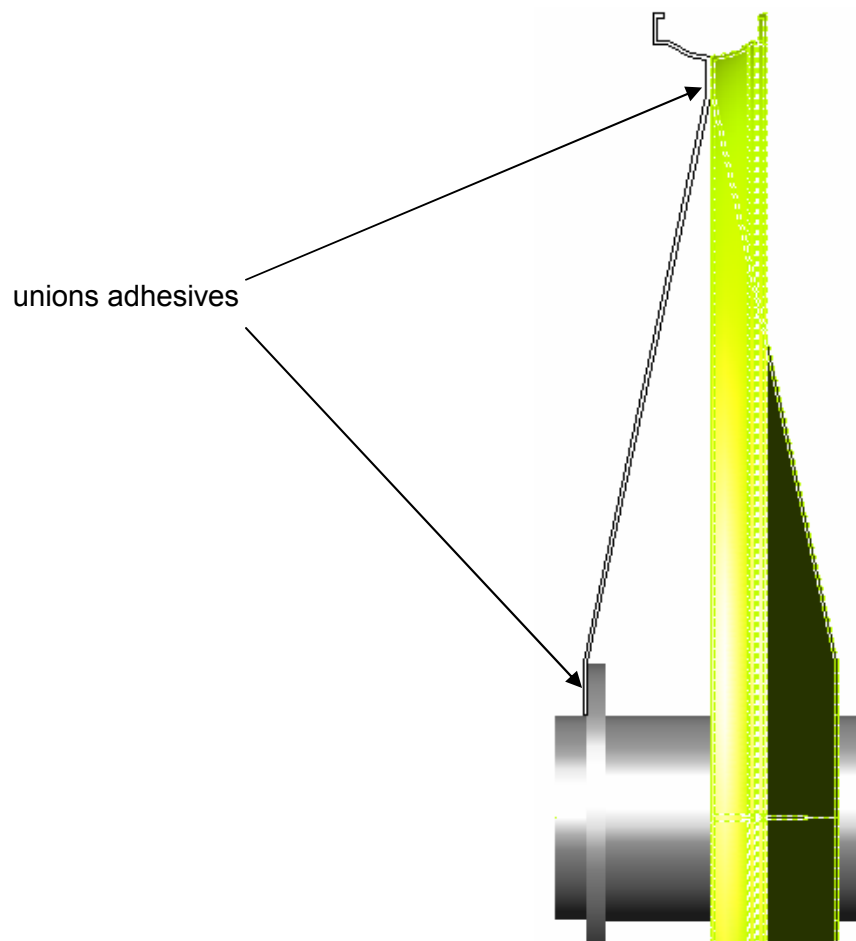
La fibra de carboni triada és del tipus preimpregnada amb una disposició del teixit de 0/90 graus, fet que aconsegueix la realització de las llantes amb 4 capes (Veure el plànol número 5 del document número 2). Més informació en l'annex B, descripcions tècniques.

Pel que fa a les boixes s'ha pensat la utilització de l'alumini 7075-T6 per dur a terme aquestes peces tant compromeses.

## **2.3 Unions**

La unió de totes les peces, exceptuant l'eix i les seves peces afines, es duu a terme mitjançant un adhesiu estructural de gran resistència, permeten no perjudicar el conjunt amb el pes de cap tipus de cargol. (Veure figura 3)

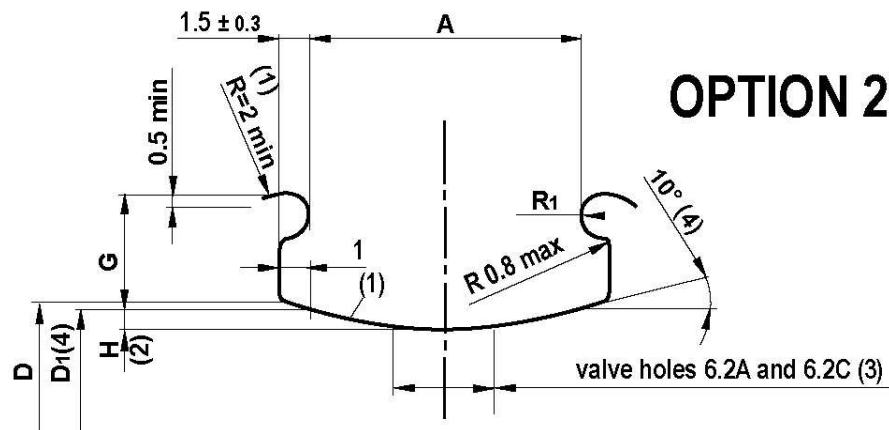
La voluntat creixent d'anar incorporant aquests sistemes de fixació en peces del prototip ha estat també un punt clau en la utilització de l'adhesiu. Sempre buscant la reducció continua de pes. Actualment ja s'ha dut a terme la unió de conjunts de peces d'alta importància estructural en el vehicle amb uns resultats excel·lents, demostrats en tots els assajos realitzats.



**Fig.3** Unions adhesives

## 2.4 Perfil

La geometria del perfil que allotja el pneumàtic format per la unió de les dues llantes s'ha agafat d'una llanta comercial de 20 x 1.75 ". Aquest fet ens garanteix no tenir problemes en la unió formada pel taló i el pneumàtic. (Veure figura 4)



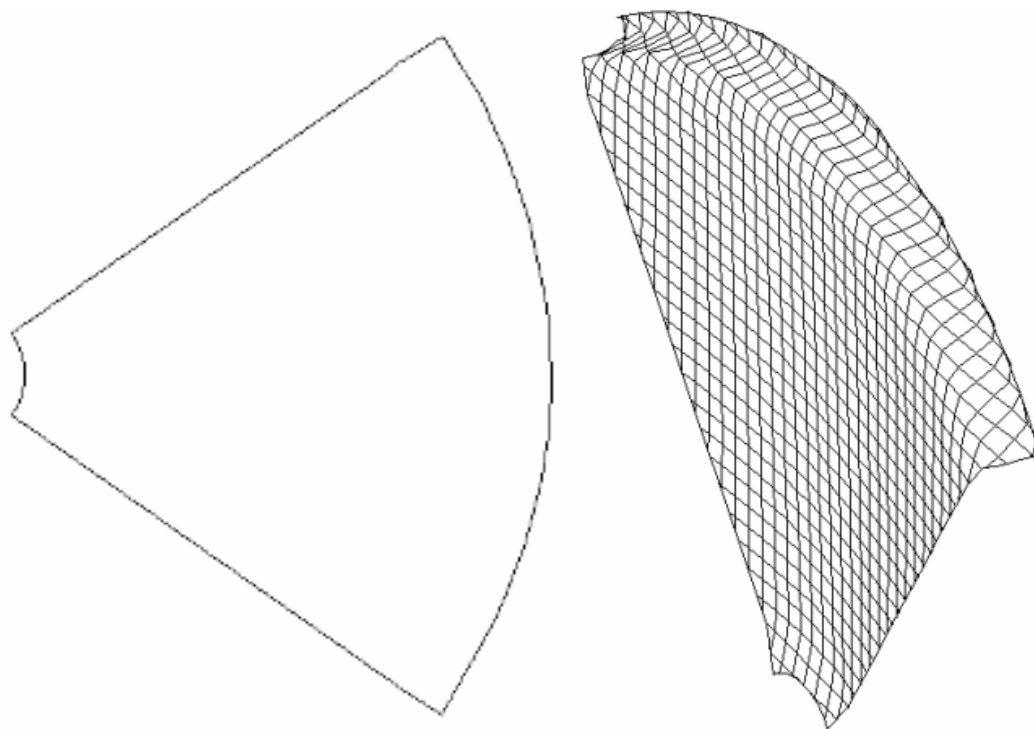
**Fig.4** Perímetre interior de la secció de la llanta

S'ha agafat el perímetre interior de la secció de la llanta com a referència. Aquest perímetre és el que està en contacte amb el pneumàtic, i s'ha d'assegurar aquesta geometria pel bon funcionament de les dues parts.

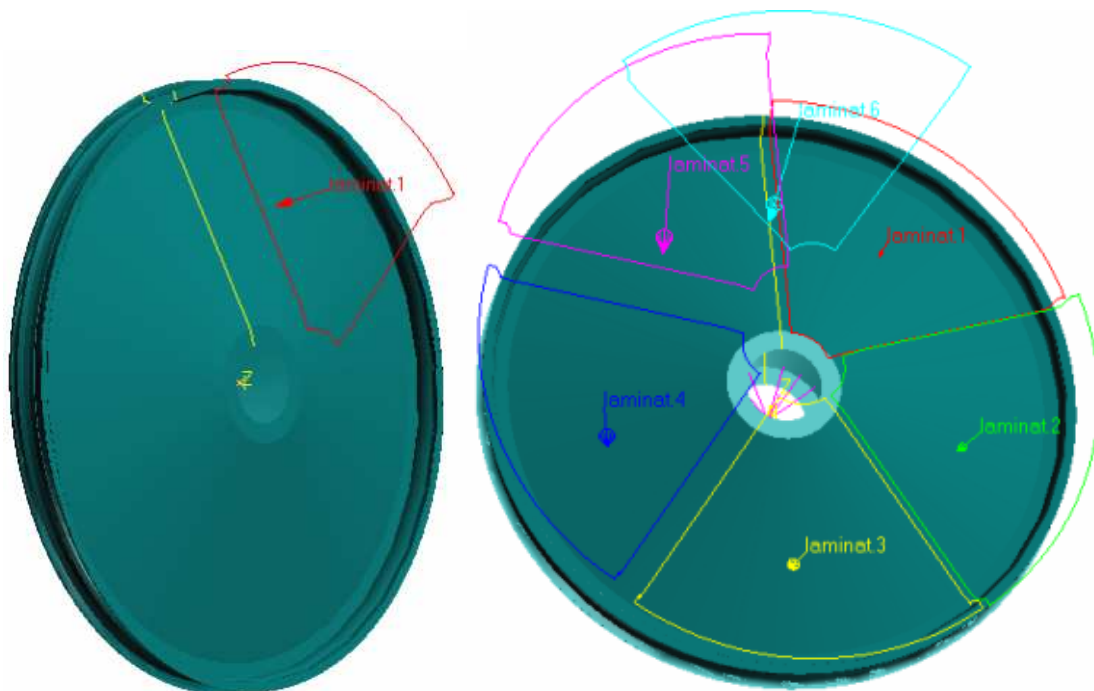
El gruix final de la llanta vindrà donat per la quantitat de capes de fibra de carboni utilitzades en la fabricació, com en el gruix de la fibra.

## 2.5 Laminat

La conformació del material compòsit per executar les llantes ve determinat per un guió de laminació format per patrons. Aquests patrons de disseny únic es disposaran de forma radial formant la primera capa, per posteriorment, després d'un decalatge, formar la segona; i així successivament fins a formar la totalitat de les capes compreses en el laminat dissenyat. (Veure figures 5 i 6)

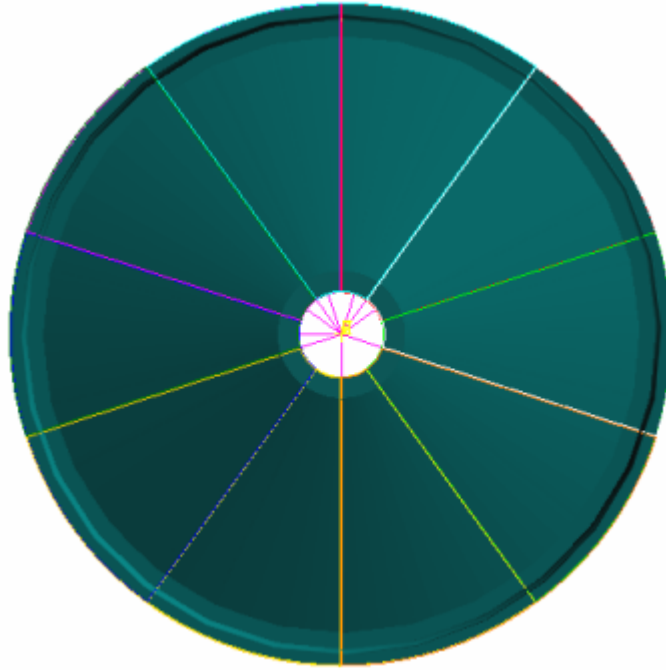


**Fig.5** Patró en 2D i 3D



**Fig.6** Disposició dels patrons

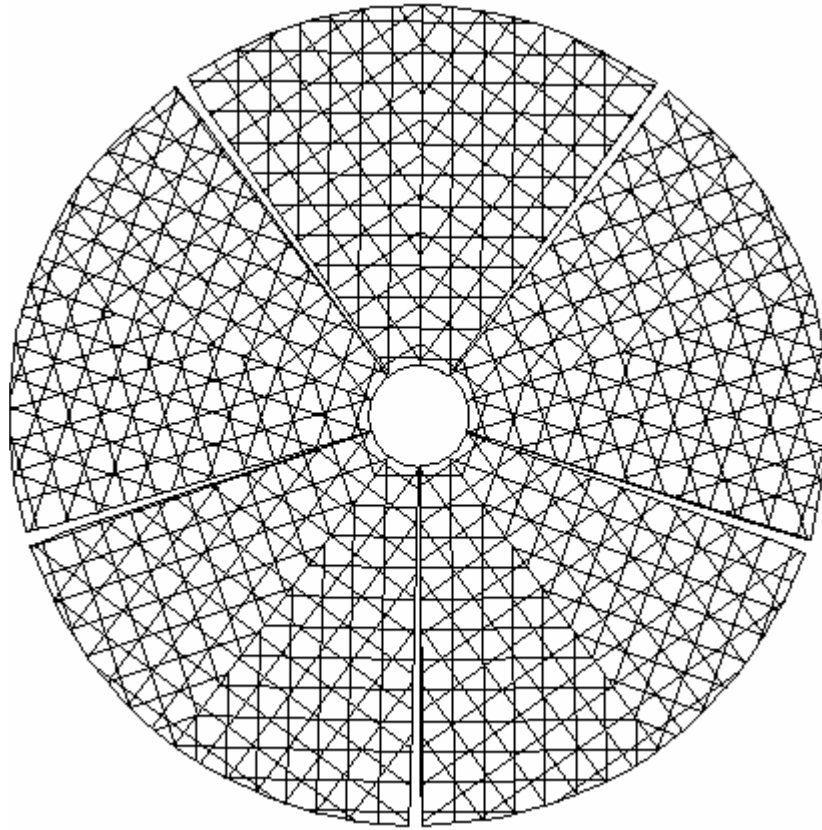
D'aquesta forma es pretén que el laminat resultant simuli l'efecte dels radis d'una llanta convencional. Ja que les capes "parelles" estan decalades respecte les capes "imparelles" aconseguint un total de 10 direccions radials principals del material. Aquest nombre és fàcilment ampliable incrementant el nombre de patrons per capa, però s'ha optat per no fer-ho per facilitar la fabricació i manipulació dels patrons, per no comptar que com més petits són les porcions de fibra, més difícil resulta obtenir bons resultats finals deguts a la manipulació. (Veure figura 7)



**Fig.7** Direccions principals del compòsit

Així doncs tenim fibra orientada en 10 direccions radials diferents, més les seves perpendiculars, ja que el teixit disposat està orientat a  $0^{\circ}/90^{\circ}$ .

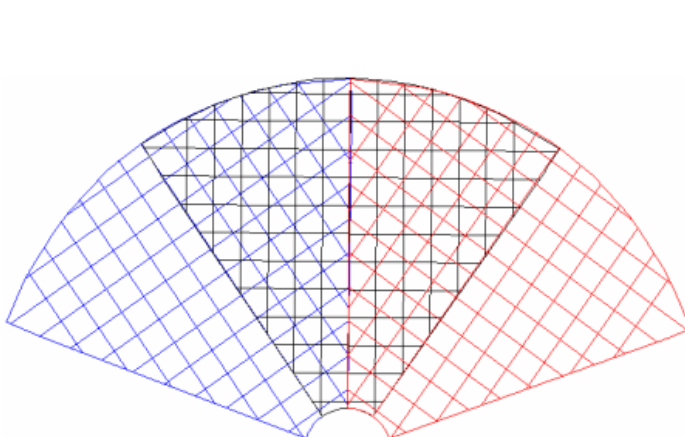
En la figura 8 es mostra el total de les orientacions del material situades totes les capes. Val la pena observar que en el disseny final no tants sols les fibres treballen radialment, sinó que gràcies a la distribució dels patrons s'aconsegueix també una certa disposició circumferencial on les fibres dibuixen una geometria pentagonal. Gràcies això aconseguim distribuir els possibles esforços sobre una superfície més gran.



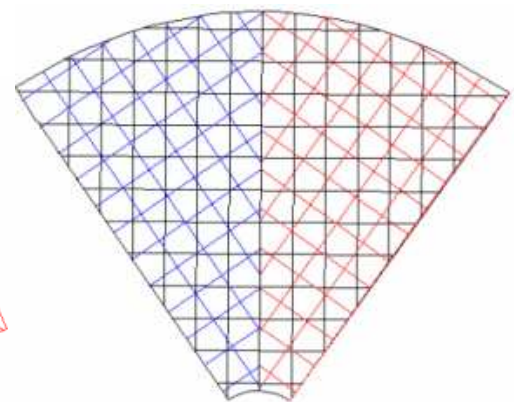
**Fig.8** Orientacions de les fibres

La figura 9 i 10 vol explicar de on provenen les direccions de les fibres respecte als patrons.

Agafat una secció de la roda, els diferents colors simbolitzen la naturalesa d'un patró donat, negre, blau i vermell; en total tres patrons.



**Fig.9** Disposició de 3 patrons



**Fig.10** Orientació de fibres en una en segment de la roda

### **3 AVANTATGES DE LA REDUCCIÓ DE PES EN UNA LLANTA**

Les característiques més importants per aconseguir un comportament satisfactori d'una llanta són el pes, la rigidesa i la resistència.

El magnesi proporciona el rati resistència/pes més favorable d'entre qualsevol metall, i només és superada per la fibra de carboni.

Per millorar la maniobrabilitat del prototip el més important és reduir el pes de les masses que es traslladen, mantenint la fiabilitat i la rigidesa d'aquests elements. Això és el que s'aconsegueix amb el compòsit de fibra de carboni i epoxi.

La reducció de massa dels elements que roden comporta majors beneficis que la dels elements que només es traslladen. Alguns dissenyadors utilitzen el factor de vuit, per valorar els beneficis que comporta la reducció de pes en els elements que roden. Per exemple, en un vehicle per a *car cross* [1] reduir 125 gr. de la massa d'una llanta suposa un benefici equivalent a reduir 1000 gr. de la massa estàtica.

#### **3.1 L'acceleració i la frenada**

El parell requerit per fer començar a girar una roda augmenta amb la massa de la llanta, ja que, l'increment d'aquesta massa fa augmentar el moment d'inèrcia de la roda. El mateix passa amb el parell requerit per frenar la roda. Per tant l'energia requerida per accelerar i frenar és menor si la llanta és més lleugera, millorant les prestacions i el consum de combustible.

#### **3.2 Efecte giroscòpic**

Quan una llanta dona voltes és més difícil fer-la canviar de direcció que quan està parada. Reduint la massa de la llanta es redueix l'efecte giroscòpic i en conseqüència els canvis de direcció requereixen un esforç menor per part del pilot.

#### **3.3 Inèrcia de massa**

Aquesta és més una qüestió de disseny que de pura reducció de pes, però ambdues estan íntimament lligades.

La distribució de les masses en la llanta són a un determinat radi de gir d'aquesta. Per tal de millorar el comportament de la llanta, el dissenyador ha d'intentar reduir aquest radi de gir. Així la massa de la llanta queda acumulada el més a prop possible del centre. D'aquesta manera es millora la maniobrabilitat i l'estalvi d'energia.

Això s'aconsegueix alleugerint el pes de la llanta als seus extrems, mantenint la rigidesa i resistència necessàries.

### **3.4 Nou disseny lenticular**

Les llantes lenticulars presenten grans avantatges aerodinàmics respecte les llantes convencionals, encara que el seu pes resulta lleugerament superior a les confeccionades amb radis.

La utilització dels materials compòsits en el disseny de la llanta no sols a suposat un increment petit del pes (una mica més del 15%), sinó una important reducció en la inèrcia de la roda (20%), millorant les prestacions de la llanta actualment utilitzades.



#### **4 METODOLOGIA DE CÀLCUL EMPRADA**

L'objectiu dels càlculs consisteix en determinar, per una banda, si la llanta dissenyada proporciona unes prestacions millors que les utilitzades, i per l'altra banda, si el disseny compleix amb els requisits de resistència mecànica als que està previst que estigui sotmesa.

Aquestes prestacions desitjades es comproven en un moment molt inicial del desenvolupament del disseny. Al mateix temps que s'obté una possible geometria final de les llantes, i mitjançant eines informàtiques, es comprova tant el pes, com les inèrcies respecte l'eix de rotació.

En el cas de no obtenir uns paràmetres satisfactoris, es torna a dissenyar la llanta i es dur a terme una nova comprovació; i així successivament fins obtenir un disseny geomètric que augmenti satisfactòriament les prestacions de les llantes que s'utilitzen avui dia.

Una vegada superada aquesta fita, es passa a analitzar el disseny amb el mètode d'elements finits, mitjançant els programes comercials Patran/Marc.

