Resum

En aquest projecte es desenvoluparà una aplicació informàtica per optimitzar les estratègies dels equips que competeixen en curses de resistència.

En primer lloc, s'avaluaran els factors que intervenen en les prestacions dels vehicles en competició, com poden ser els pneumàtics, el consum de combustible...

Després es farà una avaluació dels factors reglamentaris d'aquestes curses i que acoten les possibles estratègies.

Havent realitzat aquests dos anàlisis, es plantejarà i desenvoluparà un algoritme que permeti maximitzar la distància recorreguda pel vehicle, un cop fixat un temps de cursa restant i unes "condicions de contorn".

Per tal de verificar i comprovar el correcte funcionament d'aquesta aplicació, es simularà amb dades reals l'estratègia a seguir durant la cursa, i es compararan els resultats obtinguts amb els d'un equip d'una edició de les 24 hores de Montmeló.

Finalment, es realitzarà un pressupost del projecte i una valoració del impacte mediambiental de la seva aplicació.

Sumari

RESUM 1

SUMARI 3

1. INTRODUCCIÓ 7

1.1. Objectius del projecte 7

1.2. Abast del projecte 7

2. DESCRIPCIÓ DEL PROBLEMA DE PLANIFICACIÓ DE L'ESTRATÈGIA EN CARRERES DE RESISTÈNCIA 8

2.1. Introducció al problema de l'estratègia 8

2.2. Característiques de la carrera de resistència 9

2.2.1. Convocatòria i organització de la carrera 9

2.2.2. Circuit 9

2.2.3. Dates y horaris 10

2.2.4. Nombre de pilots i categories de motocicletes 12

2.2.5. Reglament al box i a les parades 12

2.2.6. Relleus 14

2.2.7. Respostatge de combustible 14

2.2.8. Temps classificatoris 15

2.2.9. Ordre de sortida i procediment de sortida 15

2.2.10. Neutralització de la carrera mitjançant el "SAFETY CAR" 16

2.2.11. Interrupció de la cursa 17

2.2.12. Classificació final 19

2.2.13. Altres factors reglamentaris a tenir presents 19

3. AVALUACIÓ DELS FACTORS QUE INTERVENEN EN LES PRESTACIONS DELS VEHICLES EN COMPETICIÓ 20

3.1. Avaluació del temps per volta de cada pilot 20

3.2. Avaluació del consum de combustible 22

3.3. Avaluació dels pneumàtics 22

3.4. Avaluació dels temps de parades 23

4. PLANTEJAMENT D'UN ALGORISME QUE PERMETI MAXIMITZAR LA DISTÀNCIA RECORREGUDA 26

4.1. Programació dinàmica 26

4.1.1. Característiques especifiques 26

4.1.2. Sistema d'una *PD* 27

4.1.3. Programació dinàmica determinista (*PDD*) 28
4.1.4. Programació dinàmica aleatòria (PDA) 30
4.2. Parts de l'algoritme 30
4.3. Descripció teòrica de l'algoritme 32
4.3.1. Variables i limitacions a l'algoritme....32
4.3.2. Definició dels estats 33
4.3.3. 2 models 35

5. IMPLEMENTACIÓ DEL MODEL A L'EXCEL 39

5.1. Full 1: introducció de les dades 39
5.2. Full 2: introducció dels valors de les dades inicials.... 40
5.3. Full 3 i 4: Càlcul de la seqüència de relleus i parades 42
5.4. Full 5: Definició dels estats 43
5.5. Full 6 i 7: Matrius de rendiments 45
5.6. Full 8 i 9: Resultats intermedis 45
5.7. Full 10: Resultats 47

6. PROGRAMACIÓ D'UNA APLICACIÓ EN VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS(VBA) 48

6.1. Introducció a VBA 48
6.2. Creació de formularis a VBA.... 48
6.2.1. Formularis 1, 2, 3 i 4 48
6.2.2. Formulari 5....49
6.2.3. Formulari 6....50
6.2.4. Formulari 7....50
6.2.5. Formulari 8....51
6.2.6. Formularis 9, 10, 11 i 12 52
6.2.7. Formulari 13....52
6.2.8. Formulari 14....53
6.2.9. Formulari 15....54
6.2.10. Formulari 16....54
6.2.11. Formulari 17....55
6.3. Diagrames.... 56
6.3.1. Diagrama dels formularis [7] [8] 56
6.3.2. Diagrama dels botons 57
6.4. Implementació del codi a l'Excel 58
6.4.1. Procés general....58
6.4.2. Matriu de rendiments entre estats....65
6.4.3. Fixar una política òptima a llarg termini....68

6.4.4. Estratègia de la cursa 70

7. SIMULACIÓ I ANÀLISI DE RESULTATS ____ 74

7.1. Valors de les variables 74

7.1.1. Capacitat del dipòsit 75

7.1.2. In_box 75

7.1.3. Out_box 76

7.1.4. Safety Car 77

7.1.5. Temps per volta 78

7.1.6. Consum de combustible 80

7.1.7. Temps de cada tipus de parada 81

7.1.8. Quotes de relleus dels pilots 82

7.1.9. Quotes de les parades a realitzar 83

7.2. Condicions de la cursa 83

7.3. Resultats de la simulació 84

7.3.1. Seqüència de relleus i parades 84

7.3.2. Matriu d'estats i resultats de la política òptima 85

7.3.3. Resultats de l'estratègia 86

7.4. Comparació dels resultats reals i els de la simulació 86

8. IMPACTE MEDIAMBIENTAL DE L'APLICACIÓ D'AQUEST PROJECTE ____ 88

9. PRESSUPOST DEL PROJECTE ____ 89

CONCLUSIONS ____ 92

AGRAÏMENTS ____ 93

BIBLIOGRAFIA ____ 94

9.1. Referències bibliogràfiques 94

1. Introducció

La gestió de la estratègia a seguir és un dels principals problemes que tenen els mànagers del equips de cotxes i motocicletes que competeixen en curses de resistència; ja que han de decidir amb molt poc temps en quines voltes realitzaran els canvis de pilot i el manteniment que considerin oportú del vehicle.

Aquestes decisions poden tenir especial dificultat degut a que varien en funció de condicions de cursa que no estaven contemplades a l'estratègia inicial, com poden ser variacions en les condicions climatològiques, sortides del cotxe de seguretat a la carrera...

En conseqüència, per tal de facilitar la feina del mànager de l'equip, aquest projecte pretén realitzar un algoritme que calculi l'estratègia òptima a seguir per l'equip tenint en compte la situació de la cursa i el temps restant d'aquesta.

1.1. Objectius del projecte

L'objectiu del projecte és obtenir la seqüència de decisions (relleus de pilots, canvi de pneumàtics...) que ha de seguir l'equip per tal de recórrer la màxima distància possible en una cursa.

Aquest algoritme ha de ser una eina a disposició del mànager de l'equip per fer-se una idea ràpida o una aproximació de quina és l'estratègia ha seguir, tant a l'inicii de la cursa, com durant la realització de la prova.

1.2. Abast del projecte

Aquest projecte abasta des de la modelització del comportament que tindrà el vehicle en cursa, fins al càlcul de l'estratègia que s'ha de seguir. També, es farà una simulació del comportament en una cursa d'una edició anterior.

I finalment, es realitzarà un pressupost del projecte i una valoració del impacte mediambiental de la seva aplicació.

2. Descripció del problema de planificació de l'estratègia en carreres de resistència

2.1. Introducció al problema de l'estratègia

L'estratègia a seguir en les carreres de resistència és fonamental per tal de que l'equip participant aconsegueixi uns bons resultats en la prova en que competeix. El mànager de l'equip o l'encarregat de dissenyar l'estratègia ha de planificar en quines voltes es faran els relleus del pilots i les tasques de manteniment que requereix el vehicle.

No es fàcil dissenyar las seqüència de parades i relleus, donat que no només s'han de tenir presents els pròxims relleus, sinó que s'ha de tenir en compte la totalitat de la cursa, és a dir, fins l'últim relleu.

Una planificació dolenta, sense tenir en compte la totalitat de la cursa, podria ocasionar que s'hagués de fer una última parada a box, amb la corresponent penalització de temps i possiblement de posicions a la classificació, quan faltés molt poc temps per la finalització o que el vehicle es quedes sense combustible per haver realitzat un nombre excessiu de voltes.

També, existeix la possibilitat que l'estratègia a seguir, planificada abans de l'inicii de la carrera, no serveixi degut a l'aparició de fets imprevistos que no podien ser planificats a l'inicii, com poden ser canvis meteorològics, avaries a la motocicleta amb la corresponent pèrdua de temps per reparar-la, sortida a pista del cotxe de seguretat...

Inclús, hi ha el risc d'infringir el reglament de la cursa per un error en l'estratègia. Per exemple, que un pilot hagués estat conduint sense parar un temps superior al permès.

Si no es respecta escrupolosament el reglament de carrera, la direcció d'aquesta imposarà a l'equip una penalització de temps que podria suposar, amb molta probabilitat, que equips rivals passessin al davant en la classificació.

Per tots aquests motius, seria de molta utilitat pels equips una eina capaç de calcular, d'una forma ràpida, l'estratègia a seguir en qualsevol moment i en unes condicions determinades de cursa (temps restant de carrera, condicions atmosfèriques...) ja que en el transcurs d'aquesta es disposa de poc temps per prendre decisions.

En resum, l'objectiu és aconseguir una eina que ens indiqui, des del inici fins el final de la carrera, a quines voltes s'ha d'entrar a boxes, quin és el manteniment que els mecànics han de realitzar en aquella parada, i finalment, quin és el pilot que sortirà a pista.

2.2. Característiques de la carrera de resistència

2.2.1. Convocatòria i organització de la carrera

Aquest projecte es centre en un equip de motociclisme que competeix a les "*24 HORES DE CATALUNYA*" que es disputa al circuit de Montmeló (Barcelona); prova que es realitza anualment cap a la primera setmana de juliol. Aquesta prova internacional de resistència l'organitza "*El Reial Automòbil Club de Catalunya" (RACC)*. Està registrada per la "*Federación Internacional de Motociclismo" (FIM)*, i en els *"Calendarios Deportivos de la Real Federación Motociclista Española" (RFME)* i de la "*Federació Catalana de Motociclisme" (FME)*.

La cursa consisteix en realitzar el màxim nombre de voltes en 24 hores de forma ininterrompuda, és a dir, recórrer la màxima distancia possible.

2.2.2. Circuit

La competició es disputa en el traçat "FIM Gran Premio" del Circuit de Catalunya [1], que té una longitud de 4.727 metres i una amplada mínima de pista de 11 metres. Aquest traçat té una recta principal de 1.047 metres de longitud, amb una amplada de 12 metres, 8 corbes a la dreta i 5 a l'esquerra. La cursa es disputarà en el sentit de les agulles del rellotge.

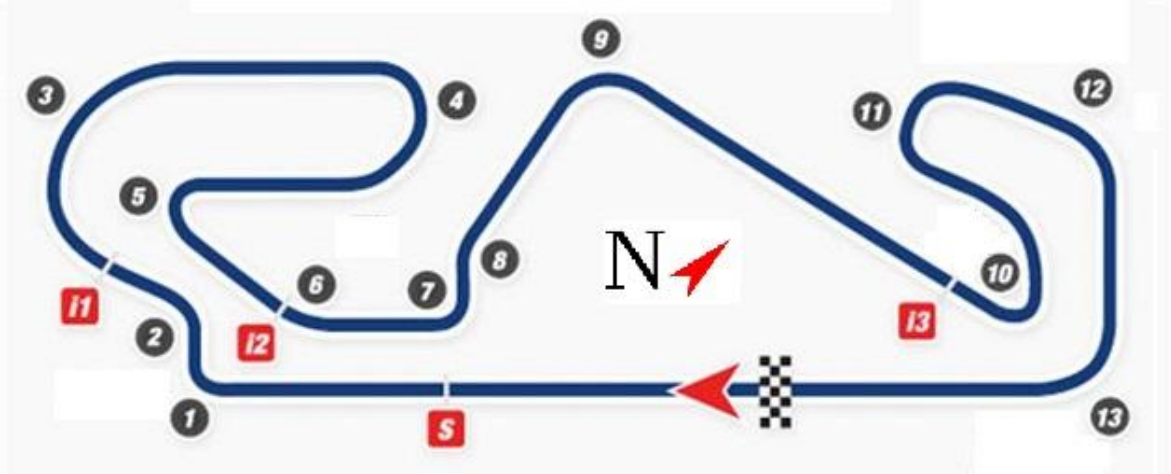


Fig. 2.1. Esquema del traçat del circuit de Catalunya.

2.2.3. Dates y horaris

La direcció de cursa estableix un calendari amb tots els fets rellevants que engloben la cursa, i que seran importants en l'avaluació de les prestacions de cada binomi de pilot-vehicle, com es veurà més endavant.

La sortida de la cursa sempre és un dissabte a les 15h, i la finalització d'aquesta és el diumenge a les 15h.

L'ultima edició abans de presentar aquest projecte, es va disputar entre el 4-6 de juliol de 2014.

El calendari [2] genèric establert va ser el següent:

11 abril	Obertura d'inscripcions
Maig	Publicació reglament particular
3 de juny	Tancament d'inscripcions
25 de juny	Publicació llista d'inscrits
26 de juny	Jornada de tandes lliures
3 de juliol	Jornada de tandes lliures
	Verificacions administratives
4 de juliol	Verificacions administratives i tècniques
	Entrenaments oficials
5 de juliol	15:00h Sortida
6 de juliol	15:00h Arribada

Fig. 2.2. Taula amb el calendari genèric de la cursa.

El calendari de les proves classificatòries va ser:

Divendres, 4 de juliol	
16.30 - 17.30	Entrenaments lliures
18.00 - 20.30	Entrenaments qualificatius
18.00 - 18.30	Pilots con braçalet blau
18.40 - 19.10	Pillots con braçalet groc

19.20 - 19.50	Pillots con braçalet vermell
20.00 - 20.30	Pilots con braçalet blanc
22.00 - 23.30	Entrenaments nocturns

Fig. 2.3. Taula amb el calendari d'entrenaments lliures i qualificatius.

Com es pot veure als quadres anteriors, la disponibilitat d'hores per conduir les motocicletes és molt limitada. Només hi ha dues jornades d'entrenaments lliures, i per conduir a la nit, només tenen 90 minuts el dia anterior de la carrera. Tot i així, és obligatori que cada pilot condueixi un mínim de 5 voltes en els entrenaments nocturns.

La limitació d'hores que els equips tenen per rodar en el circuit, serà un problema alhora d'aconseguir dades exactes i fiables que posteriorment ens permetin preveure com respondrà cada binomi pilot-vehicle en diferents situacions de cursa.

El calendari d'inici de cursa va ser:

Dissabte, 5 de juliol	
12.00 - 12.45	Pit Walk
13.00 - 13.30	Warm Up
14.30	Obertura del Pit Lane
14.45	Tancament del Pit Lane
15.00	Sortida 24h de Catalunya

Fig. 2.4. Taula amb l'horari del dia inici de la cursa.

I el de final de cursa:

Diumenge, 6 de juliol	
15:00	Arribada 24h de Catalunya
15:15	Cerimònia de pòdium

Fig. 2.5. Taula amb l'horari del dia del final de la cursa.

2.2.4. Nombre de pilots i categories de motocicletes

Cada equip estarà format per 4 pilots; no obstant això, també s'acceptarà la inscripció d'equips formats per 3 pilots. Cada pilot d'un equip portarà sempre un braçalet distintiu d'un color que pot ser: blau, groc, vermell o blanc. D'aquesta manera, l'organització podrà saber, en cada moment, quin pilot esta conduint i quins estan descansant.

Competeixen a la vegada diferents categories, cosa que explica la gran diferencia entre els resultats d'uns equips i altres.

Tots els equips han de córrer amb motocicletes amb motor de 4 temps, i es divideixen en les següents categories [3]:

Superstock 600 (STK600):	de 400 cc. fins a 600 cc. 4 cilin.
	superior a 500 cc. fins a 675 cc. 3 cilin.
	superior a 600 cc. fins a 750 cc. 2 cilin.
Superstock 1000 (STK1000):	de 600 cc. fins a 1.000 cc. 4 cilin.
	superior a 750 cc. fins a 1.000 cc. 3 cilin.
	superior a 850 cc. fins a 1.200 cc. 2 cilin.
Open Superbikes (O-SBK):	superior a 500 cc. 2 a 4 cilin.
EWC:	Superior a 600 cc. fins a 1000 cc. 4 cilin.
	superior a 750 cc. fins a 1000 cc. 3 cilin.
	superior a 850 cc. fins a 1200 cc. 2 cilin.

Fig. 2.6. Taula amb les categories que participen.

2.2.5. Reglament al box i a les parades

El reglament [4] estableix que la velocitat màxima a la que les motocicletes poden circular al Pit Lane és de 40km/h; per tant, s'hauria d'intentar que el nombre de parades que es fan durant la cursa sigui el mínim possible, ja que cadascuna d'elles comporta una pèrdua important de temps.

En totes les parades, obligatòriament el pilot haurà de parar el motor de la motocicleta.

Les parades al Pit Lane que es poden fer seran les següents:

- Repostatge de combustible
- Repostatge d'oli
- Operacions de manteniment i reglatges externs
    - Pneumàtics
    - Frens
    - Il·luminació
    - Cables
    - Transmissions secundaries

No hi ha cap limitació respecte a les parades màximes que es poden fer, ni tampoc del combustible o pneumàtics utilitzats. A cada parada o relleu es pot, o no, canviar de pilot.

Fig. 2.7. Parada de l'equip 36 durant l'edició 2014-2015.

2.2.6. Relleus

El reglament estableix que les motocicletes podran ser conduïdes per tots els pilots de l'equip, sense imposar cap ordre de pilotatge. No obstant, cap pilot podrà conduir més de dues hores consecutives, incloent-hi les parades a boxes.

També, s'estableix que el període de descans posterior haurà de ser d'almenys dos terceres parts del temps de conducció.

El temps de relleu començarà a contar quan la motocicleta creui la línia de sortida del Pit Lane i finalitzarà en el moment en que creui de nou la línia d'entrada del Pit Lane.

El temps entre l'entrada i la sortida del Pit Lane, només s'inclourà al relleu quan sigui el mateix pilot qui entri i surti de boxes; és a dir, si es fa una parada però no es canvia el pilot.

2.2.7. Respostatge de combustible

El reglament estableix les següents consideracions respecte al repostatge de combustible:

La freqüència de repostatge és lliure i aquesta operació s'haurà de fer al box de l'equip.

Durant aquesta operació, la motocicleta haurà de tenir el motor i les llums apagades, i es col·locarà un suport auxiliar a la motocicleta que la mantingui vertical.

El pilot no podrà estar a sobre de la motocicleta, així que com previsiblement a cada parada es farà un repostatge de combustible, el temps de parada serà el mateix tant si continua el mateix pilot com si es produeix el relleu d'aquest.

Durant el repostatge, no podrà haver cap persona a menys d'un metre de la motocicleta, amb excepció de la persona encarregada de fer el repostatge, que haurà de portar un equipament de protecció especial.

Les operacions de repostatge s'hauran de fer una vegada s'hagin realitzat totes les altres tasques de manteniment (canvi de pneumàtics, repostatge d'oli...).

Finalment, el reglament [4] estableix que la capacitat màxima autoritzada pels dipòsits de combustible de les motocicletes és de 24 litres. Qualsevol tipus de reserva de combustible addicional esta totalment prohibida.

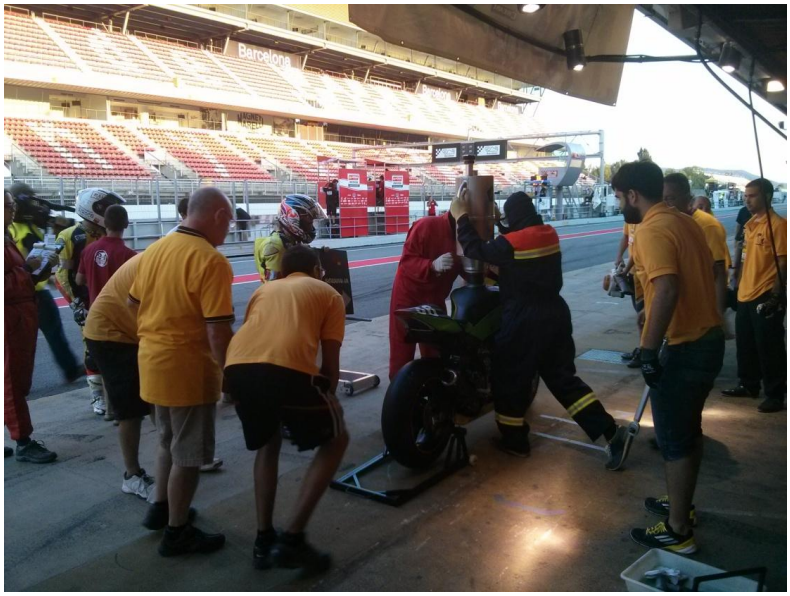


Fig. 2.8. Repostage de combustible de l'equip 36 a la carrera.

2.2.8. Temps classificatoris

Perquè un equip pugui participar [3] a la cursa, cada pilot tindrà que fer un temps de qualificació en pista seca que no podrà ser superior a:

- 2' 06'' 999 per les categories: *O-SBK*, *STK 1000* i *EWC*.
- 2' 09'' 999 per la categoria *STK 600*.

2.2.9. Ordre de sortida i procediment de sortida

L'ordre de la graella de sortida es determinarà a partir de la mitja de temps de cada equip; i per fer-la es tindrà en compte el millor temps obtingut en les sessions d'entrenaments qualificatius de cada pilot.

La sortida [3] serà en *ESPIGA*, també anomenada tipus "Le Mans".

Fig. 2.9. Imatge de la sortida d'una edició de les 24h.

2.2.10. Neutralització de la carrera mitjançant el "SAFETY CAR"

Durant la cursa es pot produir algun incident (accident greu, condicions atmosfèriques...) que comprometi la seguretat, tant dels pilots com dels operaris del circuit, o algun fet que impossibiliti el seu desenvolupament normal; en aquest cas el director de Cursa pot neutralitzar-la mitjançant el Safety Car.

Si el director de cursa dóna l'ordre de neutralitzar-la, els operaris del circuit mostren banderes grogues i surten a pista dos automòbils proveïts de llums giratoris grocs. Els automòbils entren a pista per llocs diferents, el primer ho farà al final del Pit Lane, i l'altre, a l'alçada del Control 9.2; que està ubicat a pista, just cap a la meitat del traçat, a la corba 9.

A partir d'aquest moment, totes les motocicletes es posaran una darrera l'altre darrera dels Safety Cars; i queden prohibits els avançaments, tant d'altres motocicletes com dels cotxes de seguretat.

Mentre els cotxes de seguretat estiguin a pista, les motocicletes podran aturar-se als boxes, però només podran tornar a pista quan el semàfor del final del Pit Lane es trobi amb llum verda.

Quan el Director de Cursa consideri que les causes que van originar la neutralització estan solucionades, ordenarà als Safety Cars retirar-se. Aquests apagaran els llums giratoris grocs i encendran uns altres llums giratoris blaus i completaran, a partir d'aquell moment, una volta sencera més. Els cotxes de seguretat abandonaran la pista de la següent forma:

- Safety Car A: Per l'accés del Pit Lane.
- Safety Car B: A l'alçada del Control 9.2.

El reglament estableix que els avançaments estaran prohibits:

- Per als pilots ubicats darrera del Safety Car A: fins passar la línia d'arribada.
- Per als pilots ubicats darrera del Safety Car B: fins passar la incorporació de la chicane.

Els pilots que ocupin la posició immediatament posterior als Safety Cars, una vegada aquests hagin abandonat la pista, seran els responsables de mantenir la velocitat -del Safety Car- fins haver passat pels llocs de la pista indicats anteriorment.

