

Resum

En aquest projecte es fa una anàlisi i simulació del transport de formigó de l'empresa UNILAND, S.L., entre les plantes que té a Badalona, Vallcarca, Papiol i a la Zona Franca, cap a les respectives obres. Intenta trobar un sistema que permeti reduir costos a partir de la interacció de camions entre plantes i la gestió de les comandes.

A partir de l'anàlisi de les comandes servides a cada planta durant l'any 2003, s'obtenen les regressions que permeten generar aleatòriament les comandes diàries que s'han de servir a les obres. Tenint en compte el funcionament actual de les plantes i aquestes regressions es construeix el model base; i modificacions d'aquest model generen els altres tres. En aquests nous models s'hi planteja la possibilitat de què els camions interaccionin entre les plantes, que puguin abandonar la simulació, o que en les comandes hi pugui existir una alteració en l'ordre inicial planificat.

Tant els models, com les simulacions estan realitzades amb el programa Witness 2002 i els resultats obtinguts s'han analitzat amb el programa Witness XA 1.60. Simulant amb aquests models s'extreuen els resultats els quals indiquen que amb les millores proposades, es pot aconseguir una reducció de costos del 7 %. Malgrat aquest estalvi, això comporta un augment considerable del temps d'execució.





Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
1. INTRODUCCIÓ	5
1.1. Presentació i justificació del projecte	5
1.2. Objectius del projecte	5
2. DESCRIPCIÓ I ANÀLISI DE LES PLANTES	7
2.1. Les plantes	8
2.2. Les formigoneres.....	8
2.3. Les comandes	10
3. SIMULACIÓ I WITNESS 2002	12
3.1. Simulació	12
3.2. Witness 2002.....	12
3.2.1. Elements de Witness 2002	12
3.2.2. Obtenció de resultats	15
4. TRACTAMENT DE DADES	17
4.1. Comandes	19
4.2. Quantitat de formigó.....	20
4.3. Quilòmetres recorreguts	20
4.4. Hora de sortida i mètode de descàrrega.....	20
5. DESCRIPCIÓ GENERAL DELS MODELS	24
5.1. Composició de comandes	25
5.2. Assignació de viatges.....	26
5.3. Plantes, obres i formigoneres.....	29
6. MODEL 1: PLANTES INDEPENDENTS SENSE REORDENACIÓ DE VIATGES (MODEL ACTUAL)	31
6.1. Objectiu.....	31
6.2. Resultats.....	31
7. MODEL 2: PLANTES INDEPENDENTS AMB REORDENACIÓ DE VIATGES	33
7.1. Objectiu.....	33



7.2. Hipòtesis	33
7.3. Resultat	37
8. MODEL 3: INTERACCIÓ ENTRE PLANTES SENSE REORDENACIÓ DE VIATGES	41
8.1. Objectiu	41
8.2. Hipòtesis	41
8.3. Resultat	43
9. MODEL 4: INTERACCIÓ ENTRE PLANTES AMB REORDENACIÓ DE VIATGES	47
9.1. Objectiu	47
9.2. Hipòtesis	47
9.3. Resultat	49
10. COMPARACIÓ ENTRE ELS QUATRE MODELS	53
11. CONCLUSIONS	56
12. BIBLIOGRAFIA	57



1. Introducció

1.1. Presentació i justificació del projecte

Aquest projecte, és el primer pas d'un estudi més ampli presentat per a l'empresa UNILAND,S.L., on es busca una optimització total del seu sistema de transport i de gestió de comandes.

UNILAND,S.L. és un grup que consta de diverses activitats de negoci, totes elles relacionades amb el ciment. Es dedica a la producció de ciment, formigó i morter, així com també a l'extracció d'àrids. Però aquest projecte es centra en la producció de formigó. UNILAND,S.L. està fortament implantat a Catalunya amb 30 plantes de producció. Concretament, s'estudia l'agrupació de plantes que estan ubicades a: Papiol, Badalona, Vallcarca i Zona Franca.

En l'actualitat, aquestes quatre plantes, funcionen independentment i cadascuna s'encarrega de servir les comandes assignades. Tot el procés de rebuda de comandes i gestió d'aquestes es fa manualment per cada una de les plantes.

1.2. Objectius del projecte

El projecte, fa una anàlisi i simulació del transport de formigó entre les plantes que UNILAND,S.L. té a Badalona, Vallcarca, Papiol i a la Zona Franca cap a les respectives obres. Intenta trobar un sistema que permeti reduir els costos de transport, a partir de la interacció de camions entre plantes i la gestió de les comandes. Actualment en aquesta agrupació de plantes els camions no interaccionen entre elles, és a dir, un camió sempre serveix a una mateixa planta i no es planteja la possibilitat de canviar de planta. Aquest sistema fa que en determinades hores del dia, en algunes plantes, hi hagi cues i per tant, un camió que torna cap a la planta, ho ha de fer a la pròpia sabent que s' haurà d'esperar.

També s'incideix sobre l'ordre en què s'han de servir les comandes. El fet de modificar aquest ordre, pot permetre una reducció del cost del transport.

Es disposa de tres tipus de camions amb diferent cost cadascun. Per tant, no és el mateix fer un determinat viatge amb un camió o amb un altre.



Així doncs, l'objectiu d'aquest projecte és la comprovació que les alternatives proposades per la millora del transport comporten una reducció de costos i un millor aprofitament dels recursos disponibles.

Per aconseguir-ho s'han realitzat simulacions amb el programa Witness 2002 i posteriorment s'han extret els resultats amb el programa Witness XA 1.60. D'aquesta manera s'ha pogut quantificar la reducció dels costos de transport i obtenir un seguit de criteris a seguir.



2. Descripció i anàlisi de les plantes

Les quatre plantes estudiades es troben a la província de Barcelona i cadascuna produeix el formigó sense dependre de cap de les altres. En el següent mapa (Figura 2-1) es pot veure la seva ubicació. La primera es localitza al terme municipal del Papiol i s'hi accedeix per la AP-II. La planta de Badalona està ubicada al complex comercial de Montigalà, comunicat per la C-31 (antiga A-19). En canvi, la Planta de Vallcarca és de més difícil accés, ja que es troba a l'antiga carretera del Garraf; mentre que la planta de la Zona Franca és molt a prop de la Ronda del Litoral. Degut a la proximitat existent entre les quatre plantes mencionades UNILAND S.L. planteja la possibilitat que hi hagi una interacció entre elles.



Figura 2-1: Mapa de la ubicació de les plantes (font: www.viamichelin.com)



2.1. Les plantes

Una planta de formigó està formada per una zona de rebuda d'àrids i ciment i una zona de processament i càrrega. Els àrids es barregen amb aigua i diferents additius per tal de produir el formigó. Aquest és un producte que perd propietats a l'hora i mitja de ser produït, per tant no pot ser emmagatzemat i s'ha d'anar fabricant a mesura que es va servint.

El temps de càrrega dels camions en les plantes no és el mateix en totes elles, ja que no totes utilitzen la mateixa tecnologia. En les plantes del Papiol, Badalona i Vallcarca només es disposa d'una boca per fer la càrrega. En canvi, en la planta de la Zona Franca n'hi ha dues, la qual cosa permet carregar dues formigoneres alhora. L'estimació del temps de càrrega establert per cada boca és d'1 min/m³.

2.2. Les formigoneres

El repartiment del formigó es duu a terme amb les formigoneres, que porten el formigó des de les plantes directament a l'obra. Les plantes per les quals es realitza aquest estudi, UNILAND,S.L. compta amb un total de 97 formigoneres. No totes aquestes són propietat d'UNILAND,S.L., i es classifiquen de la següent manera, tal com es mostra en la Taula 2-1.

	Camions propis	Camions autònoms m ³	Camions autònoms hores	TOTAL
Camions de 6 m ³ de capacitat	23	45	23	91
Camions de 8 m ³ de capacitat	1	3	2	6
TOTAL	24	48	25	97

Taula 2-1: Nombre de camions disponibles per tipus i capacitat



Segons quin sigui el tipus de camió el cost varia. Tot seguit es descriuen els diferents costos:

Camions propis: Per aquest tipus de camions, el cost facilitat per l'empresa no és el que realment paga. És una estimació feta que inclou: el sou del conductor, el manteniment del camió i les despeses de transport repartit entre la quantitat de formigó que han transportat. Així, l'estimació del cost és de 9.26 €/m³.

Camions autònoms a m³: El cost d'aquest camió consta de les següents partides:

- Fix diari de 12.38 €.
- Un cost de 7.27 €/m³
- Un suplement de 1.26 €/m³, si es reparteix abans de les 7:00 i després de les 19:00 hores, o bé, els dissabtes.
- Una penalització de 0.77 €/km a partir dels 15 km., tant a l'anada com a la tornada.

Camions autònoms a hores: En aquest tipus de camions el cost és de 32.4 €/hora, treballant un mínim de 8 hores per dia.

Per entendre més clarament quin és el cost i poder fer una comparació entre els diferents preus dels tres tipus de camió es presenta la Taula 2-2, on es mostra el cost per dia. Es parteix del supòsit que cada camió té 6 m³ de capacitat i realitza 4 viatges amb una mitjana de 2 hores cada un, per tant, resulta una jornada de 8 hores de treball per cada camió.

Tipus de Camió	Camions propis	Camions autònoms a m ³	Camions autònoms a hores
€/dia	222.24	186,86	259.20

Taula 2-2: Estimació del cost de transport per dia

D'aquesta manera s'observa que si es fan treballar en horari normal, els més econòmics són els camions autònoms a m³, sempre que no hi hagi cap mena de penalització per temps o per quilometratge. En canvi els que resulten més cars són els camions autònoms a hores, mentre que els camions propis de l'empresa es queden en un terme mig.



Tot i aquesta diferència de cost entre les formigoneres, l'empresa no pot fer cap distinció entre elles, és a dir, no pot dedicar-se només a un tipus de camions, sobretot als autònoms, per fer un determinat tipus de viatges més desfavorables, ja que posteriorment tindria dificultats a l'hora de contractar-los de nou.