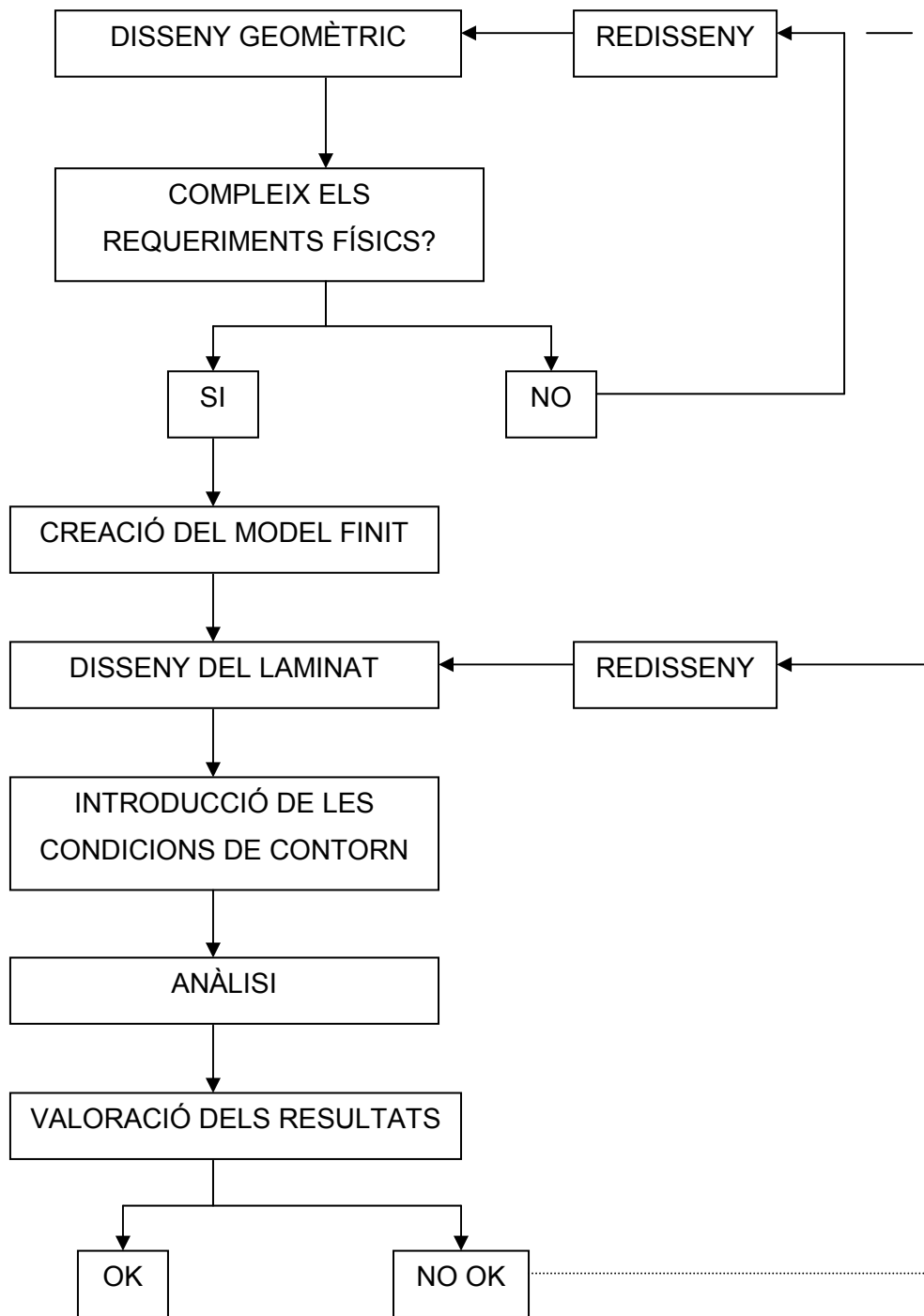
Aquest mètode numèric permet resoldre de forma aproximada el problema del càlcul de resistència mecànica de la llanta, per poder predir el comportament per a unes condicions de funcionament donades.

El mètode de càlcul consisteix en discretitzar la llanta en un nombre finit de formes geomètriques senzilles anomenades elements, on el seu comportament s'especifica amb un nombre finit de paràmetres.

Les accions sobre els elements, les propietats dels materials que el componen, y les relacions que defineixen el comportament d'aquests elements, són considerades sobre punts determinats, anomenats nodes, dels elements finits. Al conjunt es coneix com a malla.

D'aquesta manera s'arriba a unes equacions que després d'un procés d'assemblatge permeten passar a un model numèric o computacional (problema discret), el qual una vegada resolt dona una idea molt aproximada i intuïtiva del comportament del problema.

Una vegada analitzats els resultats obtinguts si no són satisfactoris es torna a la fase d'un nou model geomètric que torni a complir les condicions físiques requerides. Finalment al disposar d'un disseny que compleixi tots els estaments preestablerts es validarà i es donarà per acabat l'estudi. (Veure figura 11)



**Fig.11** Diagrama de treball

## **5 RESUM DEL PRESSUPOST**

El cost total del projecte "Disseny de les llantes en material compòsit de les rodes davanteres i roda posterior del vehicle de baix consum, Àguila" és de 849.5 €. (Vuit-cents quaranta nou euros amb cinquanta cèntims) IVA inclòs.

Aquest preu inclou els materials necessaris per a la seva realització i el seu control de qualitat. No inclou els honoraris de redacció del projecte.

## **6 CONCLUSIONS I FUTURES LINIES DE TREBALL**

### **6.1 Conclusions**

Del present projecte s'ha pogut concloure que el treball amb materials compòsits i entendre el comportament d'una roda resulten empreses més complicades del que sembla a priori.

No hi ha una metodologia totalment automatitzable per dissenyar i calcular llantes. És necessari una ment creativa, la de l'enginyer, per prendre decisions respecte als canvis de geometria i a la disposició del material fins a obtenir el disseny definitiu.

És un mètode iteratiu, depenent de lo a prop que estigui el disseny inicial de la solució definitiva, abans o després es finalitzarà. És convenient fer una bona estimació inicial, però no hi ha trucs per fer-ho; a major experiència millor serà el disseny inicial.

Com a conclusió final del projecte, dir que s'ha aconseguit arribar a una solució satisfactòria davant de les especificacions plantejades, arribant a millorar les llantes actuals, amb la viabilitat per tal de ser executades dintre de les possibilitats de l'equip E.P.S. Shell Eco-Marathon de la Universitat de Girona.

### **6.2 Futures línies de treball**

Les llantes s'han dissenyat tenint en compte únicament les cargues que es poden considerar estàtiques. Durant la conducció és evident que es generen vibracions, que els esforços provinents del terreny tenen una distribució variable. Això farà que les llantes puguin fallar a fatiga.

Per una altra part l'estat de carregues al qual està sol·licitada la llanta depèn amb molta importància del comportament de pneumàtic, i com aquest treballa. Així doncs conèixer com s'efectua la transferència de carga del pneumàtic a la llanta obriria noves vies d'anàlisi que podrien arribar a una major optimització del disseny. No resulta una fita fàcil conèixer el comportament dels pneumàtics. Des de la seva composició fins a les proves que s'utilitzen per fer els tests, els fabricants guarden amb molt recel i secret tot el procés que involucra als pneumàtics. Cada fabricant ha desenvolupat els seus propis mètodes y proves per analitzar-los. Aquestes proves i els seus resultats són d'ús intern i no es comú que facilitin aquestes dades.

Seria dolent oblidar la instrumentació del prototip. Els assajos per comprovar el funcionament real del disseny, i així comparar-lo amb el model numèric obriria una porta molt valuosa pel que fa a comprendre i a la optimització de les llantes.

Ivan Recio Gómez  
31 de març de 2006

## **7 RELACIÓ DE DOCUMENTS**

DOCUMENT 1: MEMÒRIA DESCRIPTIVA

ANNEXES A LA MEMÒRIA:

ANNEX A: ESTUDI D'ALTERNATIVES

ANNEX B: DESCRIPCIONS TÈCNIQUES

ANNEX C: DESCRIPCIÓ DE L'ESTAT DE CÀRREGA

ANNEX D :METODOLOGIA DE CÀLCUL

ANNEX E: METODOLOGIA DE FABRICACIÓ

ANNEX F: SEGURETAT I HIGIENE EN LA MANIPULACIÓ

DOCUMENT 2: PLÀNOLS

DOCUMENT 3: PLEC DE CONDICIONS

DOCUMENT 4: ESTAT D'AMIDAMENTS

DOCUMENT 5: PRESSUPOST

ANNEX A: REDACCIÓ DEL PROJECTE

## **8 BIBLIOGRAFIA**

- [1] AXSON. Documentos técnicos. (<http://www.axson.es>), 2006
- [2] BARCELÓ CRISTINA, M. Disseny dels elements mecànics d'un prototip de baix consum. Projecte Fi de carrera. Enginyeria Tècnica Mecànica Industrial. Escola Politècnica Superior. Universitat de Girona. 2004.
- [3] DURAN PLANA,E. Disseny i realització del xassís d'un cotxe de baix consum. Projecte Fi de carrera. Enginyeria Tècnica Mecànica Industrial. Escola Politècnica Superior. Universitat de Girona. 2004.
- [4] EDWARD SHIGLEY,J i R. MISCHKE,C. Diseño en ingeniería mecànica. Ed. Mc Graw Hill, sisena edició. 2002.
- [5] FAG. Rodamientos FAG. Edició 2000.
- [6] FINNISH MILEAGE MARATHON CLUB, Links. (<http://www.eco-marathon.net>), 2006
- [7] FOALE,T. Motocicletas comportamiento dinámico y diseño de chasis. ISBN-84-933286-3-4, primera edició. 2004.
- [8] GASCONS TARRES,M. Disseny d'un casc de material compòsit per l'estructura d'un robot submarí: Càlcul estructural i definició del laminat per a la producció. Projecte Fi de carrera. Enginyeria Tècnica Mecànica Industrial. Escola Politècnica Superior. Universitat de Girona. 2004.
- [9] HIPER TECHNOLOGY. Faq's. (<http://www.hiper-technology.com>), 2006

- [10] MSC SOFTWARE. Patran help. 2005. (CD ROM)
- [11] MSC SOFTWARE. Patran Laminate Modeler User guide. 2005 (CD ROM)
- [12] MSC SOFTWARE. Thechnical support. (<http://www.mscsoftware.com>), 2006
- [13] N. TSAI,S. Diseño y análisis de materiales compuestos. Ed. Reverté S.A., primera edició. 1988.
- [14] PAJARES BRETONES,E. Millora del rendiment i de la fiabilitat del vehicle de baix consum "Àliga". Projecte Fi de carrera. Enginyeria Tècnica Mecànica Industrial. Escola Politècnica Superior. Universitat de Girona. 2005.
- [15] ROBERT M.,J. Mechanics of composite materials. Ed. Taylor & Francis, segona edició. 1999.
- [16] RODRIGUEZ NIETO,X. Disseny de la part posterior d'un prototip de baix consum realitzat amb materials compòsits mitjançant el mètode dels elements finits. Projecte Fi de carrera. Enginyeria Industrial. Escola Politècnica Superior. Universitat de Girona. 2005.
- [17] SHELL. Shell Eco-Marathon. (<http://www.shell.com>), 2006
- [18] Campus tecnológico de la univesidad de navarra  
(<http://www.tecnun.es/automocion/proyectos/chasis/inicio.htm>), 2006



[19] TERRICABRAS CASTELLS,F. Disseny i anàlisi d'una llanta de fibra de carboni. Projecte Fi de carrera. Enginyeria Industrial. Escola Politècnica Superior. Universitat de Girona. 2005.

[20] THEORETICAL BACKGROUND OF ESACOMP DESIGN TOOLS. Versió 2.0. Helsinki 2001.

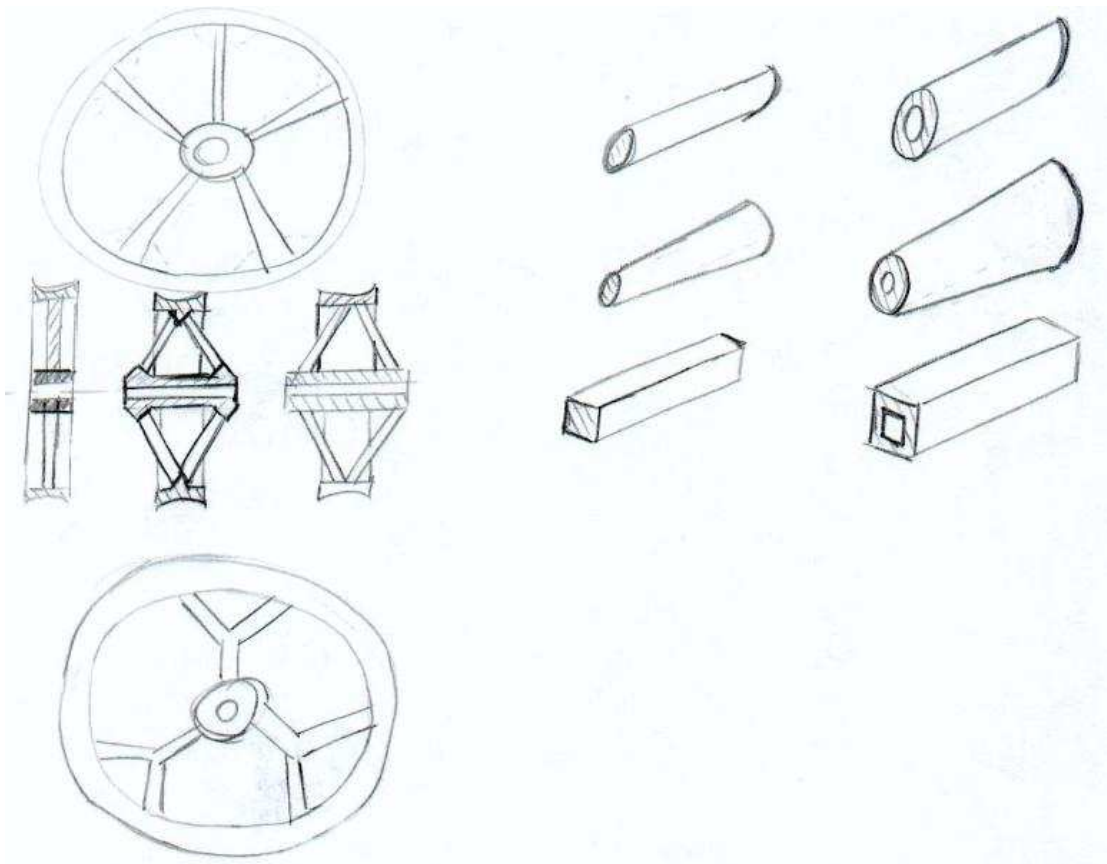
# ANNEXES

## **A ESTUDI D'ALTERNATIVES**

En les següents línies es descriu l'evolució que van patir tots i cada un dels dissenys previs fins arribar al disseny final.

### **A.1 Disseny adaptat als requeriments**

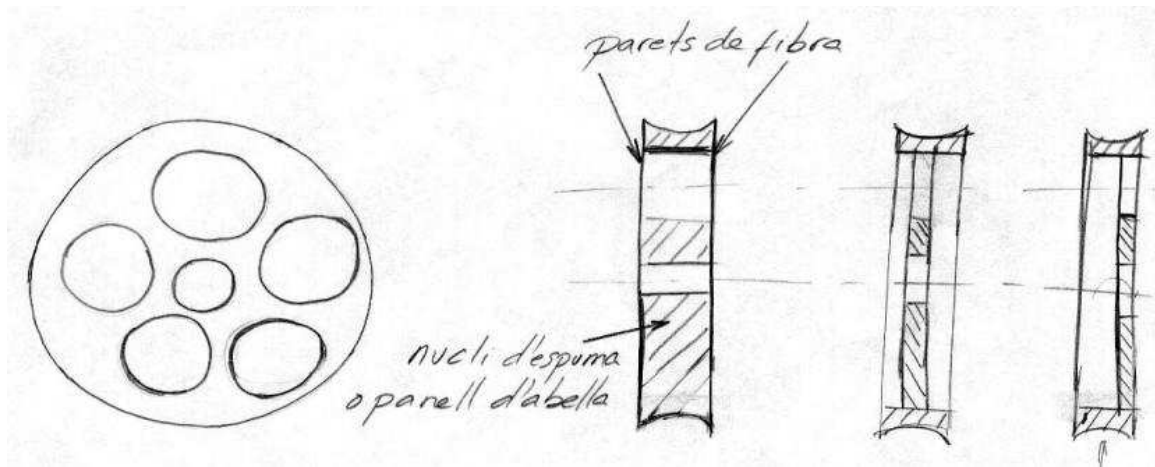
Partint de la premissa que el disseny final tenia que abocar cap una solució lenticular es van desestimar l'estudi de solucions, on impliqués la utilització de radis o pals. Ni en el cas de poder cobrir aquestes solucions per acabar tenint unes llantes lenticulars, la gran dificultat de muntatge que suposava fer-les en material compòsit han desaconsellat el seu estudi des de un inici. (Veure figura 12)



**Fig.12** Esbossos de pals

Altres dels punts importants, condicionant del disseny, és la fabricació. Dur a terme la fabricació de les rodes per personal no del tot qualificat resulta un fet que no es pot oblidar. Degut això s'han desestimats solucions que requerien a priori una certa tècnica en la manufactura. Seguint aquesta idea no s'ha trobat adien l'estudi de llantes on intervinguessin materials com espumes o panells d'abella com a nucli estructural de les llantes.

La combinació d'aquests materials amb la fibra de carboni es utilitzada extensament en la indústria sense cap tipus de problema, però el temor d'una no molt bona adhesió dels diferents materials degut a la fabricació han condemnat aquest tipus de solució. (veure figura 13)



**Fig.13** Esbossos amb nucli d'espuma o sandwich

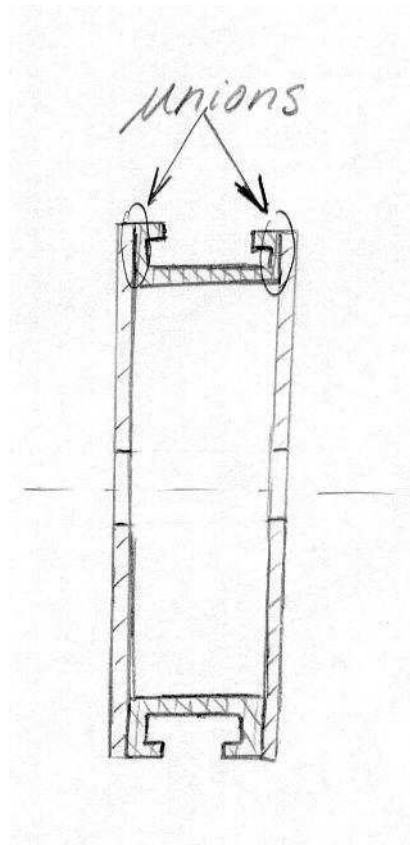
## **A.2 Desenvolupament d'una idea cap el disseny final.**

Era clar que el disseny havia de ser senzill i utilitzant el mínim de peces o components possibles.

Primerament es va estudiar la realització d'unes llantes formades per un anell exterior, on es dipositaria el pneumàtic, i dues tapes laterals que durien a terme tant la funció aerodinàmica o lenticular, com la estructural. Finalment les tapes laterals serien les responsables d'unir-se a la boixa.

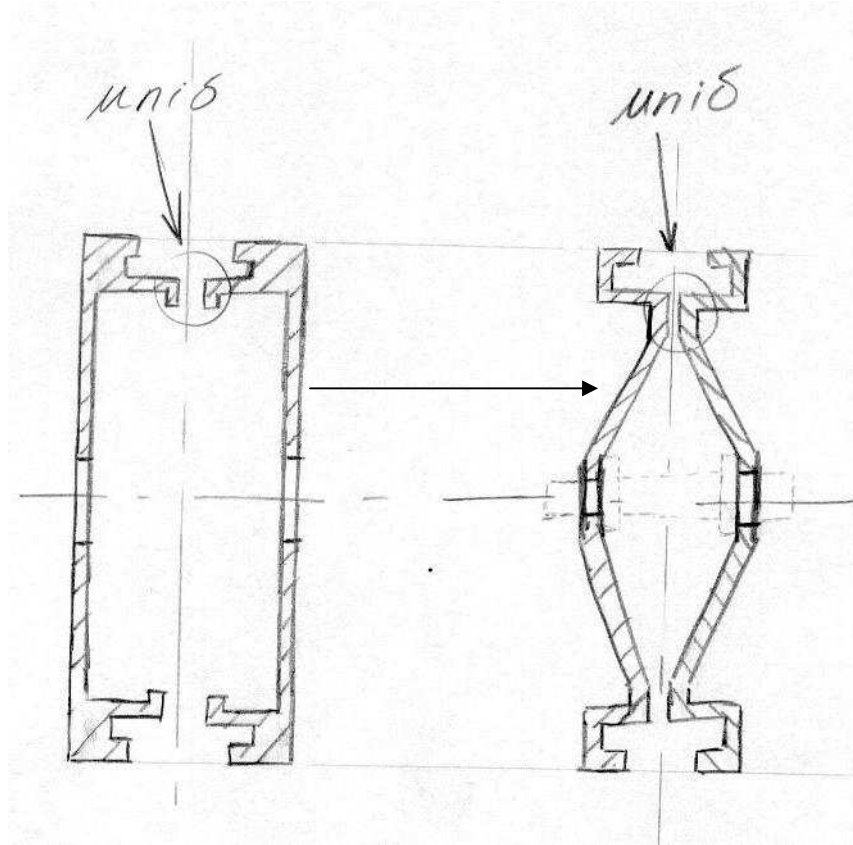
Les principals avantatges d'aquest sistema eren la senzillesa i la robustesa del conjunt.

Els inconvenients que van fer desestimar aquest sistema era la necessitat d'utilitzar dos tipus de motlles diferents per arribar a construir la totalitat de les peces, amb el cost que això suposa. (Veure figura 14)



**Fig.14** Predisseny

A partir d'aquest últim punt es va estudiar la manera d'utilitzar únicament un sol motlle per tal de fabricar les llantes. Tot passava per realitzar unes llantes definides per dues parts simètriques per tal de simplificar la fabricació. (Veure figura 15)



**Fig.15** Evolució final del disseny definitiu

## **B DESCRIPCIONS TÈCNIQUES**

Aquest annex il·lustra les propietats tècniques dels materials utilitzats i que s'han fet servir en l'estudi d'aquest projecte.

### **B.1 Teixit preimpregnat**

Teixit de nom comercial HX 42 d'altres prestacions de carboni preimpregnats amb un sistema d'epoxy que polimeritza a partir de 65 °C.

El teixit és apte pels processos per termoconformat, per espumat, per RTM (Resin Transfer Moulding).

- **CARACTERÍSTIQUES:**

Baixa temperatura de curat inicial: 65 °C.

Alta resistència tèrmica rere el post-curat: 200 °C.

Facilitat de manipulació: optima unió entre capes i excel·lent deformabilitat.

Apte per la realització de formes complexes.

Excel·lent aspecte superficial.

Bona resistència química.

Permet un curat en bossa de buit, en autoclau o estufa.

Baix contingut de matèria volàtil < 1%.

Temps d'utilització a temperatura ambient: 5 dies.

- **CURAT:**

L'augment de la temperatura fins assolir la temperatura nominal de curat ha de ser de 2 °C/min i els descens al final del procés ha de ser de 2'5 °C/min.