Durant el temps que la cursa romangui neutralitzada, cada pas de les motocicletes per la línia de cronometratge serà comptabilitzat com una volta de carrera.

2.2.11. Interrupció de la cursa

També es pot donar el cas que fos necessari interrompre la carrera degut a un accident, condicions meteorològiques adverses o altres motius que posessin en perill el desenvolupament normal d'aquesta. En aquesta situació, el Director de Cursa ordenarà col·locar una Bandera Vermella en la línia d'arribada i en tots els llocs de control, i tots els semàfors del circuit es posaran en vermell. A partir d'aquest moment, tots els pilots en pista hauran de reduir la velocitat i regressaran lentament a boxes.

Les condicions de represa de la cursa dependran de la situació en que es va produir la interrupció. Es contemplen tres situacions:

2.2.11.1. Dues voltes completes al circuit o menys

En el cas que la carrera s'interrompés quan s'hagin realitzat dos voltes completes al circuit o menys, la primera sortida es declararà nul·la i sense validesa. Aleshores:

- Totes les motocicletes hauran de ser al "Parc tancat", tant les que estiguessin en carrera com les que estiguessin a boxes per reparació, relleu o repostatge.
- La carrera serà represa tan aviat com les condicions de seguretat s'hagin restablert.

- Tots els pilots admesos a disputar la cursa tindran la possibilitat de realitzar la nova sortida.

- La cursa finalitzarà a l'hora prevista inicialment, per tant, la duració de la nova cursa serà la necessària per arribar fins aquesta hora i les posicions de la graella de sortida seran les mateixes.

- El procediment de represa de la cursa serà el mateix que el inici, és a dir, es farà una sortida tipus “Le Mans”.

També, es pot donar la situació que nos fos possible tornar a començar la cursa i es suspengués definitivament.

2.2.11.2. Més de dues voltes completes al circuit i menys de 16 hores de carrera

Si s’hagués recorregut més de dues voltes completes al circuit però menys de dos terços del temps de duració total de la cursa, es considerarà dividida en dues parts, abans i desprès de la interrupció, i es procedirà de la següent forma:

- Totes les motocicletes hauran de ser consignades en el ”Parc Tancat”, tant les que estiguessin en carrera com les que estiguin a boxes per reparació, relleu o repostatge.

- La cursa es reprendrà tan aviat com les condicions de seguretat s’hagin restablert.

- Una vegada obert el ”Parc Tancat” per iniciar el nou procés de sortida, els equips estan autoritzats a repostar carburant i/o canviar pneumàtics davant dels seus boxes.

- La duració de la nova cursa serà la necessària per cobrir fins l’hora en que estava prevista acabar-la inicialment. La classificació de la cursa total serà establerta per la suma dels resultats de les dues parts.

- Les posicions de sortida de la segona part, s’establiran seguint l’ordre de classificació de la primera part.

- Només seran admesos per realitzar la nova sortida aquells equips que hagin efectuat un nombre de voltes d’almenys el 75% de les voltes del primer classificat en la part de la cursa disputada fins el moment de la detenció.

- El procediment de represa serà el mateix que al inici, és a dir, es farà una sortida tipus "Le Mans".
- En el cas que la nova sortida es fes durant la nit, aquesta es produiria llançada darrera del Safety Car.
- En cas que fos impossible reprendre la cursa, es procediria a adjudicar els trofeus.

2.2.11.3. 16 hores de cursa disputades o més

En cas que s'interrompés quan s'haguessin disputat dos terços o més del temps total previst, el Director de Cursa decidirà si es reprèn o la considera acabada.

Si decideix reprendre la cursa, es seguirà el mateix procés descrit a l'apartar anterior.

Si decideix donar la prova per finalitzada, es procedirà al lliurament de trofeus.

2.2.12. Classificació final

La classificació s'establirà en ordre de major a menor nombre de voltes completades fins al final de la cursa.

Si un equip completes l'ultima volta amb un temps superior a 5 minuts, aquesta volta no serà considerada vàlida; i no s'utilitzarà per calcular la distancia total recorreguda per l'equip.

Per classificar-se un equip serà necessari realitzar un nombre de voltes mínimes no inferior al 75% de les recorregudes per l'equip vencedor.

2.2.13. Altres factors reglamentaris a tenir presents

No esta autoritzada la utilització de cap mena de telemetria entre la motocicleta i el box, per tant no es podran obtenir dades durant la realització de la prova, com poden ser: el consum de combustible, el nivell d'oli, paràmetres dels pneumàtics...

3. Avaluació dels factors que intervenen en les prestacions dels vehicles en competició

Per tal de dissenyar i calcular l'estratègia òptima a seguir, s'ha de preveure com es comportarà el binomi pilot-vehicle durant la cursa. És a dir, s'hauria de saber quin serà el consum de combustible en diferents situacions, el temps per volta de cada pilot, el desgast del pneumàtics....

3.1. Avaluació del temps per volta de cada pilot

El temps que necessita cada pilot per donar una volta completa al circuit és el factor més important a analitzar i també el més difícil de preveure.

Alhora de preveure quin serà el temps per volta de cada pilot en diferents condicions de cursa, el principal problema és que es disposa de molt poques dades per analitzar com afecta cada factor en aquesta variable. És a dir, aïllar cada factor per separat i analitzar com interrelaciona amb el temps per volta és pràcticament impossible degut a les escasses dades de que disposa cada equip.

L'ideal seria que cada pilot realitzes moltes voltes al circuit amb unes condicions molt concretes i, d'aquest forma, es podria extreure estadísticament com afecta cada factor al temps per volta.

Però això no és viable ja que la quantitat de voltes que un pilot pot realitzar abans de la carrera és bastant limitat, ja que, com s'ha explicat i ha quedat reflectit en el calendari de la prova especificat en el capítol anterior, només hi ha dos dies d'entrenaments lliures. I en aquest entrenaments, el primordial és acabar de posar la motocicleta a punt.

A part d'aquest dos dies, el pilot només pot rodar el dia anterior a la cursa, als entrenament oficials, que es divideixen en una hora d'entrenaments lliures per l'equip i els entrenaments qualificatius.

I a la nit, que serà la situació en que es desenvoluparà aproximadament un terç de la cursa, únicament poden rodar als entrenaments nocturns, d'una durada d'hora i mitja, que també és realitzen el dia anterior a la prova.

No es tindrà en compte l'influencia que té la conducció nocturna en la variable que s'estudia, degut a les poques dades de que disposem, el que fa que no siguin fiables ni representatives.

A més, s'ha de tenir en compte, que encara que els temps de conducció obtinguts als entrenaments nocturns siguin una mica més lents que els obtinguts als diürns això es podria justificar perquè al ser les primeres voltes nocturnes que corren, la major lentitud és deguda a l'aclimatació a aquestes noves condicions.

Globalment, a la cursa, després d'haver rodat moltes voltes nocturnes, no hi ha diferencies significatives en el temps per volta respecte a les diürnes.

També s'ha consultat l'influencia d'aquest factor a pilots que ja han disputat anteriors edicions d'aquesta cursa, i les respostes són molt dispars. Hi han pilots que comenten que inclús roden més ràpids i còmodes de nit, o d'altres que no hi troben cap diferencia en quant a conduir de nit o de dia.

Per tot l'exposat anteriorment, s'ha decidit que s'idealitzarà el temps per volta en un únic valor, independentment de l'estat físic del pilot en funció del temps que porti pilotant, de l'estat del pneumàtics, de la quantitat de combustible restant al dipòsit o de la lluminositat a la pista.

Tampoc és poden utilitzar dades d'anteriors edicions, donat que és molt improbable que un equip tingui els mateixos pilots que en edicions passades i que la motocicleta sigui la mateixa, sense cap mena de canvi.

Finalment, s'ha de tenir present que només necessitem una mitjana del temps per volta, en unes condicions determinades, ja que només la diferencia de trànsit que troba un pilot entre una volta i una altra, pot fer variar molt significativament el temps que requereix per realitzar una volta al circuit.

En definitiva, considerarem que el temps idealitzat que necessitarà un pilot determinat per realitzar una volta sencera al circuit dependrà de si la pista esta seca o mullada, i de si hi ha el cotxe de seguretat a pista. El temps per volta a tenir en compte es determinarà en base als valors obtinguts per cada pilot als entrenaments lliures i oficials.

El temps per volta quan hi ha el safety car a pista serà el mateix per a tots els pilots d'un mateix equip. Aquest valor s'extraurà del temps per volta que han realitzat tots els pilots en edicions anteriors quan ha sigut necessària la intervenció del cotxe de seguretat.

3.2. Avaluació del consum de combustible

Després de la variable estudiada a l'apartat anterior, l'avaluació del consum de combustible serà el segon factor més important per tal de decidir l'estratègia òptima, ja que ens indicarà el nombre màxim de voltes que un pilot pot realitzar sense haver d'entrar a boxes per repostar.

El temps per volta de cada pilot es considerarà independent del combustible restant al dipòsit mentre realitza la volta al circuit, ja que un altre cop no disposem de prou dades per aïllar com afecta aquesta variable al temps per volta.

Al igual que a l'apartat anterior, distingirem tres ritmes de cursa: en pista seca, en pista mullada i amb el Safety Car. Així, idealitzarem tres consums diferents segons siguin les condicions de la cursa.

Avaluar el consum de combustible és bastant senzill; només cal saber quant combustible s'ha posat al dipòsit, que el pilot condueixi un nombre de voltes i quan aquest torna a boxes, mesurar el combustible restant al dipòsit. La diferència entre la benzina posada al dipòsit i la restant al dipòsit al tornar el pilot, serà el consum total de combustible. Per saber el consum per volta, només s'ha de dividir entre les voltes que el pilot ha realitzat.

Per saber el consum en les tres situacions diferents de cursa, s'ha de seguir el procediment abans explicat amb cada pilot i en cadascun dels tres ritmes de cursa que es consideren.

Quan hi ha el Safety Car a pista el consum es considera que serà el mateix per tots els pilots d'un mateix equip.

3.3. Avaluació dels pneumàtics

Els pneumàtics són l'últim factor rellevant a avaluar.

Alhora de decidir quan es canvien els pneumàtics en el transcurs de la cursa, s'han de tenir present aspectes com: la rapidesa del pilot, la potència de la motocicleta i, també, el cost econòmic que representa cada nou joc utilitzat.

Pels mateixos arguments exposats anteriorment (falta de dades per poder aïllar com afecta aquest variable al temps per volta de cada pilot), es considerarà que el seu estat, o sigui el grau de deteriorament, no afectarà al temps dels pilots.

No obstant, és obvi que aquests s'han d'anar canviant durant la cursa degut al desgast que pateixen. El director de l'equip ha de decidir quan es canvien, però hi ha certes directrius.

A cada parada hi ha tres opcions respecte els pneumàtics: canviar les dues rodes, canviar una roda (que serà sempre la mateixa) o mantenir els pneumàtics un altre relleu. Després d'observar què fan els equips a la cursa, es poden determinar quatre seqüències típiques a seguir per canviar els pneumàtics, encara que es podrien utilitzar altres:

- 1ª Parada: Canviar les dues rodes.
- 1ª Parada: Canviar una roda. 2ª: Canviar les dues rodes.
- 1ª Parada: Canviar les dues rodes. 2ª: No canviar cap roda.
- 1ª Parada: Canviar les dues rodes. 2ª: No canviar cap roda. 3ª Canviar una-roda. 4ª No canviar cap roda.

Si l'equip disposa d'una motocicleta amb molta potència, es desgastarà més el pneumàtic posterior que l'altre. En aquest cas, en el relleu on només es canviï una de les dues rodes, aquesta serà la posterior.

La primera estratègia de canviar sempre els dos pneumàtics, només es vàlida per aquells equips punters, amb un bon pressupost econòmic i que disposen de pilots molt ràpids, ja que el desgast que pateixen els pneumàtics és proporcional al ritme a que roda el pilot.

La majoria dels equips opten per alguna de les tres últimes seqüències, és a dir, decideixen no canviar sempre els dos pneumàtics a cada parada. Aquesta decisió es fonamenta en tres motius importants: el primer és que la compra de pneumàtics és una de les despeses principals que tenen els equips; el segon és que el canvi comporta una pèrdua important de temps i el pilot que surti ha de ser capaç d'almenys recuperar aquest temps perdut als boxes i el tercer, és que en molts equips els pilots no són professionals, i per tant, el desgast no serà tan gran i no rodaran amb suficient rapidesa per recuperar aquest temps perdut.

3.4. Avaluació dels temps de parades

És evident que cada vegada que un pilot ha de fer una parada es produeix una important pèrdua de temps. No és només quan la motocicleta està aturada davant del box fent les tasques de manteniment o de repostatge, sinó que, al circular a l'interior del Pit Lane a una velocitat màxima molt reduïda, fa que el temps per volta s'incrementi bastant.

Així, cada cop que un pilot entra al Pit Lane, a aquella volta li afegirem un temps suplementari que anomenarem “In_box”. De la mateixa manera, cada cop que un pilot surt del Pit Lane, afegirem a aquella volta un temps suplementari que anomenarem “Out_box”.

Hi ha dos factors que poden obligar als pilots a entrar a boxes: que estiguin a punt de superar el temps màxim de conducció seguit permès o que s’esgoti el combustible.

D’aquest dos, el factor que serà limitant en situacions normals serà el combustible, ja que els pilots no aconsegueixen fer més de aproximadament 27-29 voltes sense repostar. Donat que la majoria dels pilots roden a un promig lleugerament inferior als dos minuts per volta, tots els relleu per repostatge són de menys d’una hora, per tant, encara que un pilot condueixi dues vegades seguides, no arribaria al límit màxim establert de 120 minuts de conducció seguits.

Tot i així, en cas que un pilot lent realitzi dos relleus seguits, per a més seguretat, en el segon relleu se li indicaria que entrés a box una o dues voltes abans que en el primer.

En resum, a cada parada s’haurà de repostar. Com ja s’ha exposat en un capítol anterior, el reglament estableix que quan es reposta el pilot ha de baixar de la motocicleta, ja que no hi pot haver a menys d’un metre d’aquesta cap persona que no sigui l’encarregada de realitzar el respotage. Per això, realitzar un relleu de pilot no influirà de cap manera en els temps perdut a la parada.

Tampoc es pot guanyar temps realitzant altres tasques de manteniment al mateix temps perquè el reglament no permet fer-ho.

Canviar el pneumàtic posterior requereix més temps que canviar el davanter degut a que en aquest hi ha la cadena. Per això, el temps de parada dependrà de quin pneumàtic es canvia o de si es canvien tots dos.

Els diferents tipus de parada que es contemplaran seran els següents:

- Repostage de combustible.
- Repostatge de combustible i canvi del pneumàtic posterior.
- Repostatge de combustible i canvi del pneumàtic davanter.
- Repostatge de combustible i canvi dels dos pneumàtics.

Si es produeix el relleu del pilot, és irrellevant i no es tindrà en compte, ja que el temps de parada serà el mateix.

Les pinces de fre que utilitzen els equips estan dissenyades per resistir les 24 hores de cursa, però hi ha equips que per més seguretat decideixen canviar-les un cop, òbviament cap a l'equador d'aquesta.

En el cas que l'equip decideixi canviar les pinces a la cursa, aquest canvi es farà en una parada en la que alhora es canviïn els pneumàtics de les dues rodes. El temps suplementari respecte un canvi de pneumàtics habitual es dividiria entre totes les parades que aproximadament es farien a la cursa. D'aquesta forma, a la planificació es tindria en compte aquest temps addicional perdut.

De la mateixa manera que s'han idealitzat els valors del temps per volta o de consum de combustible d'una forma constant, suposarem que el temps necessari per realitzar cada tipus de parada serà sempre el mateix, al igual que els temps suplementaris d'entrada i sortida del Pit Lane.

4. Plantejament d'un algorisme que permeti maximitzar la distància recorreguda

Una vegada avaluats tant els factors reglamentaris com els que intervenen en les prestacions del vehicle, es planteja un algoritme que, donades unes condicions de cursa i un temps restant d'aquesta, calcula l'estratègia òptima per tal de recórrer la màxima distància possible.

En aquest algoritme no es tindrà en compte el comportament en pista dels equips rivals.

4.1. Programació dinàmica

Per dissenyar l'algoritme i obtenir l'estratègia a seguir durant la cursa, utilitzarem la programació dinàmica [5]. Aquesta és una tècnica matemàtica orientada a la solució de problemes mitjançant decisions seqüencials en etapes successives on normalment s'ha de maximitzar o bé minimitzar el cost total de les decisions.

La programació dinàmica (*PD*) determina la solució òptima d'un problema de *n* variables descomponent-lo en *n etapes*, incloent a cada etapa un subproblema d'una sola variable.

L'avantatge en l'aspecte dels càlculs és que s'optimitza una sola variable en *n* subproblemes, en comptes d'un problema de *n variables*.

4.1.1. Característiques especifiques

Les principals característiques de la programació dinàmica [5] són les següents:

- Com ja s'ha comentat, aquesta divideix el problema en etapes, i per cadascuna d'aquestes, s'adopta una decisió simple. L'agregació de les decisions simples conduirà a la decisió complexa que serà la solució.

- A cada etapa, el sistema estarà associat a uns estats. La decisió adoptada ocasionarà una transició del sistema de l'estat inicial a un altre final i les transicions tindran associats uns rendiments que constituiran la funció de rendiments final.

- Amb aquest mètode, donat un estat actual, la política o seqüència de decisions òptimes per les etapes restants serà independent de les decisions preses en les etapes precedents.

- Una equació de recurrència permet establir la política òptima a partir de cada estat possible quan quedin pendents *N* etapes, sempre que sigui coneguda la política òptima des de qualsevol estat al quedar *N-1* etapes.

- Per un nombre reduït d'etapes, establir la política òptima serà trivial, el que permet inicialitzar la recurrència.

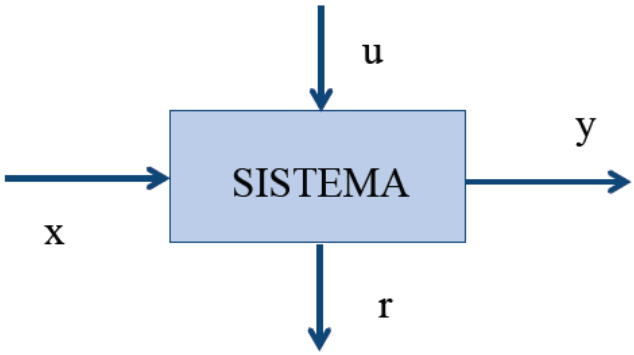
- Si el nombre total d'etapes no esta acotat es transformarà l'equació de recurrència en equació fundacional, deduint una política òptima mitjançant algorismes iteratius.

- L'objectiu és optimitzar el rendiment global *R*:

$$R = r_N + r_{N-1} + \cdots + r_i + \cdots + r_1, \quad \text{on} \quad r_i = r_i(x_{i-1}, u_i, x_i) \quad \text{(Ec. 4.1)}$$

4.1.2. Sistema d'una *PD*

A la programació dinàmica es tenen una sèrie d'etapes, cadascuna d'elles amb uns valors diferents per a cada estat. Des de cada etapa es pot anar a un grup determinat d'etapes i cada transició tindrà un rendiment o un cost associat.



u: variables d'acció

x: estat inicial

y: estat final

r: rendiment; r(x,y,u)

Fig. 4.1. Esquema d'una etapa.

Quan hi ha múltiples etapes:

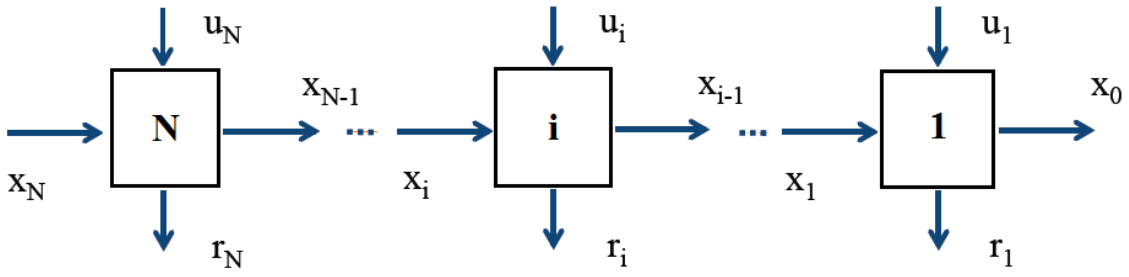


Fig. 4.2. Esquema de múltiples etapes (*N* etapes).

On:

- u_i: decisió etapa *i*.
- x_i: estat inicial etapa *i*.
- x_{i-1}: estat final etapa *i*.
- r_i: rendiment etapa i.

Hi ha dos tipus de programació dinàmica: la programació dinàmica determinista (*PDD*) i la programació dinàmica aleatòria (*PDA*).

4.1.3. Programació dinàmica determinista (*PDD*)

En la programació dinàmica determinista l'estat de la següent etapa esta completament determinat per l'estat i la política de decisió de l'etapa actual. Hi ha dues situacions possibles, amb un horitzó infinit (un nombre infinit o molt gran d'etapes) o un horitzó finit determinat.

4.1.3.1. Política amb un horitzó finit determinat (*PDD*)

Quan tenim un nombre d'etapes finit (*N*), l'equació de recurrència és la següent:

$$f_N{}^*(x_N) = MAX_{uN}\{r_N(x_N, u_N) + f_{N-1}{}^*(x_{N-1})\} \qquad \text{(Ec. 4.2)}$$

$$f_N{}^*(x_N) = MAX\ R = MAX_{u_N,..,u_1}\{r_N(x_N, u_N) + r_{N-1}(x_{N-1}, u_{N-1}) + \cdots + r_1(x_1, u_1)\}$$

(Ec. 4.3)

On:

f_N= guany (o pèrdua) total obtinguda passant de l'estat inicial x_N al final en *N* etapes com a màxim.

r_N= guany (o pèrdua) obtinguda en aquesta etapa, passant de l'estat actual al següent.

f_{N-1}= guany o pèrdua obtinguda en totes les altres etapes, passant de l'estat següent al final.

L'objectiu en la *PDD* pot ser maximitzar la suma de les contribucions de cada una de les etapes individuals, o minimitzar aquest valor. Això dependrà del nostre objectiu i de la variable que utilitzem a la funció.

4.1.3.2. Política a llarg termini (*PDD*)

Si el nombre d'etapes és molt gran, la política s'ha d'anar repetint en el temps. En aquest cas, els valors de cada estat en cada iteració s'han d'anar repetint.

El valor de cada normalització que anomenarem *g* (guany), també s'anirà repetint en cada iteració.

Amb un horitzó d'etapes infinit, la política a llarg termini és independent de les iteracions restants; i es trobarà la política òptima a llarg termini.

Quan *N* (nombre d'etapes) és molt gran, la política estable complirà les següents equacions:

$$f_N(x) = N \cdot g + w(x) \qquad \text{(Ec. 4.4)}$$

On:

- *g*: valor mig (guany) per període.
- *w(x)*: correcció finita que depèn de l'estat per on es comenci.

L'equació de recurrència per infinites etapes és:

$$w(x) + g = MAX_y\{r(x,y) + w(y)\} \qquad \text{(Ec. 4.5)}$$

El procediment iteratiu que s'ha de seguir per tal de trobar la política òptima és el següent, on *k* és la iteració en curs (inicialment *k*=0):

1. Fixar una política arbitraria a llarg termini
2. Donada aquesta política, resoldre el sistema:

$$w(x) + g = r\left[x, u^k(x) + w[u^k(x)]\right] \qquad \forall x \qquad \text{(Ec. 4.6)}$$

Aquest sistema tindrà, almenys, un grau de llibertat per cada w(x).