Un altre punt a tenir en compte pel que fa als camions, és que aquests, en l'operació de càrrega, han de respectar l'ordre d'arribada, per tant, el primer d'entrar sempre és el primer de sortir (FIFO)

2.3. Les comandes

Les comandes corresponen a diferents obres i es reben el dia abans per tal de poder fer una planificació. Aquesta planificació, la realitza cada planta a mesura que va rebent les comandes i tenint en compte la capacitat de producció d'aquestes. Segons explicacions donades per UNILAND S.L. tots els clients tenen la mateixa prioritat, tot i que, en certs casos n'hi ha de preferents. En l'anàlisi que s'ha fet no es contempla aquesta possibilitat i s'ha donat a totes les obres la mateixa prioritat.

Cada planta s'encarrega de rebre i servir les seves pròpies comandes. En cas de saturació es posen en contacte amb les altres plantes per tal de servir a un mateix client.

En l'anàlisi que es porta a terme en aquest projecte no s'incideix en la planificació global de les comandes, aquest estudi es realitzarà en un projecte posterior. El que si que es fa, són modificacions de la planificació ja existent de cada planta, per tal d'obtenir reduccions en el cost.

En totes les comandes hi ha de constar:

- Número de comanda.

És un número assignat a cada comanda per tal de ser identificada.

- Quantitat en m³ de formigó a servir.

Cada obra al realitzar una comanda especifica quina quantitat de formigó necessita i el tipus.



➤ Hora d'inici i mètode de descàrrega

També s'ha d'indicar a quina hora comença la descàrrega, així com el mètode utilitzat. Segons aquest, l'interval de sortida de camions variarà, ja que degut a la pèrdua de propietats del formigó a la hora i mitja d'haver-se produït, no interessa que s'estigui esperant a l'obra per ser descarregat.



3. Simulació i Witness 2002

3.1. Simulació

El sistema estudiat en aquest projecte s'ha considerat dinàmic, ja que tant les variables com els diversos elements utilitzats canvien al llarg del temps. També s'ha considerat estocàstic, perquè conté processos afectats per variables aleatòries. La dificultat d'analitzar aquests sistemes creix en augmentar el nombre de variables aleatòries.

Els models de simulació són adequats per analitzar els sistemes dinàmics, en els quals els elements presenten processos controlats per variables aleatòries i on es treballa amb moltes unitats de matèria simultàniament.

També permeten predir el comportament del sistema i avaluar-lo en unes determinades condicions, establir relacions entre magnituds i comparar diferents formes de funcionament.

Per realitzar la simulació el sistema s'ha de modelitzar i en aquest projecte els models realitzats responen a les següents característiques:

- Models aleatoris: models que contenen processos controlats per variables aleatòries.
- Simulació discreta: simulació de sistemes, l'estat dels quals només es modifica en instants de temps discrets.

Tenint en compte les característiques del sistema descrit, s'utilitza el programa Witness 2002 per realitzar la simulació. Aquest programa està disponible al departament d'Enginyeria Mecànica i ha estat utilitzat en d'altres projectes d'aquest departament i en el d'Organització d'Empreses. En el següent apartat s'explica breument quines són les eines que utilitza aquest paquet informàtic.

3.2. Witness 2002

3.2.1. Elements de Witness 2002

En aquest apartat es descriuen els elements de què disposa Witness 2002 i es donarà algun exemple de la seva utilització en els models realitzats en aquest projecte.



3.2.1.1. Elements físics

Els elements físics utilitzats del Witness 2002 són:

➤ Entitats, *Parts*

Les entitats són els elements de matèria que es mouen en el sistema i que poden patir transformacions. Aquests elements de matèria poden ser passius o actius. En el cas de ser passius, aquests arriben al sistema (sense limitacions de quantitat) quan són demanats i algun altre element del sistema (màquina, vehicle, cinta transportadora,...) els "estira". En el cas de ser elements actius, aquests entren en el sistema per ells mateixos en funció d'un temps entre arribades, dimensió de lot i un número màxim d'arribades determinades en la definició de l'element *Part*.

Les *parts*, en els models realitzats són els m³ de formigó.

➤ Magatzems o pulmons, *Buffers*

Són els elements on les entitats queden emmagatzemades, o a l'espera de ser "estirades". Aquests elements són passius: l'entrada i la sortida de matèria depèn dels elements que estiguin connectats al pulmó. Per aquests elements es pot definir la capacitat màxima, el tipus de retard o temps d'espera que s'aplica a les entitats que entren, així com l'ordre segons el qual les entitats entren o surten del pulmó (LIFO, FIFO).

Les diferents obres es representen mitjançant *buffers*.

➤ Màquines, *Machines*

Són elements físics que transformen les entitats a l'hora que les fan avançar en el sistema modelat. Les màquines tenen un temps de cicle associat, poden requerir operari o no, i també es poden definir temps de manteniment i torns de treball. Existeixen diferents tipus de màquines en funció del nombre d'entitats que entren o surten, o del nombre d'estacions de treball de les quals disposi.

Cada planta està representada per una *machine* i el seu temps de cicle equival al temps de preparació d'un m³ de formigó.

➤ Camins o rutes, *Tracks*

Són els elements que simulen els camins pels quals han de circular els vehicles. Per cada camí es defineix el número màxim de vehicles que poden circular-hi, així com



l'origen, el destí, les condicions i els temps de càrrega i descàrrega.

➤ *Vehicles, Vehicles*

Són els elements que transporten entitats d'una banda a l'altra. Es defineixen per a cada vehicle les condicions d'entrada, sortida i moviment. Aquestes últimes permeten introduir una velocitat diferent pel vehicle, depenent de si va carregat o descarregat.

Les formigoneres s'han modelitzat amb l'element *vehicle* i aquest utilitza *tracks* per circular-hi.

3.2.1.2. Accions i elements lògics

El programa disposa de les següents accions i elements lògics:

➤ Accions

Les accions permeten especificar regles lògiques en el model, així com realitzar els càlculs que es considerin necessaris. Aquestes accions poden fer-se al començar o l'acabar la tasca de qualsevol element.

➤ Atributs

Els atributs fixen les característiques de les entitats o vehicles i poden ser modificats al passar per un element físic del model.

En els models implementats s'han assignat atributs a les formigoneres per tal de diferenciar-ne el tipus i així poder atribuir-los un cost .

➤ Variables

Les variables són paràmetres que permeten emmagatzemar un valor que es pot modificar en qualsevol moment i en qualsevol element.

➤ Funcions

Witness 2002 disposa per defecte d'unes funcions predeterminades i ofereix la possibilitat de crear-ne de noves depenent de les necessitats de l'usuari.

Un exemple de funció creada per l'usuari és la funció que ordena les comandes per trobar el cost mínim.



3.2.1.3. Distribucions i variables aleatòries

En el programa Witness 2002 es poden utilitzar diferents distribucions estadístiques per modelar el comportament d'un sistema. Hi ha una sèrie de distribucions que ja estan definides en el simulador, però a més, permet a l'usuari crear les seves pròpies distribucions específiques, per tal d'aproximar-se més a la realitat.

A l'implementar una distribució s'han de donar els seus paràmetres característics i un número llavor que proporciona una mostra correcta.

Els números pseudo-aleatoris així generats tenen dues característiques principals:

- Són *independents*: Les mostres generades a partir de llavors diferents són independents. Aquest factor d'independència és important en la mesura que un esdeveniment no influeix en un altre.
- Són *reproduïbles*: Una sèrie de números aleatoris creada per una llavor sempre serà la mateixa. Això permet assegurar que les condicions d'aleatorietat seran les mateixes, podent canviar situacions en la simulació i així poder comparar resultats, fruit d'aquest canvi de situació.

3.2.2. Obtenció de resultats

Quan l'evolució de la simulació depèn de números pseudo-aleatoris, s'han de realitzar varis experiments i comparar els resultats obtinguts, ja que un únic experiment no dona resultats representatius del comportament general del sistema. Es defineix un experiment com l'execució de la simulació partint d'una llavor determinada de números pseudo-aleatoris. Experiments diferents corresponen a executar la simulació a partir de llavors diferents.

Experimentació

Com que un experiment no és suficient per treure conclusions sobre el comportament del sistema, Witness 2002 permet definir i executar un número determinat de vegades la simulació d'un model de forma automàtica, partint cada vegada d'una llavor diferent que donarà llistes de números pseudo-aleatoris independents en cada experiment. D'aquesta manera es pot fer un estudi estadístic dels experiments podent-ne treure conclusions vàlides.

Cada experiment realitzat amb els models d'aquest projecte s'ha simulat 20 vegades. Aquest nombre de rèpliques dona uns resultats estadístics satisfactoris. A partir de 20 repeticions els resultats no varien i per tant no és necessari realitzar més rèpliques.



3.2.2.1. Anàlisi dels resultats amb Witness 2002 XA

Witness 2002 XA és un programa que està inclòs en el paquet informàtic de simulació. Aquest programa serveix per interpretar els resultats obtinguts en el programa bàsic. Els resultats dels experiments s'exporten a un fitxer extern en què queden reflectits varis valors estadístics pels diferents paràmetres dels elements com poden ser la mitja, la mediana, la desviació tipus, així com diversos intervals de confiança.



4. Tractament de dades

Com s'ha mencionat en l'apartat anterior, per poder obtenir els diferents experiments cal realitzar varies simulacions dels models. Cada experiment ha de ser independent i per aconseguir-ho és necessari que les funcions que utilitza el model permetin una aleatorietat en el moment de generar cada experiment.

Per tant, en la implementació dels models cal fer una anàlisi de les dades de partida, per tal de poder obtenir diferents equacions de regressió que juntament amb els nombres pseudo-aleatoris s'obtinguin els diferents experiments.

Es parteix del llistat de viatges que van realitzar les formigoneres durant l'any 2003. En aquest llistat s'especifica la planta d'origen, la data i l'hora de sortida del camió, el número d'albarà, el número de l'obra i el seu nom, el tipus de formigó que es fa servir, la quantitat en metres cúbics, el tipus de camió que ha realitzat el servei i la distància en quilòmetres des de la planta fins a l'obra. Tot seguit en la Taula 4-1 es mostra part de l'arxiu enviat per UNILAND, on estan especificats tots els viatges realitzats durant l'any 2003 a les plantes del Papiol, Badalona, Vallcarca i la Zona Franca; la resta de l'arxiu es pot consultar en l'Annex D.