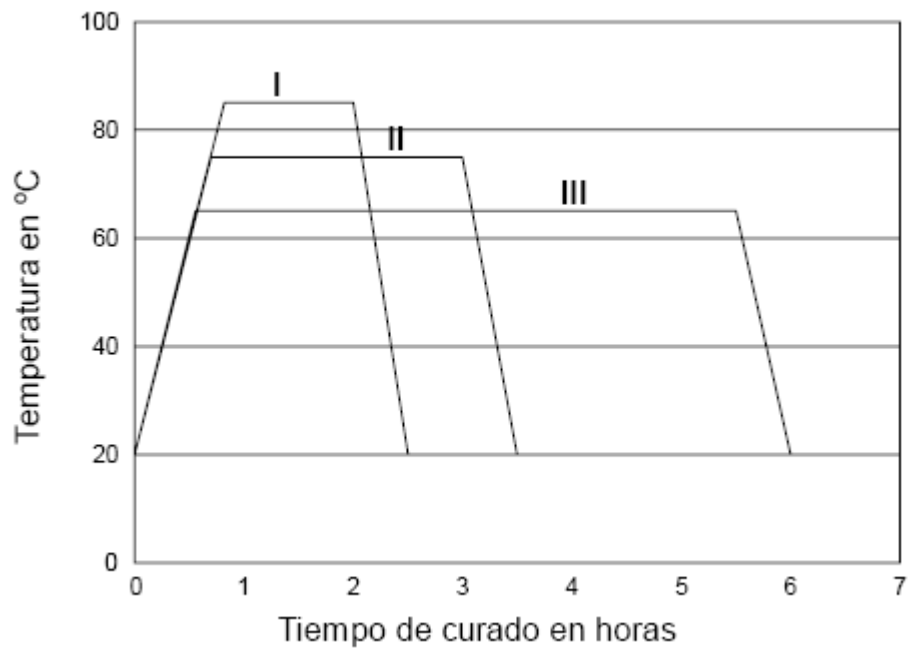
El curat es pot dur a terme amb qualsevol dels tres cicles diferents exposats a continuació.

Cicle I : 70 min. a 85 °C

Cicle II : 2 h. 30 a 75 °C

Cicle III : 5 h. a 65 °C

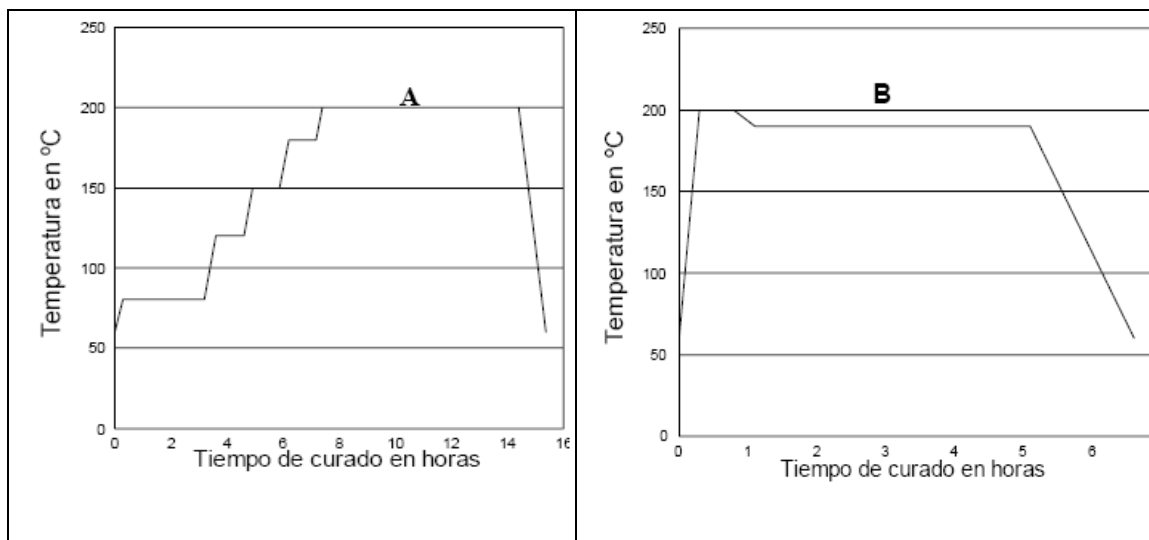
Rere qualsevol d'aquests cicles de curat es possible desmoldejar el sistema. (Veure figura 16)



**Fig.16** Cicles de curat.

- POST-CURAT:

La peça ha de reposar d'una manera uniforme en el interior de la estufa, amb l'objecte de mantenir una bona repartició de les cargues. El cicle de post-curat a efectuar es pot escollir entre els dos següents: (Veure figura 17)



**Fig.17** Cicles de post-curat.



Cicle de post-curat A	Cicle de post-curat B
2 h a 80 °C	0'5 h a 200 °C
1 h a 120 °C	4 h a 190 °C
1 h a 150 °C	
1 h a 180 °C	
8 h a 200 °C	

**Taula 1** Cicles de post-curat.

Amb un augment de temperatura entre parades de 1 °C/min. i un descens de temperatura de 2'5 °C/min. pel cicle A, i un augment de temperatura entre parades de 0'3 °C/min. i un descens de temperatura de 2'5 °C/min. pel cicle B.

- DESCRIPCIÓ ESPECÍFICA:

Tipus de fibra	Carboni 3K HR T300
Teixit	Sarga 2/2
g/m <sup>2</sup>	200
Espessor (mm)	0'23
% de resina	46 (en massa amb respecte a la massa total del preimpregant)

- MAGATZEMATGE:

Rere la sortida de fàbrica, el preimpregnat es pot utilitzar durant: 2 dies a 30 °C, 6 dies a 20 °C, o 14 dies a 6 °C, i es conserva 12 mesos a -18 °C.

Els rotllos es emmagatzemen horitzontalment i en el seu embalatge d'origen estan protegits de la humitat.

## B.2 Adhesiu estructural

L'adhesiu estructural, de nom comercial, ADEKIT H 9951 és un adhesiu d'epoxi bicomponent sense carga que el converteixen en un producte ideal per la realització de encolats de grans dimensions que tinguin que tenir una alts nivells de resistència mecànica i resistència al envelliment.

- APLICACIONES:

Encolats de panells: niu d'abella, alumini i nomex sobre xapes d'alumini, xapes de inox..., compòsits, fusta, termoplàstics, espumes...

- MAGATZEMATGE:

La data de caducitat és de 18 mesos en estàncies lliures d'humitat i a una temperatura compresa entre els 15 °C i 25 °C, en els envasos d'origen sense obrir.

- PROPIETATS FÍSQUES: (Taula 2)

PROPIEDADES FÍSICAS			
	RESINA	ENDURECEDOR	MEZCLA
Proporción de mezcla en peso	100	62	
Proporción de mezcla en volumen	100	73	
Color	ámbar claro	rojo translucido	amarillo pálido
Densidad a 25°C	1,16	0,98	1,08
Viscosidad (Brookfield RVT sp3 6rpm) (mPa.s)	12.000	10.000	11.000
Pot life (50 g) a 25°C			50

PROPIEDADES MECANICAS SOBRE ENSAMBLAJES			
RTC sobre aluminio <sup>(1)</sup>	ISO 4587-95	MPa	25 RA
Resistencia al pelado <sup>(1)</sup>	ISO 4578-90	kN/m	4 RA

RTC: resistencia en tracción cizallamiento sobre aluminio 2017A decapado sulfocrómico.

(1) Condiciones de reticulación: 8 h a 80°C + 48 h a temperatura ambiente.

(2) RA: Rotura adhesiva según la norma ISO 10365-92

**Taula 2** Propietats físiques

- PROPIETATS MECÀNIQUES I TÈRMiques: (Taula 3)

<b>PROPIEDADES MECANICAS Y TERMICAS <sup>(1)</sup></b>			
Dureza	ISO 868-85	Shore D1/D15	75/73
Resistencia de rotura en tracci3n	ISO 527-93	MPa	30
Alargamiento a la rotura	ISO 527-93	%	10
Temperatura de transici3n vítrea	TMA-METTLER	°C	60
Coeficiente de dilataci3n lineal (CTE) [-30; +50]°C	TMA-METTLER	10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	70
Temperatura de servicio	-	°C	-40; +120

**Taula 3** Propietats mecàniques i tèrmiques

- CURAT:

8 hores a 80 °C + 48 hores a temperatura ambient.

## **C DESCRIPCIÓ DE L'ESTAT DE CÀRREGA**

### **C.1 Introducció**

Aquest annex vol mostrar el camí seguit alhora de conèixer les càrregues que suporten les llantes. En aquest document s'apliquen els principis físics de la mecànica de sòlid rígid i dels elements a pressió de paret prima per tal de posteriorment aplicar les càrregues calculades sobre el model d'elements finits.

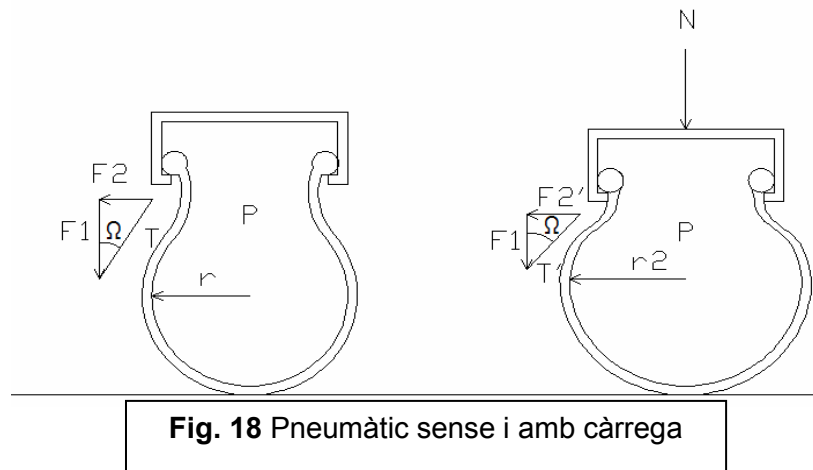
Durant el procés de modelització es va plantejar la idea de crear un model de pneumàtic, per d'aquesta manera estalviar-nos part d'aquests càlculs. Únicament hagués fos necessari conèixer les càrregues externes i aplicar-les directament sobre el pneumàtics per tal d'esbrinar com es comporten les llantes. Aquest plantejament no va tenir èxit. La gran complexitat que amaga el comportament dels pneumàtics sobrepassa amb escreix la fita d'aquest projecte. La relació en que es transmeten les càrregues del pneumàtic a la llanta s'ha explicat amb les equacions per a dipòsits a pressió de paret prima. Sense arribar a explicar totalment aquestes relacions, ens dona una bona aproximació per abordar el càlcul de les llantes amb plenes garanties.

### **C.2 Estudi preliminar de la pressió dels pneumàtics**

Com indiquen les especificacions la pressió de treball a la que estan sotmesos els pneumàtics és de 6 bars, no obstant s'ha decidit realitzar tots els càlculs amb una pressió de 9 bars. El fet d'inflar les rodes a 9 bars no succeeix mai, però s'ha agafat aquesta pressió per així millorar el rang de confiança de les llantes, ja que, la manipulació d'aquestes no sempre pot estar supervisada.

Es pot veure la variació de  $r$  i  $\Omega$  augmentant quan la roda suporta un càrrega, fet que varia la magnitud de  $F_1$  i  $F_2$ . La transferència de càrrega d'un pneumàtic a la llanta s'efectua a través del taló de la llanta. El taló és un zona delimitada de la llanta on el pneumàtic s'encaixa i on a través d'aquest encaix les reaccions amb el terra passen a la llanta i posteriorment al vehicle.

En la figura 18 podem apreciar un pneumàtic sense càrrega i amb càrrega.



**Fig. 18** Pneumàtic sense i amb càrrega

### C.2.1 Estudi del pneumàtic sense càrrega

En un pneumàtic sense càrrega la única transferència de càrrega a la llanta ve donada per la pressió d'inflat:

$$F_1 = 2 \cdot P \cdot r \quad (\text{Eq. 1})$$

$$F_2 = T \cdot \sin \Omega \quad (\text{Eq. 2})$$

On:  $F_1$  = Càrrega radial sobre la llanta (N/mm)

$F_2$  = Càrrega axial sobre la llanta (N/mm)

$P$  = Pressió d'inflat (0'9 N/mm<sup>2</sup>)

$r$  = Radi del pneumàtic (22'5 mm)

$T = F_1 / \cos \Omega$  (N/mm)

$\Omega$  = angle del pneumàtic pròxim al taló respecte la vertical (30 °)

La pressió i l'amplada del pneumàtic es distribueix amb igualtat per tota la llanta fent que les forces resultants quedin completament equilibrades.

### C.2.2 Estudi del pneumàtic amb càrrega

Una vegada la roda suporta una càrrega, tenim una zona del pneumàtic que està en contacte amb el terra que s'eixampla. És en aquesta zona on la llanta aguanta un esforç addicional tal com mostrava la figura 18. Les noves forces poden obtenir-se amb:

$$F_1' = 2 \cdot P \cdot (r_2 - r_1) \quad (\text{Eq. 3})$$

$$F_2' = T' \cdot \sin \Omega \quad (\text{Eq. 4})$$

On:  $F_1'$  = Càrrega radial addicional sobre la llanta (N/mm)

$F_2'$  = Càrrega axial addicional sobre la llanta (N/mm)

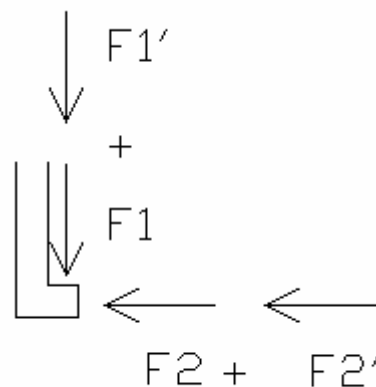
$P$  = Pressió d'inflat (0'9 N/mm<sup>2</sup>)

$r_2 - r_1$  = diferència de radi del pneumàtic carregat i no carregat (2'5 mm)

$T' = F_1' / \cos \Omega$  (N/mm)

$\Omega$  = angle del pneumàtic pròxim al taló respecte la vertical (30 °)

En aquest cas les forces que rep la llanta no es distribueixen amb igualtat per tota la circumferència. Com s'ha dit abans hi ha una zona del pneumàtic en contacte amb el terra que es deforma. És en aquesta zona deformatada, que rep unes càrregues majors a les d'inflat, la que compensa les forces del pneumàtic carregat. (Veure figura 19)



**Fig. 19** Distribució de forces de la llanta amb càrrega

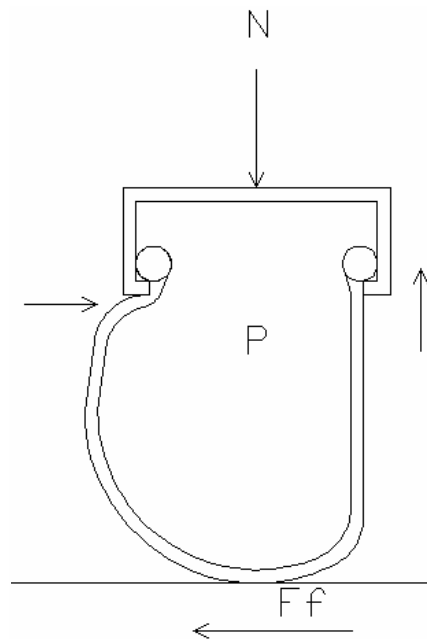
### C.2.3 Estudi del pneumàtic en el pas per corba

El vehicle ha entrat en una corba i sobre les rodes actuen les forces verticals del pes i horitzontals, amb direcció al centre del radi de la corba, degudes a la inèrcia. Degut a aquestes forces el pneumàtic es deforma, i segons em dit abans tot aquest suplement de

forces que no venen de la pressió d'inflat les absorbeix aquesta part deformada del pneumàtic.

El càlcul de la transferència de càrrega a la llanta s'efectuava mitjançant la geometria del perfil del pneumàtic. És aquí on comencen els problemes. Esbrinar com es deforme el pneumàtic resulta excessivament difícil i fora de l'abast d'aquest projecte.

Observant la figura 20, que vol representar un cas límit en la deformació d'un pneumàtic en plena corba, veiem que un cantó suporta la totalitat de les forces verticals mentre l'altre les horitzontals provinents de la corba.



**Fig. 20** Pneumàtic en corba

Evidentment això no succeeix realment. El pneumàtic no arriba aquest extrems de deformació, però ens serveix per entendre que en una corba un cantó de la llanta ha de suportar una major part de la component vertical que l'altre i pel contrari l'altre cantó suporta en un grau major la component horitzontal.

Així doncs la deformació té un paper molt important pel que fa a la distribució de les forces, i el no poder conèixer-la impedeix fer càlculs acurats.

### C.3 Conclusions

De les explicacions prèvies es pot concloure que no resulta clar esbrinar les sol·licitacions a les que estaran sotmeses les llantes, però s'ha optat per un plantejament molt diferent pel que fa a les hipòtesis de càrrega a estudiar.

Finalment l'estudi de càrrega de les llantes es basen en hipòtesis que han d'assegurar el perfecte funcionament en la totalitat de situacions.

- Roda davantera (pas per corba amb situació límit de bolcada):

(\*)Força pes sobre una roda: 68 kg (pes total del vehicle)

(\*)Força d'inèrcia límit:  $F_i = N \times C.f.$  **(Eq. 5)**

on: Cf.= coeficient de fricció amb el terra, val 0'8. (font Michelin)

N= Força pes sobre la roda que val 68 kg.

Utilitzant (5) s'obté una força d'inèrcia límit de 55 kg

A més s'ha d'afegir la pressió d'inflat de valor 9 bars.

- Roda posterior:

(\*) (\*) (\*)Força pes sobre una roda: 68 kg (pes total del vehicle)

(\*) Parell de tracció: 30 Nm (parell del motor aplicat a la roda)

(\*) Parell de frenada:  $P_f = N \times C.f \times r$  **(Eq. 6)**

on: Cf.= coeficient de fricció amb el terra, val 0'8. (font Michelin)

r = radi de la roda, 0'25 m

N= Força pes sobre la roda que val 20 kg.

Utilitzant (6) s'obté un parell de frenada de 40 Nm

A més s'ha d'afegir la pressió d'inflat de valor 9 bars.



(\*) Aquests esforços s'apliquen directament sobre la llanta i de forma puntual, com si es tractés d'una roda de carro. Això es degut a la impossibilitat de saber com i per on es reparteixen els esforços per la llanta al no conèixer com es deforma amb plena exactitud el pneumàtic i més augmentem novament el rang de confiança de les rodes.

(\*)(\*) La roda posterior encara que únicament suporta un pes de 20 Kg s'ha agafat el valor total del vehicle degut a precaucions en la manipulació del prototip al moure'l, ja que, és habitual moure el cotxe quan està parat aixecant part d'aquest com si fos una carreta.

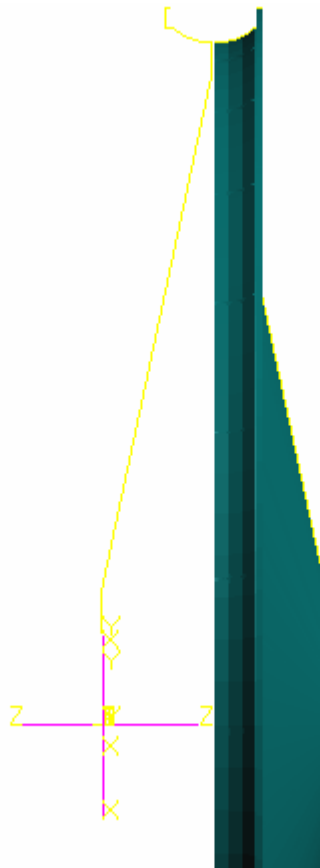
## **D METODOLOGIA DE CÀLCUL**

A continuació es descriu el procés del tractament de la llanta dintre el programa d'elements finits, des de la creació de la geometria fins al tractament dels resultats optinguts.

### **D.1 Obtenció del model d'elements finits**

#### **D.1.1 Realització del model geomètric**

Per a la realització del model geomètric es va optar per fer-ho dins del mateix programa d'elements finits *Patran*. La senzilles de dibuixar un perfil en 2D per després revolucionar-lo no té la complexitat suficient per importar la geometria de les llantes des de un programa de dibuix assistit per ordinador. (Veure figura 21)



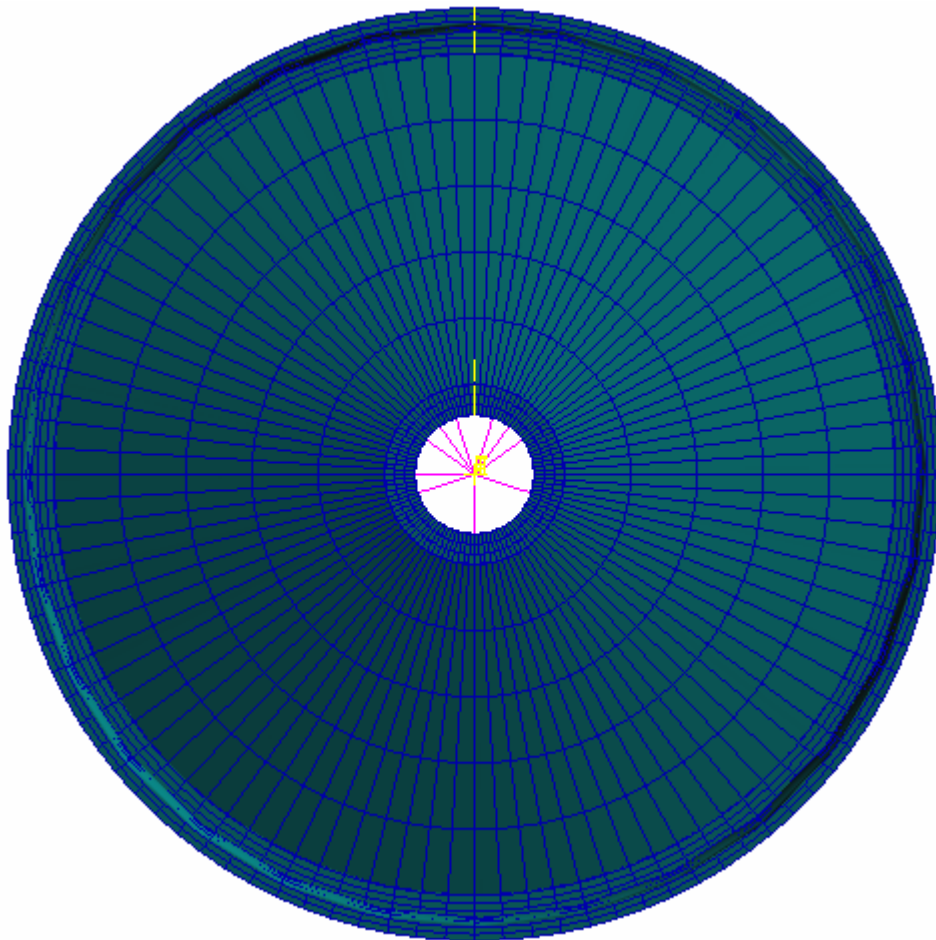
**Fig. 21** Perfil i revolució del perfil

Una vegada creat el perfil amb l'ajut d'uns punts de referència es va passar a revolucionar-lo aconseguint la superfície de les llantes.

### D.1.2 Definició dels elements

A l'hora de treballar amb fibra de carboni és usual fer servir elements de tipus *shell* (superfície), primer perquè les formes més usuals de peces fetes amb fibra de carboni solen ser molt primes en comparació amb la superfície, i segon perquè com les superfícies no tenen gruix es pot canviar el nombre de capes a assajar sense haver de modificar la seva geometria, el que suposa una major celeritat en el mètode d'assaig i error.