3. Comprovar si la política és òptima o no. Per això es calcula *W(x)*:

$$W(x) = MAX_y\{r(x,y) + w(y)\} - g \qquad \forall\, x \qquad \text{(Ec. 4.7)}$$

   - Si *W(x)=w(x)*, aleshores $u^{k+1}(x) = u^k(x)$
   - Si *W(x)> w(x)*, aleshores $u^{k+1}(x) = y$

4. Si $u^{k+1}(x) = u^k(x)$, final de l'algoritme ($u^* = u^{k+1}$); si no, s'ha de tornar al pas 2.

És a dir, es parteix d'una sèrie d'estats (tots els que es poden donar en el nostre problema), cadascun dels quals pot anar a un grup determinat d'estats i cada transició d'un estat a un altre té un rendiment associat.

El que es fa, és fixar una transició per a tots els estats, de manera que d'un estat inicial *x* sempre s'anirà a un altre estat final *y*. Després, es comprova si aquesta elecció és l'òptima. Si alguna transició no fos l'òptima, es procedirà a escollir un altre estat de destí, i es tornarà a comprovar si ara tenim la política òptima. Aquest procedim iteratiu es repeteix fins que obtenim la política òptima.

4.1.4. Programació dinàmica aleatòria (PDA)

En la programació dinàmica determinista l'estat de la següent etapa està completament determinat per l'estat i la política de decisió de l'etapa actual.

Per contra, en la *PDA*, existeix una distribució de probabilitat per determinar quin serà el següent estat. No obstant, aquesta distribució de probabilitat si que està ben determinada per l'estat i la política de decisió en l'etapa actual.

4.2. Parts de l'algoritme

A l'algoritme, s'utilitzarà la programació dinàmica determinista, ja que estant en un estat determinat i prenent una decisió concreta (que el pilot continuï conduint, que entri a boxes a

fer una parada determinada...) es sabrà exactament en quin estat es trobarà l'equip a continuació.

Així dons, el primer que s'ha de fer és definir tots els estats possibles. A cada estat es tindran associades unes variables que el definiran. Aquestes variables hauran de descriure en quina situació es troba l'equip: quin pilot és el que condueix, el temps que porta conduint, el combustible restant al dipòsit, el temps que van conduir els altres pilots l'últim cop que van estar a pista, el temps que porten descansant des de que van fer el relleu, el tipus de parada que es va realitzar...

Una vegada definits tots els estats possibles, s'ha de crear la matriu de rendiments. Aquesta matriu indica el rendiment o cost associat d'anar de cada estat a tots els altres estats. Des de cada estat només es podrà fer la transició a un grup determinat d'estats.

En aquest algoritme, el rendiment d'anar d'un estat a un altre serà el temps per volta, ja que reduir aquest paràmetre, equival a circular el més ràpid possible al circuit, que condueix a l'objectiu de recórrer la màxima distància possible. En conseqüència, la funció objectiu serà minimitzar el temps per volta.

A partir d'aquest punt, s'ha de dividir el problema en dues parts. En primer lloc s'ha de trobar quina és la política a seguir a llarg termini i donat que en aquest cas l'horitzó és infinit, la política serà una seqüència que s'anirà repetint indefinidament.

A continuació, sabent el temps restant de cursa, quin és l'estat actual i la seqüència a seguir amb un horitzó infinit, s'ha de calcular quants cicles sencers es poden repetir a la cursa, el temps de duració d'un cicle sencer i la duració de la transició de l'estat en que es troba l'equip fins arribar a l'inicii del cicle esmentat.

$$T.restant\ carrera = N \cdot T.cicle + T.transcició + T.etapes_finites \quad \text{(Ec. 4.8)}$$

On:

- $T.restant\ carrera$: Temps restant per la finalització de la cursa.
- $T.cicle$: Temps per realitzar un cicle amb política a llarg termini.
- N: Nombre de cicles sencers amb política de llarg termini que es poden realitzar.
- $T.transcició$: Temps de transició fins iniciar un cicle. És a dir, fins que es passa pel primer estat que forma part del cicle de llarg termini.
- $T.etapes_finites$: Temps inferior al de duració d'un cicle. Es correspon a l'ultima part de la cursa on ja no es pot aplicar la política a llarg termini.

Finalment, s'ha de trobar la política amb un horitzó finit determinat, concretament amb la política a seguir a $T.etapes_finites$.

4.3. Descripció teòrica de l'algoritme

Per trobar la seqüència completa a executar durant tota la cursa, es seguiran les etapes explicades anteriorment i que divideixen el problema en dues parts: horitzó infinit (política a llarg termini) i horitzó finit (nombre determinat d'etapes).

4.3.1. Variables i limitacions a l'algoritme

Tal com s'ha explicat, primer es trobaran tots els estats que es poden donar a la cursa. Així doncs, per definir els estats, a l'algoritme s'utilitzaran les següents variables i limitacions.

- Limitacions:
    - 120 minuts de conducció màxima seguida.
    - Descans de 2/3 del temps conduit.
    - 25 litres de capacitat màxima del dipòsit.
- Variables per cadascun dels pilots:
    - Temps per volta.
        - En pista seca.
        - En pista mullada.
        - Amb Safety Car a pista.
    - Consum de combustible.
        - En pista seca.
        - En pista mullada.
        - Amb Safety Car a pista.

- Temps restant per la finalització de la cursa.

4.3.2. Definició dels estats

Cada estat representarà l'inicïi d'una nova volta i proporcionarà informació sobre la situació en què es troba l'equip. Per definir tots els estats s'utilitzaren diferents variables, així doncs, cada estat serà un vector de variables que assumiran diferents valors. Aquest valors estaran acotats per les limitacions exposades a l'apartat anterior.

Abans de definir els estats, s'ha de tenir present que aquest algoritme segueix un procés iteratiu, és a dir, que el programa repetirà molts càlculs per trobar la solució ja que no deixa de ser un mètode de "prova-error".

En conseqüència, per definir els estats amb variables, s'ha d'intentar minimitzar el nombre de variables que s'utilitzaran, degut a que quantes més es necessitin, més combinacions hi haurà, i els càlculs necessaris per trobar la solució s'incrementaran de forma exponencial.

Un estat hauria de tenir com a mínim les següents variables:

$$Estat — \{P, C, Ts(1), Ts(2), Ts(3), Ts(4), Td(1), Td(2), Td(3), Td(4)\}$$

La primera indicarà quin és el pilot (*P*) que realitzarà la volta que s'inicia.

S'haurà de crear una segona variable que indiqui quan combustible (*C*) hi ha a l'inicïi de la volta, ja que arribat a un cert valor límit condicionarà les possibles decisions que es poden prendre(que el pilot realitzi una volta més a pista o que entri a boxes).

També, s'han de considerar les limitacions de temps seguit conduint *(Ts)* i de temps descansat *(Td)*. Per això, s'haurien de crear quatre noves variables que indicaran quan de temps va conduir de forma seguida cada pilot en el seu últim relleu $(Ts(i)\ \ i = 1 \dots 4)$. Aquesta variable només s'anirà modificant pel pilot que estigui realitzant la volta. Quan es produeixi un relleu d'un pilot, aquesta variable passarà a tenir un valor 0 pel pilot que entra a pista, i s'incrementarà a mesura que vagi realitzant voltes al circuit.

Degut a la limitació de temps descansat, s'hauran de crear quatre noves variables que indicaran quant temps ha descansat cada pilot des de l'últim cop que va entrar a boxes per realitzar un relleu de pilot $(Td(i)\ \ i = 1 \dots 4)$. Tindrà un valor 0 pel pilot que estigui a pista, i s'incrementarà d'igual forma que la variable temps conduit seguit $(Ts(P))$ del pilot que estigui en pista multiplicat per un factor de dos terços. Òbviament, cada cop que es produeixi el relleu d'un pilot, passarà a tenir un valor 0 pel pilot que entri a pista.

Un pilot només podrà entrar a pista quan la variable $Td(i)$, tingui un valor superior al de la seva $Ts(P)$. Això, implicarà que ja ha descansat el temps mínim.

No obstant, degut a que s'ha d'intentar reduir el nombre de variables i tenint en compte les idealitzacions realitzades en aquest projecte, es poden reduir nou de les variables utilitzades $\{C, Ts(i), Td(i)\}$ $i = 1 \ldots 4$**;** a quatre variables, que s'anomenaran temps de cansament de cada pilot $\{Tc(i)\}$**,** pels següents motius:

- Degut a que els temps per volta i el consum de combustible són fixes en unes condicions de carrera, hi ha una relació directa entre el increment del temps que el pilot porta conduint i el descens de combustible en el dipòsit. Així, el temps de cansament tindrà dues limitacions respecte els valors que pot assolir, una provinent del temps seguit conduit i una altre de la quantitat de combustible restant al dipòsit.
- De la mateixa manera, hi ha una relació directa entre el temps que un pilot ha conduit i el que ha de descansar abans de poder tornar a pilotar. Aquesta variable, anomenada temps de cansament, $\{Tc(i)\}$, s'incrementarà amb el temps per volta mentre un pilot vagi realitzant voltes al circuit. Quan aquest pilot realitzi un relleu, aleshores, aquesta variable començarà a reduir-se amb el temps per volta del nou pilot que ha sortit a pista multiplicat per un factor de dos terços. Per cada pilot, fins que aquesta variable no tingui un valor igual a cero, implicarà que no haurà descansat el temps mínim per poder tornar a pista.

El següent gràfic mostra, d'una forma aproximada, el comportament que tindria i els valors que podria adquirir la variable temps de cansament $\{Tc(i)\}$ per un pilot:

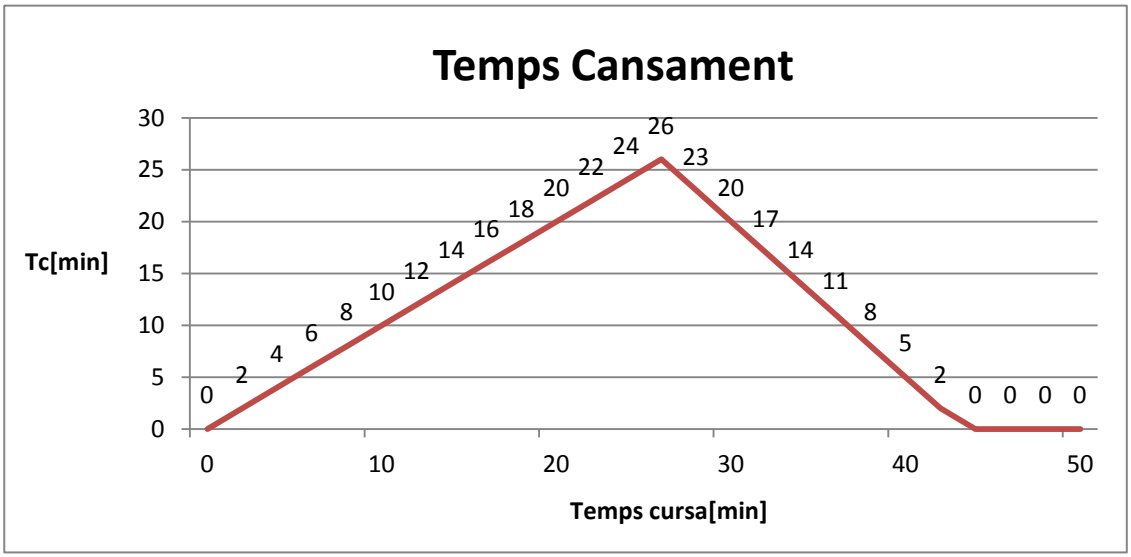


Fig. 4.3. Exemple de l'aspecte del temps de cansament d'un pilot.

L'eix *y* representa els valors que adquireix la variable estudiada, i l'eix *x*, és el temps de cursa. El que es pot observar, és que aquest pilot entra a la pista amb un valor de $Tc(P) = 0$; que es va incrementant, si no passa cap incident, de forma constant amb el temps per volta que s'ha idealitzat per aquest pilot; per això adopta la forma d'una recta. Després de rodar unes certes voltes, la motocicleta entra a boxes per realitzar el relleu del pilot. A partir d'aquest moment, representat al gràfic al pic del mig, el temps de cansament comença a disminuir amb un valor constant, que serà el temps per volta del nou pilot que ha sortit multiplicat pel factor $3/2$.

Quan la variable adquireixi el valor cero, representa que el pilot corresponent ja està a disposició de l'equip per tornar a pista quan el mànager ho consideri convenient, perquè significarà que ja ha descansat, com a mínim, dos terços del temps que va estar conduint l'últim cop que va estar a pista.

Així doncs, els estats quedaran determinats per les següents variables:

$$Estat — \{P, Tc(1), Tc(2), Tc(3), Tc(4)\}$$

A totes aquestes variables, es poden afegir altres per tal de minimitzar els càlculs que realitzarà el programa, com podria ser, definir el tipus de volta que farà el pilot. És a dir, indicar mitjançant un codi numèric el tipus de volta que el pilot ha realitzat: continuar a pista, entrar a boxes o sortir de boxes.

I a més a més, s'haurà de crear una altre variable per tal de definir el tipus de parada que farà el pilot. Això ja s'explicarà amb més detall en capítols posteriors, en la implementació del codi a l'Excel.

4.3.3. 2 models

A partir de tot el que s'ha exposat als apartats anteriors desenvoluparem dos models possibles per tal d'esbrinar quina és la seqüència òptima seguir.

En el primer d'ells, no hi haurà cap mena de limitació de relleus pels pilots, mentre que al segon model es tindrà preestablerta una mena de quota de pilotatge per cada pilot.

Es crea aquest segon model perquè en molts equips els pilots paguen per participar en aquesta prova, i en conseqüència, exigeixen tenir una certa presencia equitativa a pista. Si per exemple, l'algoritme determinés que el millor per l'equip és que un pilot només surti dues vegades a pista, aquest possiblement no acceptaria pagar per tenir una presencia tan marginal al circuit.

Amb el següent procediment, el mànager de l'equip estableix quants relleus realitzarà cada pilot respecte als altres amb nombres enters. El més raonable seria que tots els pilots tinguessin un nombre de relleus similar, sent una mica superior pels pilots més ràpids en detriment dels més lents. D'aquesta forma, s'aconsegueix tenir els pilots més ràpids més temps conduint però alhora tots estaran satisfets perquè han participat prou durant la cursa.

El mànager de l'equip ha d'escollir quina serà la quota de cada pilot *(Q(P))*; per exemple:

P	1	2	3	4
Q(P)	4	3	3	2

Fig. 4.4. Exemple de quotes de relleus pels pilots.

En aquest exemple de quotes, es pot veure que el pilot 1 realitzarà el doble de relleus que el pilot 4, perquè aquest últim seria el més lent de l'equip, mentre que els pilots 2 i 3 realitzaran els mateixos relleus.

A partir d'aquetes dades, en primer lloc es calcula el nombre de $Relleus\ Totals$ que s'han de fer per completar un cicle.

$$Relleus\ Totals = \sum_{P=1}^{4} Q(P) \qquad \text{(Ec. 4.9)}$$

En aquest exemple concret: $Relleus\ Totals = 12$

A continuació, en una primera taula, es multiplica la quota de relleus pel nombre de relleus realitzats(*i*), és a dir:

$$Calculs\ Relleus\ 1(i, P) = Q(P) \cdot i \qquad \text{(Ec. 4.10)} \qquad \text{on :}$$

$$i = 1 \ldots Relleus\ Totals \quad P = 1 \ldots 4$$

Càlculs Relleus 1				
Nº de relleu (i)	*Pilot 1*	*Pilot 2*	*Pilot 3*	*Pilot 4*
1	4	3	3	2
2	8	6	6	4
3	12	9	9	6

4	16	12	12	8
5	20	15	15	10
6	24	18	18	12
7	28	21	21	14
8	32	24	24	16
9	36	27	27	18
10	40	30	30	20
11	44	33	33	22
12	48	36	36	24

Fig. 4.5. Taula amb els resultats obtinguts de la variable *Càlculs Relleus 1*.

A continuació, es calcula en una segona taula els resultats obtinguts de les variables: *Càlculs Relleus 2, Relleus* i *Pilot relleu.*

S'utilitzaran les següents fórmules:

$$Calculs\ Relleus\ 2(i,P) = Calculs\ Relleus\ 1(i,P) - Relleus(i-1,P) \cdot \sum_{P=1}^{4} Q(P)$$

(Ec. 4.11)

- Si: $Calculs\ Relleus\ 2(i,P) < 0$; aleshores $Calculs\ Relleus\ 2(i,P) = 0$

Llavors:

$$Pilot\ del\ relleu(i) = \max_{P=1\ldots4} Calculs\ Relleus\ 2(i,P) \qquad \text{(Ec. 4.12)}$$

El vector $Pilot\ del\ relleu$ indica quin serà l'ordre en què es faran els relleus i la variable $Relleus(i,P)$ informa de quants relleus ha realitzat cada pilot a mesura que es va completant el cicle de relleus. El pilot que realitza el relleu és aquell que té un valor més gran de la variable *Càlculs Relleus 2* per a cada relleu.

Els resultats obtinguts serien els següents:

Relleu(i)	***Pilot del relleu***	***Càlculs Relleus 2***				***Nombre de relleus realitzats***			
		Pilot 1	Pilot 2	Pilot 3	Pilot 4	Pilot 1	Pilot 2	Pilot 3	Pilot 4
1	**1**	4	3	3	2	1	0	0	0
2	**2**	0	6	6	4	1	1	0	0
3	**3**	0	0	9	6	1	1	1	0
4	**4**	4	0	0	8	1	1	1	1
5	**1**	8	3	3	0	2	1	1	1
6	**2**	0	6	6	0	2	2	1	1
7	**3**	4	0	9	2	2	2	2	1
8	**1**	8	0	0	4	3	2	2	1
9	**4**	0	3	3	6	3	2	2	2
10	**2**	4	6	6	0	3	3	2	2
11	**3**	8	0	9	0	3	3	3	2
12	**1**	12	0	0	0	4	3	3	2

Fig. 4.6. Taula amb els resultats obtinguts de les variables *Càlculs Relleus 2*, *Nombre de relleus realitzats(Relleus(i,P)) i la seqüència de pilots.*

En l'anterior taula, s'observa que en el primer relleu(*Relleu(1)*), el pilot 1 és qui té un valor més gran de la variable *Càlculs Relleus 2* (Ec. 4.11), i per tant, és qui realitzarà el primer relleu. S'aplica el mateix procediment per la resta de relleus.

Amb les quotes inicials de relleus de cada pilot, s'obté la seqüència de relleus amb la variable $Pilot\ del\ relleu(i)$ mostrada en la segona columna a la Fig. 4.6.

També, es realitzarà el mateix procediment per tal de definir la seqüència de tipus de parada a realitzar. El mànager haurà de decidir cada quan es fa cada parada, és a dir, establir un altre cop unes quotes, però ara seran de tipus de parades.

5. Implementació del model a l'Excel

L'Excel és un programa de càlcul i anàlisi que proporciona fulls de càlcul que permet implementar diversos tipus de formules matemàtiques mitjançant les quals es poden manipular, processar i transformar un conjunt de dades. S'ha escollit aquest programa degut a que tothom hi pot tenir accés i podrà utilitzar el programa que es crearà sense dificultats [6].

En primer lloc, s'han creat varis fulls de dades al fitxer d'Excel. En aquests fulls s'emmagatzemaran les dades introduïdes per l'usuari, així com certs càlculs que l'algoritme farà per obtenir els resultats. Les dades inicials poden ser introduïdes directament al full o mitjançant un programa, com s'explicarà en el capítol següent.

Degut a la gran quantitat d'informació, etapes i fórmules que es produeixen i/o s'utilitzen fins arribar a la solució, es crearan diversos fulls d'Excel per facilitar la comprensió. En general, a cada full hi hauran implementades totes les fórmules i procediments d'una etapa de l'algoritme i es mostraran aquelles dades que es considerin rellevants per poder conèixer els resultats obtinguts o certes dades processades fins aquesta etapa.

5.1. Full 1: introducció de les dades

En el primer full, només hi ha botons que serviran perquè l'usuari introdueixi els valors de les dades inicials que es requereixen per resoldre el problema. Té el següent aspecte:

Fig. 5.1. Imatge del primer full l'Excel.

Com es pot observar, hi ha 9 botons amb les següents funcions

- *"Introduir Dades"*: L'usuari introdueix totes les dades que es requereixen, excepte les condicions de la cursa.
- *"Modificar Dades"*: S'utilitza per modificar el valor d'alguna dada en concret.
- *"Eliminar Dades"*: Per eliminar totes les dades introduïdes per l'usuari i els resultats obtinguts després d'utilitzar els botons: *"Calcular Pista Seca"* i *"Calcular Pista Mullada"*.
- *"Calcular Pista Seca"*: Una vegada introduïdes les dades, amb aquest botó es calculen i defineixen tots els estats, la matriu de rendiments entre estats així com la transició òptima per cada estat. Tots aquest càlculs no requereixen dades de les condicions de cursa. Són resultats previs que s'utilitzaran per calcular l'estratègia a seguir.

  Degut a que aquests resultats previs són independents de les condicions de cursa, no s'hauran de calcular un altre cop aquest valors quan es modifiquin les condicions de cursa. S'ha dissenyat expressament així, ja que aquest càlculs previs són els que requereixen més temps.

  Només en el cas que es modifiqués alguna dada com: temps per realitzar una volta d'un pilot o el consum de combustible, s'hauria de tornar a calcular aquest valors previs.

  Per finalitzar, només indicar que aquests valors previs calculats serveixen únicament quan la pista esta seca.
- *"Calcular Pista Mullada"*: Exactament igual que el botó anterior però pel cas que la pista estigués mullada.
- *"Introduir Condicions Cursa: Inici"*: Amb aquest botó s'introduiran les condicions de la pista. Només s'ha d'utilitzar abans de començar la cursa.
- *"Introduir Condicions Cursa: Represa"*. Amb aquest botó s'introduiran les condicions de la pista, el temps restant de la cursa i l'estat actual. Aquest botó s'utilitzarà quan la cursa ja hagi començat.
- *"Calcular Estratègia"*: Per obtenir l'estratègia òptima a seguir.
- *"Eliminar Resultats"*: Esborra l'estratègia a seguir.

5.2. Full 2: introducció dels valors de les dades inicials

El segon full, anomenat *Dades*, conté totes les dades introduïdes per l'usuari. Aquí, l'usuari pot comprovar que s'han introduït els valors correctes de totes les variables: Consums de combustibles, temps per volta, quotes de relleus dels pilots i les parades, temps de les diferents parades a box....

A continuació es mostra una imatge del segon full sense haver introduït cap dada.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	Noms Pilots				Sec(0)		Mollat(1)	
3		Temps pilot 1	T_V(1)					
4		Temps pilot 2	T_V(2)					
5		Temps pilot 3	T_V(3)					
6		Temps pilot 4	T_V(3)					
7		Temps Safety Car	T_SC					
8								
9								
10		Consum pilot 1	C_1					
11		Consum pilot 2	C_2					
12		Consum pilot 3	C_3					
13		Consum pilot 4	C_4					
14		Consum Safety Car	C_SC					
15								
16		Quotes Pilots	Q(1)					
17			Q(2)					
18			Q(3)					
19			Q(4)					
20								
21		Quotes parades						
22		Combustible	Q(C)					
23		Pneumàtic davanter	Q(D)					
24		Pneumàtic posterior	Q(P)					
25		Dos pneumàtics	Q(P&D)					
26								

Fig. 5.2. Imatge del segon full l'Excel.

K	L	M	N	O	P
				Condicions de cursa	
Capacitat diposit	Cap_Diposit			Sec(0), Mullat(1)	
				Estat inicial	
				Temps restant de cursa[s]	
Temps Parada					
Combustible	T_C				
Pneumàtic davanter	T_D				
Pneumàtic posterior	T_P				
Dos pneumàtics	T_P&D				
Entrada box	In_box				
Sortida Box	Out_box				

Fig. 5.3. Imatge del segon full l'Excel.