PLAN_ALB	FEC_ALB	HOR_ALB	ALBAR	OBRA	OBRNOM	FAM	CANT	UM	FLOTA	KM
Papiol	02-gen-03	08:09	17044748	109320	OBRES VARIES CANALITZ. -BAIX LLOBREGAT	HOR	6	M3	EXT	20
Papiol	02-gen-03	10:14	17044752	109320	OBRES VARIES CANALITZ. -BAIX LLOBREGAT	HOR	6	M3	EXT	20
Papiol	02-gen-03	14:44	17044760	131253	*C/EIXAMPLE - CASTELLBISBAL-	HOR	6	M3	EXT	6
Papiol	02-gen-03	10:58	17044754	140363	C/GENERAL CASTAÑOS-MOLINS DE REI-	HOR	2	M3	EXT	5

Taula 4-1: Base de dades proporcionat per Uniland



Un cop classificats i agrupats els viatges per dies i obres s'obté informació sobre la quantitat en m³ per dia, els quilòmetres recorreguts, el nombre de comandes per dia, així com el tamany d'aquestes. En l'Annex B.1 es pot consultar l'algorisme implementat mitjançant una macro de Microsoft Excell per obtenir aquestes dades. Tot seguit a les Taules 4-2, 4-3, 4-4 i 4-5 mostren els valors estadístics més representatius de l'anàlisi de les dades per cadascuna de les plantes.

PAPIOL	Mitja	Desviació
m ³ /dia	289,30	114,99
Comandes	14,26	5,04
km	10,22	4,53
m ³ /comanda	20,14	27,96

Taula 4-2 Valors estadístics per a la planta del Papiol

BADALONA	Mitja	Desviació
m ³ /dia	685,60	234,34
Comandes	29,08	10,88
km	7,16	4,17
m ³ /comanda	23,47	35,10

Taula 4-3 Valors estadístics per a la planta de Badalona



VALLCARCA	Mitja	Desviació
m ³ /dia	391,40	144,16
Comandes	12,25	4,32
km	19,06	9,26
m ³ /comanda	31,84	42,69

Taula 4-4 Valors estadístics per a la planta de Vallcarca

ZONA FRANCA	Mitja	Desviació
m ³ /dia	961,48	366,43
Comandes	27,31	11,45
km	8,60	3,81
m ³ /comanda	34,95	65,31

Taula 4-5 Valors estadístics per a la planta de la Zona Franca

Com s'observa en els valors obtinguts existeix una gran dispersió de les dades. Aquest fet provoca que s'hagi d'anar amb molta cura a l'hora de fer les regressions i obtenir les equacions amb les quals es generaran els experiments. Per aquest motiu, a l'hora de definir el nombre de comandes, els m³/dia i els quilòmetres recorreguts, s'ha fet mitjançant gràfiques de les dades i obtenint posteriorment les equacions de regressió.

4.1. Comandes

La determinació del nombre de comandes s'ha fet tenint en compte totes les comandes diàries que hi ha hagut durant l'any 2003. Tots els valors s'han ordenat i després se n'han fet gràfiques, d'aquesta manera s'ha extret l'equació del polinomi que s'apropa més a tots els punts.



Així, a l'hora d'obtenir els diferents experiments a partir del número pseudo-aleatori i de l'equació de regressió definida es determina el nombre de comandes en un dia. Aquest estudi s'ha fet per cadascuna de les quatre plantes. Les equacions, així com també les gràfiques obtingudes es poden consultar a l'Annex A.1. En totes les plantes la funció que s'apropa a tots els punts ha hagut de ser definida per parts, per tal d'obtenir un ajustament més òptim.

4.2. Quantitat de formigó

Un cop determinat el nombre de comandes que ha de servir cada planta s'ha d'assignar la quantitat de formigó que la forma. Analitzant totes les comandes servides durant l'any 2003, es determina quines han estat les quantitats de formigó servides en cada comanda per cadascuna de les plantes. Posteriorment s'ha fet el gràfic d'aquestes quantitats agrupades segons el nombre de comandes. Així s'ha pogut determinar regressions de les quantitats de formigó en funció del nombre de comandes. De manera que, per cada experiment i determinat el nombre de comandes que el formen, el model en pot calcular els metres cúbics. Les gràfiques i les equacions de regressió es poden consultar en l'Annex A.2.

4.3. Quilòmetres recorreguts

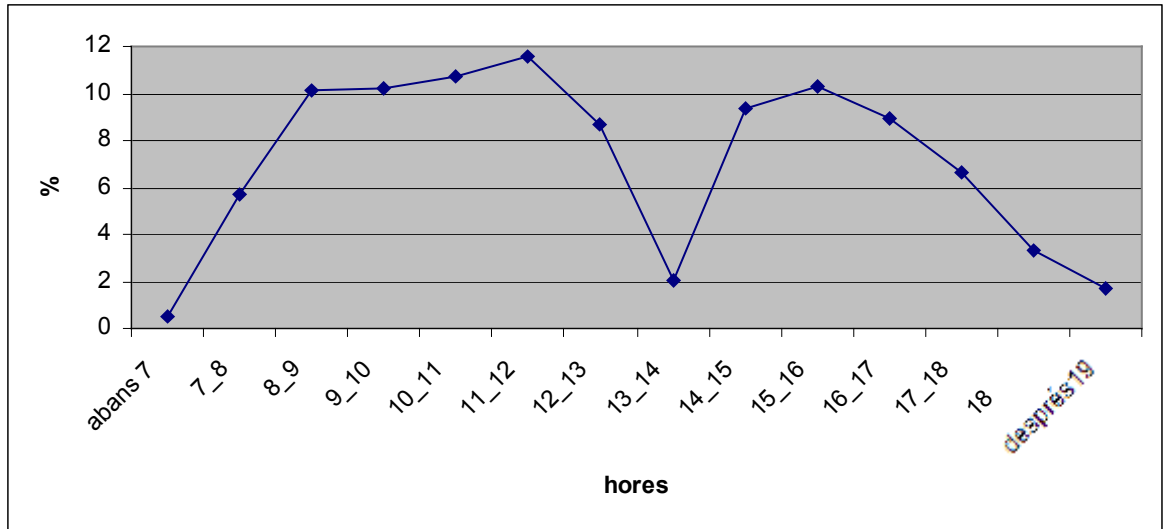
A partir de l'anàlisi de les dades subministrades per UNILAND, també s'extreu la distància entre plantes i les seves respectives obres. Per tal que cada comanda tingui una distància determinada i aquestes intentin reflectir el que passa en la realitat, s'han estudiat les distàncies recorregudes per les formigoneres durant l'any 2003 i s'han extret les distribucions en forma de percentatges. A partir d'aquests percentatges, cada comanda, en cadascun dels experiments, pot generar la distància a recórrer per les formigoneres. En l'Annex A.3 es mostren aquests percentatges i les agrupacions quilomètriques que s'han establert.

4.4. Hora de sortida i mètode de descàrrega

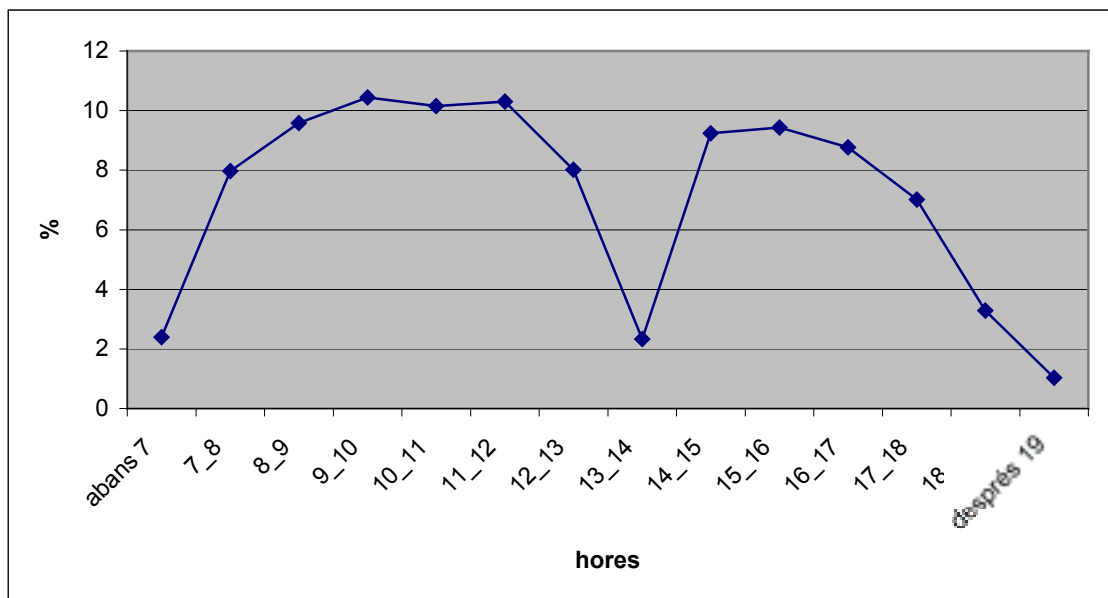
A cada comanda s'hi assigna una hora de sortida i aquesta s'extreu analíticament. Cal remarcar que, a l'estar realitzant una simulació no es pot fer un filtrat de les comandes per tal d'evitar que es superposin, com passa en la realitat. Per tant, el fet de no poder escollir les comandes i haver-les d'acceptar tal i com es van generant, fa que hi hagi moments crítics a l'hora de servir, i per aquest motiu la simulació dura més temps.



Per tal d'assignar l'hora de sortida de cada comanda, s'ha fet un estudi de les hores en què hi ha més activitat. En les gràfiques 4-1, 4-2, 4-3, 4-4 es pot veure quines han estat les distribucions dels m³ servits al llarg d'un dia.