La geometria es modela emprant elements *shell*. És a dir elements placa que permeten representar geometries planes com és el cas de les llantes. Les *shells* utilitzades són del tipus *quad4* amb 4 nodes disposades radialment com mostra la figura 22.



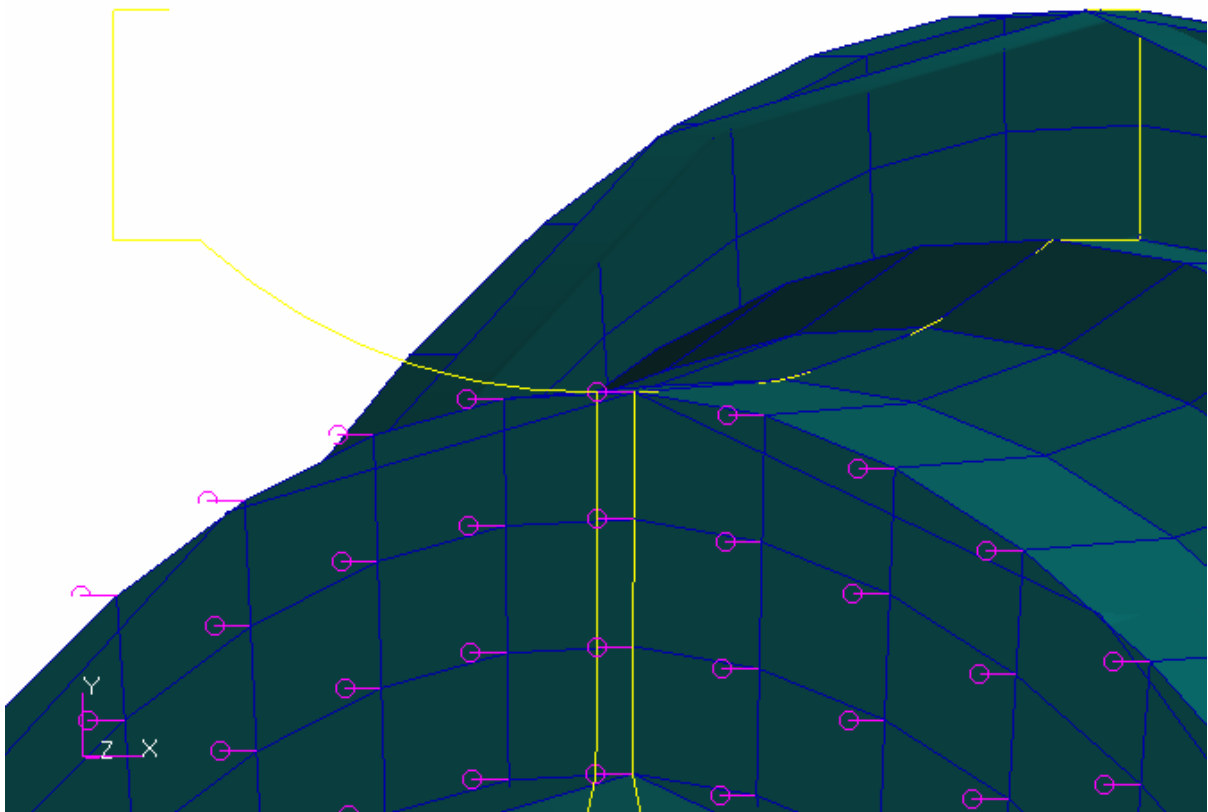
**Fig. 22** Disposició del elements plans quad4

S'ha de tenir molta precaució en procurar que tots els elements quedin perfectament connectats entre si mitjançant els nodes. Qualsevol desfasament dels nodes de dos superfícies diferents donaria lloc a greus errors. Es per tant imprescindible una vegada

finalitzada la tasca de mallar el model amb els elements, verificar la continuïtat d'aquesta i eliminar possibles elements repetits.

Després de mallar les dues meitats que formen la llanta s'ha de definir la relació amb la que actuaran una contra l'altre. *Patran* defineix els elements encarregats de dur a terme aquesta feina com a *MPC* (Multi-Point Constraints). Dintre de la família dels *MPC* es va triar el tipus *Rigid Fixed* capaços de fixar dos nodes en tots els seus graus de llibertat.

La col·locació d'aquests tipus de *MPC* es va dur a terme en tota la superfície de contacte de les dues meitats, que una vegada unides conformen la llanta. (Veure figura 23)



**Fig. 23** Visualització dels *MPC* en la zona d'unió de les llantes

### D.1.3 Definició del material

Els materials anisotròpics són aquells en que les propietats del material varien en funció de la direcció en la que es mesuren aquestes propietats. La ortotropia és un cas concret d'anisotropia a la qual les direccions en les què varien les propietats coincideixen amb els plans ortogonals. El teixit de carboni/epoxy amb la disposició de les fibres a 0/90° és un d'aquests materials ortotròpics.

Per tant, com que les propietats del material són diferents en els tres eixos cartesianes, és clar que necessitem més dades per definir aquest tipus de material que no pas amb un material isotròpic.

Eix X, direcció del material a 0°.

Eix Y, direcció del material a 90°.

Eix Z, direcció perpendicular a X i a Y, a través del gruix de la lamina.

Per definir un material orthotropic necessitem conèixer:

- Ex: Mòdul de *Young* en l'eix X (MPa).
- Ey: Mòdul de *Young* en l'eix Y (MPa).
- Ez: Mòdul de *Young* en l'eix Z (MPa).
- $\mu_{xy}$ : Coeficient de *Poisson* en el pla XY (Adimensional).
- $\mu_{yz}$ : Coeficient de *Poisson* en el pla YZ (Adimensional).
- $\mu_{xz}$ : Coeficient de *Poisson* en el pla ZX (Adimensional).
- $\delta_{xy}$ : Mòdul tallant en el pla XY (MPa).
- $\delta_{yz}$ : Mòdul tallant en el pla YZ (MPa).
- $\delta_{xz}$ : Mòdul tallant en el pla ZX (MPa).

Un cop tenim realitzat el càlcul ens faltaria aplicar un criteri de falla per tal de determinar si la peça patirà deformacions permanents o pel contrari treballarà en la zona elàstica del material. Els sistemes que fem servir amb els materials isotròpics no ens serveixen, el criteri de *Von Mises* no és vàlid ja que no pren en consideració precisament la principal característica dels materials ortotròpics; que les seves propietats varien en els tres plans ortogonals.

Existeixen varis criteris de falla plantejats específicament per a materials ortotròpics, els més populars són els citats a continuació:

- Criteri de màxima tensió: Consisteix en comparar les tensions produïdes en al peça amb les màximes tensions que pot suportar. Serà un dels criteris que s'han utilitzat.
- Criteri de la màxima deformació: Un criteri de falla molt popular a la indústria i que consisteix en comparar les deformacions produïdes per la peça amb les màximes deformacions que pot suportar. Serà l'altre dels criteris que s'han utilitzat
- Criteri de Tsai-Hill: L'avantatge d'aquest criteri de falla és que pren en consideració la interacció entre la fibra del compòsit i la matriu (resina epoxi). D'aquesta manera podem predir millor els punts als quals tant la fibra com la matriu estan propers a la falla. No s'ha utilitzat.
- Criteri de Tsai-Wu: El criteri de Tsai Wu té com avantatge que és capaç de distingir entre el comportament del material a tracció i a compressió, a més de que experimentalment es demostra que la seva aproximació amb els assajos es força bona. Com a inconvenient tenim que el càlcul del coeficient de seguretat amb aquest mètode es força més complex que amb la resta. No s'ha utilitzat.

Encara que a priori els criteris de Tsai-Hill i Tsai-Wu volen explicar millor el comportament dels materials compòsits, no s'ha volgut utilitzar per la gran dificultat de trobar certs paràmetres experimentals que intervenen en les equacions d'aquests criteris.

Al utilitzar els criteris de màxima tensió i màxima deformació aconseguim una certa avantatge des del punt de vista de la seguretat, al ser aquestes teories més conservadores.  
[16]

#### **D.1.4 Dades del material**

Les propietats dels materials ortotròpics depenen d'una gran quantitat de factors i en cap cas podem parlar valors estàndards. El material compòsit final estarà format per una barreja de fibra de carboni i resina epoxi, per tant sembla lògic que les propietats finals dependran del tipus de fibra, del tipus de resina i de la quantitat que fem servir de cadascun d'aquests dos components (el percentatge de cada component en el compost final). Però a més a més el resultat final també depèn molt del procés de fabricació que seguim, si la peça es fabricada sota pressió en un autoclau, o pel contrari es deixa assecat a pressió atmosfèrica,

la temperatura i el temps de curat de la resina també poden fer variar les propietats. En definitiva podem assegurar que pràcticament no hi ha dos compòsits amb les mateixes propietats. No podem fer com amb els materials isotròpics, que extrèiem els valors de taules, ja que seria pràcticament impossible tabular valors per diferents tipus de fibres, resines, composicions i mètodes de fabricació. [16]

La teoria de laminats dóna eines per poder fer algunes prediccions aproximades de les propietats dels materials composts, ja que, aconseguir valors exactes de les propietats sense realitzar cap assaig resulta impossible.

Al no poder disposar de recursos per realitzar assajos es va decidir consultar tota la documentació disponible sobre aquest tema. La documentació consultada va consistir tant en llibres de materials compòsits, com en el nombre creixent de projectes finals de carrera, que cada cop es realitzen més en la nostra escola. Una vegada valorada la informació es va arribar a unes propietats de compromís d'un material de fibra de carboni de gama mitja.

Els valors representats a taula 4 resultant d'un estudi subjectiu que busca augmentar el coeficient de seguretat final.

#### Propietats elàstiques

Mòdul de young en l'eix X (MPa)	125000
Mòdul de young en l'eix Y (MPa)	125000
Mòdul de young en l'eix Z (MPa)	7700
Coeficient de Poisson en el pla XY (Adim.)	0'3
Coeficient de Poisson en el pla YZ (Adim.)	0'32
Coeficient de Poisson en el pla ZX (Adim.)	0'01848
Mòdul de tallant en el pla XY (MPa)	4400
Mòdul de tallant en el pla YZ (MPa)	3700
Mòdul de tallant en el pla ZX (MPa)	3700

#### Màxima deformació

Màxima deformació a la tracció en l'eix X (%)	0'85
Màxima deformació a la compressió en l'eix X (%)	0'85
Màxima deformació a la tracció en l'eix Y (%)	0'85
Màxima deformació a la compressió en l'eix Y (%)	0'85
Màxima deformació a la tracció en l'eix Z (%)	0'6
Màxima deformació a la compressió en l'eix Z (%)	2'3
Màxima deformació a tallant en el pla XY (%)	1'8
Màxima deformació a tallant en el pla YZ (%)	1'3
Màxima deformació a tallant en el pla ZX (%)	1'3

Màxima tensió

Màxima tensió a la tracció en l'eix X (Mpa)	800
Màxima tensió a la compressió en l'eix X (MPa)	800
Màxima tensió a la tracció en l'eix Y (Mpa)	800
Màxima tensió a la compressió en l'eix Y (MPa)	800
Màxima tensió a la tracció en l'eix Z (Mpa)	60
Màxima tensió a la compressió en l'eix Z (MPa)	250
Màxima tensió a tallant en el pla XY en (MPa)	90
Màxima tensió a tallant en el pla YZ en (MPa)	90
Màxima tensió a tallant en el pla ZX en (MPa)	90

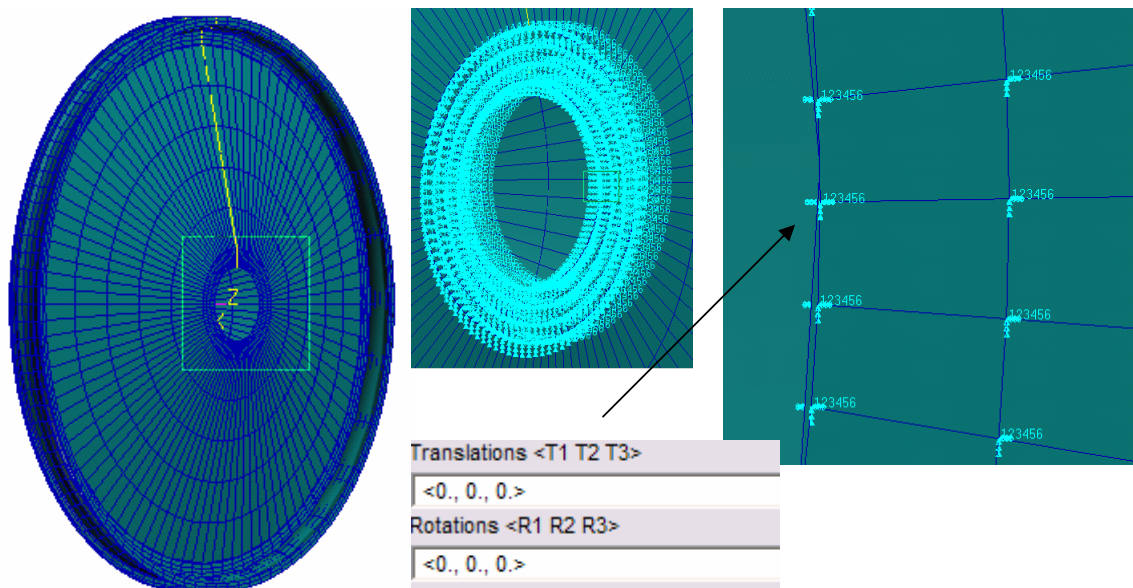
**Taula 4** Propietats mecàniques d'una làmina de carboni epoxi amb una disposició 0/90°

Amb les dades exposades anteriorment ja tenim tot el necessari per definir la fibra de carboni en el programa d'elements finits *Patran*.

#### D.1.5 Condicions de contorn i càrregues aplicades

Les condicions de contorn en un model d'elements finits vol representar la afinitat que existeix entre la peça modelada i els elements que estan en contacte amb ella.

En el nostre cas s'han fixat les llantes en la superfície de contacte amb les boixes. Aquesta fixació consta de limitar tant el desplaçament en les tres direccions com la rotació en cada un dels tres eixos. (Veure figura 24)



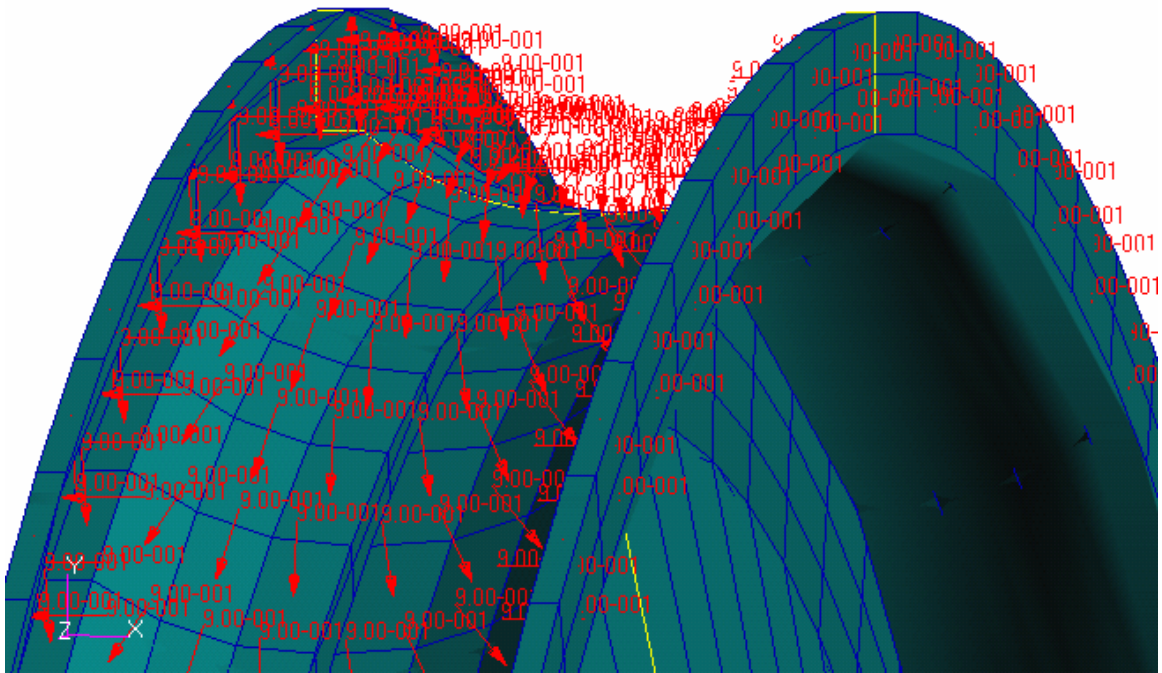
**Fig. 24** Fixació dels 6 graus de llibertat de la llanta en la caixa



Pel que fa a les càrregues aplicades a continuació es farà una breu explicació de cada una d'elles, tant per la roda davantera com per la posterior.

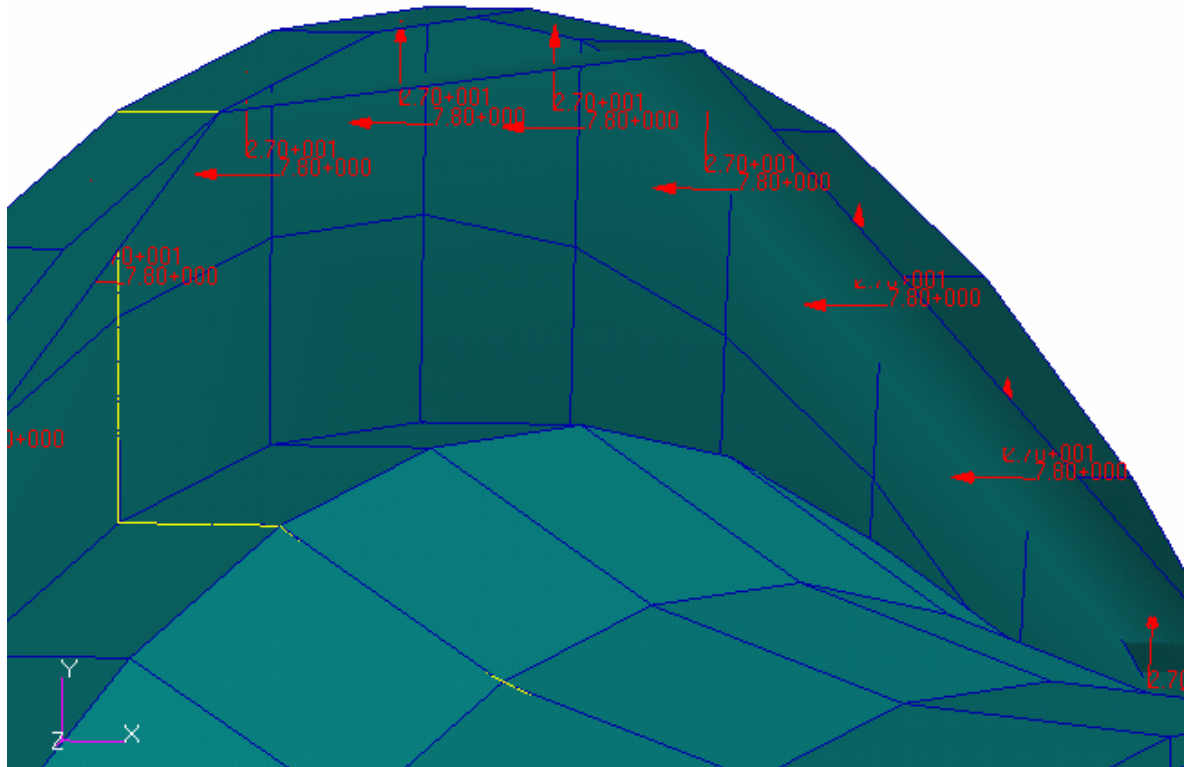
- Roda davantera

- Pressió d'inflat del pneumàtic: El valor de la pressió d'inflat s'ha considerat de 9 bars ( $0'9 \text{ N/mm}^2$ ) per motius de seguretat, i s'ha aplicat com a pressió en tota la superfície de l'anell de la llanta. (Veure figura 25)



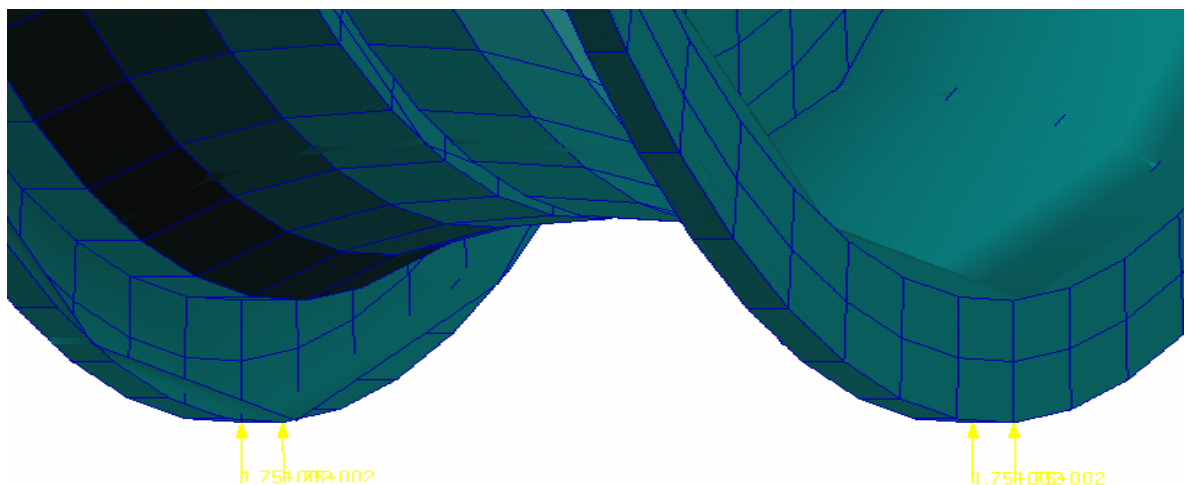
**Fig. 25** Pressió d'inflat

- Pressió d'inflat equivalent: És la pressió que fa el pneumàtic sobre el taló de la llanta quan aquest s'infla. Després d'aplicar les equacions (1) i (2) tenim que sobre el taló de la llanta recau una força distribuïda de el sentit radial de  $40'5 \text{ N/mm}$  i de  $23,4 \text{ N/mm}$  en el sentit axial de la roda. Com podem veure aquestes equacions ens donen magnituds lineals, però que una vegada restringim la seva aplicació en les cel·les de dimensions conegudes tenim unes pressions de  $27 \text{ N/mm}^2$  i de  $7'8 \text{ N/mm}^2$  respectivament. (Veure figura 26)