A les columnes *B* i *K* hi ha la descripció dels noms referents a les variables que s'introdueixen com poden ser els temps per volta, el consum de combustible i les quotes, tant dels relleus dels pilots com de les parades, capacitat del dipòsit, etc...

A la columna *E* hi ha els valors assignats quan la cursa es desenvolupa amb la pista seca, mentre que a la *G* és quan ha plogut.

A la columna *M* hi ha els valors de les variables que no depenen de les condicions de la pista: capacitat del dipòsit, temps per realitzar cada parada...

Tots els valors de les columnes *E*, *G* i *M*, s'introdueixen mitjançant el botó: "Introduir Dades" i es pot modificar qualsevol valor amb: "Modificar Dades" o bé directament modificar-la en el full de càlcul.

Finalment, a la columna *P* hi ha els valors de les condicions de la cursa. Aquest valors s'introdueixen mitjançant els botons: "Introduir Condicions Cursa: Inici" i "Introduir Condicions Cursa: Represa".

5.3. Full 3 i 4: Càlcul de la seqüència de relleus i parades

En el tercer i quart full, anomenats *Relleus Sec* i *Relleus Mullat* respectivament, es calcula la seqüència de relleus de pilots i parades a seguir amb la pista seca i mullada. Per fer-ho, es segueix el procediment explicat a l'apartat *4.3.3*. La següent imatge mostra un exemple de com quedaria.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	SEC	CalculsRelleus1 (Pilot)					CalculsRelleus2 (Pilot)				
2											
3	Pilot	1	2	3	4		1	2	3	4	
4											
5											
6		5	4	4	3		5	4	4	3	
7		10	8	8	6		0	8	8	6	
8		15	12	12	9		0	0	12	9	
9		20	16	16	12		4	0	0	12	
10		25	20	20	15		9	4	4	0	
11		30	24	24	18		0	8	8	2	
12		35	28	28	21		3	0	12	5	
13		40	32	32	24		8	0	0	8	
14		45	36	36	27		0	4	4	11	
15		50	40	40	30		2	8	8	0	
16		55	44	44	33		7	0	12	1	
17		60	48	48	36		12	0	0	4	
18		65	52	52	39		1	4	4	7	
19		70	56	56	42		6	8	8	0	
20		75	60	60	45		11	0	12	0	
21		80	64	64	48		16	0	0	0	
22											

Fig. 5.4. Imatge del tercer full: *Relleus Sec*.

En primer lloc, es mostren els resultats de dues taules : *"CalculsRelleus1(Pilot)"* i *"CalculsRelleus2(Pilot)"*, que són càlculs previs auxiliars. En la següent figura, es mostra una tercera taula en el mateix full, que conté la seqüència de relleus dels pilots.

K	L	M	N	O	P	Q	R
	Relleus (Pilot)						
	1	2	3	4	Relleu	Nº Pilot	Relleus realitzats
	0	0	0	0			0
	1	0	0	0	Miquel	1	1
	1	1	0	0	Marc	2	2
	1	1	1	0	Oriol	3	3
	1	1	1	1	Albert	4	4
	2	1	1	1	Miquel	1	5
	2	2	1	1	Marc	2	6
	2	2	2	1	Oriol	3	7
	3	2	2	1	Miquel	1	8
	3	2	2	2	Albert	4	9
	3	3	2	2	Marc	2	10
	3	3	3	2	Oriol	3	11
	4	3	3	2	Miquel	1	12
	4	3	3	3	Albert	4	13
	4	4	3	3	Marc	2	14
	4	4	4	3	Oriol	3	15
	5	4	4	3	Miquel	1	16

Fig. 5.5. Imatge del tercer full: *Relleus Sec*.

Les taules dels càlculs de les parades estan en columnes posteriors que no surten a les imatges anteriors, però tenen el mateix aspecte que la dels relleus.

5.4. Full 5: Definició dels estats

Com s'explicarà detalladament més endavant, tots els estats s'han emmagatzemat amb una matriu anomenada *Est*. Cada fila d'aquesta matriu es correspon amb un estat i en les columnes hi ha el valor que cada variable té assignat per aquell estat concret.

En el cinquè full (*Matriu Estats*), es mostren tots els estats possibles que es poden donar amb el valor de cada variable en cada estat. En mateix full es mostren tant els estats amb la pista seca com mullada. A la següent imatge només es veuen els estats amb la pista seca, però just a continuació de les columnes *N* a *W* hi ha els estats per la pista mullada.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2		Matriu Estats amb Pista Seca									
3											
4		i	i_PP	P	Tc(1)	Tc(2)	Tc(3)	Tc(4)	V_N	Tipus_Volta	Estats Totals
5											778
6		1	0	0	0	0	0	0	0	1	
7		2	1	1	23	0	0	0	2	2	
8		3	1	1	43	0	0	0	4	0	
9		4	1	1	63	0	0	0	6	0	
10		5	1	1	83	0	0	0	8	0	
11		6	1	1	103	0	0	0	10	0	
12		7	1	1	123	0	0	0	12	0	
13		8	1	1	143	0	0	0	14	0	
14		9	1	1	163	0	0	0	16	0	
15		10	1	1	183	0	0	0	18	0	

Fig. 5.6. Imatge del full *Matriu Estats.*

La columna *B*, conté la variable *i* que indica el nombre d'estat; a la columna *D* es té la variable *P*, que informa de quin pilot està conduint; les columnes *E, F,G i H* indiquen els temps de cansament de cada pilot i la columna *I* indica el nombre de voltes que el pilot en pista ha conduit des de l'ultima vegada que va sortir de boxes.

L'última columna, mitjançant un codi numèric, ens informa del tipus de volta(*Tipus_Volta*) que acaba de realitzar-se. Així, si a la següent volta continuarà a pista, aquesta variable tindrà un valor 0; si entrarà a boxes, el valor serà 1 o 3 i, si acaba de sortir de boxes, el tipus de volta serà 2. Si el *Tipus_Volta* té un valor igual a 3, significa que el pilot entra a box i que no es produirà el relleu de pilot en la parada.

Tipus_Volta	**Definició**	**Canvi de pilot al relleu**
0	Continuar a pista	-
1	Entrar a box	Si
2	Sortir de box	-
3	Entrar a box	No

Fig. 5.7. Taula amb la definició de la variable *Tipus_Volta.*

Finalment, a la columna *K*, es mostra el nombre d'estats definits.

5.5. Full 6 i 7: Matrius de rendiments

Aquest dos full anomenats, "Matriu Rend. Sec" i "Matriu Rend. Mullat" contenen les matrius de rendiments entre estats corresponents a les dues condicions de cursa: pista seca i mullada. Aquesta matriu ens indica el cost o rendiment d'anar d'un estat origen *O* a un altre estat destí *D*. La següent figura mostra part de la matriu del 6º full.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1														
2		Matriu Rendiments d'estats amb pista seca												
3														
4			Origen											
5		Destí	Estats	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6			1		137									
7			2			120								
8			3				120							
9			4					120						
10			5						120					
11			6							120				
12			7								120			
13			8									120		
14			9										120	145
15			10											120
16			11											

Fig. 5.8. Matriu de rendiments amb la pista seca.

Com es pot observar, a la columna *C* i a la fila 5 hi ha numerats tots els estats. L'estat corresponent a la columna *C* representa l'origen i el destí és l'estat de la fila 5.

La majoria de la matriu està buida, això es degut a que les possibles transicions entre estats són poques, des d'un estat només es pot anar a un grup d'estats limitat. Els valors d'aquelles cel·les que no són cero, indiquen el rendiment de la transició.

5.6. Full 8 i 9: Resultats intermedis

En els fulls 8 i 9, ("*Resultats intermedis Sec*" i "*Resultats intermedis Mullat*"), es mostra la transició optima per cada estat, així com els càlculs iteratius previs. S'utilitzen les equacions explicades a l'apartat 4.1.3.2.

	A	B	C	D	E
1					
2		Resultats intermitjos Sec			
3					
4					
5		Estat origen(O)	Estat destí(D)	Rendiment	
6					
7		1	2	23	
8		2	3	20	
9		3	4	20	
10		4	5	20	
11		5	6	20	
12		6	7	20	
13		7	8	20	
14		8	9	20	
15		9	10	20	
16		10	12	20	
17		11	20	25	
18		12	14	20	
19		13	19	25	
20		14	16	25	
21		15	18	25	
22		16	17	25	
23		17	21	22	

Fig. 5.9. Imatge del 8º full: *Resultats intermedis Sec.*

En la imatge anterior es mostra l'estat destí (D) per cada estat, i el cost o rendiment associat a aquesta transició, que és l'òptima.

Els càlculs iteratius necessaris per obtenir els resultats anteriors es mostren en columnes posteriors. Els valors d'aquestes columnes només es mostren per si algú està interessat en seguir pas a pas el procediment iteratiu, ja que no s'utilitzaran més en l'algoritme.

I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
	Calculs Iteratius													
			Iteració	1										
	Estat origen(O)		Estat destí(D)	w(O)	R(O,D)	w(D)+R(O,D)	Max{w(x)+R(O,x)}	Estat Max(x)	W(Max)	W(O)-w(O)	Correcte?	Estats erronis	Guany	
	1		2	4,268E-12	-23	-23,4375	-23,4375	2	4,281E-12	1,324E-14	CORRECTE	21	-23,4375	
	2		3	-0,4375	-20	-23,875	-23,875	3	-0,4375	-4,774E-15	CORRECTE			
	3		4	-3,875	-20	-27,3125	-27,3125	4	-3,875	1,097E-13	CORRECTE			
	4		5	-7,3125	-20	-30,75	-30,75	5	-7,3125	-3,286E-14	CORRECTE			
	5		6	-10,75	-20	-34,1875	-34,1875	6	-10,75	1,812E-13	CORRECTE			
	6		7	-14,1875	-20	-37,625	-37,625	7	-14,1875	-1,101E-13	CORRECTE			
	7		8	-17,625	-20	-41,0625	-41,0625	8	-17,625	6,395E-14	CORRECTE			
	8		9	-21,0625	-20	-44,5	-44,5	9	-21,0625	-1,457E-13	CORRECTE			
	9		10	-24,5	-20	-47,9375	-47,9375	10	-24,5	-8,171E-14	CORRECTE			
	10		12	-27,9375	-20	-51,375	-51,375	12	-27,9375	4,69E-13	CORRECTE			
	11		20	-33,25	-25	-56,6875	-56,6875	20	-33,25	7,461E-13	CORRECTE			
	12		14	-31,375	-20	-54,8125	-54,8125	14	-31,375	-2,487E-13	CORRECTE			
	13		19	-33,25	-25	-56,6875	-56,6875	19	-33,25	7,461E-13	CORRECTE			
	14		16	-34,8125	-25	-58,25	-58,25	16	-34,8125	-1,918E-13	CORRECTE			

Fig. 5.10. Imatge del 8º full: *Resultats intermedis Sec.*

5.7. Full 10: Resultats

Aquest és l'últim full de l'Excel i conté l'estratègia òptima a seguir per part de l'equip; està descrita en una taula. A la següent figura es mostra una part d'aquest taula.

	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
2															
3		Resultats sense modificació													
4															
5		Nº de relleus	Nº d'etapes	Estat inicial	Estat final	Pilot transició	Voltes Pilot	Voltes equip	Situació inicial	Situació final	Tipus de volta	Tipus de parada	Rendiment	Rend. acumulat	Temps per finalització
6															8080
7		0	1	1	2	M	2	2	Box	Pista	Sortir de box		23	23	8057
8		0	2	2	3	M	4	4	Pista	Pista	Continuar		20	43	8037
9		0	3	3	4	M	6	6	Pista	Pista	Continuar		20	63	8017
10		0	4	4	5	M	8	8	Pista	Pista	Continuar		20	83	7997
11		0	5	5	6	M	10	10	Pista	Pista	Continuar		20	103	7977
12		0	6	6	7	M	12	12	Pista	Pista	Continuar		20	123	7957
13		0	7	7	8	M	14	14	Pista	Pista	Continuar		20	143	7937
14		0	8	8	9	M	16	16	Pista	Pista	Continuar		20	163	7917
15		0	9	9	10	M	18	18	Pista	Pista	Continuar		20	183	7897
16		0	10	10	12	M	20	20	Pista	Pista	Continuar		20	203	7877
17		0	11	12	14	M	22	22	Pista	Pista	Continuar		20	223	7857
18		0	12	14	16	M	24	24	Pista	Box	Entrar a box	Combustible	25	248	7832
19		1	13	16	17	N	2	26	Box	Pista	Sortir de box		25	273	7807
20		1	14	17	21	N	4	28	Pista	Pista	Continuar		22	295	7785

Fig. 5.11. Taula amb l'estratègia a seguir.

En la columna *E*, es mostren els relleus que s'han realitzar des de l'inicii de la cursa. La següent columna, *F*, indica el nombre d'etapes o transicions entre estats que s'han realitzat, i en les dues columnes posteriors es mostra l'estat inicial i final per cada transició. El cost o rendiment associat a aquesta transició es mostra a la columna *P*, i els rendiments associats acumulats es mostren a la columna *Q*. Aquest valor, equival al temps transcorregut des de l'inicii de la cursa.

El pilot que condueix en cada etapa es mostra a la columna *I*. En la columna, *J*, hi ha les voltes seguides que ha realitzat el pilot des de que està a pista, mentre que a la següent columna, *K*, s'indica les voltes recorregudes per l'equip des del començament.

Les columnes *L* i *M*, mostren on està el pilot quan comença l'etapa, i on estarà quan l'acabi. En ambdues hi ha dues opcions: a la pista o al box.

Les columnes *N* i *O*, informen del tipus de volta que faran i, en cas que parin a boxes, el tipus de parada que realitzaran. Hi ha tres tipus de volta: entrar a box, sortir de box, o continuar a pista.

6. Programació d'una aplicació en Visual Basic For Applications(VBA)

6.1. Introducció a VBA

Visual Basic for Applications (VBA) és un software inclòs al paquet Microsoft Office i és el llenguatge necessari per programar i executar aplicacions a Excel. Per tal d'executar un programa s'han d'habilitar les *macros* a l'Excel.

Un programa en VBA està estructurat en subrutines. Dins d'aquestes s'han de definir les variables, matrius, vectors...

En aquest memòria no s'explicarà en detall com es programa en VBA [6], però si que s'explicarà la implementació del codi en un capítol posterior.

Un cop implementat el codi, s'ha d'executar la macro. En aquesta aplicació, l'execució es realitza mitjançant uns botons situats al primer full d'Excel.

6.2. Creació de formularis a VBA

Per portar a terme la interactivitat amb l'usuari i facilitar la introducció de dades es dissenyen uns formularis mitjançant els quals es processen tota la informació necessària.

L'aplicació consta de 17 formularis, dels quals 8 serveixen per introduir les dades i la resta per modificar el valor d'alguna variable en concret.

6.2.1. Formularis 1, 2, 3 i 4

El primers quatre formularis són iguals i serveixen per introduir les següents dades referents als pilots: Nom del pilot, temps per volta, consum de combustible i quotes de relleus, tant en pista seca com amb pluja. Aquest formularis apareixeran d'un en un quan es clica a sobre del botó "*Introduir Dades*"

Quan ja s'hagin introduït les dades d'un pilot, s'haurà de clicar el botó "*CONTINUAR*", aleshores s'emmagatzemaran les dades i apareixerà automàticament el següent formulari.

En cas de voler sortir, s'hauria d'utilitzar el botó "*Cancel·lar*". A la següent imatge, es mostra el primer formulari.

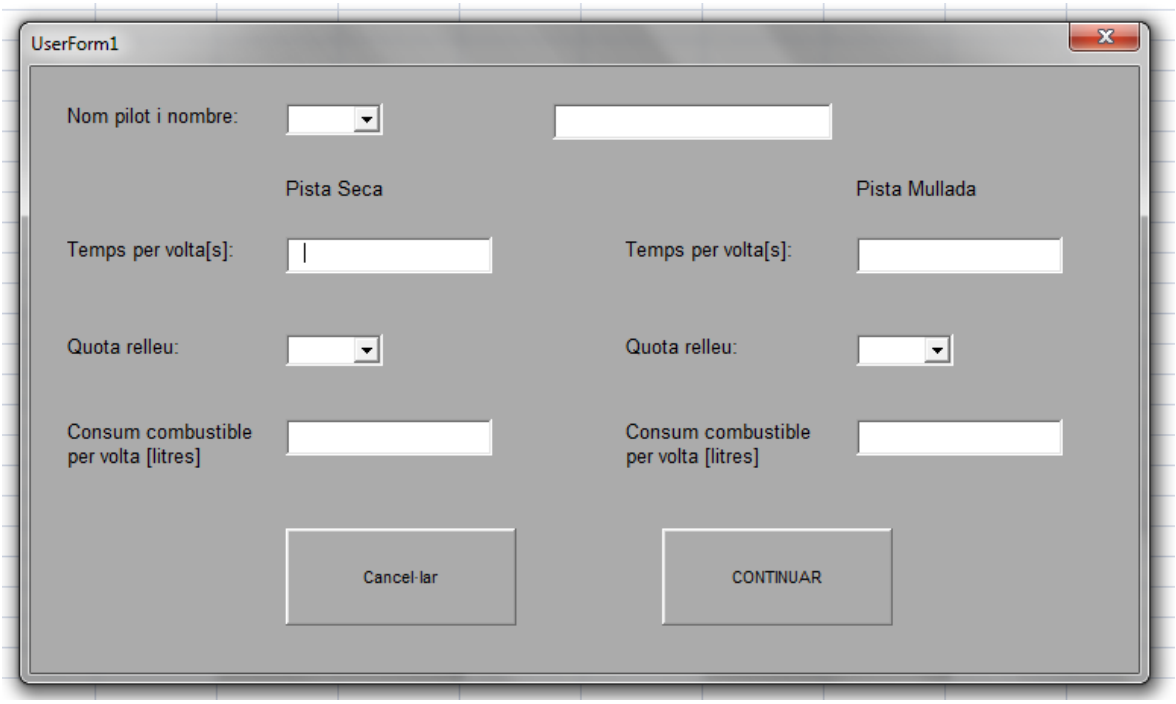


Fig. 6.1. Imatge del primer formulari.

6.2.2. Formulari 5

En el cinquè formulari s'introdueixen les dades referents al cotxe de seguretat, que seran iguals per a tots els pilots.

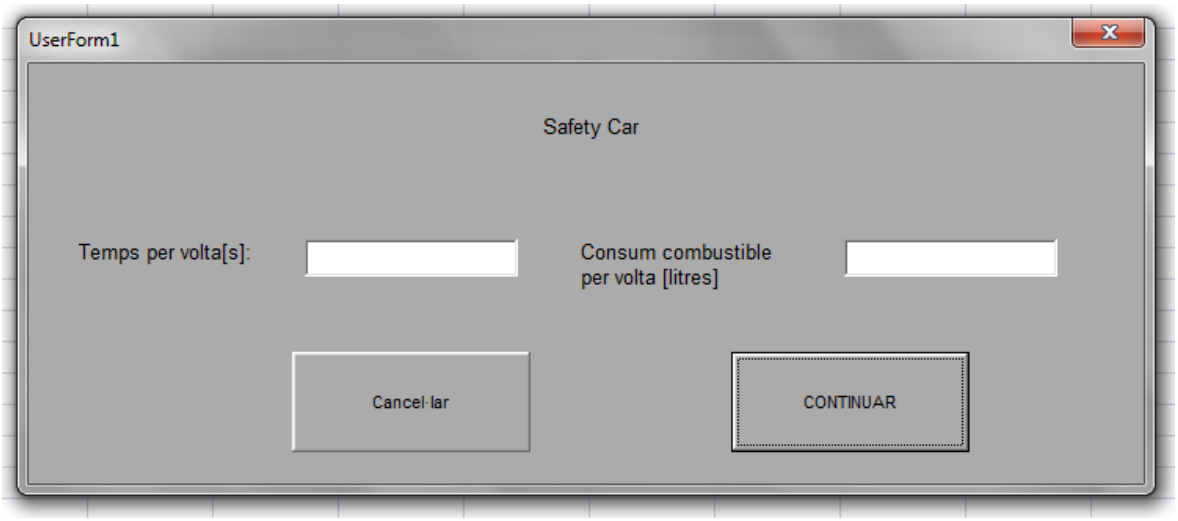


Fig. 6.2. Imatge del cinquè formulari.

6.2.3. Formulari 6

En aquest formulari s'introdueixen les quotes de parades així com la capacitat del dipòsit de combustible. Per introduir les quotes, s'ha de clicar a sobre de la pestanya i escollir el nombre que l'usuari vulgui.

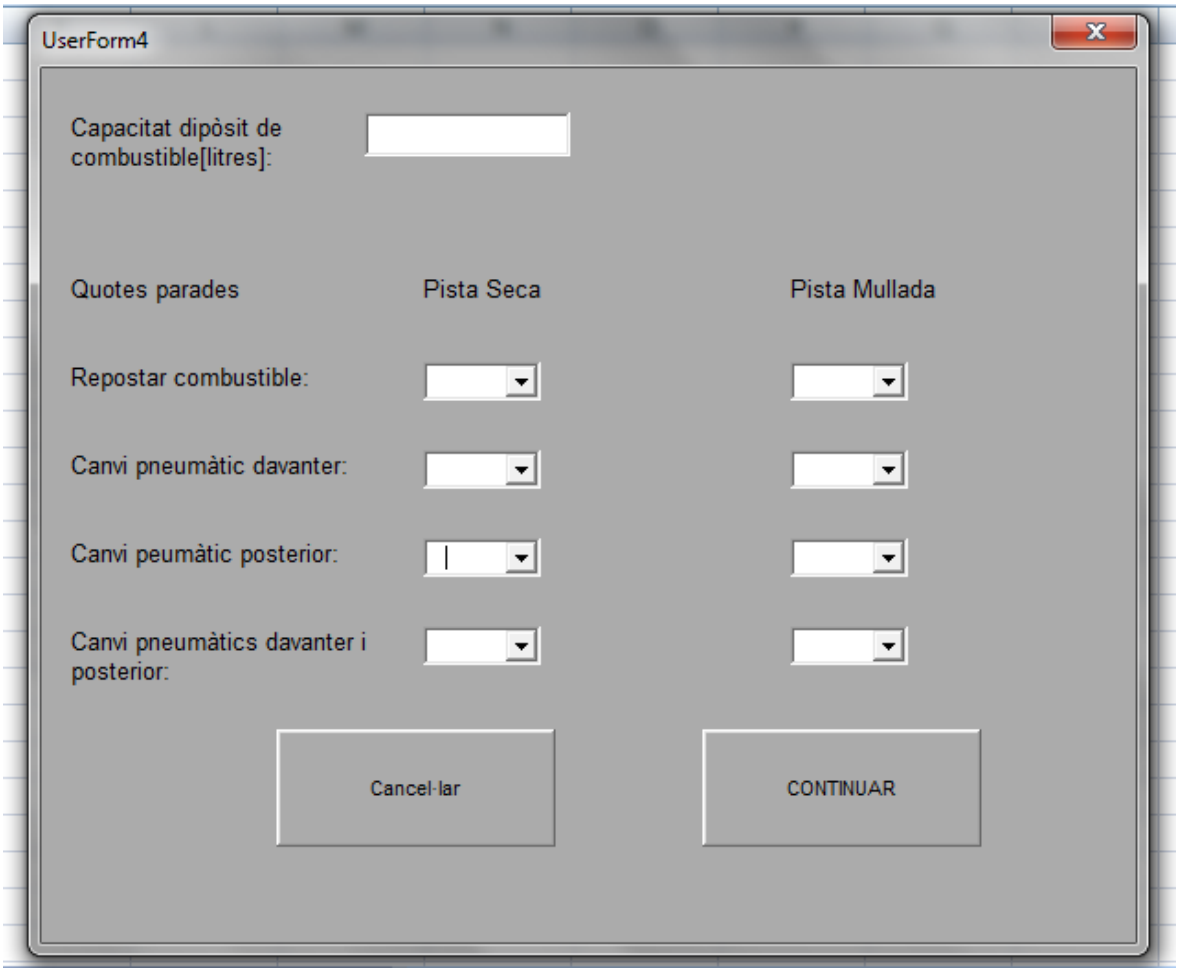


Fig. 6.3. Imatge del formulari 6.