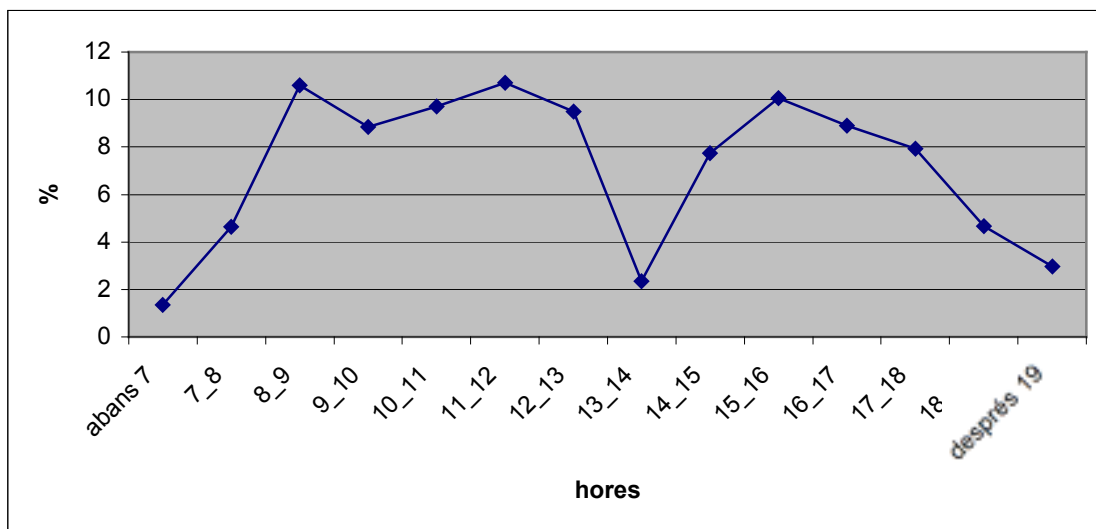


Gràfica 4-1: Percentatge de formigó servit segons hora a la planta del Papiol

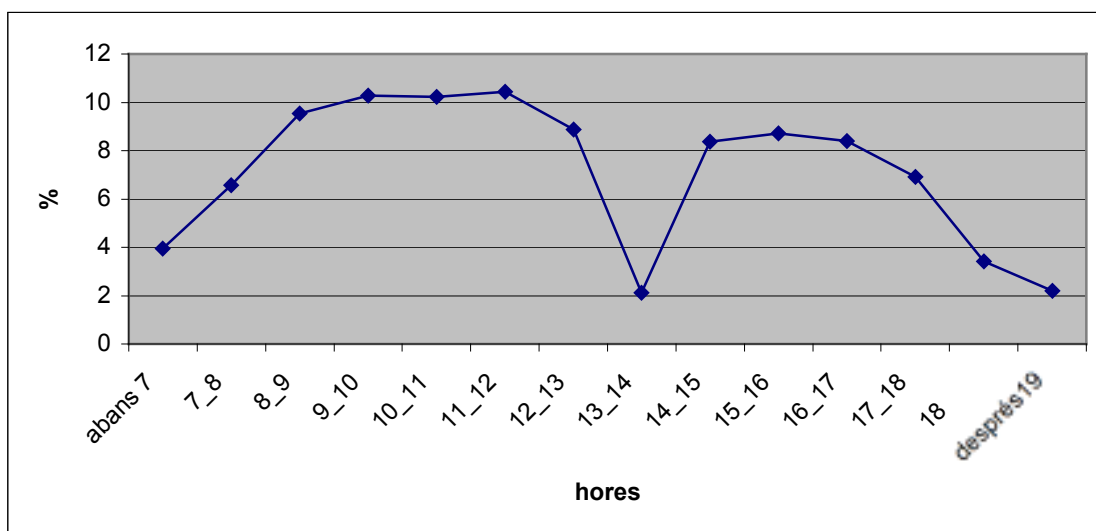


Gràfica 4-2: Percentatge de formigó servit segons hora a la planta de Badalona





Gràfica 4-3: Percentatge de formigó servit segons hora a la planta de Vallcarca



Gràfica 4-4: Percentatge de formigó servit segons hora a la planta de la Zona Franca

Com es pot observar el gruix de la feina a totes les plantes es concentra a les primeres hores del matí, a partir de les 8 hores; mentre que al migdia, de les 13 a les 14 hores, coincidint amb l'hora de dinar, hi ha una forta davallada de producció; tot i que a les 14 hores el ritme es torna a recuperar, però a mesura que avança la tarda, aquest va disminuint.

Per tant, a l'hora de distribuir les comandes al llarg del dia, es té en compte la quantitat de formigó de cada comanda, per tal d'ajustar el model al ritme de producció de cada planta.



Pel que fa el temps de descàrrega de les formigoneres a les diferents obres, depèn del mètode que s'utilitzi. Segons dades facilitades per UNILAND S.L. tant els temps de descàrrega, com la seva distribució percentual establerta, es mostren en la Taula 4-6.

Mètode de descàrrega	Temps (min)	% d'utilització
Directa	15	15
Grua mòbil	45	5
Grua obra fixa	60	23
Dúmper	15-30	5
Bomba	10	32
Retroexcavadora	30	2
Mini-retro	30-45	2
Pilotatges	15-30	12
Carretó	60-90	4

Taula 4-6 Distribució i temps de descàrrega a les obres



5. Descripció general dels models

Per tal de poder obtenir una millora dels recursos disponibles i una reducció dels costos, s'han implementat quatre models diferents. En cadascun d'aquests s'hi plantegen diferents alternatives per aconseguir l'objectiu marcat.

Tots els models proposats parteixen de la mateixa configuració:

- Generació de comandes.
- Assignació de viatges.
- Planta i obres.

És en aquest tercer punt, en el transport de la planta a l'obra, és on hi ha les principals diferències entre els models per tal d'aconseguir millores.

Model 1. Plantes independents sense reordenació de viatges:

Aquest model representa el funcionament actual de les quatre plantes i serveix per fer les comparacions amb els models que es proposen en aquest projecte. Cada planta de formigó serveix les seves pròpies comandes i té assignat un cert nombre de camions, depenent de la producció. No hi ha interacció de camions entre les plantes. Les comandes són servides segons l'hora de sortida.

Model 2. Plantes independents amb reordenació de viatges:

En aquest model s'ha fet una modificació en l'ordre a l'hora de servir les comandes, ja que segons el camió, la quantitat de formigó transportat i el quilometratge fins a l'obra, el cost pot variar.

Model 3. Interacció entre plantes sense reordenació de viatges:

Aquest model torna a ser una variació del primer, on el que es planteja, és que els camions puguin interaccionar entre les plantes, és a dir, un camió assignat a primera hora a una planta, pugui segons la demanda, anar a una altra planta i per tant evitar les cues.



L'hora d'inici de la simulació es considera a les 6 del matí, tot i que segons l'horari oficial facilitat per l'empresa és a les 7 hores. Això és degut a que existeixen obres que exigeixen obrir una planta abans d'hora. El mateix passa a l'hora de finalitzar el treball de les plantes, segons l'horari; és a les 19 hores, però aquestes han de romandre obertes fins que no s'hagin servit totes les comandes i l'últim camió hagi tornat a alguna de les plantes.

5.2. Assignació de viatges

A partir de les comandes es generen els viatges. Per fer-ho es parteix de la premissa que les formigoneres no poden fer cua a l'hora de descarregar a l'obra. Per tant, l'interval de sortida de les formigoneres de la planta a una mateixa obra ha de ser el temps de descàrrega a aquesta.

S'ha considerat que cada formigonera té una capacitat de 6 m^3 , ja que del total de 97 camions disponibles, només 6 tenen capacitat per transportar-ne 8 m^3 . D'aquesta manera el cas que s'estudia és el més desfavorable.

La velocitat dels camions ha estat establerta en 40 km/h, segons les dades facilitades per l'empresa i la naturalesa dels viatges, que poden ser: per ciutat, interurbans i per carretera.

A partir d'aquí, es generen tots els viatges de manera seqüencial, és a dir, per cada planta es busca l'obra que s'ha de servir abans i passa a ser el primer viatge. A continuació es comprova si s'ha de servir més formigó en aquesta obra. En cas afirmatiu, aleshores s'actualitza l'hora de sortida d'aquest viatge, sumant-li el temps de descàrrega i es torna a buscar l'obra que s'ha de servir en primer lloc. Quan en una obra s'ha servit tot el formigó la comanda s'anul·la i surt del procés de cerca.

A la Figura 5-2 es mostra un exemple de la generació de viatges per una determinada planta. Cada fila representa un viatge, on a la primera columna hi ha indicat el número d'obra a la qual pertany, a la quarta columna l'hora límit que té el camió per fer la seva sortida, a la cinquena columna s'indica els metres cúbics que falten per portar d'aquella mateixa obra i a la última columna s'hi mostra els metres cúbics que porta el camió en aquell viatge. La segona i la tercera columna es van omplint un cop ha començat la simulació i informen de quins han estat els temps reals en què les formigoneres han efectuat les seves sortides i quines són les diferències amb els temps que tenien assignats.

Els camions poden sortir 20 minuts abans de l'hora establerta per tal de poder servir comandes demanades a la mateixa hora, així doncs, es pot dir que existeix una certa flexibilitat a l'hora de sortida de camions de planta cap a l'obra. La possibilitat d'aquesta

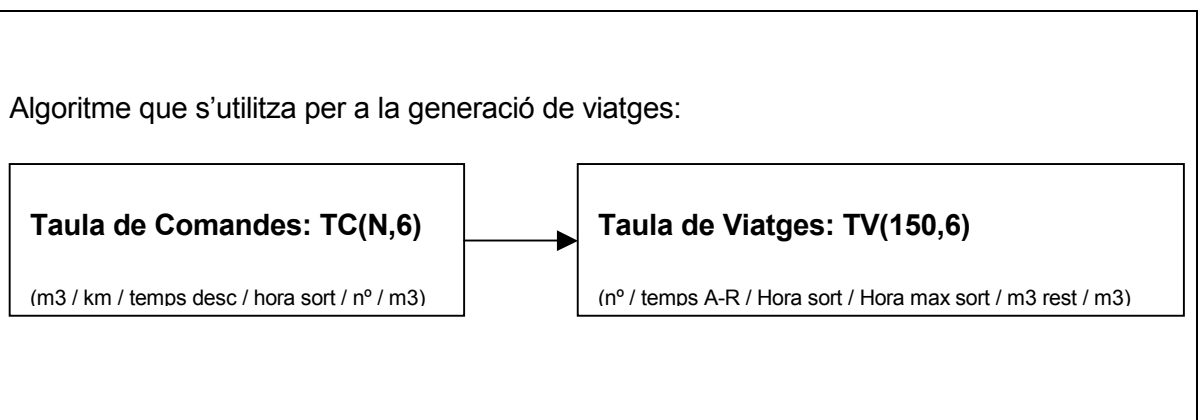


anticipació està acceptada per les diferents obres.