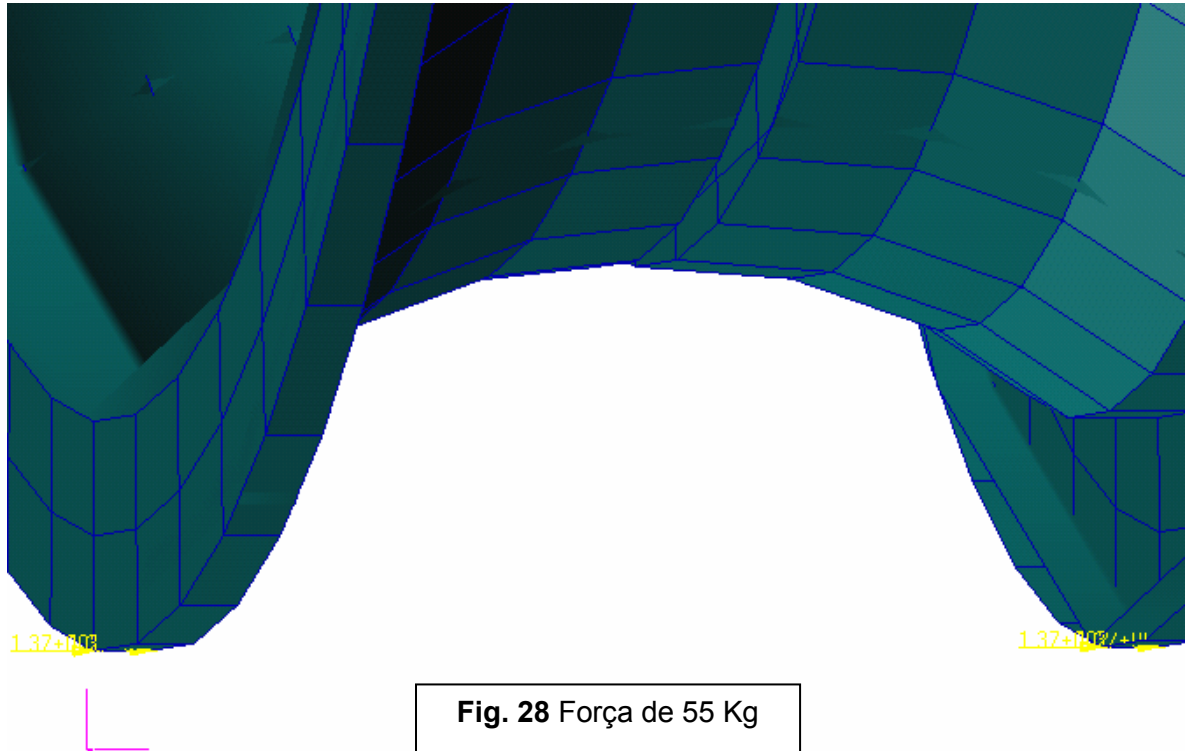
**Fig. 26** Pressió d'inflat equivalent

- Força de 70 Kg: Força vertical que podria recaure sobre la roda en el pas d'un corba en el cas límit que el vehicle bolqués. Aquesta força està aplicada directament sobre la llanta en quatre punts de contacte amb terra com si no tingués pneumàtic ( $175N \times 4 = 700N$ ). (Veure figura 27)



**Fig. 27** Força de 70 Kg

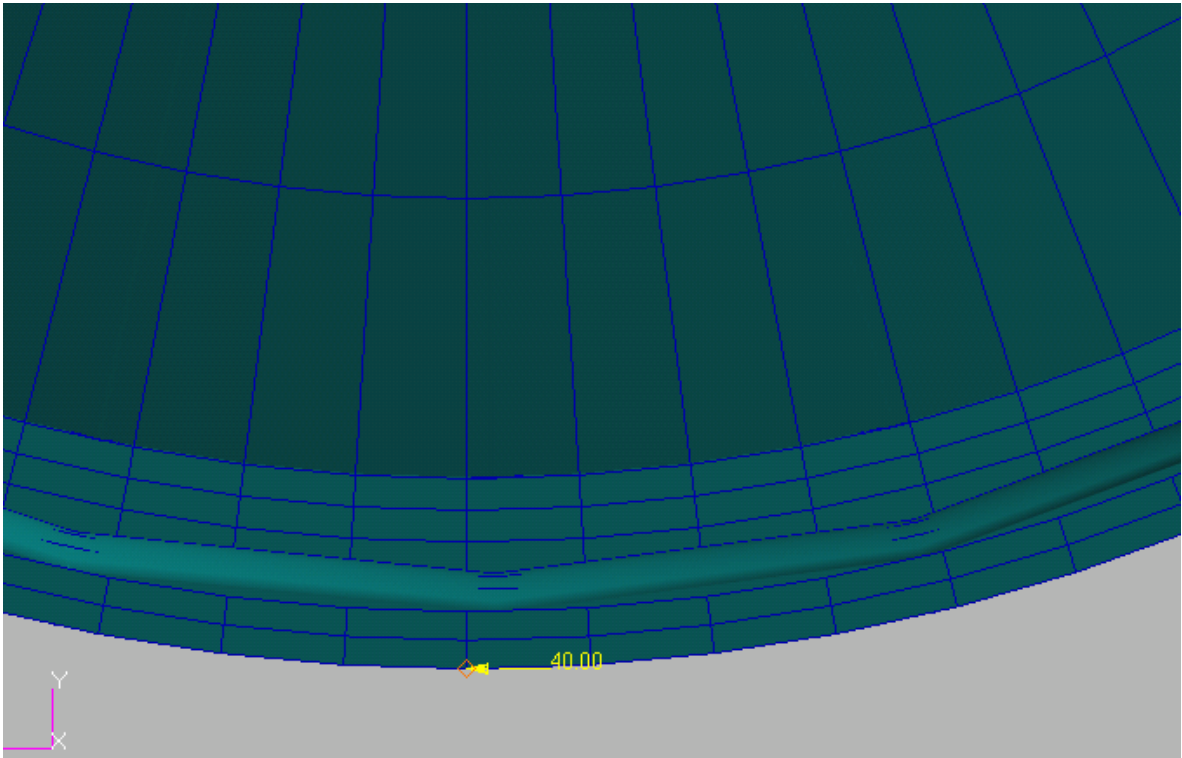
- Força de 55 Kg: Força horitzontal que es genera en el pas d'una corba i amb direcció al centre de curvatura quan el pneumàtic comença a perdre contacte amb el terra Segons (Eq.5). Aquesta força està aplicada directament sobre la llanta en quatre punt de contacte amb el terra com si no tingués pneumàtic ( $137'5N \times 4 = 550N$ ). Figura 28.



- Roda posterior

- Força de 70 Kg: Aplicada igual que la força de la figura 25.

- Força parell de frenada: No s'ha tingut en compte el parell d'acceleració al ser aquest inferior, 30 Nm. El parell de frenada té un valor de 40 Nm com explica l'equació 6. Aquest parell està aplicat mitjançant quatre forces situades directament sobre la llanta en quatre punts de contacte amb terra com si no tingués pneumàtic ( $40N \times 4 \times 0'25m = 40Nm$ ). (Veure figura 29)



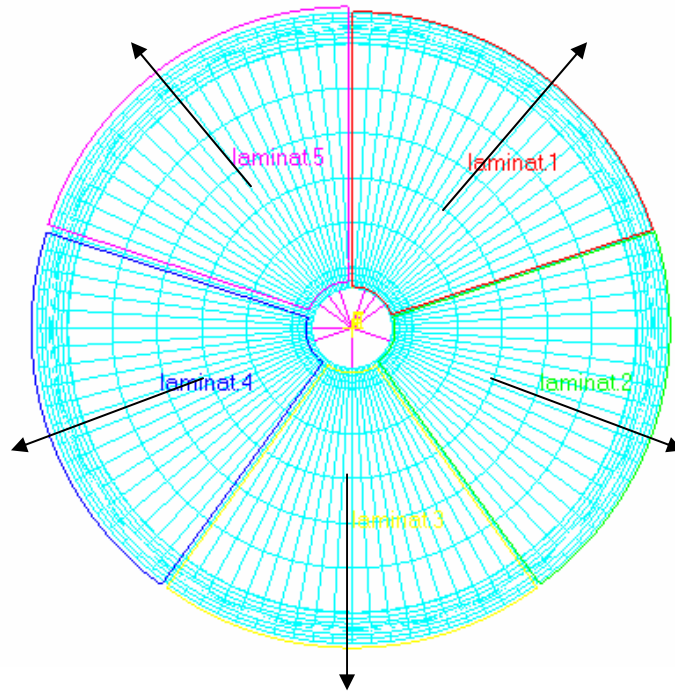
**Fig. 29** Simulació del parell de frenada de 40 Nm

#### D.1.6 Laminat

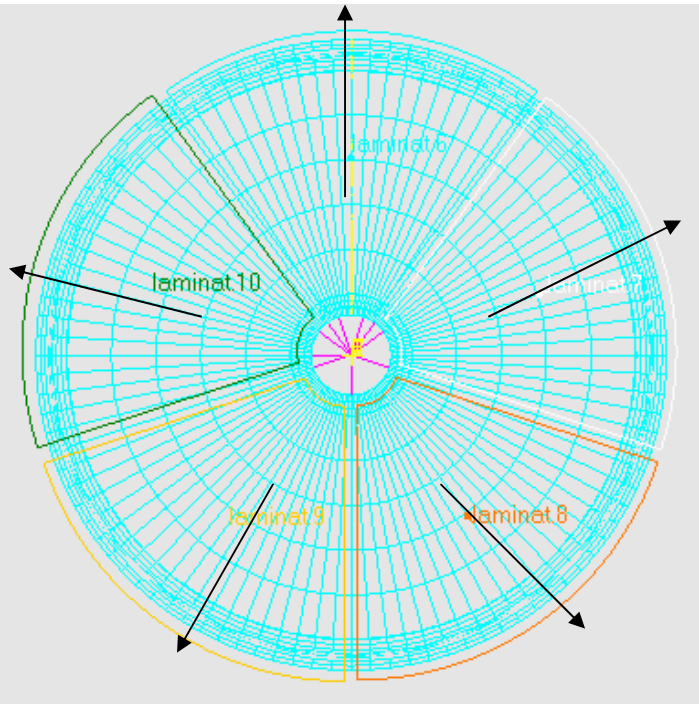
En aquest punt definirem la quantitat i disposició de les capes de fibra de carboni utilitzades. Per dur aquesta tasca s'ha utilitzat el mòdul de laminació *Laminate Modeler* que duu el software *Patran* incorporat. Aquesta eina ha estat molt valuosa. No tan sols permet definir el laminat, sinó que ho fa des d'un entorn totalment gràfic, fet que ajuda a tenir sempre el control del que es fa.

Entre altres propietats que podem definir amb el mòdul de laminació *Laminate Modeler* es troben: forma en la que s'aplicarà el material, gruix de la lamina, orientació del teixit, definició i orientació del laminat dels patrons creats, creació del laminat final triant la successió de patrons, exportació dels patrons en format CAD, potent eina de visualització de qualsevol aspecte del laminat, etc.

Degut a les simetries que presenta una roda s'ha pogut confeccionar un únic patró que tingui sempre la mateixa orientació de les fibres. Col·locant cinc d'aquest patrons per la superfície de la roda aconseguim la primera capa. Posteriorment decalant la segona tongada de patrons com mostra les figures aconseguim la segona capa, i així successivament fins completar la quantitat de capes volgudes. (Veure figures 30, 31i 32)

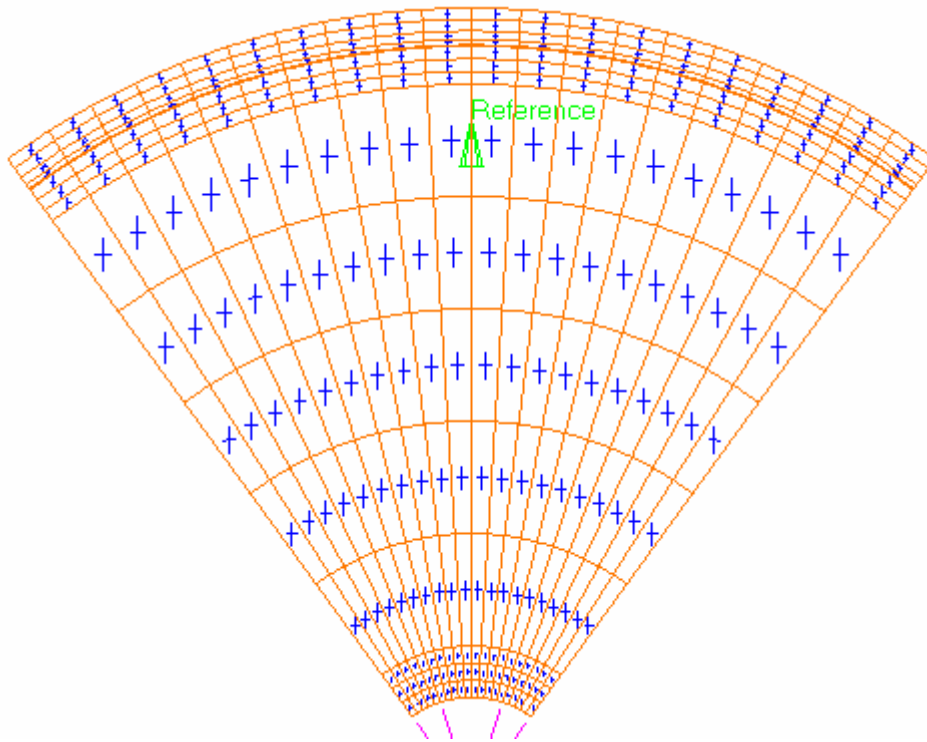


**Fig. 30** Distribució i orientació dels patrons de la primera capa

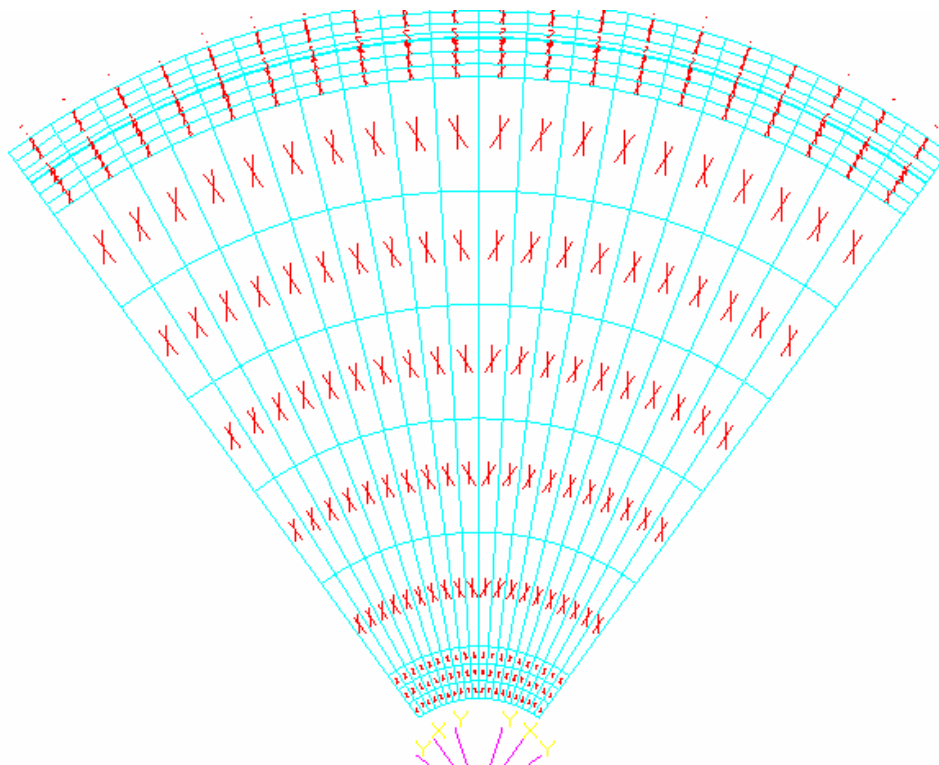


**Fig. 31** Distribució i orientació dels patrons de la segona capa

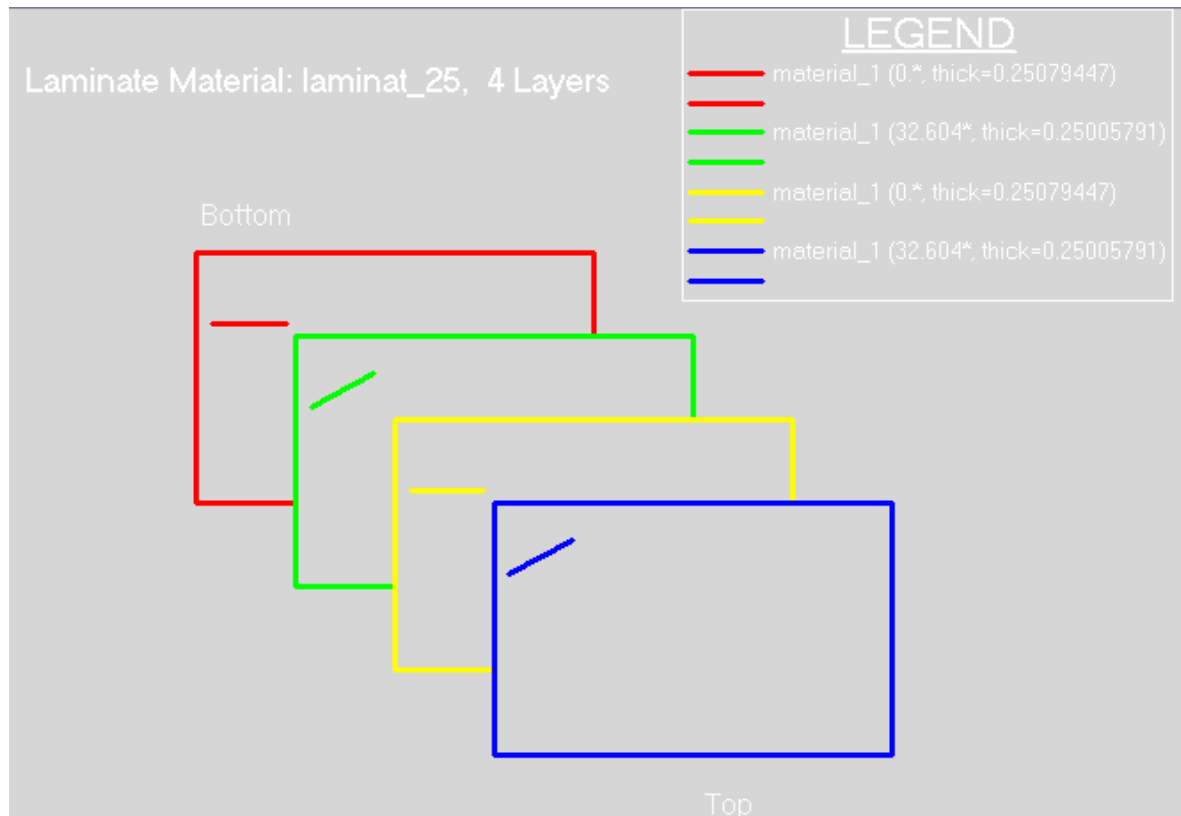




**Fig. 32** Patró tipus amb la orientació del material



**Fig. 33** Porció de roda amb dues capes mostrant les orientacions principals finals.  
S'ha omès la segona direcció perpendicular del teixit per una millor entesa

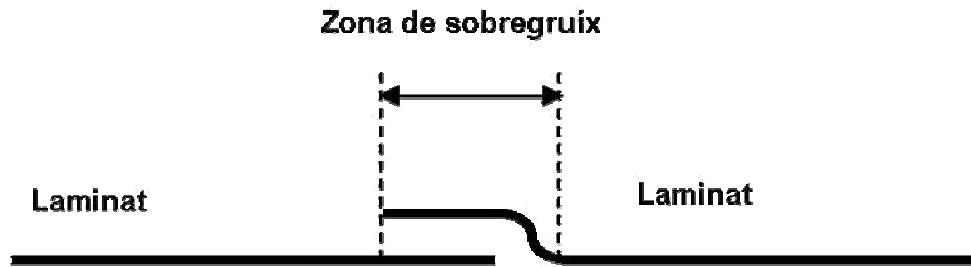


**Fig. 34** Esquema de la distribució del laminat al llarg del model

#### D.1.6.1 Solapaments

Els laminats considerats durant el càlcul per elements finits no son res més que una idealització dels que trobaríem a la realitat. En la fabricació de productes laminats els patrons de fibra retallats no es poden col·locar un just al costat del altre, sinó que cal assegurar la continuïtat de les propietats mitjançant un bon contacte. Es per tal d'assegurar aquest contacte que s'introdueix el concepte de solapament.

Com es veu en la figura 35, hi ha una zona en que cada capa es sobreposa a les que es troben al seu costat. Aquesta zona queda definida com la zona de solapament, i les seves mides depenen del tipus de material utilitzat. Per al nostre cas la mida orientativa a considerar, segons experiències pràctiques és de 30 mm.



**Fig. 35** Representació del solapament entre patrons

Una de les característiques a tenir en compte sobre el solapament és el seu augment de gruix. Aquesta característica pot ser un problema en grans laminats. En el nostre cas al moure'ns en petites quantitats de capes no donarem més atenció a aquest tema. [8]

#### D.1.6.2 Conclusió

Segons els resultats dels càlculs, explicats més endavant, el nombre de capes i de patrons necessaris per dur a terme les tres rodes del prototip són exposats en la taula 5.

tipus de roda	davantera	posterior
quantitat	2	1
nombre de patrons/capa	5	5
nombre de capes/ $_{1/2}$ roda	4	4
<b>nombre de patrons totals/roda</b>	<b>40</b>	<b>40</b>

**Taula 5** Resum dels patrons necessaris per roda



**D.2 Anàlisi dels resultats**

**D.2.1 Cas pas per corba amb situació límit de bolcada. (roda davantera)**

A continuació en la taula 6 i 7 s'exposen els resultats de l'anàlisi acompanyats posteriorment de captures de pantalla com a informació il·lustrativa, de la primera capa.