6.2.4. Formulari 7

El setè formulari és l'últim que apareixerà en aquesta seqüència, i s'hi introduiran les dades referents als temps que es requereixen per fer les diferents parades.

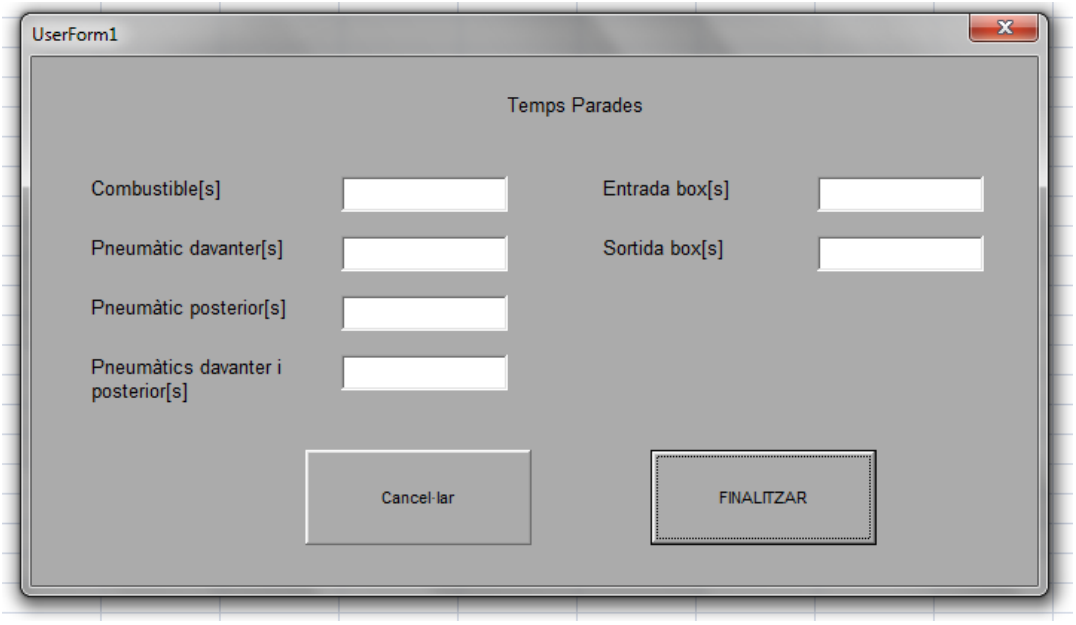


Fig. 6.4. Imatge del formulari 7.

6.2.5. Formulari 8

Aquest formulari apareixerà quan es clica el botó "*Modificar Dades*" que hi ha al primer full d'Excel. Òbviament, nomes s'utilitzarà en el cas que es vulgui modificar el valor d'alguna dada en concret.

Fig. 6.5. Imatge del formulari 8.

Com es pot veure en la imatge anterior, l'usuari haurà de seleccionar primer a quin grup pertany el valor de la variable que es vulgui modificar. Un cop seleccionat el grup, al fer servir el botó "*CONTINUAR*" apareixerà el formulari que s'hagi seleccionat abans. Només es pot seleccionar un grup a la vegada.

6.2.6. Formularis 9, 10, 11 i 12

Aquest formularis apareixeran en cas que s'hagi seleccionat modificar les dades d'un pilot. Els quatre formularis tenen el mateix aspecte i corresponen a les dades dels pilots 1, 2, 3 i 4, respectivament.

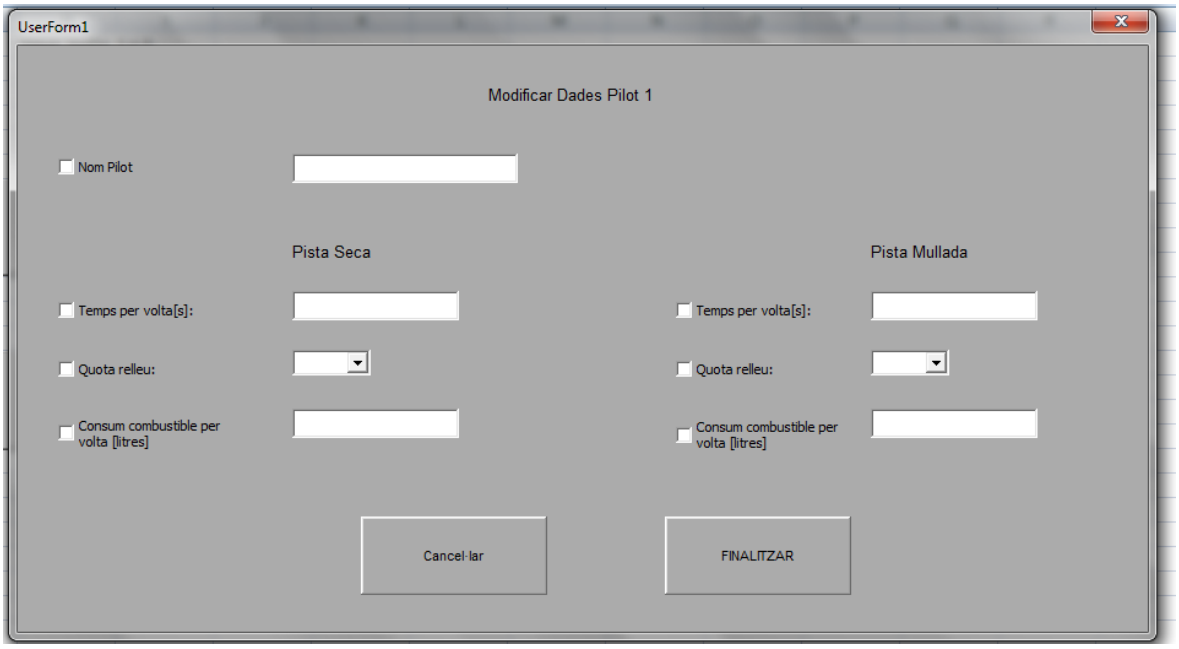


Fig. 6.6. Imatge del formulari 9.

Aquí es poden modificar les variables que es vulguin d'un pilot, només s'han d'introduir els nous valors i, sobretot, activar el "*CheckBox*" que hi ha al costat de cada nom que descriu la variable.

6.2.7. Formulari 13

El formulari 13 s'activa al haver seleccionat *Dades Safety Car* al formulari 8. El procediment a seguir és el mateix que per l'anterior formulari.

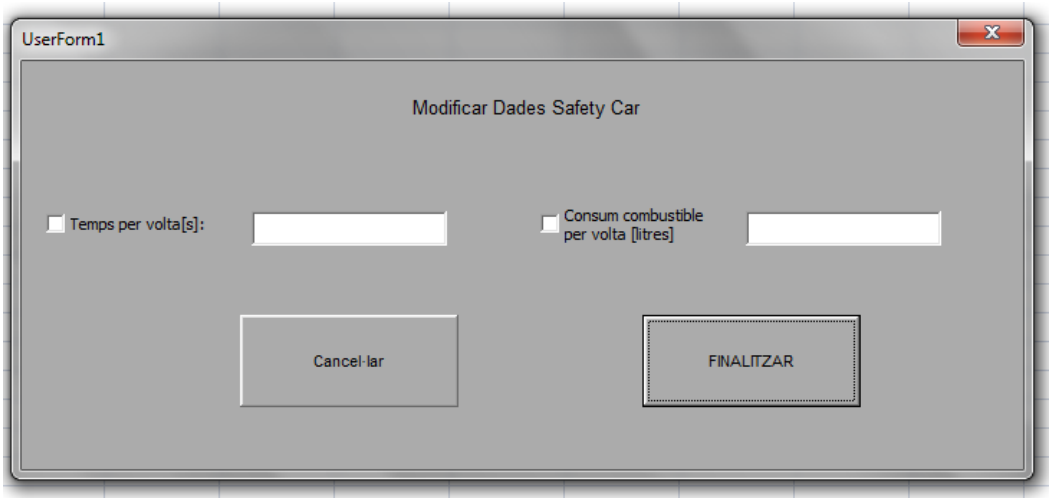


Fig. 6.7. Imatge del formulari 13.

6.2.8. Formulari 14

El formulari 14 s'activa al haver seleccionat *Quotes parades i dipòsit de combustible.*

Fig. 6.8. Imatge del formulari 14.

6.2.9. Formulari 15

Aquest és l'últim que s'activa amb el formulari 8 si es selecciona *Temps Parades*.

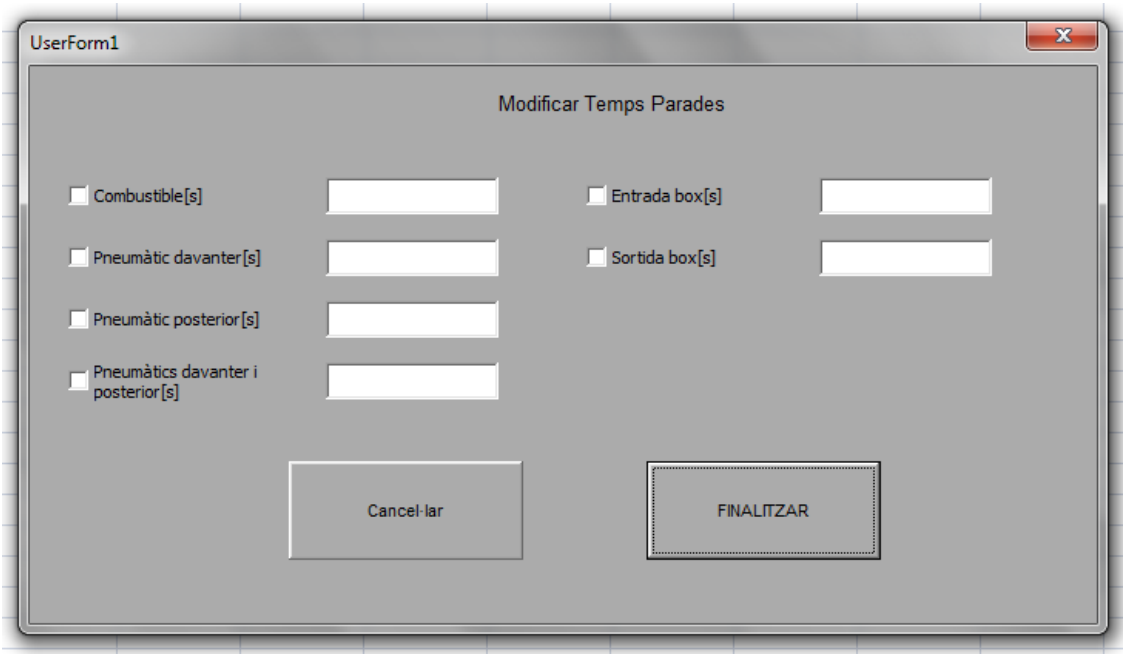


Fig. 6.9. Imatge del formulari 15.

6.2.10. Formulari 16

Aquest formulari apareix quan es clica el botó "*Introduir Condicions Cursa: Inici*" que hi ha al primer full d'Excel. Serveix exclusivament per definir l'estat en que es troba la pista i introdueix implícitament les condicions d'inici de la cursa: temps i estat inicial.

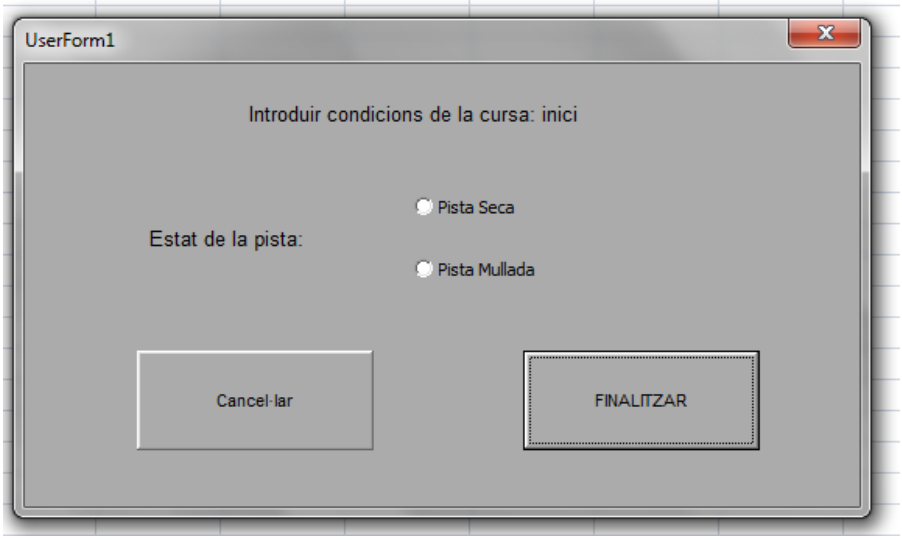


Fig. 6.10. Imatge del formulari 16.

6.2.11. Formulari 17

Aquest és l'últim formulari creat i apareix quan es clica el botó "*Introduir Condicions Cursa: Represa*". S'ha d'indicar el temps restant de cursa, així com l'estat en que es troba l'equip. S'utilitzarà per recalcular l'estratègia a seguir per l'equip quan la cursa ja hagi començat.

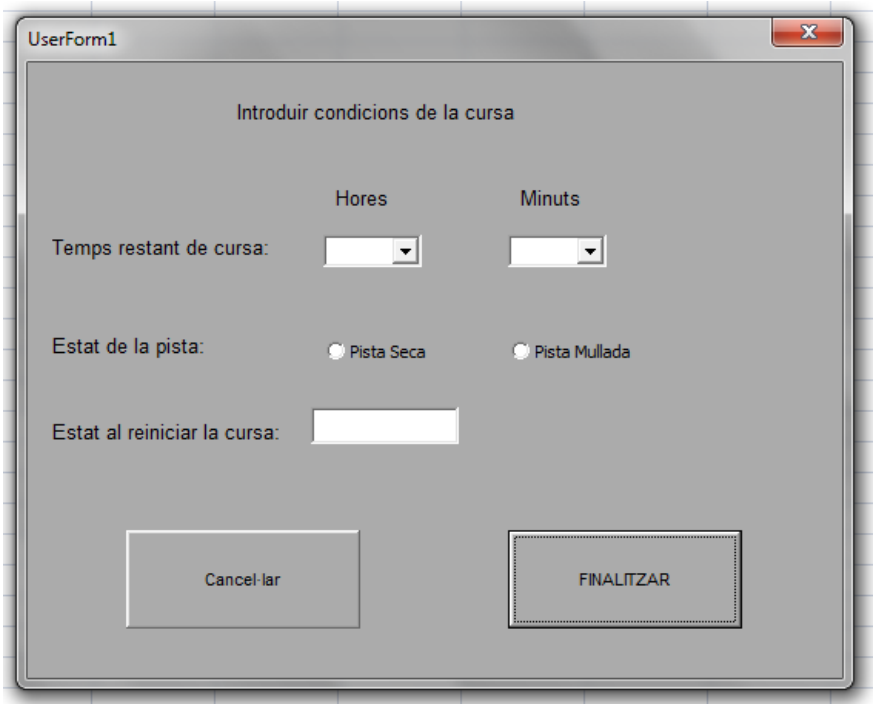
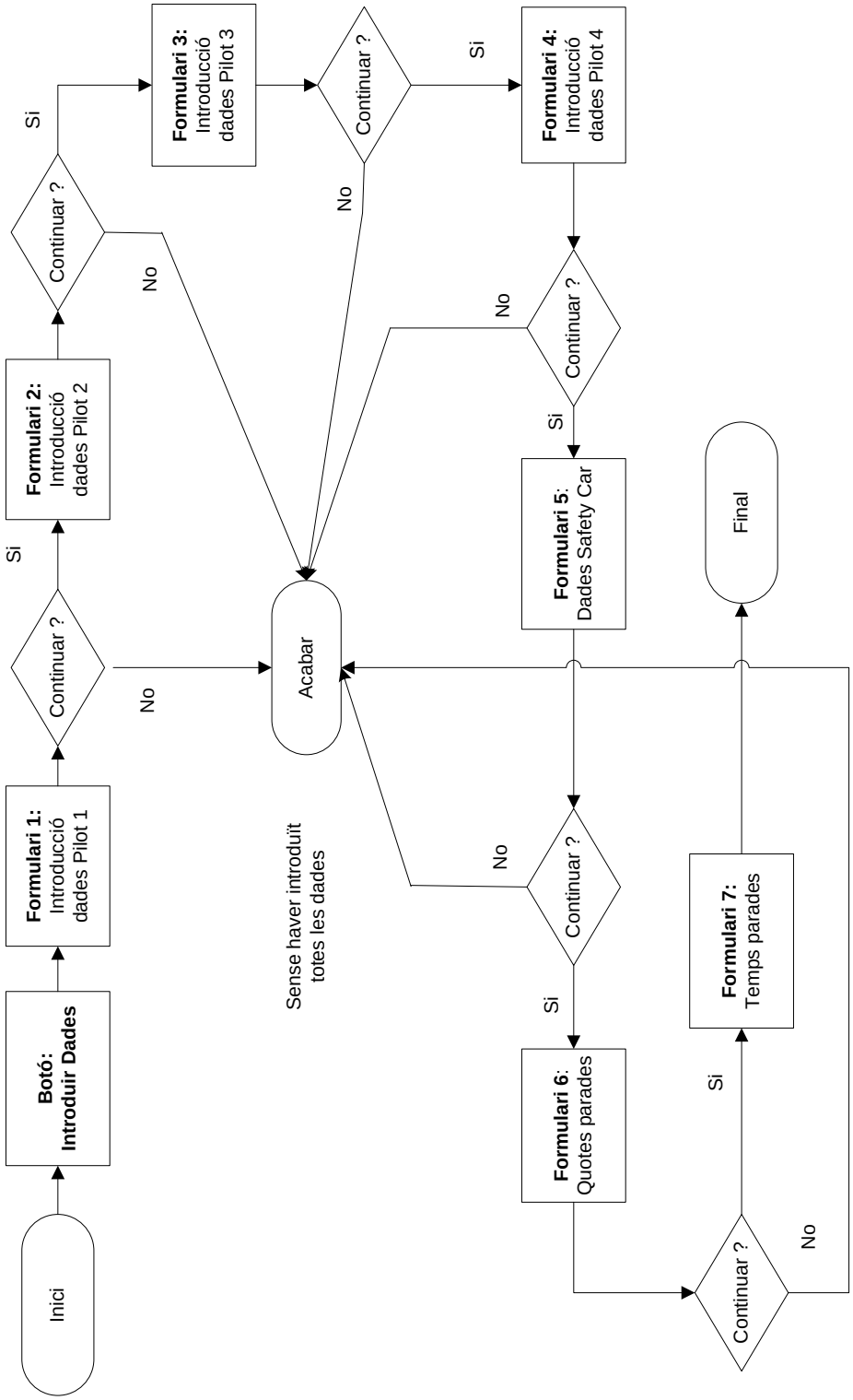


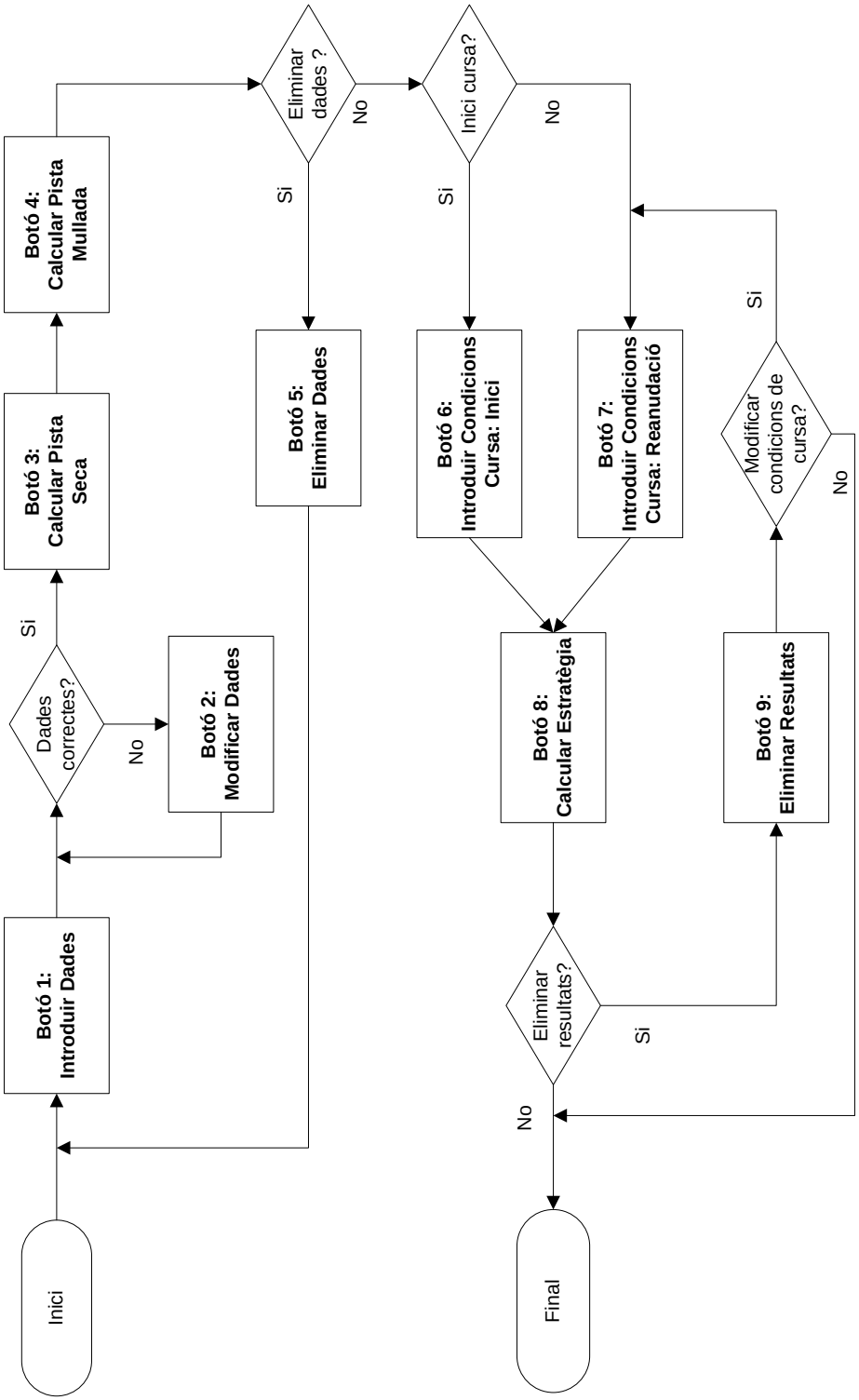
Fig. 6.10. Imatge del formulari 17.

6.3. Diagrames

6.3.1. Diagrama dels formularis [7] [8]



6.3.2. Diagrama dels botons



6.4. Implementació del codi a l'Excel

Per tal de facilitar la comprensió del codi creat a l'Excel, s'utilitzaran diagrames que mostraran el procediment que es segueix.

6.4.1. Procés general

El procés general que segueix el codi de l'excel es mostra en el diagrama de la figura 6.11. A continuació es realitzarà una explicació juntament amb diagrames que expliquen cada etapa amb més detall.

6.4.1.1. Seqüència de relleus i parades: Seqüència pilots

Per calcular la seqüència de relleus, es segueix el procediment explicat a l'apartat 4.3.3.

Per trobar la seqüència de relleus de pilots utilitzarem la següent funció que s'activa al clicar el botó "*Calcular Pista Seca*" i que esta ubicada al full "*Relleus Sec*".