VIATGES						CAMIO
Comanda	Temps avanç/retard	Hora Sort	Hora max sort	m3 restants	m3 viatge	
15.0	1679.0	649.0	2328.0	0.0	2.0	exth(1)
5.0	1439.9	2292.0	3731.9	6.0	6.0	exth(2)
2.0	1439.9	2753.0	4192.9	5.0	6.0	exth(3)
12.0	0.0	0.0	5093.8	1.0	6.0	NONE
2.0	0.0	0.0	5542.9	0.0	5.0	NONE
12.0	0.0	0.0	5693.8	0.0	1.0	NONE
1.0	0.0	0.0	6442.3	35.0	6.0	NONE
5.0	0.0	0.0	7331.9	0.0	6.0	NONE
1.0	0.0	0.0	10942.3	29.0	6.0	NONE
7.0	0.0	0.0	11208.3	3.0	6.0	NONE
7.0	0.0	0.0	12558.3	0.0	3.0	NONE
6.0	0.0	0.0	13581.7	0.0	4.0	NONE
10.0	0.0	0.0	14403.6	0.0	4.0	NONE
1.0	0.0	0.0	15442.3	23.0	6.0	NONE
11.0	0.0	0.0	15992.9	15.0	6.0	NONE
11.0	0.0	0.0	16892.9	9.0	6.0	NONE
11.0	0.0	0.0	17792.9	3.0	6.0	NONE
11.0	0.0	0.0	18692.9	0.0	3.0	NONE
4.0	0.0	0.0	19573.6	38.0	6.0	NONE
1.0	0.0	0.0	19942.3	17.0	6.0	NONE
4.0	0.0	0.0	20173.6	32.0	6.0	NONE
4.0	0.0	0.0	20773.6	26.0	6.0	NONE
4.0	0.0	0.0	21373.6	20.0	6.0	NONE
4.0	0.0	0.0	21973.6	14.0	6.0	NONE
4.0	0.0	0.0	22573.6	8.0	6.0	NONE
4.0	0.0	0.0	23173.6	2.0	6.0	NONE
4.0	0.0	0.0	23773.6	0.0	2.0	NONE
1.0	0.0	0.0	24442.3	11.0	6.0	NONE
14.0	0.0	0.0	25266.6	0.0	2.0	NONE
3.0	0.0	0.0	25965.0	18.0	6.0	NONE
8.0	0.0	0.0	26335.4	0.0	3.0	NONE
3.0	0.0	0.0	26555.0	12.0	6.0	NONE

Figura 5-2: Viatges generats per una determinada planta

Tot seguit en el requadre següent es mostra l'algoritme utilitzat en els models per a la generació dels viatges.



Algoritme**Inicialització de les variables.****TC(N,6):** (N és el número de comandes rebudes): generada aleatòriament**TCAUX(1,6):** Es copia la primera fila de TC

$$\text{Quant} = \sum_{i=1}^N TC(i,6)$$

$$Y = 2$$

$$X = 1$$

Mentre Quant \leq 0 **fer****TCAUX = TC** (Es copia la primera fila de TC a TCAUX)**Mentre** Y \leq N **fer****Si** TC(Y,4) < TCAUX(1,4) \rightarrow fila Y de TC substitueix TCAUXTC(Y,4) \geq TCAUX(1,4) $\rightarrow \phi$ **Fsi**

$$Y = Y + 1$$

Fmentre

$$Y = 2$$

$$TV(1,X) = TCAUX(5,1) \quad (\text{n}^\circ \text{ de comanda})$$

$$TV(4,X) = TCAUX(4,1) \quad (\text{hora de sortida màxima})$$

$$\text{Si } TCAUX(1,1) < 6 \rightarrow TV(6,X) = TCAUX(1,1) \quad (\text{m}^3 \text{ del viatge})$$

$$\text{Quant} = \text{Quant} - TCAUX(1,1)$$

$$TC(1,TV(1,X)) = TC(1,TV(1,X)) - TCAUX(1,1)$$

$$TCAUX(1,1) \geq 6 \rightarrow TV(6,X) = 6 \quad (\text{m}^3 \text{ del viatge})$$



$$TV(5,X) = TCAUX (1,1) - 6 \quad (\text{m3 restants})$$

$$\text{Quant} = \text{Quant} - 6$$

$$TC(1,TV(1,X)) = TC(1,TV(1,X)) - 6$$

Fsi

$$\text{Si } TC (1, TV(1,X)) = 0 \rightarrow TC (4,TV (1,X))=99999$$

(Comanda totalment servida, anul·lem la comanda)

$$TC (1, TV(1,X)) \neq 0 \rightarrow TC (4,TV(1,X)) = TC (4,TV(1,X)) + TC(3,TV (1,X))$$

Fsi

$$X = X + 1$$

Fmentre

En l'Annex B.2 es pot veure el codi utilitzat per a la generació dels viatges.

5.3. Plantes, obres i formigoneres

En les simulacions cada obra està representada per un camí d'anada i un de tornada, per on es mou la formigonera i un pulmó que representa l'obra on el camió fa la descàrrega.

Les plantes estan representades per: un generador de parts (on cada element representa 1m^3 de formigó), un pulmó i una màquina. També disposen d'un camí que fa de pàrking; en la Figura 5-3 es mostren els elements que configuren la planta del Papiol.

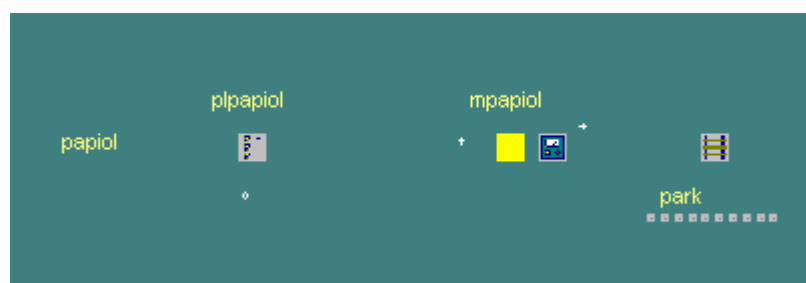


Figura 5-3: Model de la planta del Papiol



Les formigoneres s'assignen al començar la simulació tenint en compte la quantitat en m³ de formigó que ha de servir cada planta. També s'utilitza la suposició, segons dades facilitades per l'empresa, que cada formigonera fa una mitja de 5 viatges al dia i que cada formigonera té una capacitat de 6 m³ per viatge. Així doncs, el nombre inicial de camions assignats per cada planta s'obté de la següent manera: (Eq. 5.1).

$$n^{\circ} \text{ camions} = \frac{m^3 \text{ formigó} / \text{dia}}{n^{\circ} \text{ viatges} / \text{dia} * m^3 \text{ formigó} / \text{viatge}} \quad (5.1)$$

Un cop sabut el nombre de camions es determina el tipus de camió. Per fer-ho s'ha analitzat el percentatge de camions utilitzats per cada planta segons el seu tipus i s'ha aplicat directament en el model. A la Taula 5-1 es mostra la distribució de les formigoneres segons el tipus, per cadascuna de les plantes.

	Planta Papiol	Planta Badalona	Planta Vallcarca	Planta Zona Franca
Propis	20%	16%	20%	35%
Autònoms a m³	40%	66%	47%	40%
Autònoms a hores	40%	18%	33%	25%

Taula 5-1 Percentatge del tipus de camió utilitzats en cada planta



6. Model1: Plantes independents sense reordenació de viatges (model actual)

6.1. Objectiu

Aquest model intenta reflectir el funcionament actual de les quatre plantes. Serveix per a comparar els resultats amb la resta de models plantejats i veure les millores. Cada planta funciona independentment de les altres, és a dir, subministra amb els seus propis camions les comandes rebudes.

6.2. Resultats

Per a fer l'anàlisi de resultats s'han realitzat 20 simulacions. S'ha observat que pel fet de fer-ne més, les dades obtingudes no varien significativament. A partir d'aquestes simulacions s'extreuen els següents resultats.

Pel que fa als costos mitjos dels diferents tipus de camió, tal i com mostra la Taula 6-1, se n'obtenen les següents dades:

	Mitja	Desviació	Interval confiança (95 %)	
Camions propis	3535,01	734,57	2948,86	4121,15
Camions autònoms a m³	6344,88	1038,72	5423,70	7266,06
Camions autònoms a hores	5741,57	1200,48	4641,83	6841,32
Total	15621,46	2759,10	13157,09	18085,83

Taula 6-1 Costos mitjos

El temps mig per realitzar la simulació ha estat de 66886 segons, és a dir, 18 hores i 35 minuts. Representa el temps transcorregut des de les 6 del matí fins a l'arribada de l'últim camió en el conjunt de les quatre plantes.

També s'han obtingut dades referents al nombre mig de camions a les plantes, el qual



permet veure en quin estat es troba cada planta (Taula 6-2).

	Mitja	Desviació	Interval confiança (95 %)	
Pàrking Papiol	3,28	1,70	2,48	4,07
Pàrking Badalona	13,01	3,35	11,45	14,58
Pàrking Vallcarca	3,69	1,8	2,85	4,53
Pàrking Zona Franca	11,39*	4,49	9,29	13,49

* aquest valor és per a tota la planta, és a dir, si es consideren les dues boques de càrrega que hi ha, el nombre mitjà de vehicles es redueix a la meitat.

Taula 6-2 Camions en les plantes

Es veu que la planta de Badalona té un excés de vehicles important, aproximadament el triple de camions per boca que la resta de les plantes.



7. Model 2: Plantes independents amb reordenació de viatges

7.1. Objectiu

En aquest model, a partir d'una variació en l'ordre dels viatges, es busca una reducció del cost. El canvi consisteix en aprofitar la diferència de preu que existeix entre els tres tipus de camió, ja sigui pel preu per m³ o pel preu per quilòmetre; perquè segons com sigui el viatge és més barat. Aquesta modificació no comporta cap variació en els camions, ja que només afecta els viatges programats a l'inici de la simulació.