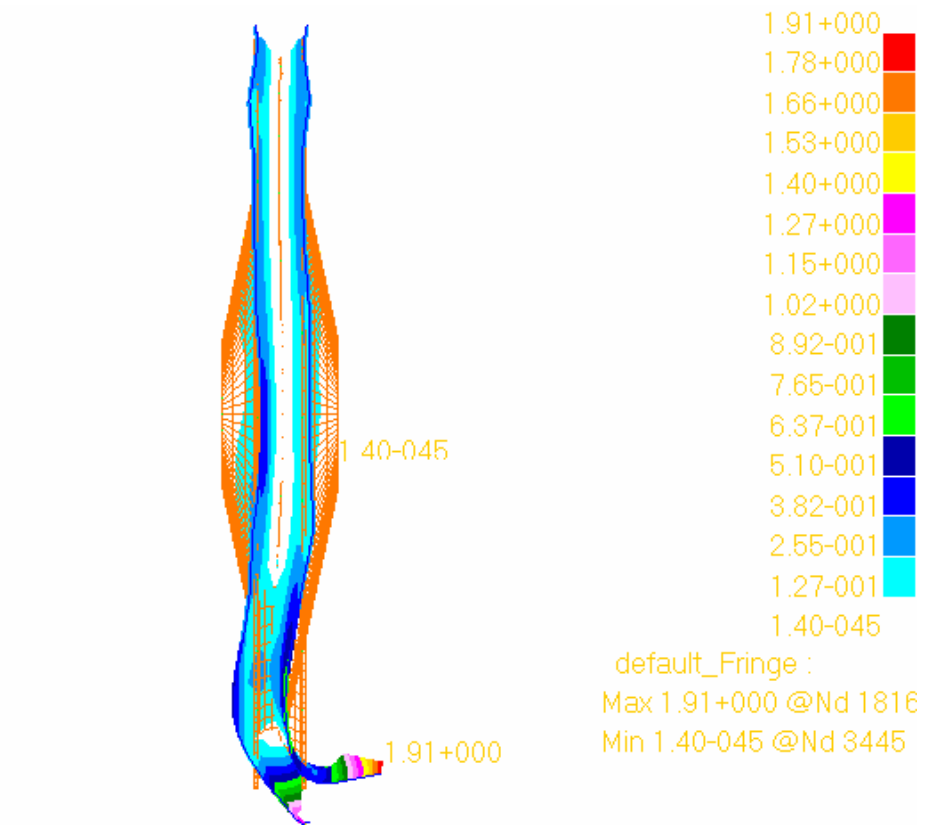
Es pot apreciar que els valors són inferiors als dels eixos principals.

9 BARS 4CAPES		INFLAT		CARREGAT CORBA	
max. Desplaçament (mm)		0.367		1.91	
max. deformació (max. principal)	capa 1	4.21E-03		7.27E-03	
	capa 2	2.56E-03		4.89E-03	
	capa 3	2.46E-03		5.65E-03	
	capa 4	2.50E-03		6.87E-03	
max. tensió (MPa) (max. principal)	capa 1	622		862	
	capa 2	303		524	
	capa 3	234		440	
	capa 4	233		783	
		max	min	max	min
max.deformació (en la direcció del material)	capa 1	3.37E-03	-2.51E-03	4.10E-03	-2.82E-03
	capa 2	2.04E-03	-9.31E-04	2.12E-03	-9.52E-04
	capa 3	1.97E-03	-2.18E-03	2.02E-03	-2.55E-03
	capa 4	2.70E-03	-4.36E-03	3.03E-03	-5.87E-03
max. tensió (MPa) (en la direcció del material)	capa 1	474	-280	625	-314
	capa 2	247	-105	248	-116
	capa 3	215	-190	216	-275
	capa 4	349	-471	412	-477

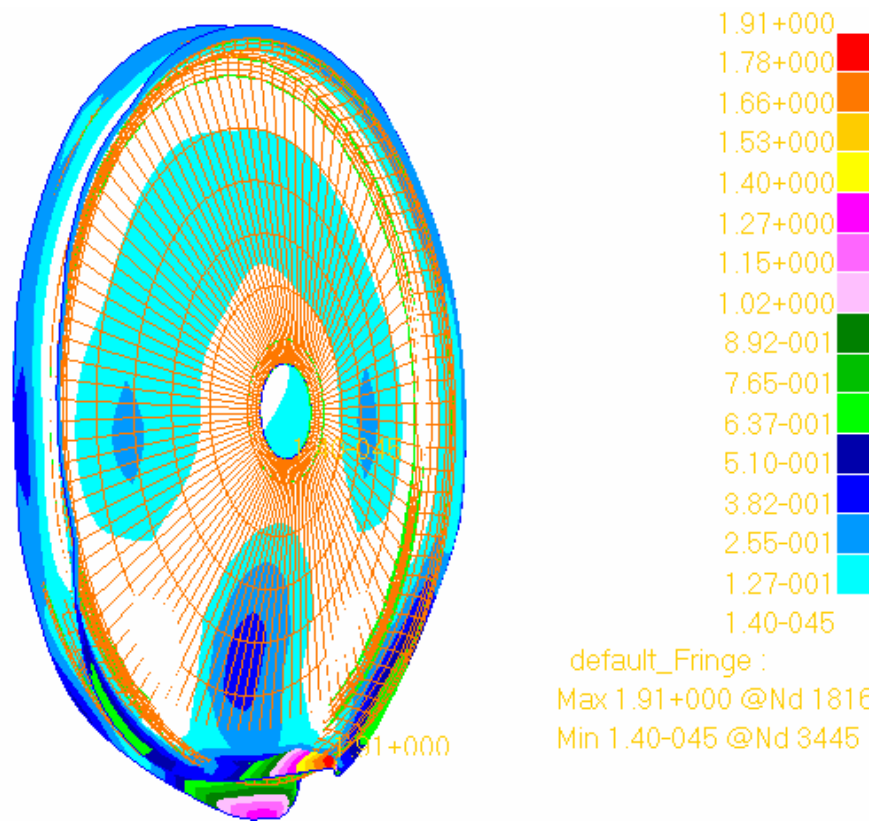
**Taula 6** Valors de les deformacions i tensions en diferents capes

		INFLAT	CARREGAT CORBA
falla max. deformació (n=)	capa 1	2.15	1.66
	capa 2	4.34	2.68
	capa 3	4.5	2.63
	capa 4	2.35	2.26
falla max. tensió (n=)	capa 1	3.58	1.97
	capa 2	5	1.94
	capa 3	3.98	2.41
	capa 4	4.92	1.28

**Taula 7** Valors dels índex de falla considerats

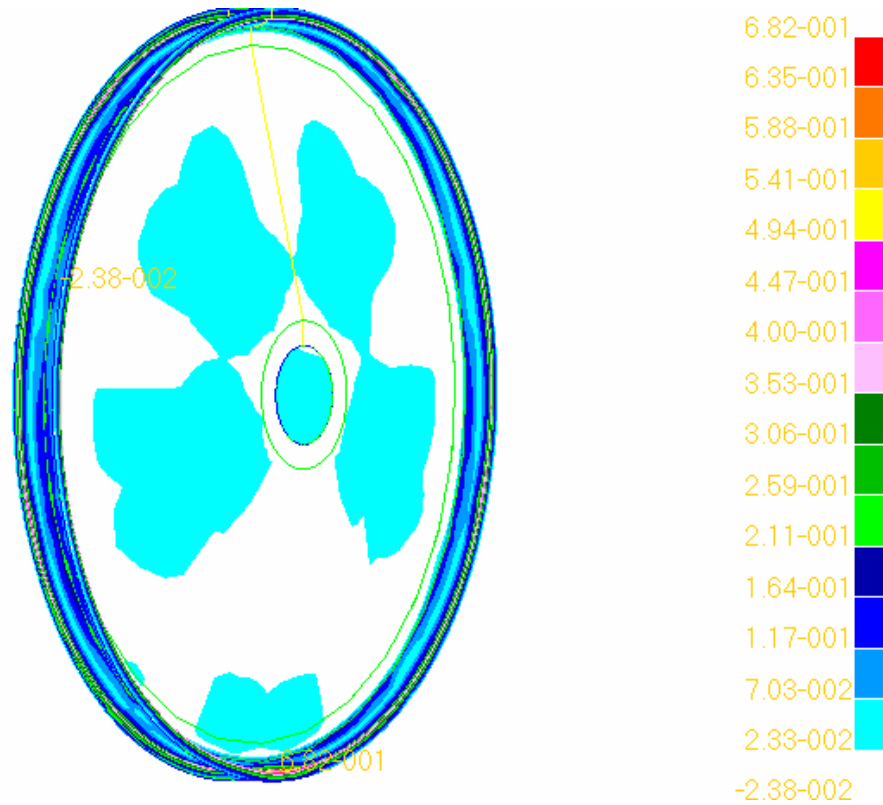


**Fig. 36** Deformacions amb valors de desplaçament

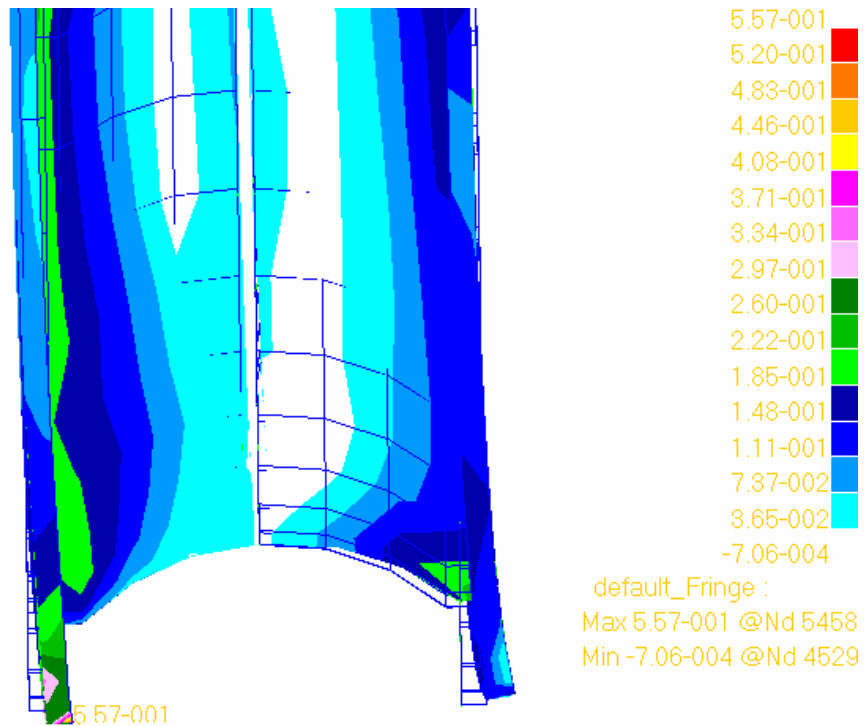


**Fig. 37** Deformacions amb valors de desplaçament

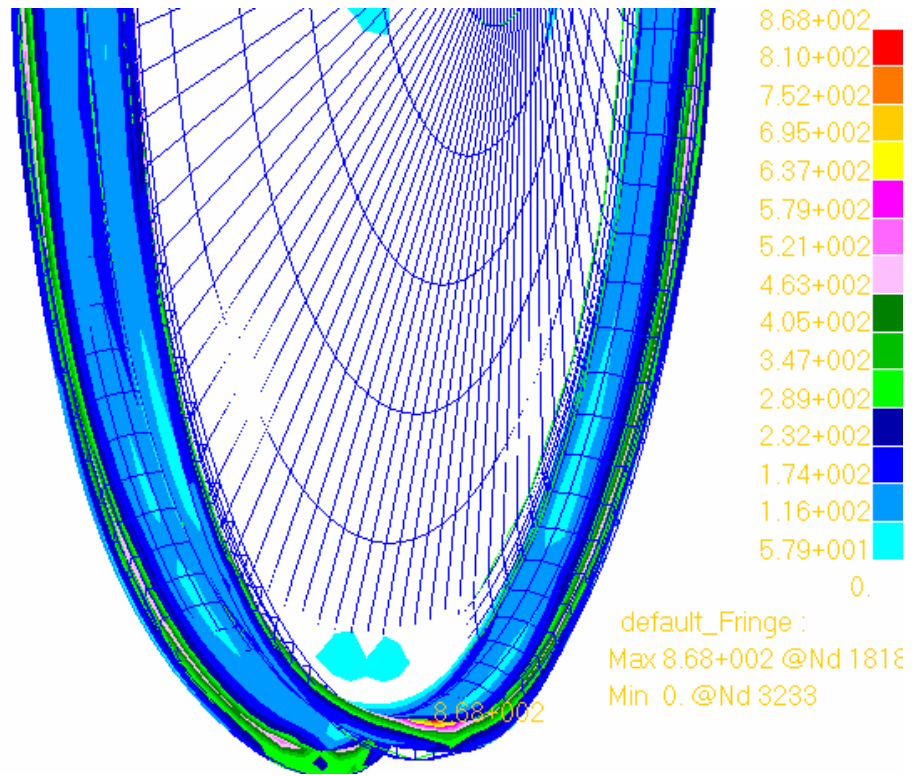
Com es veu fàcilment la zona més conflictiva resulta la part del taló de la llanta més proper al contacte amb el terra.



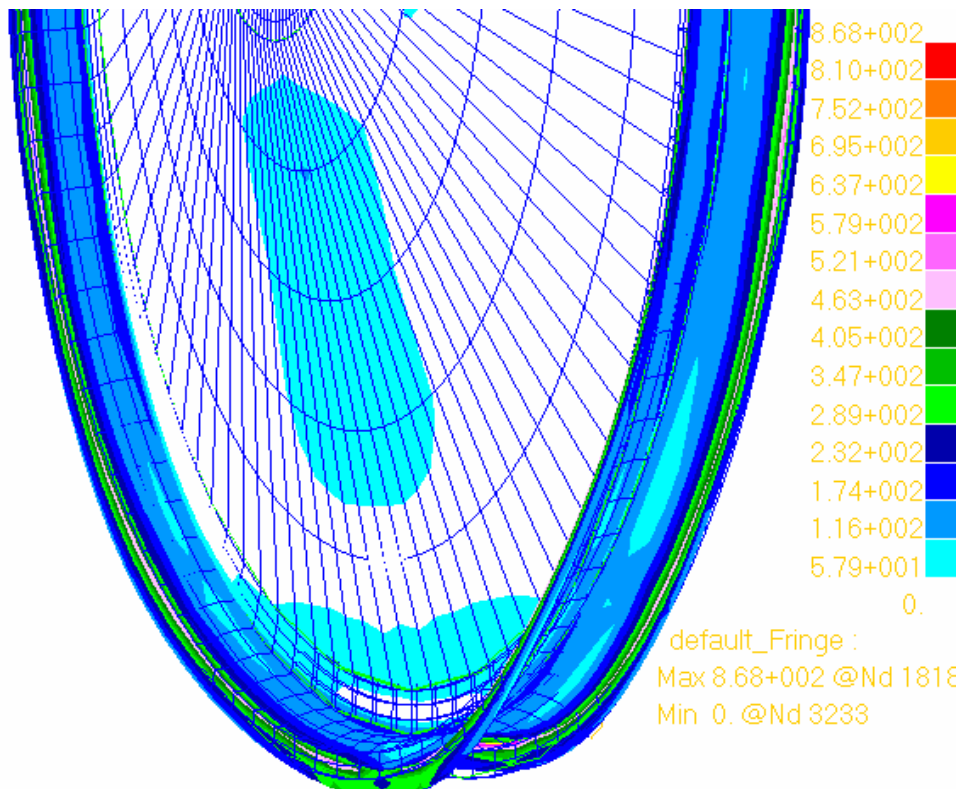
**Fig. 38** Índex de falla màx. deformació



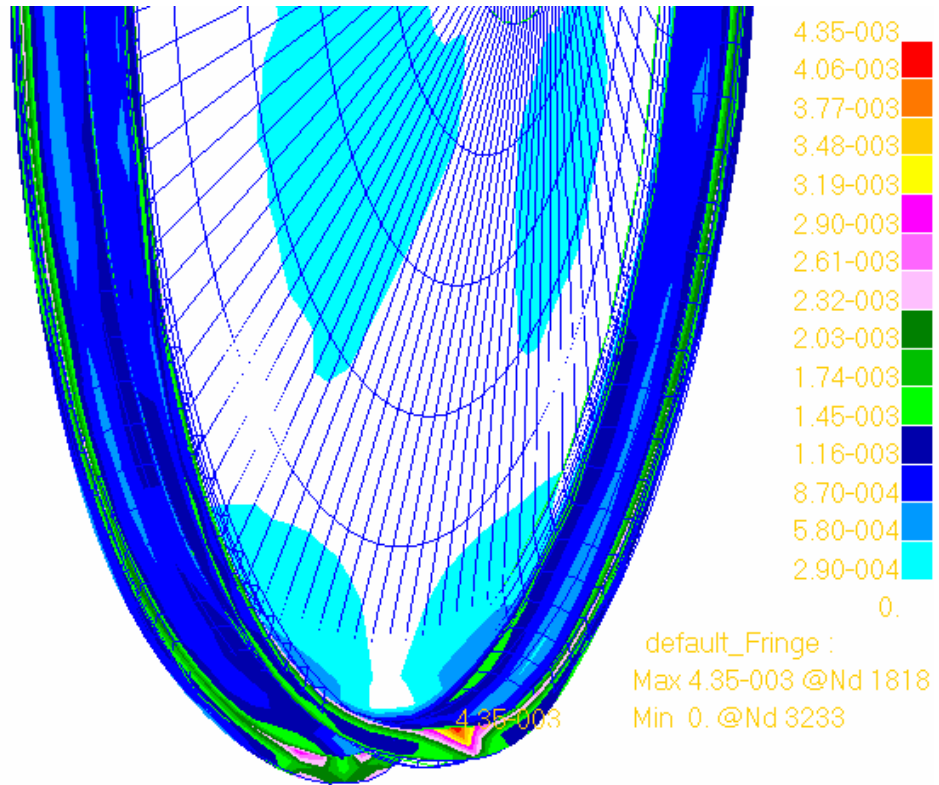
**Fig. 39** Índex de falla màx. tensió en la zona de contacte amb el terra



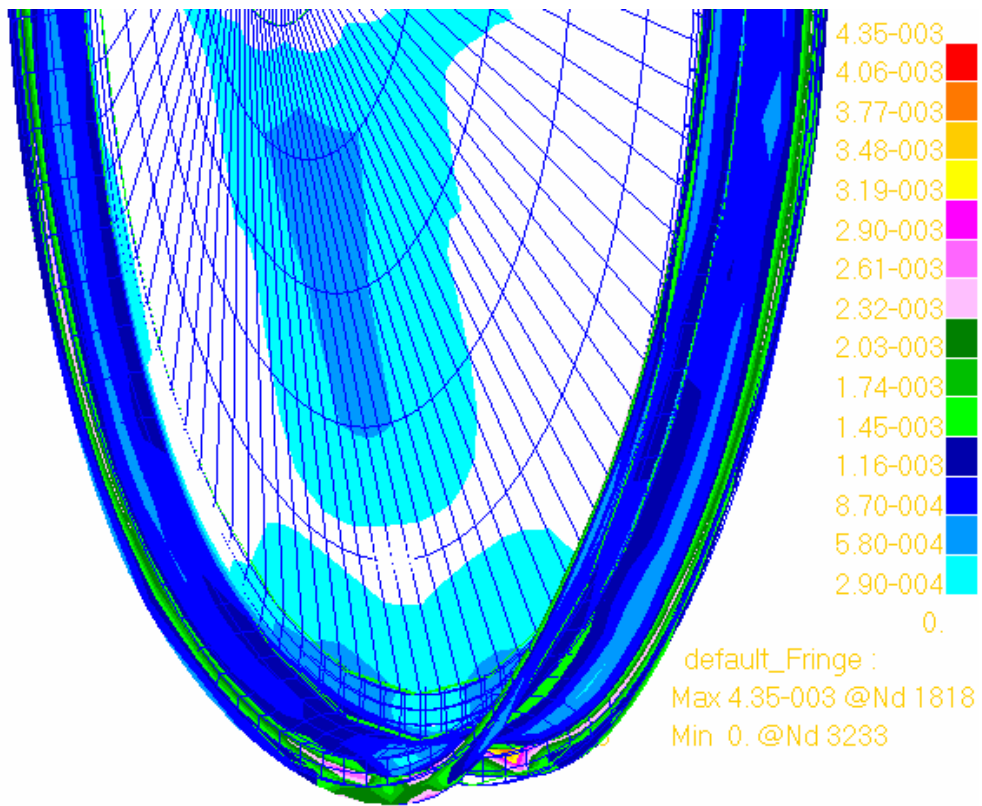
**Fig. 40** Distribució de tensions en la zona de contacte amb el terra



**Fig. 41** Distribució de tensions en la zona de contacte amb el terra



**Fig. 42** Distribució de deformacions en la zona de contacte amb el terra



**Fig. 43** Distribució de deformacions en la zona de contacte amb el terra

**D.2.1.1 Conclusió cas pas per corba amb situació límit de bolcada. (roda davantera)**

Com mostren els resultats la zona més compromesa de la roda resulta la zona del taló més propera al terra. Intuïtivament era de preveure. Recordem que per aquest anàlisi s'ha considerat la llanta *despullada*, o sigui sense pneumàtic. La llanta treballa directament contra el terra com la roda d'un carro, fet que augmenta la seguretat de la llanta.

Pel que fa a la resta de la llanta no s'ha apreciat cap zona especialment compromesa. Gràcies a la disposició del laminat la distribució de tensions sembla assegurar cap concentració crítica.

**D.2.2 Cas aplicant un parell de frenada. (roda posterior)**

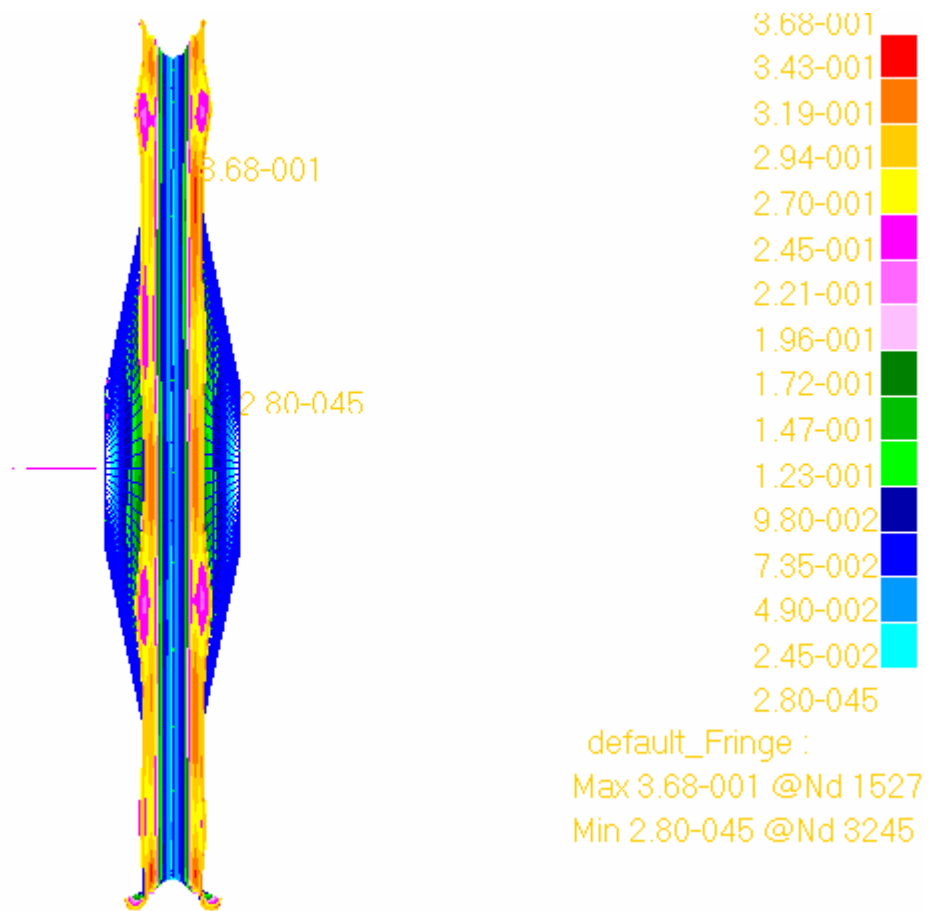
A continuació, com en el cas anterior, es presenten les taules 8 i 9 amb el resultats de l'anàlisi amb més captures informatives.