Funció:

Call ActiveWorkbook.Worksheets("Relleus Sec").Relleus_Pilots()

El diagrama de la figura 6.12 mostra el procediment a seguir. La seqüència de parades es realitza d'una forma anàloga.

6.4.1.2. Matriu d'estats

Una vegada s'ha calculat la seqüència de pilots i parades a seguir, es procedeix a calcular tots els estats que es poden donar.

Funció:

Call ActiveWorkbook.Worksheets("Matrius Estats").Crear_Matriu_Estats()

Aquest funció es divideix en quatre etapes en cadascuna de les quals es calculen i defineixen estats.

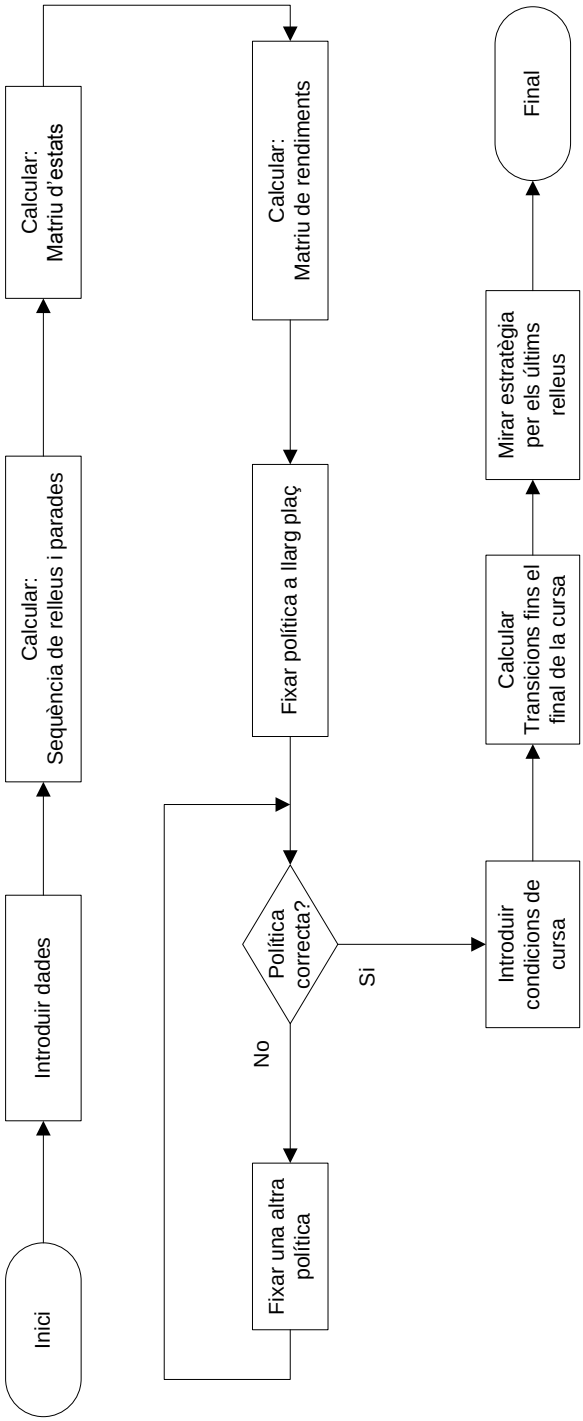


Fig. 6.11. Diagrama general del procés.

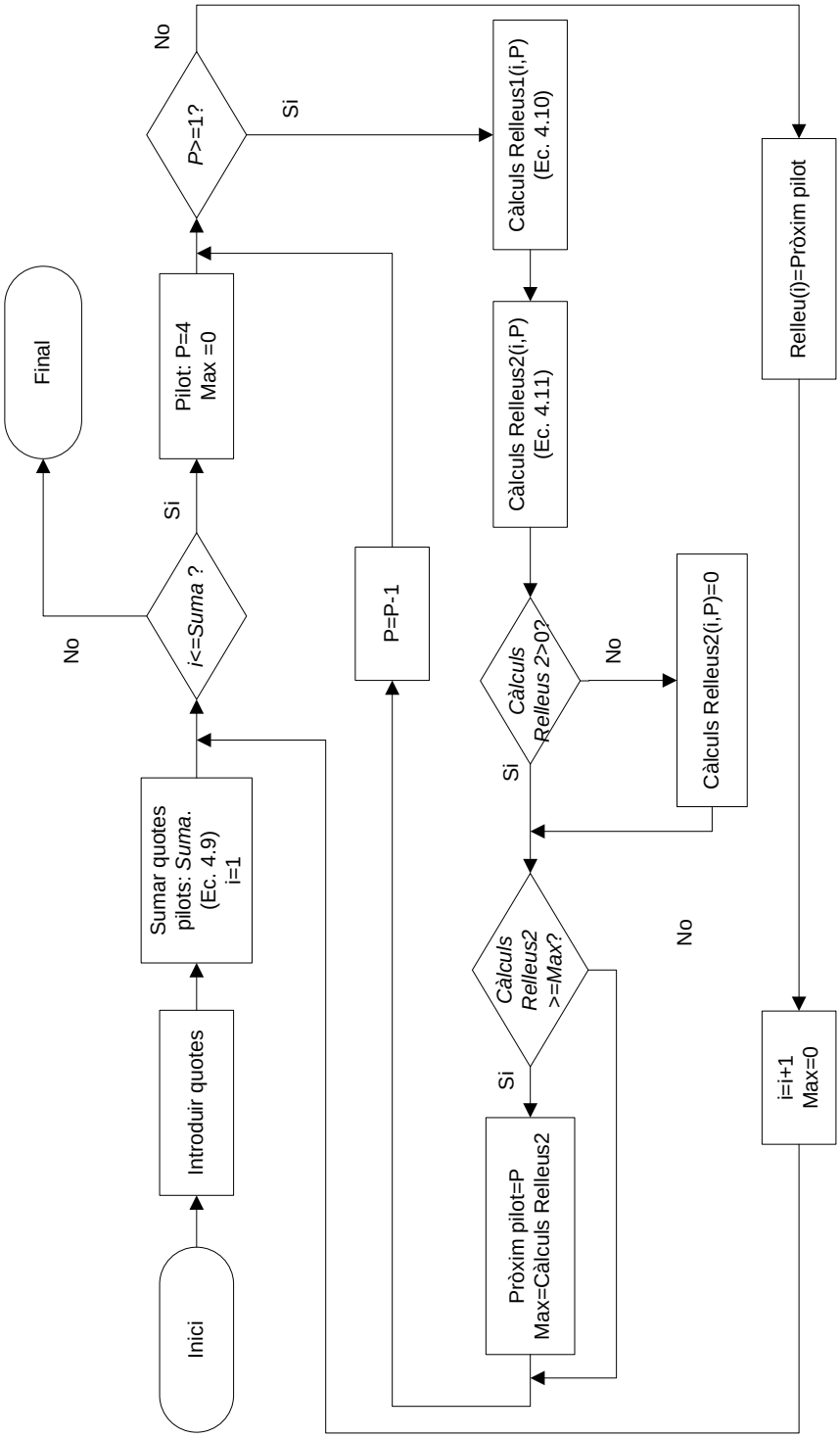


Fig. 6.12. Diagrama de la seqüència de relleus dels pilots.

En primer lloc s'afegirà l'estat inicial de la cursa, on tots els temps de cansament són 0. Per la resta d'estats, es parteix de la base de que ja es té la seqüència de relleus de pilots i

parades que es produiran. Es pot donar la situació de que aquest cicle de relleus es repeteixi varies vegades al llarg de la cursa, degut a això es calcularan els estats en 3 fases anomenades: *Estats_A*, *Estats_B* i *Estats_C*.

- *Estats_A:* Aquí es calcularan els temps de cansament dels tres primer relleus considerant que parteixen del inici de la cursa. És a dir, quan el primer pilot que surt a pista està conduint, el valor d'aquesta variable dels altres pilots serà 0 ja que encara no hauran conduit cap volta.
- *Estats_B:* Aquí es calcularan també els 3 primer relleus però considerant que no parteixen del inici de la cursa, sinó que ja s'ha completat almenys un cicle de relleus i tornen a començar. En aquest cas, quan el primer pilot del cicle estigui conduint, algun dels altres pilots tindrà un temps de cansament diferent de 0.
- *Estats_C:* Aquí es calcularan els temps de cansament des del 4º relleu fins l'últim del cicle.

L'estructura de la funció principal de la matriu d'estats es pot observar en la següent figura.

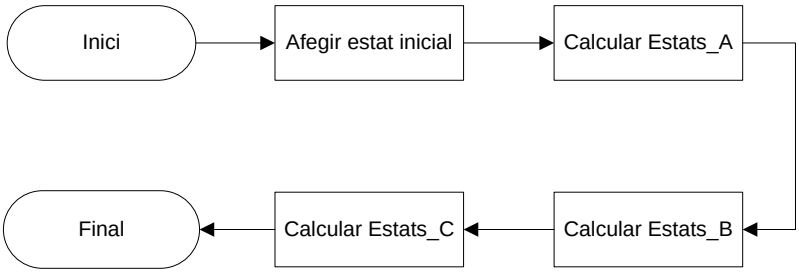


Fig. 6.13. Diagrama de la matriu d'estats 1.

En la figura 6.14, es pot observar l'estructura genèrica de com es calculen els estats en "*Estats_B*".

<u>Funció:</u> *Call ActiveWorkbook.Worksheets("Matrius Estats").Estats_B()*

Amb la funció anterior es calculen els estats que pertanyen a "*Estats_B*". Els altres dos grups tenen una altra funció pròpia que segueix una estructura molt similar.

<u>Càlcul dels temps de cansament(1): Seqüència de pilots</u>

Per calcular els valors d'aquestes variables, s'han de tenir presents quins han sigut els pilots que han estat conduint prèviament, concretament interessa exclusivament els tres pilots anteriors, ja que més cap enrere ja no influeixen en l'estat actual.

Per això, en primer lloc s'ha de trobar el tipus de seqüència de pilots, que poden ser les següents:

- Seqüència 1: *AABC*
- Seqüència 2: *ABBC*
- Seqüència 3: *ABCC*
- Seqüència 4: *ABCD*
- Seqüència 5: *ABAC*

Aquestes són les seqüències que es poden donar per les següents hipòtesis que es poden deduir d'aquest sistema de quotes de pilotatge, explicat al capítol 4.3.3:

- Com a màxim només un pilot pot realitzar més d'un relleu seguit.
- Cap pilot pot realitzar més de dos relleus seguits.

Cada lletra indica un pilot diferent, per tant, com tenim quatre pilots, hi hauran les lletres *A*, *B*, *C* i *D*. La primera lletra començant per l'esquerra indica el pilot que actualment està conduint, la següent indica el pilot just anterior, i així sucessivament. Per exemple, en la segona seqüència(*ABBC*) el pilot anterior (*B*) ha realitzat dos relleus seguits.

Cada seqüència de pilots tindrà una funció diferent per calcular els temps de cansament encara que totes segueixen un esquema similar.

<u>Funció seqüència 2:</u>

Call ActiveWorkbook.Worksheets("Matrius Estats").Calcular_Estados_2()

El diagrama de la figura 6.14, mostra l'estructura explicada fins aquest punt.

<u>Càlcul dels temps de cansament(2): Pilot</u>

Per calcular el temps de cansament del pilot utilitzarem els següents factors:

- Temps per volta: *T_V(P)*
- Temps entrada a box: *In_box*
- Temps sortida del box: *Out_box*
- Nombre màxim de voltes que pot realitzar: *Max_V(P,1)*

El nombre màxim de voltes que pot fer un pilot de forma seguida sense parar a box es calcula mitjançant el consum per volta de combustible i la capacitat del dipòsit.

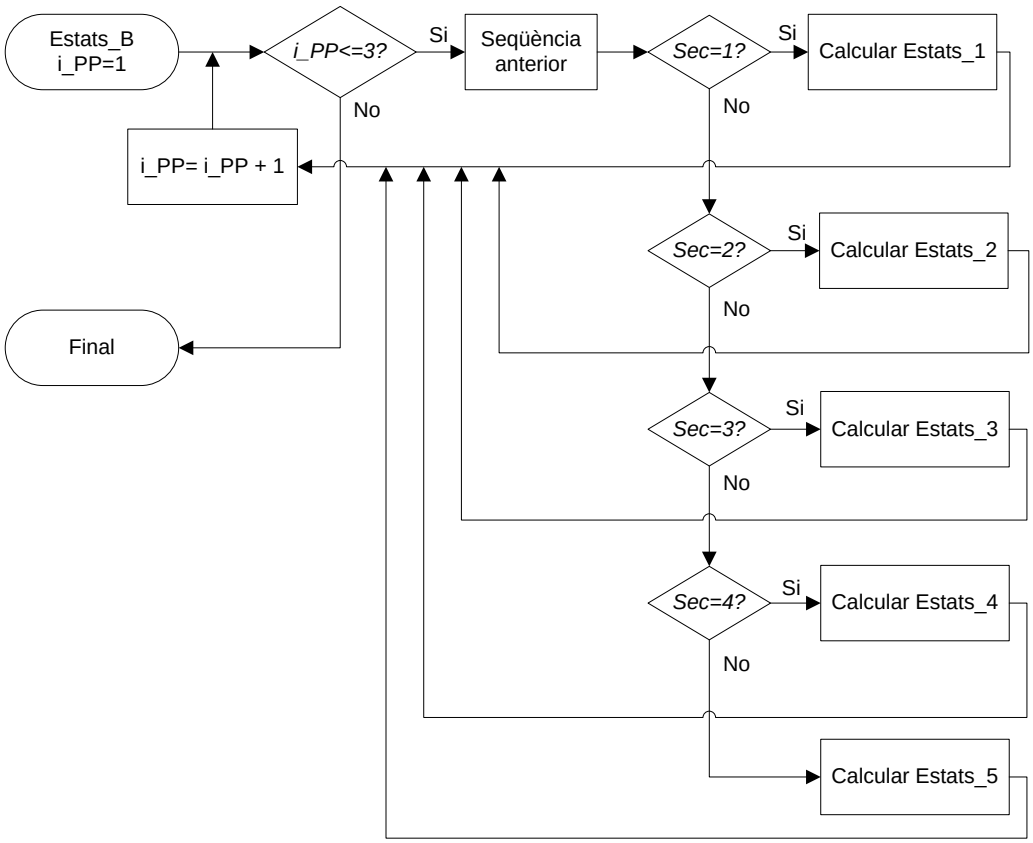


Fig. 6.14. Diagrama de la matriu d'estats 2.

Per exemple:

- Pilot està realitzant voltes:

$$Tc(P) = n_1 * T_V(P) + Out_box \qquad \text{(Ec. 6.1)}$$

- Pilot torna a box i surt un altre pilot:

$$Tc(P) = n_1 * T_V(P) + Out_box + In_box - (^3/_2) * T_Parada \qquad \text{(Ec. 6.2)}$$

- Pilot realitza dos relleus seguits:

$$Tc(P) = (n_1 * n_2) * T_V(P) + 2 * Out_box + In_box + T_Parada1 \qquad \text{(Ec. 6.3)}$$

- Pilot realitza dos relleus seguits i en aquesta volta torna a box:

$$Tc(P) = (n_1 * n_2) * T_V(P) + 2 * (Out_box + In_box) + T_Parada1 - (^3/_2) * T_Parada2 \qquad \text{(Ec. 6.4)}$$

Degut a la necessitat de limitar el nombre d'estats possibles, no es calcularà a cada volta un estat, sinó que es farà cada dues voltes. Per això, el nombre de voltes màximes que el pilot podria fer, s'ha de dividir entre dos i multiplicar el temps pel mateix factor.

També, s'introduirà la condició de que un pilot només pugui para a box quan hagi realitzat un nombre de voltes igual o superior a: *Max_V(P,1)-marge.* A la variable "*marg*e" se li ha assignat un valor de 6.

Càlcul dels temps de cansament(3): Pilots que estan descansant

Per aquest pilots, es calculen els temps que van estar conduint i, després, es resten els temps de cansament dels pilots que han conduit posteriorment multiplicats per un factor de 1,5. Per calcular els temps que van estar conduint, el nombre de voltes ha de ser un valor comprès entre les màximes que pot realitzar: *Max_V(P,1)* i quan pot parar a box: *Max_V(P,1) - marge*.

El diagrama de la figura 6.15 mostra el procediment per calcular els estats després d'utilitzar les següents funcions:

1- *Call ActiveWorkbook.Worksheets("Matrius Estats").Crear_Matriu_Estats()*
2- *Call ActiveWorkbook.Worksheets("Matrius Estats").Estats_C()*
3- *Call ActiveWorkbook.Worksheets("Matrius Estats").Calcular_Estados_2()*

En el diagrama es pot observar que en primer lloc es calcula quins han estat ser els últims pilots a conduir.

La variable *i_PP* que surt als diagrames de les figures 6.14 i 6.15, indica quants relleus s'han realitzats de la seqüència de relleus i parades, i la variable *i_Max*, indica quans relleus té un cicle.

Un cop esbrinat quins pilots van estat els últims a conduir, es comença a calcular el temps de cansament de pilot. La variable "*A1"* indica quantes voltes ha realitzat el pilot. Per cada volta s'avalua en quina situació es troba. Es poden donar tres situacions:

1- Que en la actual volta no pugui entrar a boxes: *A1< Max_V(P,1) -marge*
2- Que pugui entrar a boxes però sigui opcional:
   A1>= Max_V(P,1) –marge & A1<Max_V(P,1)

En aquest cas, s'haurien de considerar les dues opcions: que no entres a box i que si que ho fes. En el diagrama no es mostra aquesta distinció degut a una qüestió d'espai.

3- Que tingui que entrar a box obligatòriament: *A1=Max_V(P,1)*

Un cop calculat el temps de cansament del pilot $Tc(P)$, es calcula el temps de cansament del pilot anterior(*P_1*) per totes les opcions de voltes (*B1*) que ha recorregut en el segon relleu, començant el procés com si hagués realitzat el nombre màxim de voltes i anant disminuint fins arribar a *B1= Max_V(P_1,2)*. Per cada volta de *B1*, també s'han de considerar totes les voltes (*C1*) que ha pogut fer el mateix pilot(*P_1*) en el primer relleu.

Abans de guardar un nou estat, s'ha de comprovar que no existeixi un altre amb els mateixos valors.

També, per cada estat, es guarda el nombre de relleu del cicle (*i_PP*), les voltes que ha fet el pilot (*A1*) des de l'ultima vegada que va sortir de box i el tipus de volta que realitza. Això, es pot veure a la figura 5.6 on es mostra una part de la matriu d'estats.

6.4.2. Matriu de rendiments entre estats

La figura 6.16 mostra el procés simplificat de com es calcula la matriu de rendiments entre estats. Al igual que per calcular els estats, es tracta d'un procés repetitiu.

<u>Funció:</u>

Call ActiveWorkbook.Worksheets("Matriu Rend. Sec").Crear_Matriu_Rendiments()

El procés consisteix en provar si es pot realitzar la transició d'un estat origen (*O*) fins tots els altres estats (*D*), un per un, i en cas afirmatiu, guardar el valor del temps en la matriu, fila el nombre de l'estat *O* i columna el nombre de l'estat *D*. Tot i que en l'organigrama no es mostra, s'utilitzen variables com (*i_PP, Tipus_Volta, P*) per facilitar la comprovació de la possible transició.

Per exemple, si l'estat origen indica que el tipus de volta en aquell estat és que no pot tornar a box, per a tots els estats destí (*D*) que tinguin una *i_PP* diferent de l'estat origen implicarà que aquesta transició entre *O* i *D* no és possible.

En el cas que aquestes variables indiquessin que podria ser factible, s'hauria de calcular el temps per fer la volta(*T_Volta*) i comprovar si la diferència entre els temps de cansament d'un estat i l'altre quadren amb el valor de *T_Volta*. Per calcular el valor de *T_Volta* s'ha de mirar a l'estat origen el tipus de volta que realitza i qui està pilotant. En el cas que el tipus de volta indiques que entra a box, s'hauria de trobar quina parada realitza a la seqüència de relleus i calcular el *T_Volta*.

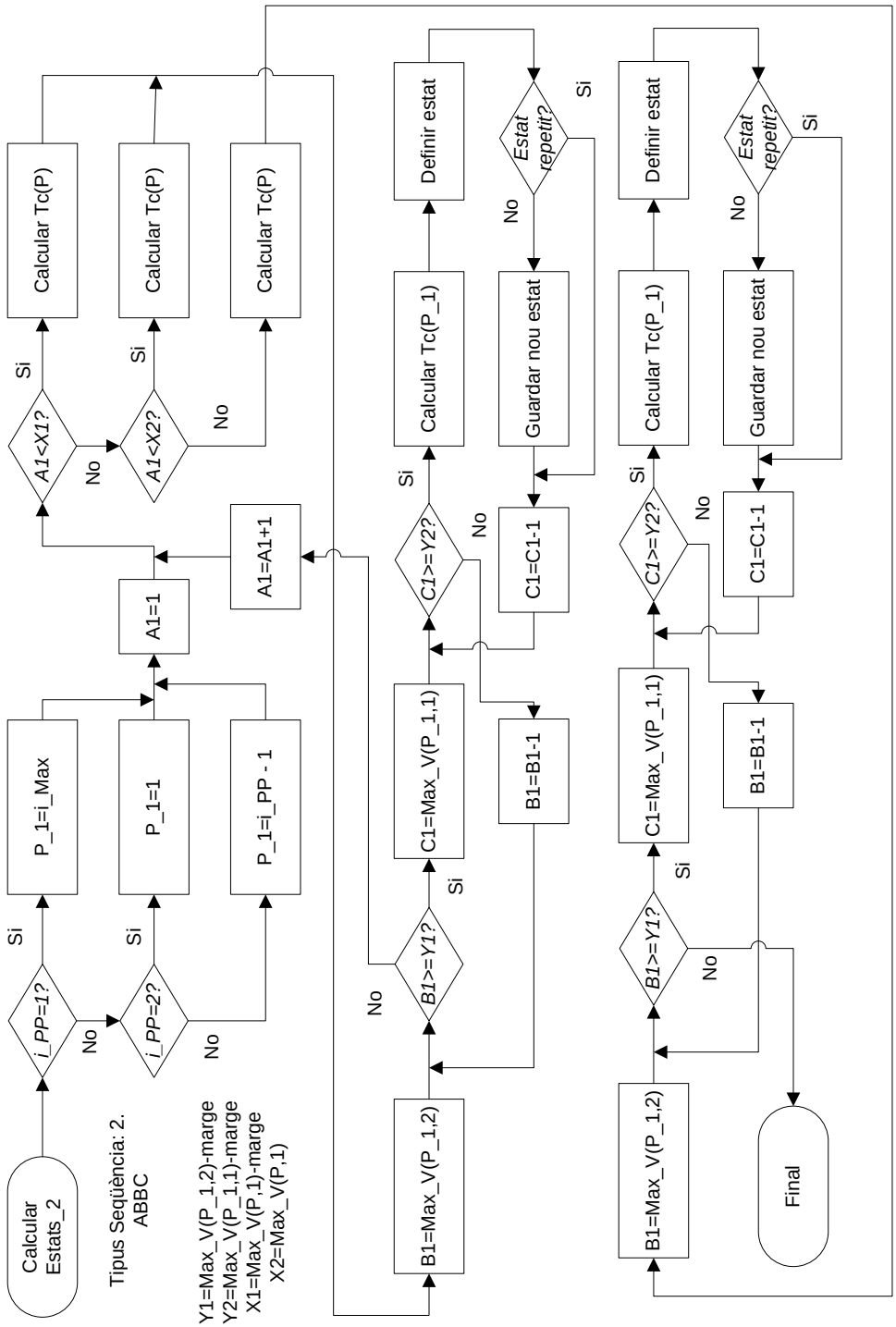


Fig. 6.15. Diagrama de la matriu d'estats 3.