7.2. Hipòtesis

Es parteix de la premissa que la cua de camions en les plantes és inalterable, per tant l'única modificació possible és en l'ordre de les comandes. En aquest cas, es fa un càlcul del cost de totes les combinacions possibles entre els viatges i els tipus de camions disponibles en aquell moment, i s'escull la millor opció.

Aquesta alteració pot comportar algun retard, ja que un viatge que hagi de sortir en primer lloc, pot quedar posposat per més tard. Per aquest motiu, el model plantejat només altera l'ordre de tres viatges. És a dir, el model selecciona tres viatges consecutius, calcula el cost amb totes les combinacions possibles, tenint en compte els diferents tipus de camions que hi ha en aquell moment a la cua, i escull l'opció que representa el mínim cost. No és fins que s'han servit aquests viatges que el model agafa els tres següents viatges per tornar a establir un nou ordre. Tot seguit es mostra l'algoritme utilitzat per ordenar les comandes, així com l'explicació de la Taula 7-1 sobre el funcionament d'aquest.



Taula de viatges TV(150,6)

(nº / temps A-R / Hora sort / Hora max sort / m3 rest / m3)

Taula auxiliar de viatges TVAUX(4,6)

(nº / temps A-R / Hora sort / Hora max sort / m3 rest / m3)

Algoritme**Inicialització de variables**

Copiar els 3 primers viatges de TV a TVAUX

Mentre no final(tvaux) fer

CalculCost (TVAUX, CUA, COST)

Cost_total=cost

Opcio = 0

Nou_Ordre1 (TVAUX)

CalculCost (TVAUX, CUA, COST)

Si Cost < Cost_total → Opcio= 1

Cost_total = Cost

Cost ≥ Cost_total → ϕ **Fsi**

Nou_Ordre2 (TVAUX)

CalculCost (TVAUX, CUA, COST)

Si Cost < Cost_total → Opcio= 2

Cost_total = Cost

Cost ≥ Cost_total → ϕ 

Fsi

Nou_Ordre3 (TVAUX)

CalculCost (TVAUX, CUA, COST)

Si Cost < Cost_total → Opcio= 3

Cost_total = Cost

Cost ≥ Cost_total → ϕ **Fsi**

Nou_Ordre4 (TVAUX)

CalculCost (TVAUX, CUA, COST)

Si Cost < Cost_total → Opcio= 4

Cost_total = Cost

Cost ≥ Cost_total → ϕ **Fsi**

Nou_Ordre5 (TVAUX)

CalculCost (TVAUX, CUA, COST)

Si Cost < Cost_total → Opcio= 5

Cost_total = Cost

Cost ≥ Cost_total → ϕ **Fsi****Si** opcio = 0 → Nou_ordre0 (TVAUX)

opcio = 1 → Nou_ordre1 (TVAUX)

opcio = 2 → Nou_ordre2 (TVAUX)



opcio = 3 → Nou_ordre3 (TVAUX)

opcio = 4 → Nou_ordre4 (TVAUX)

opcio = 5 → Nou_ordre5 (TVAUX)

Fisi

Fimentre

Funcio final (TVAUX) retorna boolea

Si TVAUX(1,1) = 0 → retorna cert

TVAUX(1,1) ≠ 0 → retorna fals

Fsi

Fifuncio

L'acció de Nou_OrdreX obté en TVAUX les combinacions proposades en la taula 6.1.

L'acció Cost s'obté a partir dels vehicles que hi ha a la planta i les comandes que hi ha en TVAUX.



Alteració de l'ordre de les comandes				
<i>Posició del camió a la cua</i>	Camión 1	Camión 2	Camión 3	<i>Suma de costos segons el tipus de camió i el viatge</i>
<i>Combinacions possibles entre tres viatges</i>	Viatge 1	Viatge 2	Viatge 3	Cost 1
	Viatge 1	Viatge 3	Viatge 2	Cost 2
	Viatge 2	Viatge 1	Viatge 3	Cost 3
	Viatge 2	Viatge 3	Viatge 1	Cost 4 *
	Viatge 3	Viatge 1	Viatge 2	Cost 5
	Viatge 3	Viatge 2	Viatge 1	Cost 6

* Cost mínim.

Taula 7-1: Combinacions per determinar l'ordre de les comandes

Un cop sabuts els costos, es busca el mínim i s'escull la combinació. A la taula resulta ser la combinació 4.

El codi utilitzat per a ordenar les comandes es pot consultar a l'annex 12.6. Aquest sub-programa s'executa cada cop que s'ha de carregar un camió en una planta.

7.3. Resultat

Aquest mètode per a ordenar les comandes fa que el procés s'allargui. El fet d'ordenar només tenint en compte el cost, pot deixar per més tard un viatge que s'ha de servir en primer lloc. Si l'ordre proposat estableix que un viatge ha de ser el primer en sortir i la seva hora de sortida és posterior a la dels altres viatges, aquest no sortirà fins l'hora que té establerta. Així doncs, es pot donar el cas que per fer el primer viatge s'hagi d'esperar, ja que no s'ha assolit l'hora fixada, i per tant, demorar els altres viatges que segons l'hora podrien haver sortit.



Tot això es minimitza, tenint en compte que un viatge pot sortir com a màxim, fins a 20 minuts abans de l'hora que té establerta. Per tant, el retard dels camions en arribar a les obres, és gairebé inexistent.

La mitja de temps obtingut en fer totes les simulacions és de 68068 segons, mentre que en el primer model ha estat de 66886 segons. Aquest temps s'ha obtingut amb els mateixos 20 experiments que en el model 1. Així, el model 2 ha trigat 20 minuts més i l'increment de temps ha estat: (Eq. 7.1)

$$\% \text{ increment de temps} = \frac{68068 - 66886}{66886} * 100 = 1,7\% \quad (7.1)$$

En canvi, pel que fa als costos tal i com mostra la Taula 7-2, s'observa que aquest segon model sí que planteja una disminució. A la Taula 7-3 s'indica l'estalvi per a cada tipus de camió i pel total.

	Mitja	Desviació	Interval confiança (95 %)	
Camions propis	3267,39	676,12	2729,25	3805,53
Camions autònoms a m³	6350,87	1021,54	5444,23	7257,50
Camions autònoms a hores	5828,00	1173,19	4745,22	6910,79
Total	15446,26	2670,95	13045,19	17847,34

Taula 7-2 : Costos mitjos



	Model 2	Model 1	% Reducció
Camions propis	3267,39	3535,01	-7,57
Camions autònoms a m³	6350,87	6344,88	0,09
Camions autònoms a hores	5828,00	5741,57	1,51
Total	15446,26	15621,46	-1,12

Taula 7-3 : Comparació de costos mitjans del model 2 respecte el model 1

Només en el cas dels camions propis existeix una reducció en el cost força significativa.

En canvi, en els camions autònoms a m³ hi ha un petit augment en el cost, degut a l'increment de temps en realitzar la simulació. Aquest tipus de camió, com s'ha descrit en l'apartat 2.2, té un increment de cost per viatge realitzat a partir de les 19 hores (a partir dels 46800 segons de la simulació) i com que la simulació s'ha allargat, resulta que es té aquest tipus de camió més temps treballant a un preu més elevat.

El mateix passa amb els camions autònoms a hores, però amb la diferència que aquest augment és una mica més accentuat, ja que el preu d'aquests camions, sí que està en funció exclusiva del temps. Aquest fet genera una alternativa que s'implementa en el model 4, que és la de poder prescindir de camions.



Dades referents al nombre mig de camions a les plantes (Taula 7-4).

	Mitja	Desviació	Interval confiança (95 %)	
Pàrking Papiol	3,21	1,66	2,43	3,99
Pàrking Badalona	13,02	3,37	11,44	14,60
Pàrking Vallcarca	3,68	1,80	2,83	4,52
Pàrking Zona Franca	11,26*	4,42	9,19	13,32

* aquest valor és per tota la planta, és a dir, si es consideren les dues boques de càrrega que hi ha, el nombre mitjà de vehicles es redueix a la meitat.

Taula 7-4 : N° mig de camions en les plantes

Com es pot observar, el fet de variar l'ordre dels viatges no altera la cua que es forma a les plantes, només en varia el cost. Per tant, per aconseguir un millor aprofitament dels recursos disponibles és necessari obtenir una reducció de les cues; per aquest motiu s'han implementat els dos models següents.



8. Model 3: Interacció entre plantes sense reordenació de viatges

8.1. Objectiu

En aquest tercer model s'ha plantejat l'opció de què els camions no estiguin assignats a una única planta, i per tant, puguin interaccionar amb les altres plantes. D'aquesta manera es busca un major aprofitament de les formigoneres, evitant que es formin cues a les plantes. La idea és que els camions en lloc d'estar parats fent cua a la planta on havien estat assignats, puguin dirigir-se a una altra on siguin necessaris.

8.2. Hipòtesis

El funcionament d'aquest mètode es basa en una predicció de l'hora d'arribada dels camions a les plantes. Aquesta predicció es realitza a l'inici de la simulació, per a cada viatge generat i per a cada planta. Es calcula a partir de: l'hora assignada per a la sortida, el temps de càrrega, el temps d'anada, el temps de descàrrega i el temps de tornada.

Aquesta dada permet determinar en un instant de temps, quants camions arribaran a una planta en qualsevol moment. D'aquesta manera, quan un camió abandona una obra sabent el temps que tarda en tornar, pot concretar quants camions arribaran abans que ell a cadascuna de les plantes.

A part, amb l'hora prevista de sortida, el model determina quants camions sortiran mentre aquest es dirigeix a la planta.

Així, aquest model pot calcular en qualsevol moment, per cada una de les formigoneres, quants camions hi haurà a la cua de cada planta. Només ha de fer un recompte dels camions que hi ha en aquell moment a la cua, afegir-li els que hi arribaran i restar els que marxaran.