9 BARS 4CAPES		INFLAT		PARELL DE FRENADA	
		max	min	max	min
max. Desplaçament (mm)		0.367		0.368	
max.deformació (max. principal)	capa 1	4.21E-03		4.42E-03	
	capa 2	2.56E-03		2.28E-03	
	capa 3	2.46E-03		2.63E-03	
	capa 4	2.50E-03		2.57E-03	
max. tensió (MPa) (max. principal)	capa 1	622		622	
	capa 2	303		317	
	capa 3	234		233	
	capa 4	233		238	
		max	min	max	min
max.deformació (en la direcció del material)	capa 1	3.37E-03	-2.51E-03	3.37E-03	-2.53E-03
	capa 2	2.04E-03	-9.31E-04	2.04E-03	-9.29E-04
	capa 3	1.97E-03	-2.18E-03	1.97E-03	-2.18E-03
	capa 4	2.70E-03	-4.36E-03	2.71E-03	-4.36E-03
max. tensió (MPa) (en la direcció del material)	capa 1	474	-280	474	-281
	capa 2	247	-105	246	-105
	capa 3	215	-190	215	-190
	capa 4	349	-471	357	-471

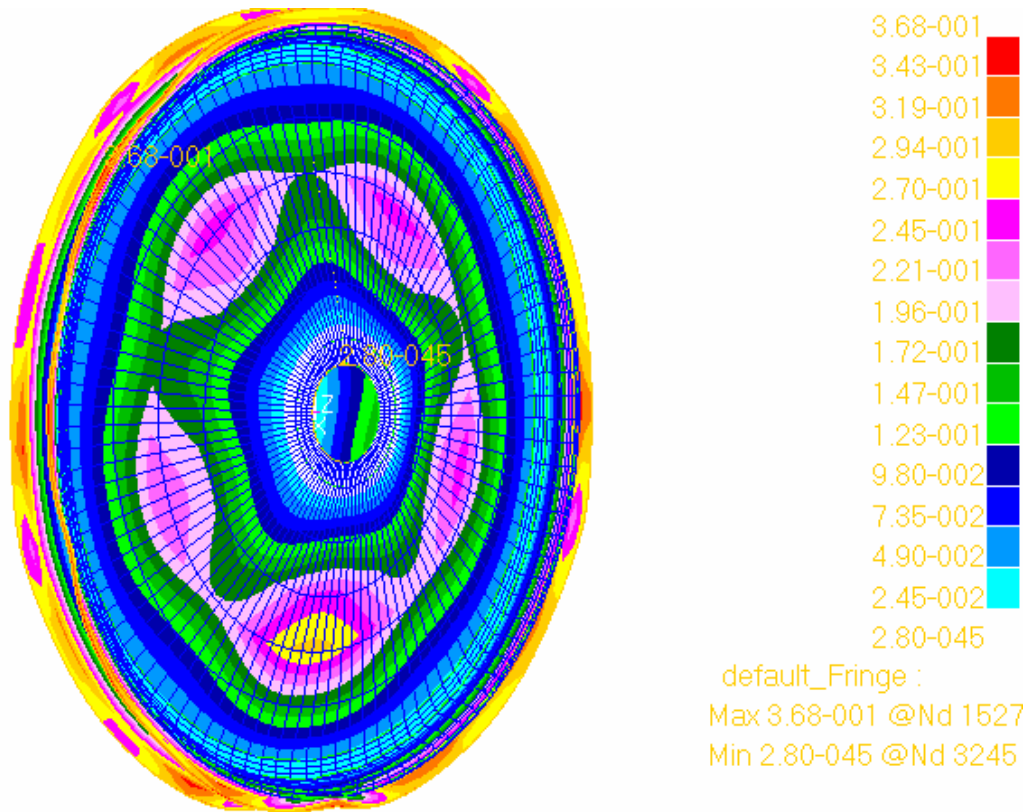
**Taula 8** Valors de les deformacions i tensions en diferents capes

		INFLAT	PARELL DE FRENADA
falla max.deformació (n=)	capa 1	2.15	2.14
	capa 2	4.34	3.93
	capa 3	4.5	4.29
	capa 4	2.35	2.35
falla max.tensió (n=)	capa 1	3.58	3.58
	capa 2	5	4.9
	capa 3	3.98	3.73
	capa 4	4.92	4.9

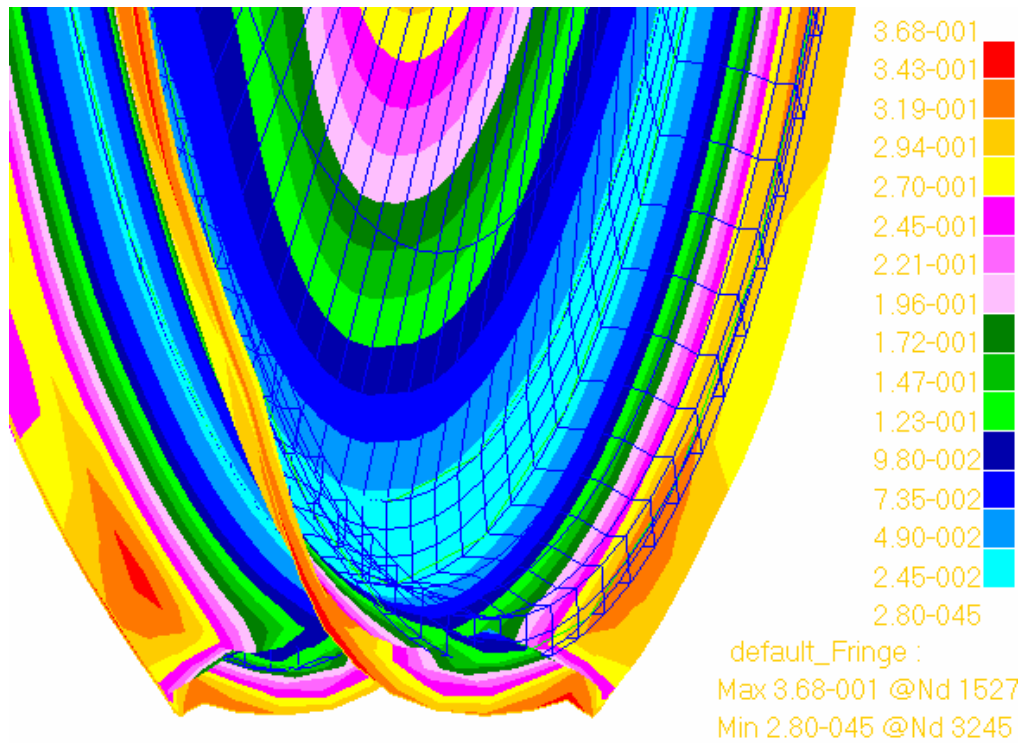
**Taula 9** Valors dels índex de falla considerats



**Fig. 44** Deformacions amb valors de desplaçament

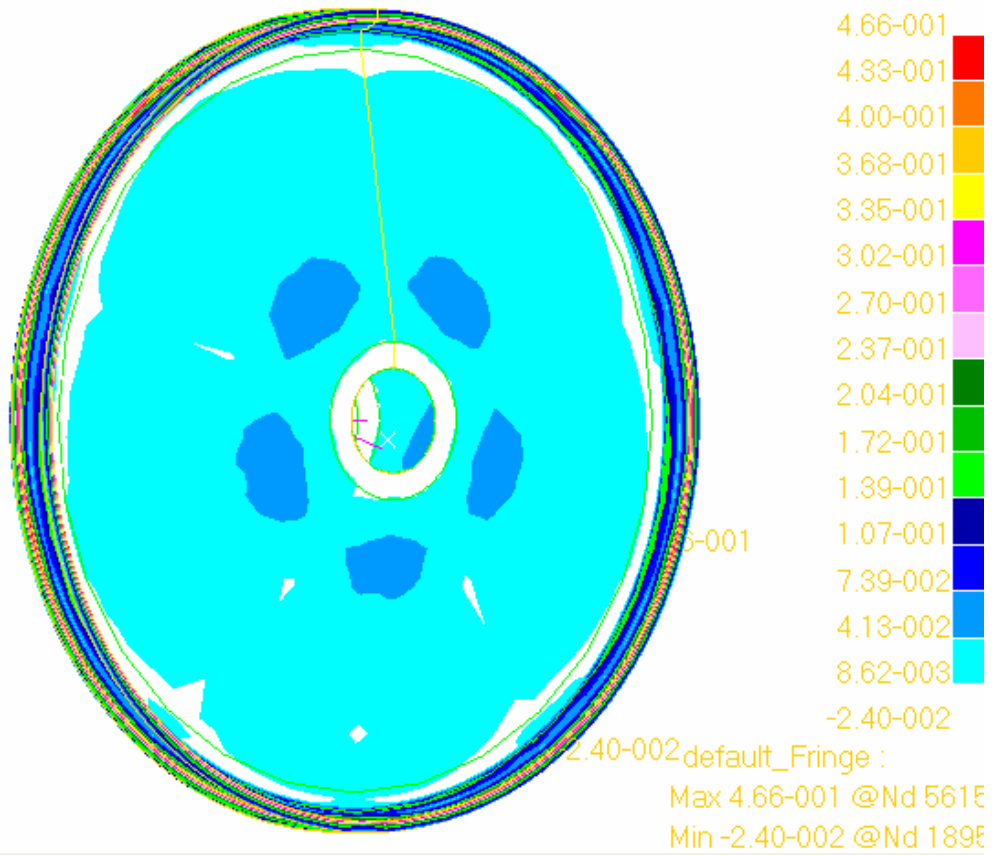


**Fig. 45** Deformacions amb valors de desplaçament

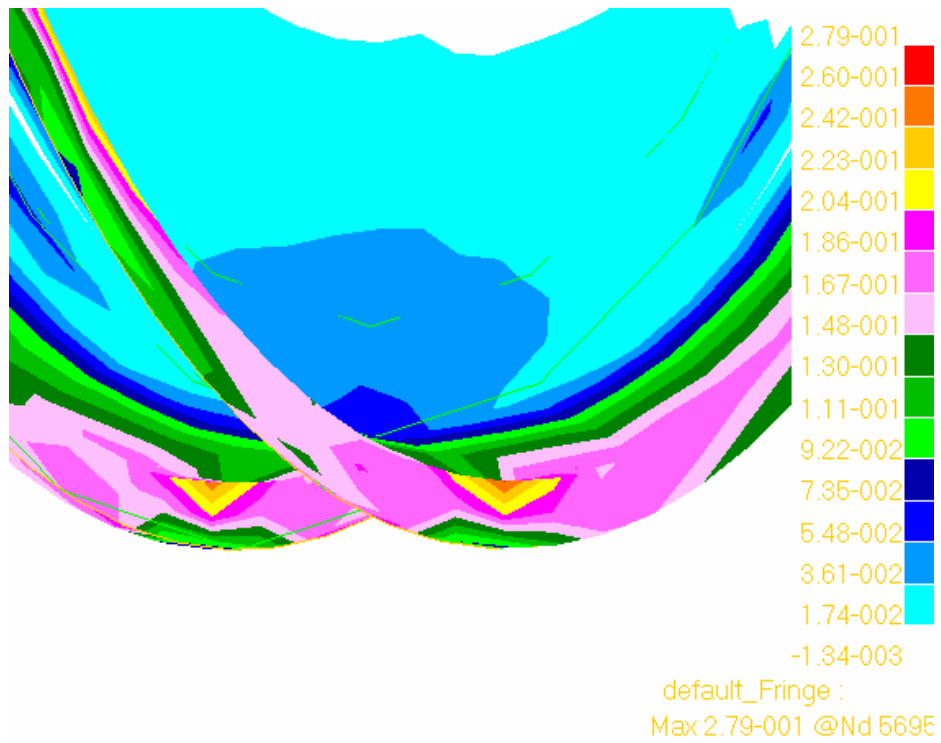


**Fig. 46** Ampliació de la deformada en contacte amb el terra x30

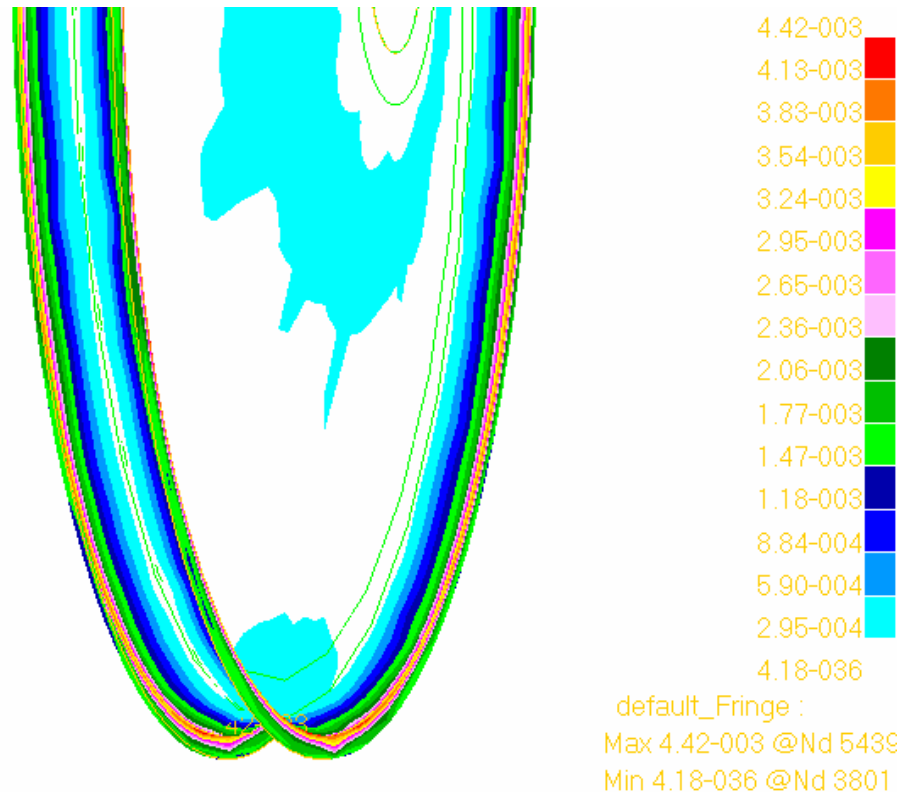




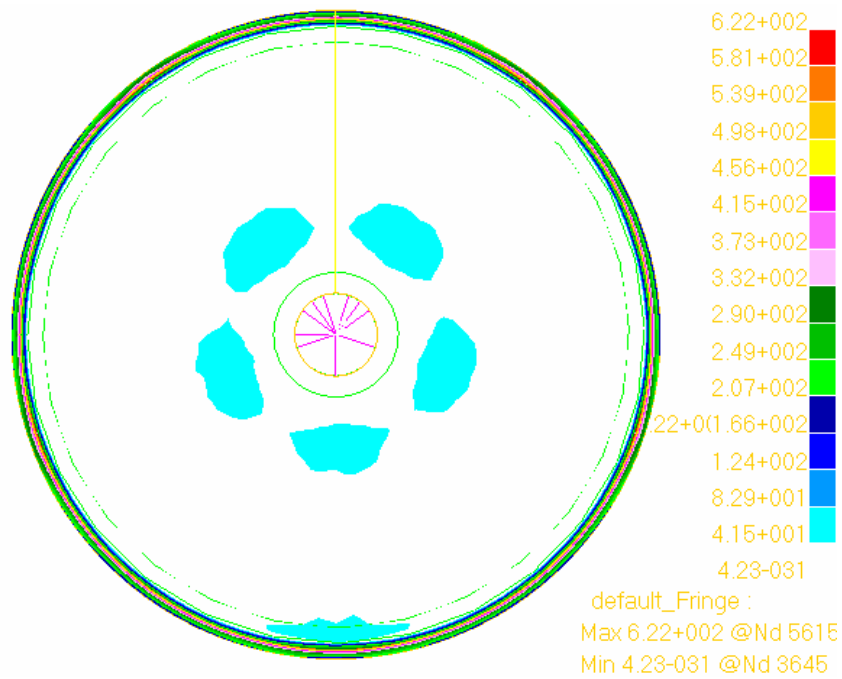
**Fig. 47** Índex de falla màx. deformació



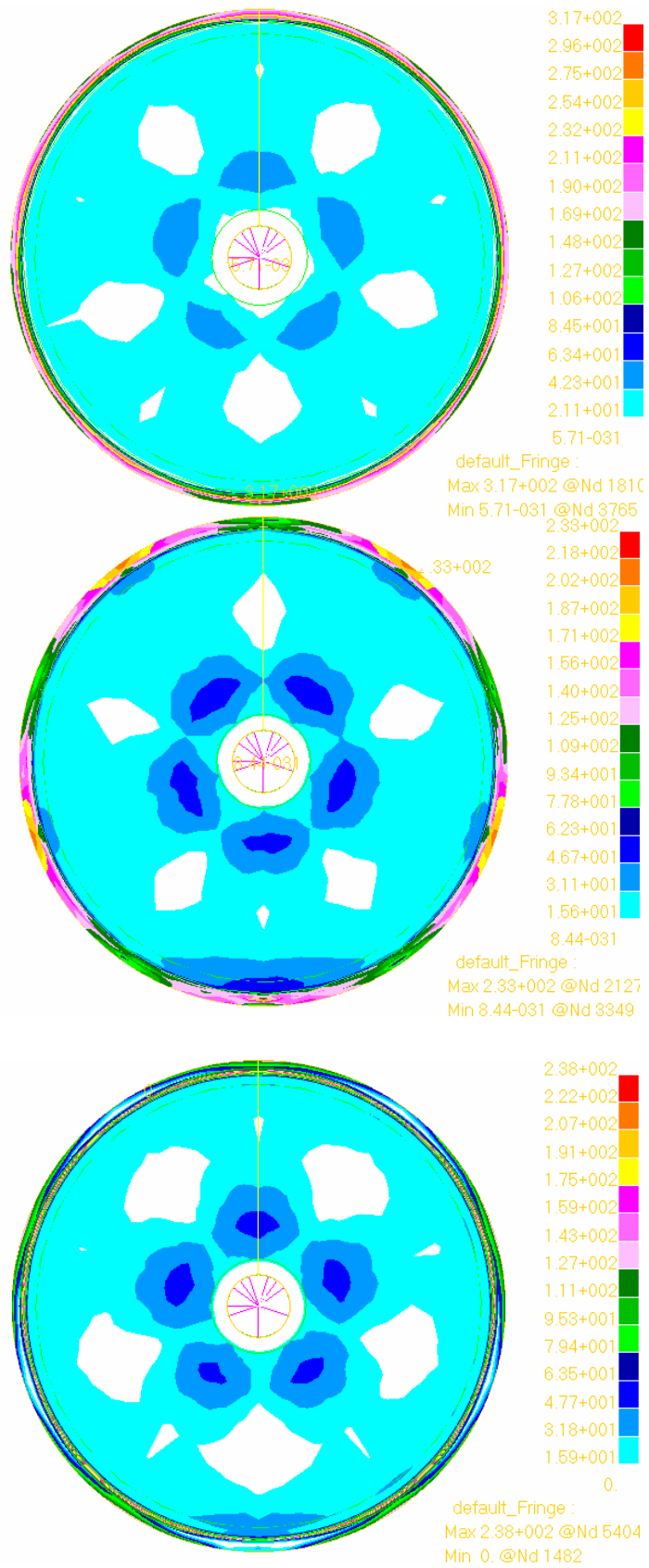
**Fig. 48** Índex de falla màx. tensió en la zona de contacte amb el terra



**Fig. 49** Distribució de deformacions en la zona de contacte amb el terra



**Fig. 50** Distribució de tensions en la capa 1



**Fig. 51** Distribució de tensions en la capa 2,3 i 4

**D.2.2.1 Conclusió cas aplicant un parell de frenada. (roda posterior)**

Un primer cop d'ull als resultats mostren que la pressió d'inflat ,de valor 9 bars, resulta predominant a la resta de forces en aquest anàlisi. La zona més compromesa se situa al llarg de tot el taló de la llanta, on esdevé l'encaix amb el pneumàtic.

La construcció de la llanta posterior amb tres capes, en comptes de quatre, s'ha desestimat al tenir pics de tensió i deformació molt elevats. Possiblement degut a la manca d'aquesta quarta capa, i al fet que el laminat amb tres capes no és simètric resulta propens a acoblaments entre les tensions normals i els moments.

En les figures 48 i 49 podem veure la distribució de les tensions per a cada capa, veient com les tensions agafen la mateixa forma amb la que es distribueixen els patrons.

**D.2.3 Cas anàlisi a vinclament**

En les imatges següents mostren el model sotmès a un càlcul de vinclament per a la roda davantera. En la taula 10 s'ha resumit cadascun dels valors corresponents als modes de vinclament. Per tant, per que es produeixi inestabilitat per vinclament la càrrega hauria de ser tants cops superior a la que s'indica.