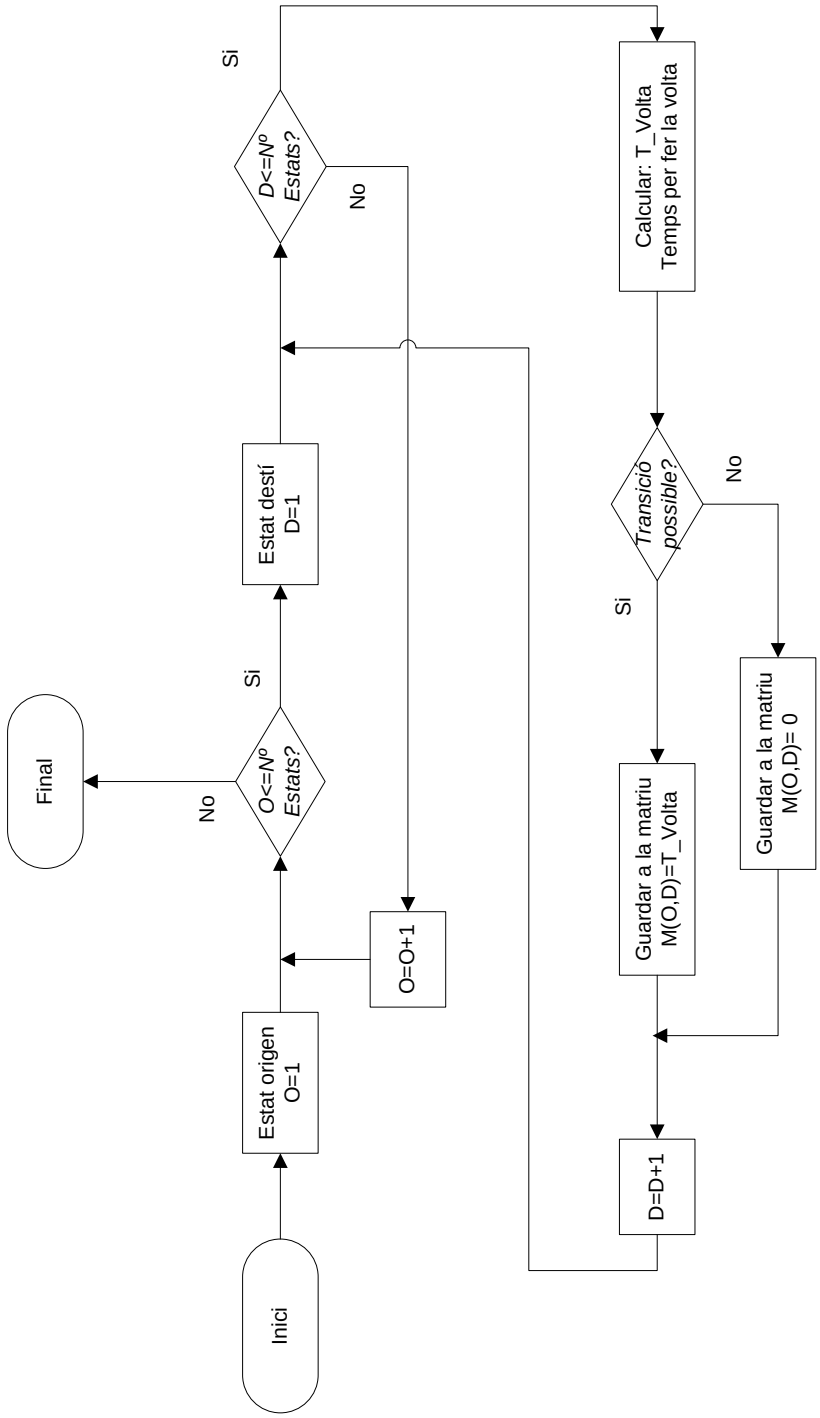


Fig. 6.16. Diagrama de la matriu de rendiments entre estats.

6.4.3. Fixar una política òptima a llarg termini

Per fixar la política a llarg termini, només es necessitarà la matriu de rendiments entre estats. Les equacions (4.5, 4.6 i 4,7), són per maximitzar el valor del procés estudiat. En el nostre cas, com es pretén disminuir el temps per volta mitja, només s'ha de canviar de signe els valors de la matriu de rendiments i maximitzar el temps per volta.

El diagrama de la figura 6.17, mostra aquest procés. Es pot observar que per cada estat (*O*) es fixa com a destí(*D*) l'estat amb un valor de transició més alt que no sigui 0. Tot i que en l'organigrama no es mostra, en cas de que hi hagin varis estats destí amb el mateix valor a la matriu de rendiments, s'escull per defecte el primer valor trobat.

Per cada estat origen s'obtindrà una equació lineal (Ec(4.5)) amb tres incògnites(*w(O)*, *w(D)* i *g*). D'aquesta forma, es tindran tantes equacions com estats hi ha i s'haurà d'assignar a un *w(x)* qualsevol un valor de 0 per resoldre el sistema.

$$w(O) - w(D) + g = T_Volta \qquad \text{(Ec. 6.5)}$$

Aquest sistema d'equacions es resol de forma matricial.

$$w = Inv(M_Aux) * Min \qquad \text{(Ec. 6.6)}$$

On *Min()* és un vector amb tantes files com estats hi ha i s'emmagatzemarà el rendiment de la transició de l'estat corresponent. A la matriu *M_Aux()* es guarda el factor que multiplica cada variable, que en aquest cas és:

- w(O): 1
- w(D) -1
- g: 1

A la variable *g* li correspon l'última columna de la matriu *M_Aux()*. Per tant, una vegada s'han recorregut i s'ha seleccionat l'estat destí, es guarden en aquesta matriu els factors anteriors.

Després de resoldre l'equació 6.6, s'obtindrà un vector *w()* amb els valors d'aquesta variable per cada estat. A partir d'aquest moment, comença un altre procés on es comprova si la política fixada és òptima, és a dir, si els estats destins són els correctes.

Per fer-ho, es calcula *W(i)* (Ec 4.7) per cada estat. Mitjançant un procés repetitiu es troba el valor d'aquesta variable per a tots els estats. Posteriorment, es compara aquest valor, *W(i)* amb *w(i)* per a tots els estats. Si el valor és el mateix, implica que l'estat destí per l'estat *i* és correcte. Si no ho sigues, s'hauria de tornar a la primera part i fixar un altre estat destí.

Aquest nou estat destí seria el següent estat amb un valor més alt a la matriu de rendiments. Es tornaria a resoldre el sistema d'equacions i a comprovar si ara la política és la correcta amb la nova elecció.

Aquest procés iteratiu continuaria fins trobar la política òptima.

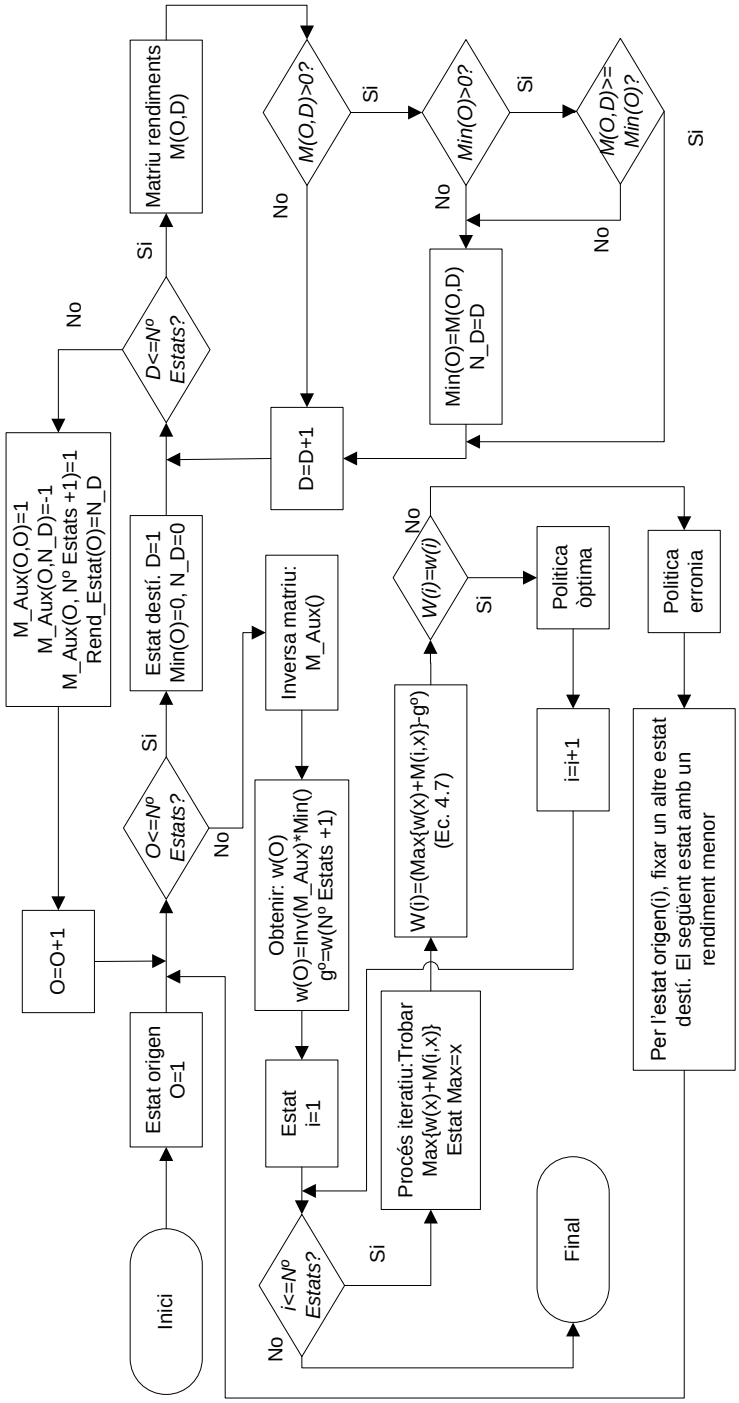


Fig. 6.17. Diagrama de fixar la política òptima a llarg termini.

6.4.4. Estratègia de la cursa

Una vegada es té fixada la política a llarg termini, es procedeix a calcular l'estratègia a seguir a la cursa. El diagrama de la figura 6.18 mostra tot el procés.

Degut a que per calcular l'estratègia s'utilitza un botó diferent i independent dels altres s'han de tornar a introduir els valors de les variables que necessitarem.

En primer lloc, s'introdueix en quina condició es troba la pista, el temps de cursa restant i l'estat en que es troba l'equip. Com que els estats calculats són cada dues voltes recorregudes i els consums són per volta, pot ser que alguns pilots poguessin realitzar una volta suplementària. Això, ja s'ha calculat anteriorment i també es torna a introduir juntament amb les altres variables amb la següent funció.

<u>Funció:</u>

Call ActiveWorkbook.Worksheets("Resultats").Reintroduir_Valors_1()

Amb la pròxima funció s'introdueix, per cada estat, el seu estat destí així com el rendiment associat a la transició. Amb això, ja s'han introduït totes les dades necessàries.

<u>Funció:</u>

Call ActiveWorkbook.Worksheets("Resultats").Reintroduir_Valors_2()

A continuació es calcula l'estat en que s'inicia el cicle, l'estat en que finalitza i el temps necessari per realitzar un cicle sencer. El procés és molt senzill, des de l'estat en que es troba l'equip, estat inicial, es van fent transicions fins que un estat es repeteixi dues vegades. Aquest serà l'estat inicial del cicle, i just l'anterior, l'estat final del cicle. Això es calcula amb la següent funció:

<u>Funció:</u>

Call ActiveWorkbook.Worksheets("Resultats").Calcular_Estat_inici_cicle()

Després, es calcula el temps necessari per completar un cicle (*Temps_C*) i el temps de transició (*Temps_T*), que és el temps emprat per anar de des l'estat inicial en que es troba l'equip al estat inicial del cicle. Un vegada calculats aquestes dues variables, es calcula el nombre de cicles sencers que es poden realitzar amb el temps restant de cursa. S'utilitzen les següents funcions:

Funcions:

Call ActiveWorkbook.Worksheets("Resultats").Calcular_Temps_T_i_C()

Call ActiveWorkbook.Worksheets("Resultats").Nombre_Cicles_Total()

A partir d'aquí, es comença un procés repetitiu en que es realitzen transicions i on el primer estat és l'estat inicial que l'usuari ha introduït. Aquestes transicions continuen mentre es compleixi la condició que la suma de rendiments associats a cada transició és inferior al temps de cursa.

Funció:

Call ActiveWorkbook.Worksheets("Resultats").Sequencia_Sense_Mod()

En aquest moment, ja es té tota la planificació fins el final de la cursa, no obstant, aquesta pot ser modificada en els últims relleus per tal d'optimitzar l'estratègia.

Com ja s'ha explicat anteriorment, alguns pilots podrien realitzar una volta suplementària en cada relleu, en conseqüència, es calcularan les voltes de més que es podrien realitzar en els últims relleus per tal d'evitar l'última parada. Al evitar aquesta última parada, el pilot de l'últim relleu no sortiria del box, i per tant, s'ha de començar a comprovar des del pilot del relleu *N-1* sobre la planificació obtinguda abans.

Aquesta comprovació es limita als 7 últims relleus, degut a que es considera que planificar amb tant de detall abans no té sentit pels imprevistos que poden sortir en el transcurs de la cursa.

Una vegada calculades les voltes suplementàries (*V_S*) que es podrien realitzar, es comprova si aquestes són iguals o superiors a les voltes (*V_P*) de l'últim pilot de la planificació inicial. Si sigués afirmatiu, implicaria que l'equip es podria estalviar l'última parada i la corresponent pèrdua de temps.

En cas negatiu, hi ha dues opcions. La primera és continuar amb la planificació ja calculada sense cap modificació, aquesta estratègia s'utilitzarà si *V_P* és superior a 16.

La segona opció és que el pilot de l'últim relleu realitzi poques voltes i, en aquest cas, l'estratègia seria que els pilots dels relleus anteriors paressin abans, i així, s'estalviarien fer voltes amb molt de cansament acumulat.

En resum:

- Estratègia 1: No realitzar última parada: *V_S>=V_P*

- Estratègia 2: Cap modificació: *V_P>=16*
- Estratègia 3: Últims pilots parar abans.

A l'annex A hi ha un exemple de l'última part de la cursa en que es realitza l'estratègia 1.

Tot això, es calcula amb la següent funció:

<u>Funció:</u>

Call ActiveWorkbook.Worksheets("Resultats").Modificacio_A()

Aquesta última part es mostra en el digrama de la figura 6.18.

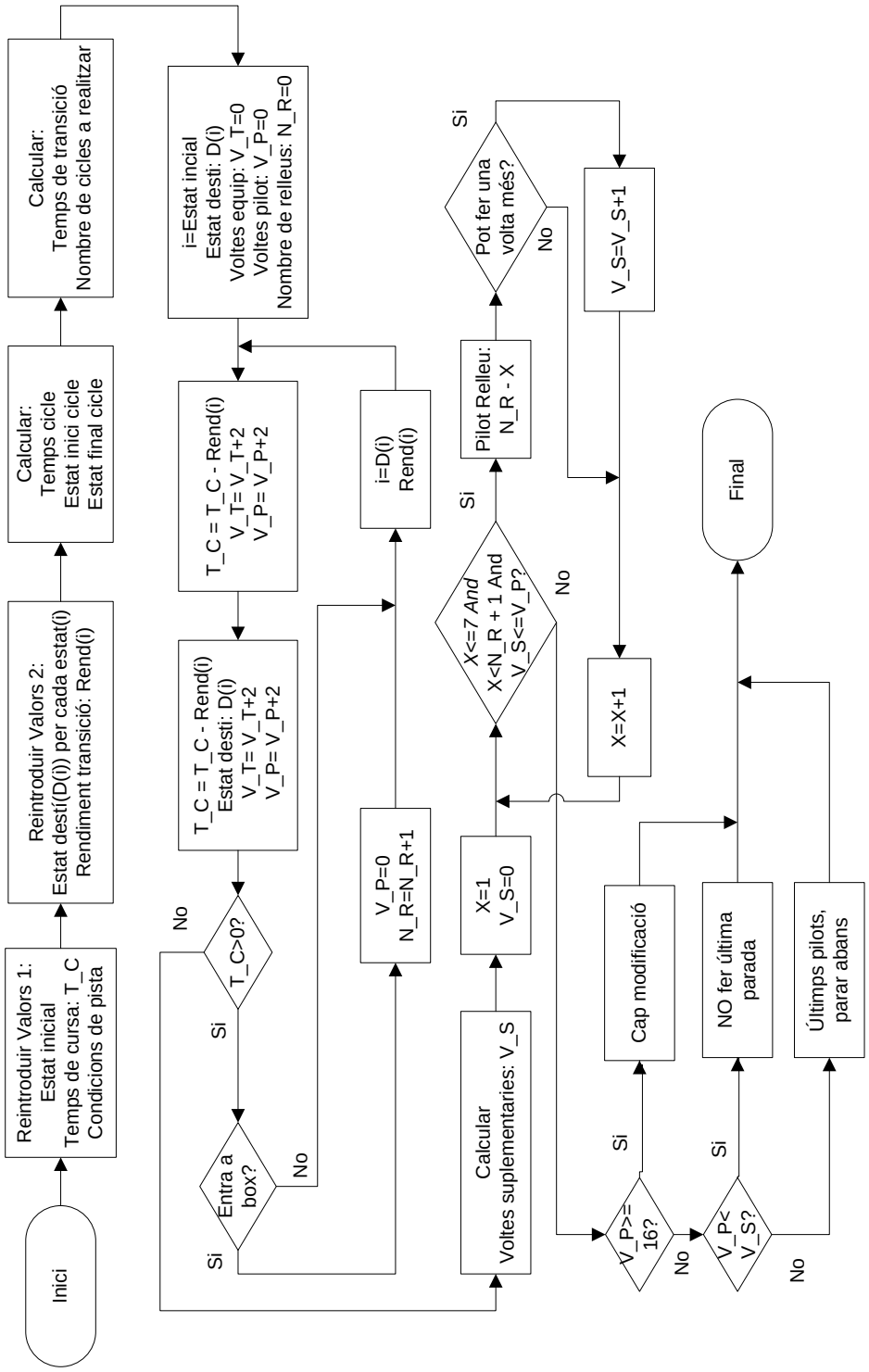


Fig. 6.18. Diagrama de calcular l'estratègia de la cursa.

7. Simulació i anàlisi de resultats

En aquest capítol es realitzarà una simulació de l'estratègia a seguir a la prova de les "24 hores" de Montmeló [9] disputades entre el 5-7 de juliol de 2013. A part de totes les dades (temps de cada volta, relleus, temps de parades..) que l'organització de la prova [12] ofereix a la seva pàgina web, es completaran les dades amb la informació proporcionada per l'equip "Castellarnau-APA (36)". Aquest equip està organitzat pels professors del institut de Formació Professional "Castellarnau" de Sabadell, on els seus alumnes participen activament en la preparació i els reglatges de la motocicleta de l'equip.

7.1. Valors de les variables

En l'edició simulada, l'equip va córrer amb quatre pilots i una motocicleta *SUZUKI ZX-10* que pertany a la categoria O-SBK.

Nombre	Pilot	Color distintiu
1	David Jaen	Blau
2	Jorge Clariana	Groc
3	Fernando Clusellas	Vermell
4	Carlos San Juan	Blanc

Fig. 7.1. Pilots de l'equip "*Castellarnau-APA (36)*".

Tota la prova va transcórrer amb pista seca, i per tant, no hi haurà cap referència a valors de variables associades a la pluja.

En primer lloc, s'ha de definir el valor de les següents variables:

- Temps per volta de cada pilot.
- Temps de cada tipus de parada.
- Temps suplementari degut a entrar a box: *In_box*
- Temps suplementari degut a sortir de box: *Out_box*
- Consum de combustible.
- Capacitat del dipòsit.

7.1.1. Capacitat del dipòsit

Tot i que la capacitat del dipòsit és de 23,9 litres, mig litre de combustible no es pot utilitzar perquè queda per sota del nivell d'aspiració de la bomba; per tant, a l'aplicació s'ha d'introduir la capacitat efectiva del dipòsit: *D = 23,4 litres.*

7.1.2. In_box

L'organització, ofereix els temps per volta que han fet els pilots en totes les voltes, i a més, detalla els temps de cada sector. En els temps parcials corresponents a l'últim sector(3), hi haurà incorporada aquesta variable en les voltes que entren a box.

Pilot	Volta	Entrada a Box	Temps per volta	Sector 3 [s]	*In_box* [s]
3	27	No	1:58.626	39.559	10.152
3	28	Si	2:10.324	49.711	
4	55	No	1:56.804	38.874	11.064
4	56	Si	2:08.883	49.938	
1	84	No	2:00.713	41.081	12.987
1	85	Si	2:13.862	54.068	
2	114	No	1:59.680	40.421	13.915
2	115	Si	2:18.594	54.336	
3	144	No	1:59.429	39.813	8.621
3	145	Si	2:08.283	48.434	
4	174	No	2:00.071	39.451	11.476
4	175	Si	2:10.030	50.927	
1	203	No	1:58.621	39.402	14.171
1	204	Si	2:13.617	53.573	
2	232	No	2:01.570	40.931	7.804
2	233	Si	2:10.319	48.735	

Fig. 7.2. Taula per calcular *In_box.*

$$In_box \ = Temps\ Sector\ 3(Box) - Temps\ Sector\ 3(No\ Box) \qquad \text{(Ec. 7.1)}$$

Després de realitzar la mitjana de les diferències, es pot concloure que $In_box = 11{,}3\ s$.

7.1.3. Out_box

D'una forma anàloga es calcula el valor de la variable *Out_box*.

Pilot	Volta	Sortida de Box	Temps per volta	Sector 1 [s]	Temps parada	*Out_box* [s]
4	29	Si	3:06.268	1:38.400	0:01:02	2,42
4	30	No	2:03.489	33.982		
1	57	Si	3:19.074	1:52.574	0:01:16	3,26
1	58	No	1:59.071	33.314		
2	86	Si	3:02.993	1:33.068	0:00:56	2,64
2	87	No	2:03.700	34.426		
3	116	Si	3:53.285	2:25.167	0:01:49	2,73
3	117	No	1:59.208	33.441		
4	146	Si	3:05.149	1:36.941	0:01:00	3,53
4	147	No	2:00.626	33.416		
1	176	Si	4:20.497	2:53.727	0:02:18	2,72
1	177	No	1:58.839	33.008		
2	205	Si	3:28.689	1:58.907	0:01:22	2,16
2	206	No	2:05.050	34.747		

Fig. 7.3. Taula per calcular *Out_box*.

$$Out_box = Temps\ Sector\ 1(Box) - (Temps\ Sector\ 1(No\ Box) + Temps\ parada$$

(Ec. 7.2)

Després de realitzar la mitjana de les diferències, es pot concloure que $Out_box = 2{,}77\ s$.

7.1.4. Safety Car

Per saber quin és el temps per volta quan hi ha el Safety Car a pista, s'han utilitzat les dades d'alguna volta en aquestes condicions d'una edició anterior de la prova [9]. Depenen d'on estigui la motocicleta en el moment en que surten els cotxes de seguretat al circuit, el temps de la volta és pot veure afectat en tots els sectors o només en algun d'ells.

Volta	Temps per volta	Sector 1 [s]	Sector 2 [s]	Sector 3 [s]	Safety Car
391	2:01.438	32.716	46.757	41.965	No
392	1:59.951	32.944	47.405	39.602	No
393	3:09.502	52.060	1:17.179	1:00.263	Si
394	2:47.291	54.913	1:02.995	49.383	Si
395	2:00.998	34.482	47.290	39.226	No

Fig. 7.4. Temps per volta amb Safety Car

En la taula anterior, es pot observar que en les voltes 293 i 294 ha sortit el cotxe de seguretat a pista, i els temps per volta del pilot han augmentat molt. En les voltes precedents, 391 i 392, així com en la posterior, 395, el pilot torna a rodar al seu temps normal.