Aquest càlcul es realitza cada cop que un camió ha fet la descàrrega en una obra, i es fa per cada planta. Així té informació de quin és l'estat d'ocupació de les plantes i pot prendre una decisió sobre a on s'ha de dirigir. Aquesta decisió es basa en el nombre de camions que es trobarà a la cua en el moment que hi arribi.

S'estableix que un camió pertanyent a una planta sempre tornarà a aquesta, **quan hi hagi**



3 o menys de tres camions fent la cua. En cas de què en la seva pròpia planta hi hagi més de tres camions, aleshores es dirigirà cap a la planta on el recompte sigui mínim. Però si la diferència entre els camions de la seva planta i la del recompte mínim fos **més petita de 2**, llavors tornaria a dirigir-se a la seva pròpia planta. L'algoritme utilitzat per dur a terme aquest canvi es pot consultar a l'Annex B.4.

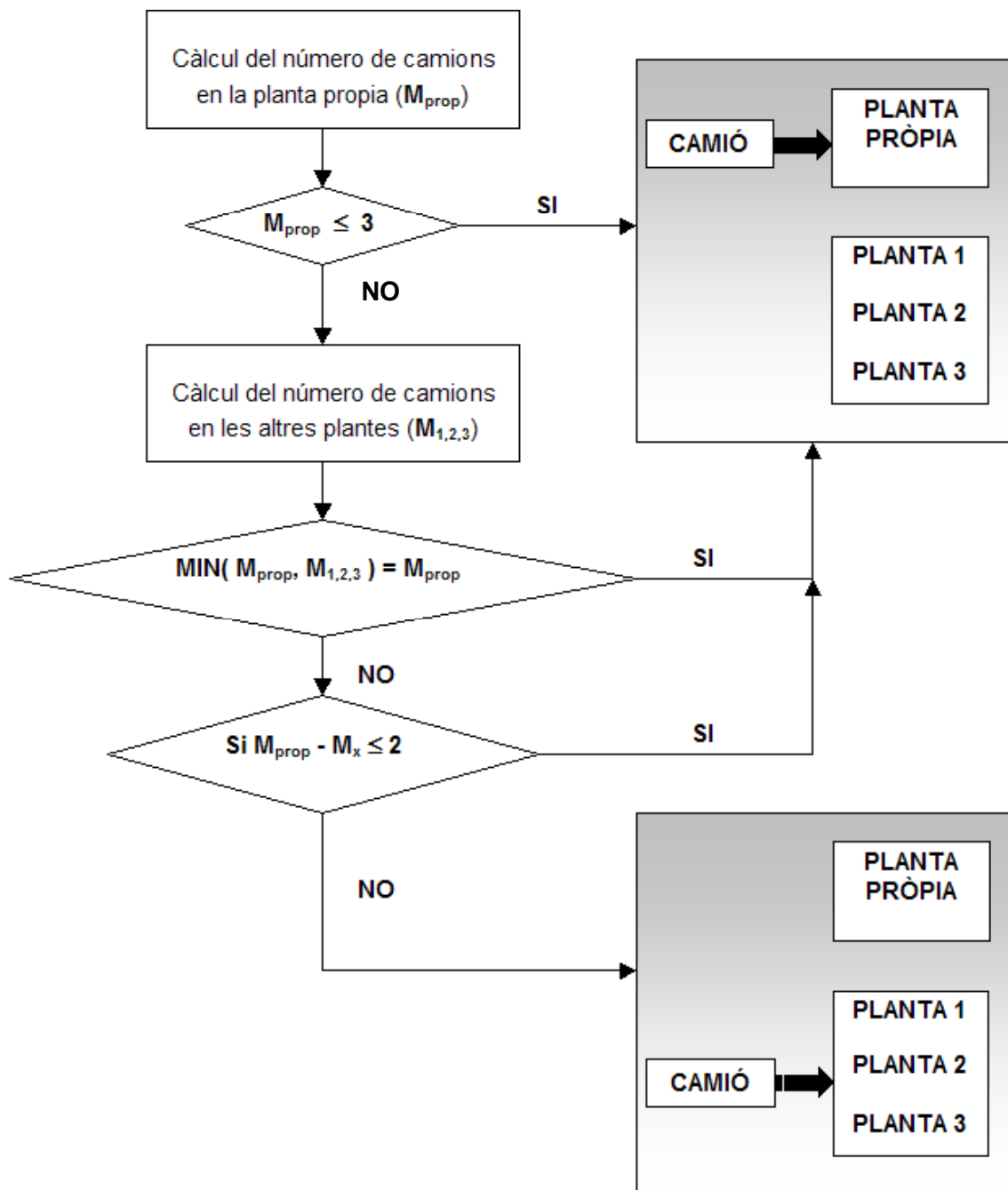


Figura 8-1: Diagrama de canvi de planta de les formigoneres



La possibilitat que els camions canviïn de planta només està establerta entre les següents plantes:

- La planta del Papiol interacciona amb la de Vallcarca i la de Zona Franca
- La planta de Badalona interacciona amb la de Zona Franca
- La planta de Vallcarca interacciona amb la de Papiol i la de Zona Franca
- La planta de Zona Franca interacciona amb la de Papiol, la de Badalona i la de Vallcarca

El fet de canviar un camió de planta està penalitzat amb un increment de 10 quilòmetres en la distància que ha de recórrer des de l'obra fins la nova destinació.

8.3. Resultat

En el tercer model, després de realitzar 20 experiments, s'obtenen els següents costos mitjos, Taula 8-1. Aquests estan diferenciats per cada tipus de camió. També s'hi mostren les variables estadístiques de desviació i d'interval de confiança.

	Mitja	Desviació	Interval confiança (95 %)	
Camions propis	2988,67	615,13	2415,71	3561,62
Camions autònoms a m³	6742,59	1326,79	5576,30	7908,88
Camions autònoms a hores	4821,73	1321,39	3614,78	6028,68
Total	14552,98	2395,60	12344,94	16761,02

Taula 8-1: Costos mitjos



Com s'observa a la Taula 8-2, aquest tercer model sí que representa una disminució considerable dels costos. Sobretot en els camions propis, i també en els autònoms a hores. En aquests últims, el fet de què el temps de la simulació s'hagi escurçat fa que el seu cost disminueixi, perquè en aquest tipus de camió el seu cost està en funció exclusiva del temps. En els camions propis el cost també disminueix com a conseqüència de la disminució de viatges que efectuen.

En canvi, en els camions autònoms a m³ no existeix tal reducció, sinó que hi ha un increment, degut a què, en aquest tipus de camió, en el seu cost hi ha una partida que penalitza el quilometratge, i el fet de canviar de plantes, la distància recorreguda per les formigoneres augmenta.

	Model 3	Model 1	% Reducció
Camions propis	2988,67	3535,01	-15,46
Camions autònoms a m³	6742,59	6344,88	6,27
Camions autònoms a hores	4821,73	5741,57	-16,02
Total	14552,98	15621,46	-6,84

Taula 8-2 Comparació de costos mitjos del model 3 respecte el model 1

El temps mig en realitzar les simulacions ha estat de 65306 segons, és a dir, 18 hores i 8 minuts. Cal recordar que en el model 1, el temps emprat ha estat de 66886 segons, unes 18 hores i 34 minuts; per tant, hi ha hagut una reducció del 2,36 % (Eq. 8.1). Aquesta disminució de 26 minuts és com a conseqüència a la reducció de cues i el fet de què les formigoneres canvien de planta.

$$\% \text{ increment de temps} = \frac{65306 - 66886}{66886} * 100 = -2,36\% \quad (8.1)$$



A continuació a la Taula 8-3 es presenten els valors estadístics més representatius pel que fa al nombre de camions que fan cua a cadascuna de les plantes.

	Mitja	Desviació	Interval confiança (95 %)	
Pàrking Papiol	4,89	3,45	3,27	6,50
Pàrking Badalona	7,50	1,13	6,97	8,03
Pàrking Vallcarca	6,88	2,17	5,87	7,90
Pàrking Zona Franca	8,13*	3,77	6,37	9,89

* aquest valor és per tota la planta, és a dir, si es consideren les dues boques de càrrega que hi ha, el nombre mitjà de vehicles es redueix a la meitat.

Taula 8-3: N^o mig de camions a les plantes

Amb aquest tercer model s'aconsegueix una reducció força significativa del nombre de camions a les plantes de Badalona i de la Zona Franca. Però com que el model utilitza el mateix nombre de camions, el fet de que hi hagi una reducció en aquestes plantes provoca que aquesta disminució l'absorbeixin les plantes del Papiol i de Vallcarca. Per aquest motiu en el quart model es planteja la possibilitat de que les formigoneres puguin abandonar la simulació.



A la Taula 8-4 es mostren els camions que han canviat de planta, indicant també de quina planta procedien i a quina planta han anat. Hi ha hagut gairebé una mitja de 61 camions que han canviat de planta al llarg del dia.

Ha estat gràcies a aquests canvis de planta que s'ha pogut aconseguir una reducció en les cues en les plantes Badalona i la Zona Franca, com ja s'ha mencionat anteriorment.

Planta origen	Planta destí	Mitja	Desv.	Int. Comf. 95%	
				Low	Up
Planta Papiol	Planta Vallcarca	8,30	4,50	6,30	10,40
	Planta Zona Franca	3,00	1,80	2,10	3,80
Planta Badalona	Planta Zona Franca	14,20	4,50	12,10	16,20
Planta Vallcarca	Planta Papiol	8,30	3,60	6,70	10,00
	Planta Zona Franca	3,40	2,70	2,10	4,70
Planta Zona Franca	Planta Papiol	9,30	3,80	7,50	11,10
	Planta Badalona	7,00	3,10	5,50	8,40
	Planta Vallcarca	7,30	2,40	6,20	8,40
TOTAL		60,8			

Taula 8-4 N^o mig de camions que han canviat de planta



9. Model 4: Interacció entre plantes amb reordenació de viatges

9.1. Objectiu

Aquest model integra les millores proposades als models 2 i 3, per tal de veure quin és el resultat conjunt. També s'hi ha plantejat la possibilitat que les formigoneres puguin sortir de la simulació un cop no siguin necessàries per tal de reduir encara més les cues a les plantes.