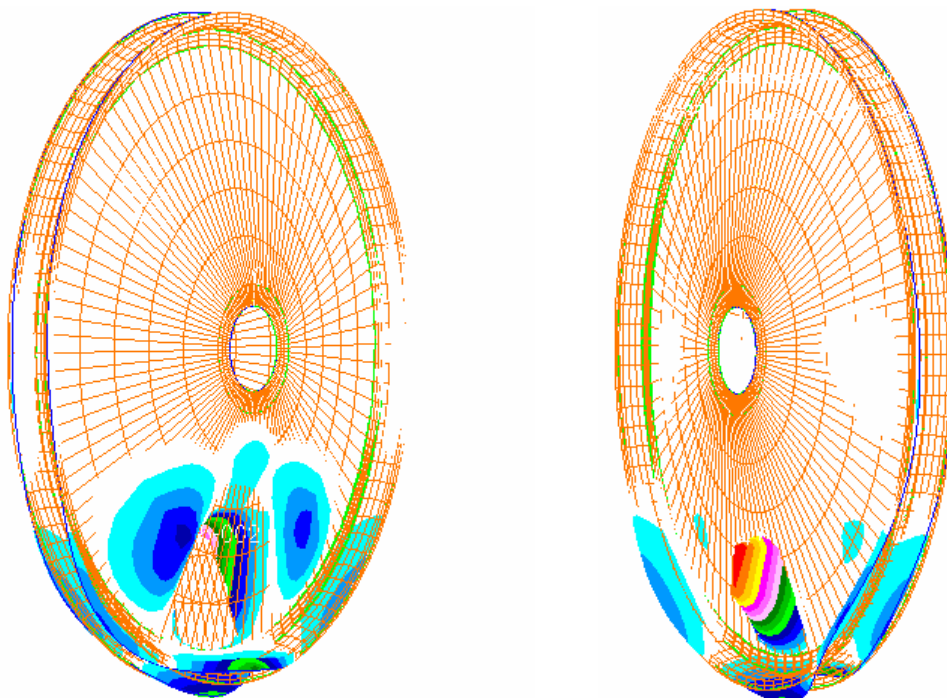
<b>Mode de vinclament</b>	<b>Valor</b>
Mode nº 1	4'69
Mode nº 2	-4'76
Mode nº 3	-5'52
Mode nº 4	5'60
Mode nº 5	6'47

**Taula 10** Resum dels modes de vinclament

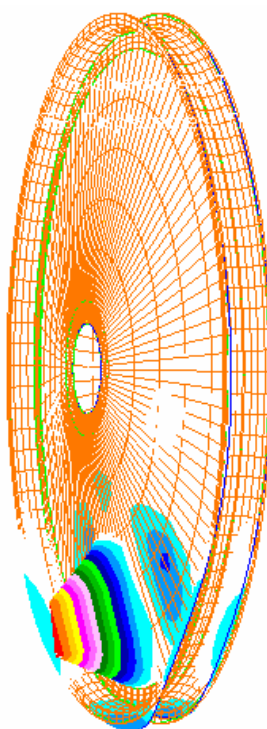
Dels valors que indica la taula, veiem que la majoria de modes ens permeten un més que acceptable marge de seguretat, suficient per negligir un anàlisi no lineal del model.

EL signe negatiu en els modes dos i tres indica que les càrregues haurien d'anar en sentit contrari, per tal de que es produïes aquest mode de vinclament. En el nostre cas impossible.

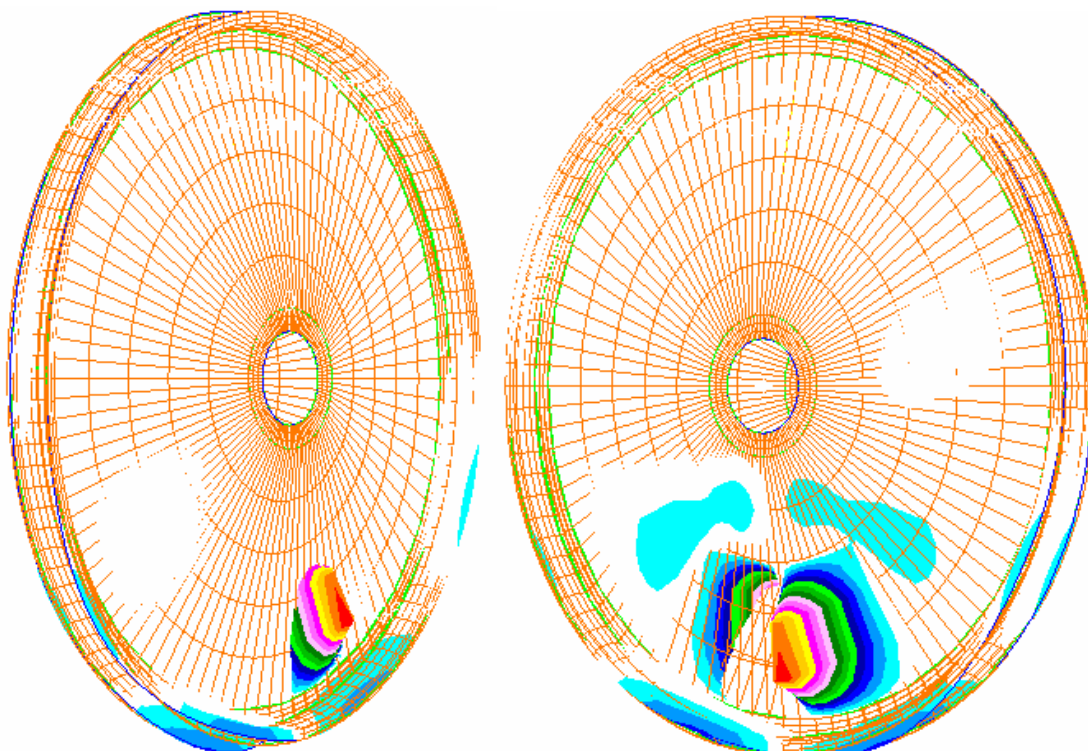
De les imatges extraiem que la zona més castigada per l'efecte del vinclament és la zona inferior del model, la més propera al terra, hipòtesi lògica al ser la zona més propera al punt d'aplicació de les càrregues, ja que el gruix de la roda és totalment homogeni.



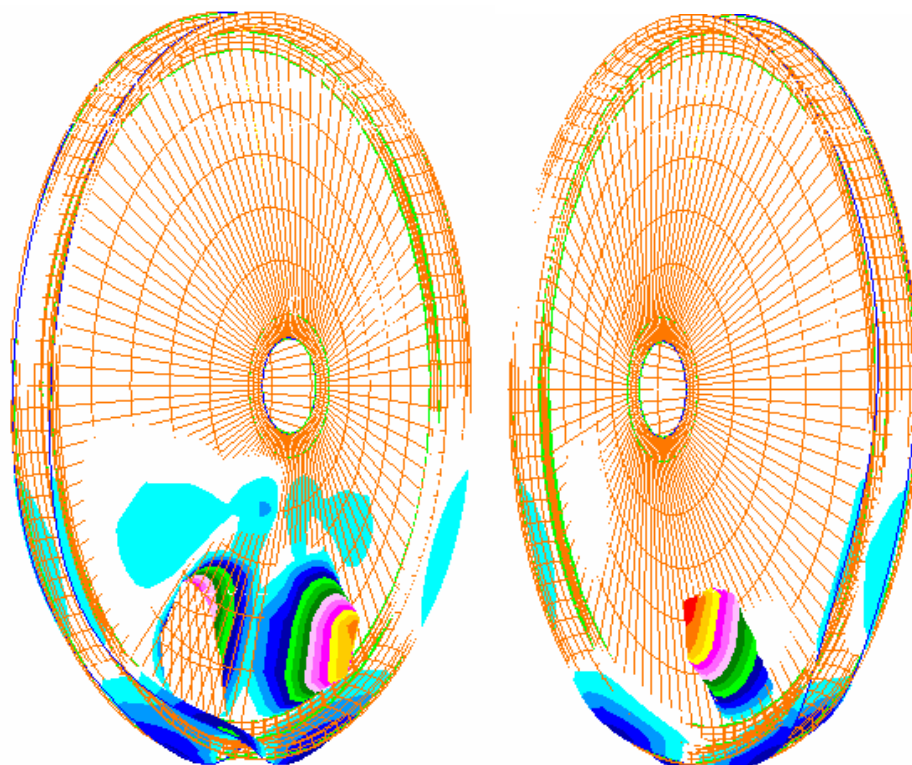
**Fig. 52** Primer mode de vinclament



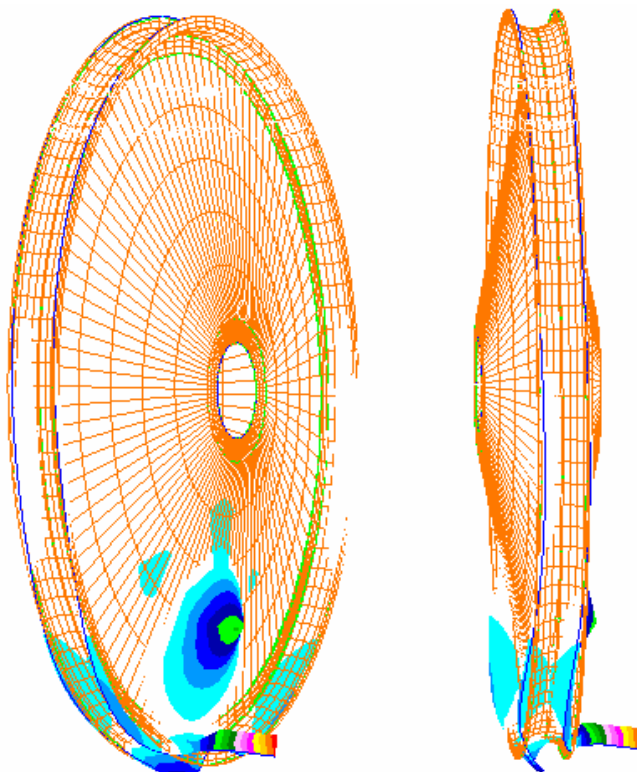
**Fig. 53** Segon mode de vinclament



**Fig. 54** Tercer mode de vinclament



**Fig. 55** Quart mode de vinclament



**Fig. 56** Cinquè mode de vinclament

## **E METODOLOGIA DE FABRICACIÓ**

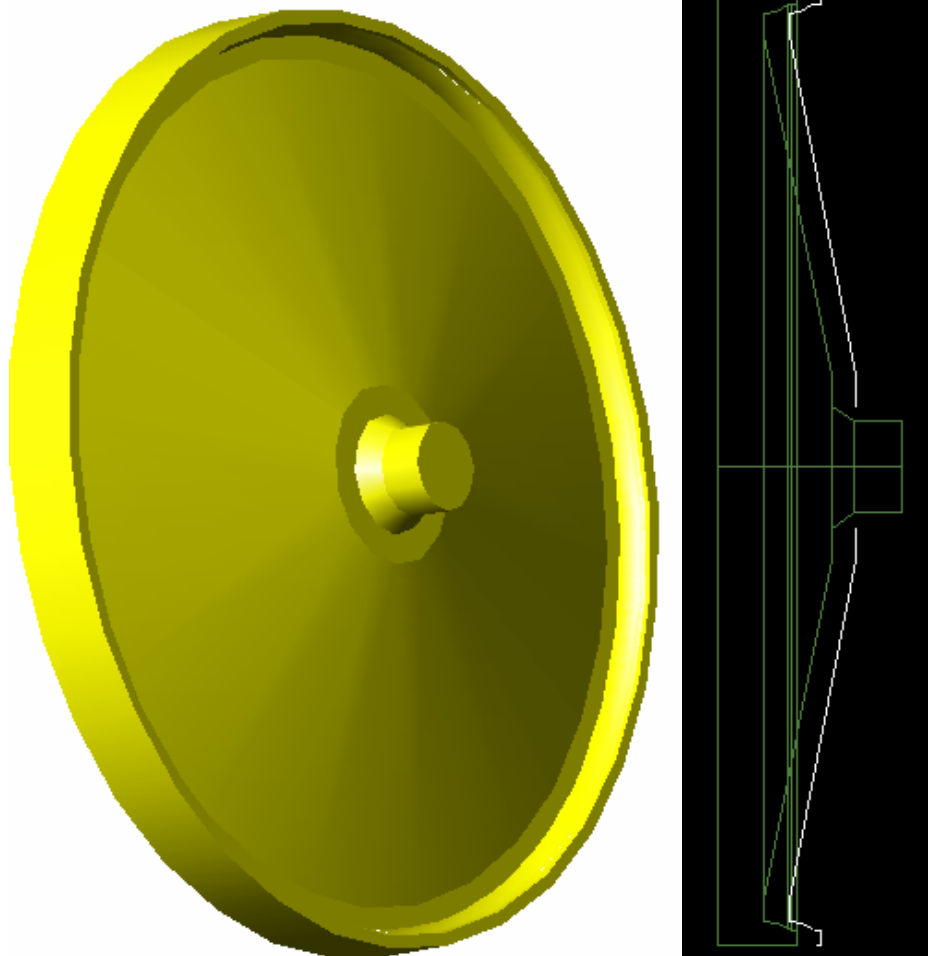
En aquesta secció es descriuen unes especificacions bàsiques per tal de marcar unes directrius en la construcció de les llantes.

### **E.1 Referències al motlle**

Per al que el motlle es refereix es proposa dues maneres per dur-lo a terme:

- Motlle d'alumini

Mitjançant l'alumini mecanitzar el negatiu de la part interior de la llanta per poder obtenir un motlle ben mecanitzat, rígid i durador. La gran avantatge d'aquest sistema resideix en la gran quantitat de cops que es pot utilitzar, encara que per contrapartida es necessari un gran bloc d'alumini amb el cost econòmic que això suposa. (Veure figura 57)



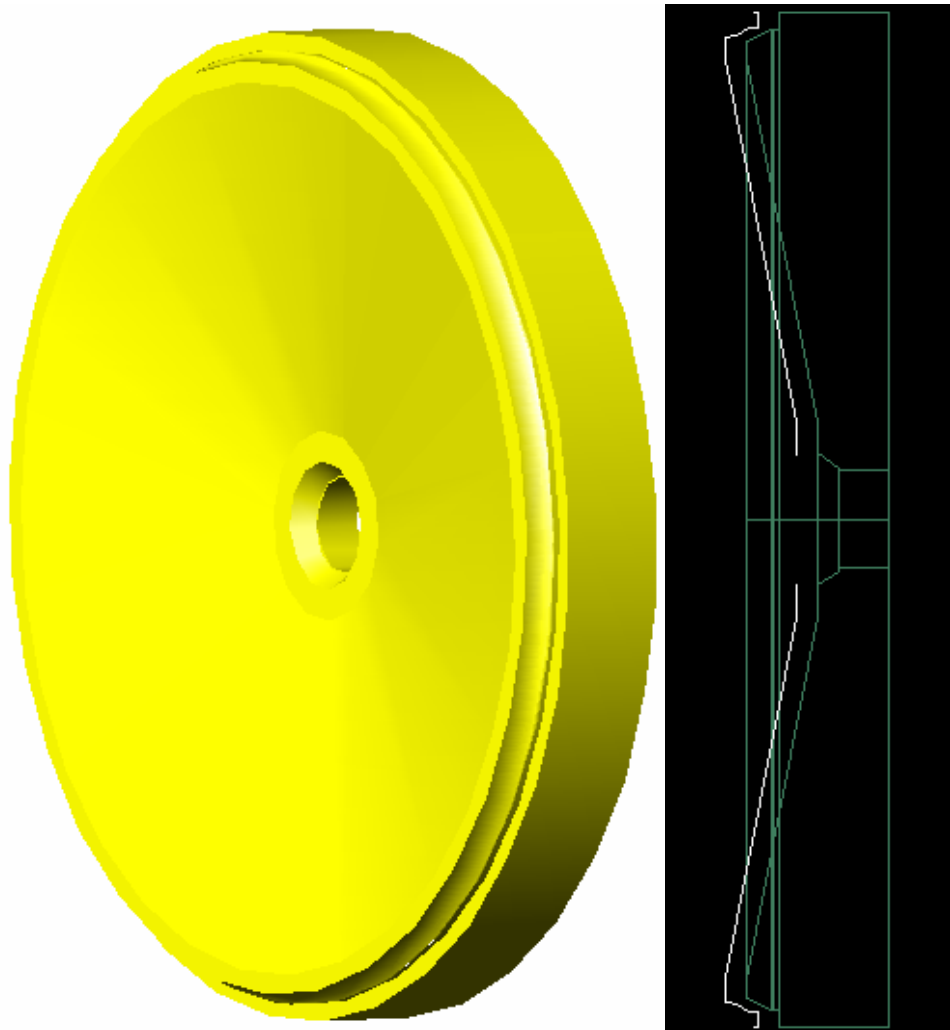
**Fig. 57** Esquerra representació del motlle d'alumini; dreta amb el perfil de la roda



- Motlle de fibra de carboni

Ara bé, l'opció més recomanable és utilitzar el mateix material que el de la peça a fabricar. La utilització de motlles de distint material pot comportar un augment de les tensions residual, més acusat com major sigui la diferència de conductivitats tèrmiques i dilatacions entre el material del motlle i el de la peça a fabricar.

Per dur a terme aquest procediment s'ha pensat de construir un model de la llanta, o millor de mitja llanta, en fusta, per posteriorment després de laminar la part exterior de la llanta amb fibra de carboni, aconseguir un motlle del negatiu de la part exterior de la llanta. L'avantatge d'aquest sistema recau en ser més favorable, al estar dintre de les possibilitats de fabricació de l'equip. A més l'acabat superficial de la part de la llanta visible al públic milloraria sensiblement. Per contrapartida la tolerància dimensional d'aquest sistema resulta inferior a la del motlle d'alumini. (Veure figura 58)



**Fig. 58** Esquerra representació del motlle en fibra; dreta amb el perfil de la roda

## **E.2 Toleràncies en el tall de patrons**

En el DOCUMENT 2: Plànol del patró, s'adjunta el patró dissenyat a escala 1:1 amb la acotació necessària per dur a terme el seva bona confecció.

Degut a que els patrons es tallen a mà, el rang de tolerància s'ha definit en consideració a les habilitats dels operaris en el tall de teixits. Les toleràncies de tall seran + / - 5 mm.

## **E.3 Toleràncies en la col·locació dels patrons**

Per la col·locació dels patrons s'ha considerat dues referències, i consegüentment dos tipus de tolerància. En la primera referència la precisió ha de ser màxima, donat a que aquest punt és vital per al centrat de tots els patrons. Aquesta referència podrà ser situada lliurement per l'operari al inici del laminat.

La segona referència ha d'assegurar el contacte entre dos patrons d'una mateixa capa, per tal d'assegurar una continuïtat de les capes del laminat. Per altra banda, també cal assegurar que la mínima distància entre el solapament anterior i el que estem executant en aquest moment sigui com a mínim de 20 mm.

## **E.4 Col·locació dels patrons en producció**

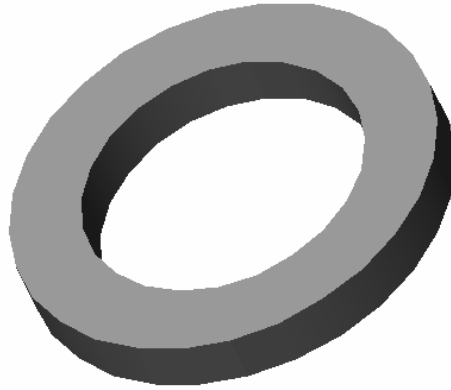
Una vegada marcada una línia referència inicial entre el centre de la roda i un punt situat en l'arc exterior d'aquesta, es podria iniciar la col·locació dels patrons. Recordant que al final de la col·locació del cinquè patró de la primera capa i tenint en compte els solapaments, aquest ha de finalitzar en la línia de referència inicial.

Pel que fa a la segona capa la única precaució a prendre es situar els punts mitjos dels patrons en les línies marcades pels solapaments de la capa anterior, i així successivament fins a finalitzar la totalitat de les capes. Recordem que cada capa ha de tancar l'àrea total de la roda de 360° amb els solapaments ben realitzats.

Una vegada acabada la tasca de la col·locació dels patrons es passarà al curat i post-curat de les llantes amb les directrius marcades en l'annex B.

### **E.5 Forats i unions adhesives**

Per a la realització del forat central s'ha pensat en fabricar una anella de 80 mm de diàmetre exterior i 53 mm de diàmetre interior, que encaixi perfectament en la superfície plana central de la llanta; la més propera a la caixa. (Veure figura 59)



**Fig. 59** Anella per dur a terme el forat central

Una vegada col·locada i fixada la anella amb una solució adhesiva no permanent resultarà fàcil marcar i mecanitzar el forat.

Pel que fa a la unió de dues subllantes amb l'adhesiu estructural, fora bo realitzar uns forats en la superfície d'unió per tal de dur a terme alguna mena de centratge mitjançant uns passadors o cargols; que a part de centrar les dues peces ajudarien a que la unió quedés totalment rígida durant el curat de l'adhesiu. Recordar que en aquest procés s'ha d'encolar la caixa alhora enmig de les dues peces.

## **F SEGURETAT I HIGIENE EN LA MANIPULACIÓ**

Les obligacions i recomanacions a seguir durant la manipulació de materials plàstics s'ha de seguir durant el procés de tractat i producció dels materials. Per més informació consultar la publicació 91/155/CEE o el fabricant.

HIGIENE PERSONAL. Precaucions en el lloc de treball

- Roba de protecció	si
_ Guants	si
- Protectors de braços	Recomanat evitar contacte amb la pell
- Ulleres de seguretat	si
- Mascareta protectora	recomanable
- Protecció de la pell:	
Abans de començar a treballar	Aplicar crema a la pell exposada
Després de rentar	Aplicar crema reparant o hidratant

### SEGURETAT

- Neteja de la pell contaminada

Eixugar amb paper absorbent, rentar les mans amb aigua tèbia i un sabó no alcalí. Després eixugar amb tovalloles. No fer servir dissolvents.

- Primers auxilis

Contaminació en ulls per resina ha de ser immediatament diluïda per aigua corrent durant 10 o 15 minuts, per posteriorment consultar immediatament un metge.

La contaminació dels ulls per fibra ha de ser immediatament eliminada per aigua corrent durant 10 o 15 minuts, i després consultar immediatament un metge.

En cassos d'ingestió no provocar el vòmit i sol·licitar assistència mèdica immediata.

La resina que vagi a parar a la pell ha de ser eixugada, i la part afectada ha de ser tractada amb una crema adequada. S'ha de consultar un metge en cas d'irritació o cremades. La roba contaminada s'ha de canviar d'immediat.

La fibra que vagi a para sobre la pell, o altres parts del cos ha de ser retirada d'immediat.

La manipulació de la resina i la fibra s'ha d'efectuar amb sistemes protectors de les vies respiratòries, bucal i visuals.

Qualsevol operari amb afecció del sistema respiratori o irritació ocular ha de ser traslladat fora del local d'immediat i en cas de qualsevol dubte s'ha de consultar un metge.

- Mesures de lluita contra incendis

Les substàncies extintores apropiades són *l'anhídrid carbònic, pols extintora, espuma,...* Durant el incendi es pot alliberar òxids azoics, monòxid de carboni, àcid cianhídric...

Les restes de l'incendi així com l'aigua de extinció contaminada han de ser eliminades d'acord a les normatives vigents.

- Precaucions en cas de vessament accidental

Portar posat l'equip de protecció. Mantenir allunyades les persones sense protecció.

Impedir que penetri en el clavegueram o fosses.

Treure amb material absorbent (sorra, kieselgur, absorbent d'àcids, absorbent universal, serradures)

Després d'una hora aproximadament, recollir en envasos apropiats, no tancar (despreniment de CO<sub>2</sub>).

Deixar al aire lliure en un lloc vigilat durant 7 a 14 dies abans de portar-lo a un abocador controlat.