Realitzant la mitjana entre les dues voltes, 393 i 394, s'obté el temps per volta quan el SC entra a pista. Per tant, es pot concloure que: $T_SC = 178{,}4\ s$.

Per trobar el consum, s'utilitza el procediment explicat al capítol 3.2.

Amb les dades proporcionades per l'equip, es considerarà un consum estimat de: $C_SC = 0{,}65\ l/volta$.

7.1.5. Temps per volta

Per establir el temps per volta dels diferents pilots, s'utilitzan les dades que proporciona l'organització dels temps dels entrenaments [13]. En algunes voltes, el pilot entra a box, i per tant, per obtenir el temps de la volta (Ec. 7.3), s'haurà de restar la variable In_box .

$$T_V(i) = Temps\ per\ volta - In_box \qquad \text{(Ec. 7.3)}$$

El temps per volta serà la mitja (Ec. 7.4) del que ha realitzat als entrenaments.

$$T_V(i) = (\sum_{i=1}^{n} Temps\ per\ volta)/n \qquad \text{(Ec. 7.4)}$$

7.1.5.1. Pilot 1

Els temps per volta del pilot 1 són els següents:

Volta	Temps per volta	Entra a box
1	1:59.121	No
2	1:56.603	No
3	1:57.703	No
4	1:57.386	No
5	2:14.062	Si
6	2:11.471	Si

Fig. 7.5. Temps del pilot 1 als entrenaments.

$$T_V(1) = 119{,}007\ s$$

7.1.5.2. Pilot 2

Els temps per volta del pilot 2 són els següents:

Volta	Temps per volta	Entra a box
1	2:00.471	No
2	2:01.420	No
3	1:59.636	No
4	1:59.021	No
5	1:59.398	No
6	1:58.600	No
7	1:58.338	No
8	1:58.109	No
9	1:58.982	No
10	2:24.362	Si

Fig. 7.6. Temps del pilot 2 als entrenaments.

$$T_V(2) = 120,704\ s$$

7.1.5.3. Pilot 3

Els temps per volta del pilot 3 són els següents:

Volta	Temps per volta	Entra a box
1	2:02.108	No
2	1:58.183	No
3	2:00.412	No
4	2:00.671	No
5	1:56.803	No
6	1:56.460	No
7	1:58.122	No
8	2:10.070	Si

Fig. 7.7. Temps del pilot 3 als entrenaments.

$$T_V(3) = 118,941\ s$$

7.1.5.4. Pilot 4

Els temps per volta del pilot 4 són els següents:

Volta	Temps per volta	Entra a box
1	1:59.446	No
2	2:01.156	No
3	1:59.157	No
4	1:57.204	No
5	1:58.120	No
6	1:59.048	No
7	1:59.282	No
8	1:57.519	No
9	1:57.368	No
10	1:57.481	No
11	1:56.425	No

Fig. 7.8. Temps del pilot 4 als entrenaments.

$$T_V(4) = 118,342\ s$$

7.1.6. Consum de combustible

El valor del consum de combustible de cada pilot serà l'estimació que l'equip ha obtingut en els entrenaments.

Així, es consideraran els següents consums:

- Pilot 1: $C_1 = 0{,}809\ l/volta.$
- Pilot 2: $C_2 = 0{,}778\ l/volta.$
- Pilot 3: $C_3 = 0{,}812\ l/volta.$
- Pilot 4 $C_4 = 0{,}848\ l/volta.$

7.1.7. Temps de cada tipus de parada

El temps de parada en cada cas, s'extreu de les dades recopilades per l'organització. El valor escollit serà la mitjana.

7.1.7.1. Repostatge de combustible

Els temps de parada, són els següents:

Parada	Temps de parada	Parada	Temps de parada
1	0:01:02	8	0:00:47
2	0:00:56	9	0:00:48
3	0:01:00	10	0:00:52
4	0:01:22	11	0:00:45
5	0:00:57	12	0:00:56
6	0:01:25	13	0:00:53
7	0:00:51		

Fig. 7.9. Temps de la parada de repostatge de combustible.

$$T_C = 58\ s$$

7.1.7.2. Repostatge de combustible i canvi d'un pneumàtic

Els temps de parada, són els següents:

Parada	Temps de parada	Parada	Temps de parada
1	0:01:16	4	0:01:38
2	0:02:18	5	0:02:05
3	0:01:53	6	0:01:15

Fig. 7.10. Temps de la parada amb canvi del pneumàtic posterior.

$$T_1R = 104\ s$$

7.1.7.3. Repostatge de combustible i canvi dels dos pneumàtics

Els temps de parada, són els següents:

Parada	Temps de parada	Parada	Temps de parada
1	0:01:49	4	0:01:58
2	0:02:11	5	0:01:19
3	0:03:41		

Fig. 7.11. Temps de la parada amb canvi dels dos pneumàtics.

$$T_2R = 132\ s$$

7.1.8. Quotes de relleus dels pilots

Aquestes quotes s'han extret de l'edició on es simula la cursa per tal d'aconseguir el màxim realisme possible.

Els relleus van ser els següents:

Relleu	Pilot	Relleu	Pilot
1	3	14	2
2	4	15	3
3	1	16	2
4	2	17	1
5	3	18	4
6	4	19	3
7	1	20	2
8	2	21	1
9	3	22	4
10	2	23	3
11	1	24	2

12	2	25	1
13	1		

Fig. 7.12. Seqüència de relleus dels pilots.

Els últims 2 relleus [9], no es tindran en compte degut a que s'observa clarament que hi ha un canvi en el comportament de l'equip, ja que roden significativament més lents (fins a 5 segons) i realitzen menys voltes que en tots els altres relleus. En els relleus 24 i 25, realitzen 11 i 7 voltes menys respectivament que en un relleu habitual.

Per la simulació, s'utilitzaran les següents quotes:

- Pilot 1: $Q(P1) = 5$
- Pilot 2: $Q(P2) = 7$
- Pilot 3: $Q(P3) = 7$
- Pilot 4: $Q(P4) = 5$

7.1.9. Quotes de les parades a realitzar

Aquest equip, va utilitzar la següent seqüència de parades:

- Parada 1: Repostatge de combustible.
- Parada 2: Repostatge de combustible i canvi del pneumàtic posterior.
- Parada 1: Repostatge de combustible
- Parada 4: Repostatge de combustible i canvi dels dos pneumàtics.

Per tant, les quotes seran:

- Quota combustible: $Q(C) = 2$
- Quota combustible i pneumàtic davanter: $Q(D) = 0$
- Quota combustible i pneumàtic posterior: $Q(P) = 1$
- Quota combustible i dos pneumàtics: $Q(D\&P) = 1$

7.2. Condicions de la cursa

La simulació es realitzarà en les condicions existents a l'inicii de la cursa, considerant que la pista esta seca. Durant la disputa de la prova, l'equip no pateix cap averia i tampoc es para la cursa. L'únic fet imprevist ressenyable és que a les voltes 392 i 393 surt el cotxe de seguretat, però l'equip no aprofita per fer una parada i, per tant, no varia la seva estratègia.

Donat que el cotxe de seguretat està dues voltes a pista, es considera que només suposa un increment de temps de 116 s ($Increment = (temps\ SC - temps\ del\ pilot) * 2$.

Tenint en compte les possibles variacions de temps dels pilots i parades respecte els suposats durant les 24 hores, aquest increment de temps de 116 segons es considera irrellevant i, per tant, no es requeriria tornar a utilitzar el programa per definir una nova estratègia.

Tot i així, considerant el temps que necessita el programa per recalcular l'estratègia (30 segons), seria convenient que quan es realitzi un relleu, es torni a utilitzar l'aplicació introduït en quin estat es troba l'equip i el temps restant de cursa per comprovar que tot va segons la planificació inicial.

7.3. Resultats de la simulació

Amb les dades indicades anteriorment s'han obtingut els següents resultats:

7.3.1. Seqüència de relleus i parades

La seqüència és la següent:

Relleu	Pilot		Parada
1	Jorge	3	Combustible
2	Fernando	4	Pneumàtic Posterior
3	David	1	Combustible
4	Carlos	2	Pneumàtics 2 Rodes
5	Jorge	3	Combustible
6	Fernando	4	Pneumàtic Posterior
7	David	1	Combustible
8	Carlos	2	Pneumàtics 2 Rodes
9	Jorge	3	Combustible
10	Fernando	2	Pneumàtic Posterior

11	David	1	Combustible
12	Jorge	2	Pneumàtics 2 Rodes
13	Fernando	1	Combustible
14	Carlos	2	Pneumàtic Posterior
15	Jorge	3	Combustible
16	Fernando	2	Pneumàtics 2 Rodes
17	David	1	Combustible
18	Carlos	4	Pneumàtic Posterior
19	Jorge	3	Combustible
20	Fernando	2	Pneumàtics 2 Rodes
21	David	1	Combustible
22	Carlos	4	Pneumàtic Posterior
23	Jorge	3	Combustible
24	Fernando	2	Pneumàtics 2 Rodes
25	Jorge	1	

Fig. 7.13. Seqüència de relleus i parades.

7.3.2. Matriu d'estats i resultats de la política òptima

En l'annex B es mostren tots els estats amb el valors de les seves variables i a l'annex C els resultats de la política òptima a llarg termini, és a dir, per a cada estat, quin és el seu estat destí i el rendiment assocat a aquesta transició. A l'annex D, es mostra pels primers estats els càlculs iteratius que es realitzen per obtenir la política òptima.

La matriu de rendiments entre estats, no s'ha afegit a l'annex degut a la seva mida (982 files i columnes), però el fitxer d'Excel està inclòs al CD del projecte.

Les conclusions que es poden obtenir de la matriu d'estats és que s'han definit 982 estats diferents i que els pilots poden rodar entre 26 i 30 voltes, com a màxim, per relleu.

En els resultats de la política òptima, es pot observar que quan un pilot té la possibilitat de parar a box o continuar conduint, s'escull la segona opció, ja que així s'allarguen al màxim els relleus i disminueixen les parades a realitzar.

7.3.3. Resultats de l'estratègia

La simulació ha determinat que s'hauran de realitzar 25 relleus i 24 parades (Fig. 7.13)

I, com es pot veure en la taula següent, es realitzarien 702 voltes completes i encara restarien 82,29 segons per acabar la cursa. El temps per realitzar dues voltes és de 241,588 segons, així que no podrien completar una altre volta.

Nombre de l'etapa	Estat inicial	Estat final	Pilot	Voltes pilot	Voltes equip	Rendiment [s]	Temps restant [s]
350	12	13	Jorge	24	700	241,588	323,878
351	13	15	Jorge	26	702	241,588	82,29
352	15	17	Jorge	28	704	241,588	-159,298

Fig. 7.14. Taula amb les últimes 3 etapes realitzades.

Però, com ja s'ha explicat a l'apartat 7.2, la sortida del cotxe de seguretat suposaria perdre 116 segons, en conseqüència, es realitzarien 701 voltes.

Respecte als últims relleus, la simulació indica que s'hauria de seguir la programació inicial sense realitzar cap modificació, pel fet que es compleix la condició que l'últim pilot realitza més de 16 voltes.

A l'annex E, està inclosa la taula anterior amb totes les etapes i variables en detall.

7.4. Comparació dels resultats reals i els de la simulació

En l'edició simulada, l'equip va quedar el 10º classificat de tots els participants, i el 2º de la seva categoria (O-SBK). En total va completar 696 voltes i va realitzar 25 relleus.

El primer classificat de la seva categoria (Fig. 7.15) va realitzar 700 voltes i el tercer, 691 voltes. Aquesta diferència de voltes, explica que en els dos últims relleus el ritme de cursa

de l'equip sigues més baix que durant la resta de la prova, ja que no podien avançar als primers i la segona posició estava pràcticament assegurada.

El resultat obtingut de la simulació amb l'aplicació coincideix amb el resultat real en què s'han de realitzar 25 relleus de pilots, però hi ha un petit desajust en el nombre de voltes realitzades. Aquest diferencia de 5 voltes es pot explicar parcialment perquè en els dos últims relleus l'equip roda uns 5 segons més lents, el que implica que, en un relleu aproximat de 25-30 voltes, es perdria una volta.

24 HORES DE CATALUNYA

5-7 DE JULIOL DE 2013

24 Hores de Catalunya

Cursa **(Hora 24)**

Classificació Final

Pos	Nº	Pilots	Moto	Cl	Cat	Vlts	Dif 1er	Temps	Km/h
1	4	Checa / Ribalta / Tizón / Vallcaneras	YAMAHA YZF R-1 1000	EWC		746		**1'49.846**	154.9
2	5	Decarolis / Dumain / Ganfornina / Buisson	KAWASAKI ZX10R	SST1		714	32 Laps	**1'51.193**	153.0
3	59	Debroise / Lebail / Alexandre / Billega	YAMAHA YZF R-1	SST1		706	40 Laps	**1'54.615**	148.5
4	31	Feuilee / Morat / Durant / Godard	KAWASAKI ZX10R	SST1		703	43 Laps	**1'53.744**	149.6
5	10	Thiemann / Pfitzner / Krause / Gasteiger	SUZUKI GSXR K8 1000	O-SBK		700	46 Laps	**1'54.912**	148.1
6	91	Lambert / Decorde / Dubus / Cramer	KAWASAKI ZX10R	EWC		699	47 Laps	**1'55.042**	147.9
7	50	Pascal / Sérafin / Torchaussé / Yvin	BMW S1000RR	SST1		699	47 Laps	**1'54.217**	149.0
8	37	Predonzan / Lanziani / Brillat / Rambure	KAWASAKI ZX10R	SST1		697	49 Laps	**1'51.771**	152.3
9	24	Suard / Mourra / Bruno / Leroy	BMW S1000RR	SST1		696	50 Laps	**1'55.052**	147.9
10	99	Tsitos / Lamy / Pesselier / Portelada	BMW HP4	SST1		696	50 Laps	**1'53.935**	149.4
11	36	Jaen / Clariana / Clusellas / San Juan	KAWASAKI ZX-10	O-SBK		696	50 Laps	**1'56.223**	146.4
12	40	Lescuyer / Buffard / Buffard / Marielle	HONDA CBR RR	EWC		693	53 Laps	**1'54.086**	149.2
13	38	Fernández / Riutort / Ribelles / Dulcet	SUZUKI GSX R K10	O-SBK		691	55 Laps	**1'51.138**	153.1

Fig. 7.15. Classificació final proporcionada per l'organització [9].

En conseqüència, l'aplicació només difereix en 3 voltes de la realitat, és a dir, en un 0,43% de la voltes totals. Aquesta diferència es deguda a que els pilots han conduit més lents del que s'havia planificat inicialment.

Respecte les parades, s'haurien realitzat 12 parades on només s'hauria repostat combustible, 6 parades on a més del combustible s'hauria canviat el pneumàtic posterior i unes altres 6 parades on s'haurien canviat els dos pneumàtics.

8. Impacte mediambiental de l'aplicació d'aquest projecte

L'anàlisi del impacte mediambiental es farà a partir de les dades obtingudes en la simulació realitzada. La contaminació derivada d'aquesta activitat inclou els següents aspectes:

- Gasos de la combustió del motor: Els principals gasos contaminants produïts en la combustió són CO_2, CO, NOx i HC dels quals el més rellevant és el CO_2 [10]. Per cada litre de combustible consumit es produiran 2,22 kg de CO_2, per tant, donat que en total es consumiran 587 litres de combustible (25 relleus a 23,5 litres per relleu), el CO_2 alliberat a l'atmosfera durant aquestes 24 hores ascendirà a 1.303 kg.

- Pneumàtics utilitzats: S'utilitzaran 20 pneumàtics en total, 7 davanters i 13 posteriors, que hauran de ser tractats per la seva recuperació. Pel seu reciclatge es poden utilitzar els següents processos [11]:

- Termòlisis: Aquest sistema consisteix en sotmetre els pneumàtics a escalfament en un medi lliure d'oxigen que destrueix els enllaços químics. S'aconsegueixen recuperar els components originals dels pneumàtics.
- Incineració: Es produeix la combustió dels materials orgànics dels pneumàtics a altes temperatures. Es tracta d'un procés costos on es genera calor que s'utilitza per obtenir electricitat i que té l'inconvenient que genera gasos contaminants.
- Trituració mecànica: Es tracta d'un procés mecànic on els productes resultants s'utilitzaran en altres processos o aplicacions, com poden ser construcció de carreteres o aïllaments.

- Contaminació acústica: Serà com a màxim de 107 dB ja que així ho estableix el reglament [4].

- Contaminació lumínica: Donat que aquesta cursa està en marxa també tota la nit, el que no succeeix a altres curses.

9. Pressupost del projecte

El pressupost es desglossarà entre la remuneració de l'enginyer per les hores emprades, l'amortització dels actius que s'han utilitzat per realitzar l'aplicació, així com altres despeses diverses.

Desglossament de les hores d'enginyeria pressupostades:

Desglossament d'hores d'enginyeria		
Fase d'execució	**Hores(h)**	**Hores totals(h)**
Documentació:		
- Recull d'informació	30	
- Assistència a proves i entrenaments en circuit	20	
- Avaluació del problema i del programa a utilitzar	50	
		100
Disseny:		
- Disseny de l'aplicació	100	
- Plantejament de l'algoritme	150	
- Implementació a l'Excel	100	
		350
Redacció		90
Total hores		**540 h**

Taula. 9.1. Desglossament de les hores d'enginyeria.

Desglossament de les amortitzacions d'actius utilitzats:

Amortització d'actius				
Actiu	**Cost inicial**	**Anys amortització**	**Amortització anual**	**Amortització en el projecte**
Microsoft Office 2010	100 €	4 anys	25 €/any	12,50 €
Equips informàtics	750 €	4 anys	178,5 €/any	83,40 €
Total				**95,90 €**

Taula. 9.2. Amortització d'actius.

Càlcul de despeses:

Despeses d'enginyeria			
Fase d'execució	**Hores (h)**	**Preu unitari (€)**	**Total (€)**
Documentació	100	35	3500
Disseny	350	35	12.250
Redacció	90	35	3.150
Total			**18.900 €**

Taula. 9.3. Despeses d'enginyeria.

Despeses d'amortització	
Actiu	**Amortització (€)**
Microsoft Office 2010	12,50
Equips informàtics	83,40
Total	**95,90 €**

Taula. 9.4. Despeses d'amortització.

Despeses diverses	
Tipus de despesa	**Cost (€)**
Desplaçaments al circuit	30
Desplaçaments per consultes	20
Material d'oficina	30
Altres despeses	20
Total	**100 €**

Taula. 9.5. Despeses diverses.

Despeses totals	
Tipus de despesa	**Cost (€)**
Despeses d'enginyeria	18.900
Despeses d'amortització	95,9
Despeses diverses	100
Total	**19.095,9 €**

Taula. 9.6. Despeses totals.

Pressupost total	
Despeses totals	19.095,90 €
IVA vigent, 21%	4.010,14 €
Total	**23.106,04 €**

Taula. 9.7. Pressupost total.

El pressupost total del projecte ascendeix a **23.106,04 €**

Conclusions

Tal com es pretenia, en aquest projecte s'ha desenvolupat una aplicació que proporciona una planificació detallada d'una cursa de resistència de motociclisme per tal d'aconseguir realitzar el major nombre de voltes possible; aquesta planificació indica tant les diferents accions a realitzar com el moment en que l'equip les haurà de dur a terme.

És molt important la recollida de dades precises en els entrenaments previs a la cursa ja que, per obtenir una planificació òptima les dades inicials introduïdes han de reflectir fidelment el comportament real que tindrà la motocicleta.

Però, fins i tot, si no es disposa inicialment de dades prou fiables, l'aplicació permet anar reajustant aquestes dades al llarg de la cursa i recalcular l'estratègia tantes vegades com sigui necessari ja que realitza el càlcul molt ràpidament, en pocs segons. És a dir, en aquest cas, per tal de minimitzar l'error convindria anar recalculant periòdicament l'estratègia.

Té l'inconvenient de que degut a la limitada capacitat de càlcul del programa utilitzat (l'Excel) s'han hagut de reduir els estats que es defineixen amb la conseqüent distorsió sobre la realitat; per tant, una possible millora seria intentar optimitzar encara més l'aplicació i/o implementant-la en un altre programa amb major potència de càlcul.

Una altra millora o continuació d'aquest projecte seria fer l'aplicació capaç de recalcular l'estratègia automàticament en cas de que s'introduís alguna variació en les dades. D'aquesta manera, desprès d'obtenir la planificació inicial i una vegada començada la cursa, l'usuari encarregat de la planificació aniria introduint els temps que els pilots vagin realitzant i automàticament l'aplicació recalcularia l'estratègia.

Agraïments

En primer lloc, l'autor vol donar les gràcies al professor Miquel Sararols per la seva dedicació i suport en la realització d'aquest projecte.

També, agrair al professor Manel Mateo l'ajuda proporcionada envers el plantejament i resolució del problema.

Així mateix, l'autor vol agrair al professor del Institut Castellarnau Ramon Esteve tots els coneixements i experiència aportada sobre el funcionament de les 24 hores de Catalunya.

I finalment, expressar el reconeixement al suport i l'ajuda de la família durant la realització d'aquest projecte.

Bibliografia

9.1. Referències bibliogràfiques

[1] SUPERBIKES SCHOOL. *Informació del Circuit de Catalunya.*

http://www.superbikeschoolsrs.com/circuito-montmelo.html, 23 de setembre de 2014.

[2] CIRCUIT DE CATALUNYA. *Calendari de la prova.*

http://www.circuitcat.com/es/carreras/horarios.php?c=7&ed=177, 27 de setembre de 2014.

[3] CIRCUIT DE CATALUNYA. *Triptic informatiu de la cursa*.

http://www.circuitcat.com/documentos/carreras/triptic24hores2014ESP.pdf, 2 d'octubre de 2014.

[4] CIRCUIT DE CATALUNYA. *Reglament de la cursa.*

http://www.circuitcat.com/documentos/carreras/RP24HM14-ESPv3.pdf, 2 d'octubre de 2014.

[5] UPC, DEPARTAMENT D'ORGANITZACIÓ D'EMPRESES. *Programació dinàmica*.

http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15014282/md_tr_programacion_dinamica_2012_w-4418.pdf, 15 d'octubre de 2014.

[6] INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSAT RICA. *Programació en Excel*.

https://tecdigital.tec.ac.cr/revistamatematica/Libros/WMora_MetodosNumericos/WMora-ITCR-MetodosNumericos.pdf, 15 d'octubre de 2014.

[7] WIKIPEDIA. *Diagrames de fluxe*.

http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_flujo, 3 de desembre de 2014.

[8] FUNDIBEQ. *Diagrames de fluxe*.

http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/methodology/tools/diagrama_de_flujo.pdf, 3 de desembre de 2014.

[9] CIRCUIT DE CATALUNYA. *Classificació final de les 24h de Catalunya de 2013*.

http://www.circuitcat.com/documentos/carreras/24HoresdeCatalunya_Cursa_Hora24_BOOKLET.pdf, 9 de desembre de 2014.

[10] SUNEARTHTOOLS. *Calcular les emissions de CO_2*.

http://www.sunearthtools.com/tools/CO2-emissions-calculator.php, 15 de desembre de 2014.

[11] WASTE IDEAL. *Reciclatge dels pneumàtics.*

http://waste.ideal.es/neumaticos.htm, 15 de desembre de 2014.

[12] CIRCUIT DE CATALUNYA. *Resultats varis de les 24h de Catalunya de 2013*.

http://www.circuitcat.com/es/carreras/resultados.php?c=7&ed=162.php, 9 de desembre de 2014.