9.2. Hipòtesis

En aquest model s'ha tingut en compte les premisses utilitzades en els models anteriors (2 i 3). Però a diferència del model 3, en la interacció de camions entre plantes, s'ha plantejat la possibilitat que les formigoneres puguin abandonar la simulació transcorregudes les 8 hores. La possibilitat de retirar camions a mesura que avança la simulació, és deguda a què el gruix de les comandes s'ha de subministrar durant les 6 primeres hores. En avançar el dia, i havent-se servit la major part de les comandes, no és necessària la utilització de tants camions.

Aquesta retirada de camions comença a partir de les 14 h (instant 28800 de la simulació), ja que és a partir d'aquest moment quan s'ha servit la major part de les comandes i es completa la jornada pels camions propis, els autònoms a m³ i els autònoms a hores.

El funcionament d'aquesta ordre de retirada de camions és una variació de la decisió plantejada en el model 3. En el model present, per tal d'evitar cues innecessàries, quan un camió ha descarregat en una obra i la planta d'on procedeix hi ha més de tres camions, s'ha de dirigir cap a la planta on el recompte sigui mínim. Però si la diferència entre el recompte de la pròpia planta i la del recompte mínim és **més petit que 2**, el camió en lloc de tornar a la pròpia planta serà apartat de la simulació.

La retirada de camions s'ha fet independentment del tipus, ja que segons explicacions donades per l'empresa, no hi pot haver cap mena de discriminació entre els tres tipus de camions.

L'algoritme implementat en el model es pot consultar a l'Annex B.5



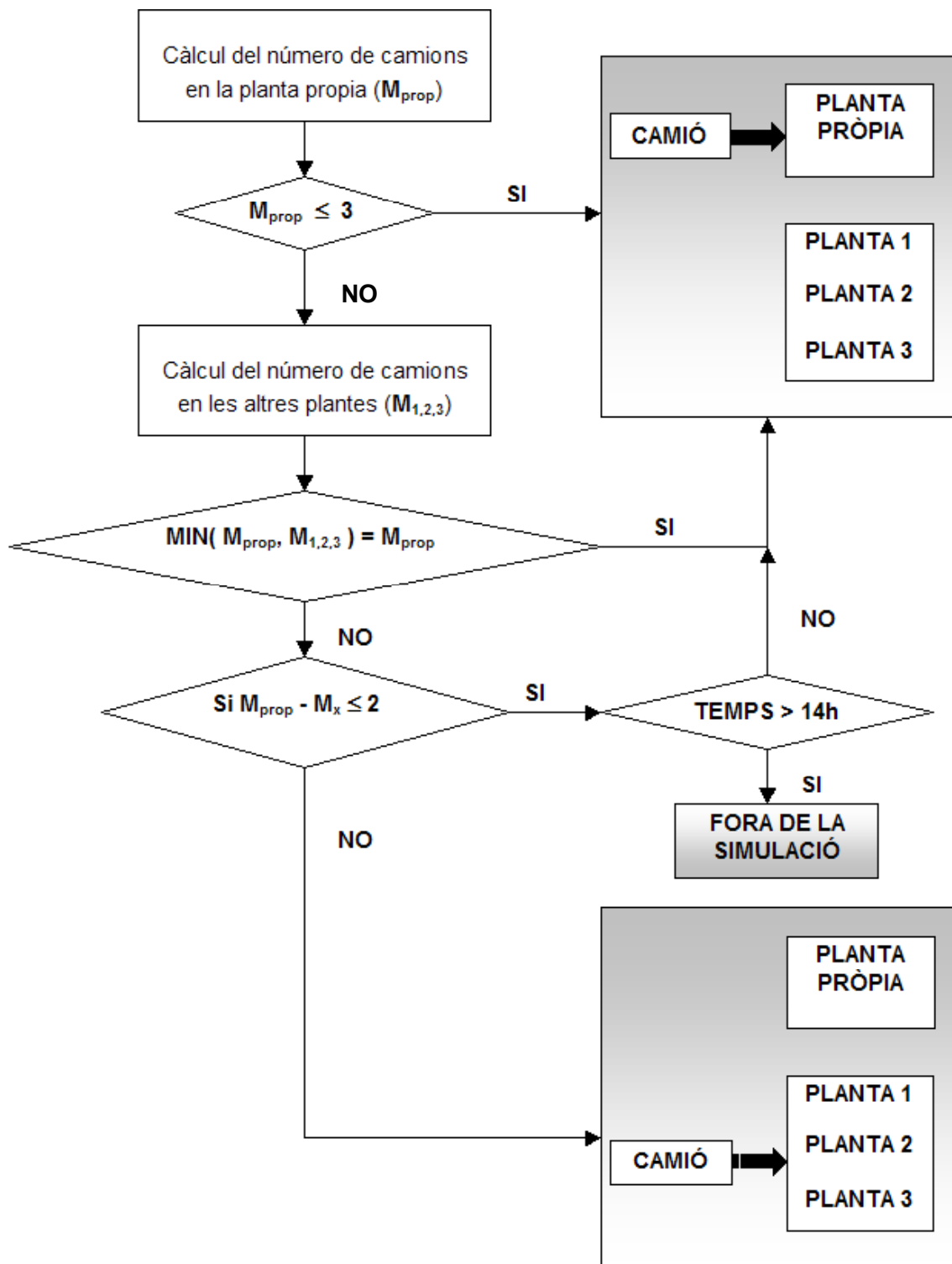


Figura 9-1 : Diagrama de canvi de planta de les formigoneres



9.3. Resultat

En aquest últim model, els resultats obtinguts dels costos mitjos es mostren a la Taula 9-1, on també s'hi mostra la desviació i l'interval de confiança, resultants de les 20 simulacions fetes.

	Mitja	Desviació	Interval confiança (95 %)	
Camions propis	2830,78	554,70	2316,40	3345,17
Camions autònoms a m³	6767,52	1286,53	5620,56	7914,47
Camions autònoms a hores	4929,71	1103,16	3912,52	5946,90
Total	14528,01	2290,80	12432,40	16623,61

Taula 9-1: Costos mitjos

Comparant els costos obtinguts en aquest quart model amb els del primer model (Taula 9-2), s'observa que una disminució del 7 % del cost del transport.

Cal remarcar, que en aquest model 4, els camions autònoms a m³ no comporten cap reducció del cost, perquè tal i com s'ha descrit a l'apartat 2.2 d'aquesta memòria, aquest tipus de camions tenen una forta penalització en el cost per tots aquells viatges que es realitzin a partir de les 7 de la tarda; i com que en aquest model el temps de la simulació ha augmentat considerablement, les hores treballades a partir de les 7 de la tarda augmenten i per tant el cost també. Per altre costat, tal i com passa en el model 3, el fet de canviar de planta fa que les formigoneres recorrin més quilòmetres, la qual cosa comporta també un increment del preu per quilòmetre.

En canvi, amb els camions autònoms a hores sí que existeix una disminució del cost, perquè en reduir-ne el nombre, no n'hi tants treballant alhora. Una cosa semblant passa amb els camions propis, que pel fet de tenir-ne menys, fa que realitzin menys viatges i que per tant no transportin tants m³ de formigó. Cal recordar que el cost d'aquest tipus de formigonera està en funció exclusiva dels m³ transportats.



	Model 4	Model 1	% Reducció
Camions propis	2830,78	3535,01	-19,92
Camions autònoms a m³	6767,52	6344,88	6,66
Camions autònoms a hores	4929,71	5741,57	-14,14
Total	14528,01	15621,46	-7,00

Taula 9-2 Comparació de costos mitjos del model 4 respecte el model 1

El temps mig emprat per fer la simulació ha estat de 75539 segons, en canvi en el model 1 ha estat de 66886. Aquest augment aproximat de 2 hores i 30 minuts, representa gairebé un increment del 13 % (Eq. 9.1). Això és degut a la retirada de camions, ja que amb menys camions s'ha de fer la mateixa feina, per tant el temps ha d'augmentar.

$$\% \text{ increment de temps} = \frac{75539 - 66886}{66886} * 100 = 12,93\% \quad (9.1)$$

A continuació a la Taula 9-3 es presenten els valors estadístics més representatius, referents al nombre de camions que fan cua en cadascuna de les plantes.

	Mitja	Desviació	Interval confiança (95 %)	
Pàrking Papiol	5,21	1,86	4,33	6,08
Pàrking Badalona	3,93	1,46	3,24	4,61
Pàrking Vallcarca	5,20	1,35	4,57	5,83
Pàrking Zona Franca	7,06*	0,90	6,63	7,48

* aquest valor és per tota la planta, és a dir, si es consideren les dues boques de càrrega que hi ha, el nombre mitjà de vehicles es redueix a la meitat

Taula 9-3: N° mig de camions a les plantes



A la Taula 9-4 es mostra el nombre mig de camions que han canviat de planta tot indicant l'origen i el destí. També s'hi pot veure la desviació obtinguda i l'interval de confiança del 95%.

Planta origen	Planta destí	Mitja	Desv.	Int. Conf. 95%	
				Low	Up
Planta Papiol	Planta Vallcarca	7,60	3,90	5,80	9,40
	Planta Zona Franca	1,90	2,00	1,00	2,80
Planta Badalona	Planta Zona Franca	9,20	3,80	7,40	10,90
Planta Vallcarca	Planta Papiol	6,80	3,50	5,10	8,40
	Planta Zona Franca	2,80	2,60	1,60	4,00
Planta Zona Franca	Planta Papiol	6,50	2,60	5,30	7,70
	Planta Badalona	7,40	2,30	6,30	8,50
	Planta Vallcarca	6,20	2,90	4,80	7,60
TOTAL		48,40			

Taula 9-4 N° mig de camions que han canviat de planta



En aquest quart model el nombre de camions que han canviat de planta ha disminuït respecte el tercer model. Però no solament ha disminuït l'intercanvi de camions, sinó que, tal com s'observa a la Taula 9-3, les cues també s'han reduït. Això s'ha produït per la sortida de camions de la simulació que ja no són necessaris.

A la Taula 9-5 es poden veure les dades obtingudes pels camions que han abandonat la simulació.

	Mitja	Desviació	Interval confiança (95 %)	
Camions retirats	31,8	6,4	28,8	34,8

Taula 9-5: N° mig de camions que han abandonat la simulació

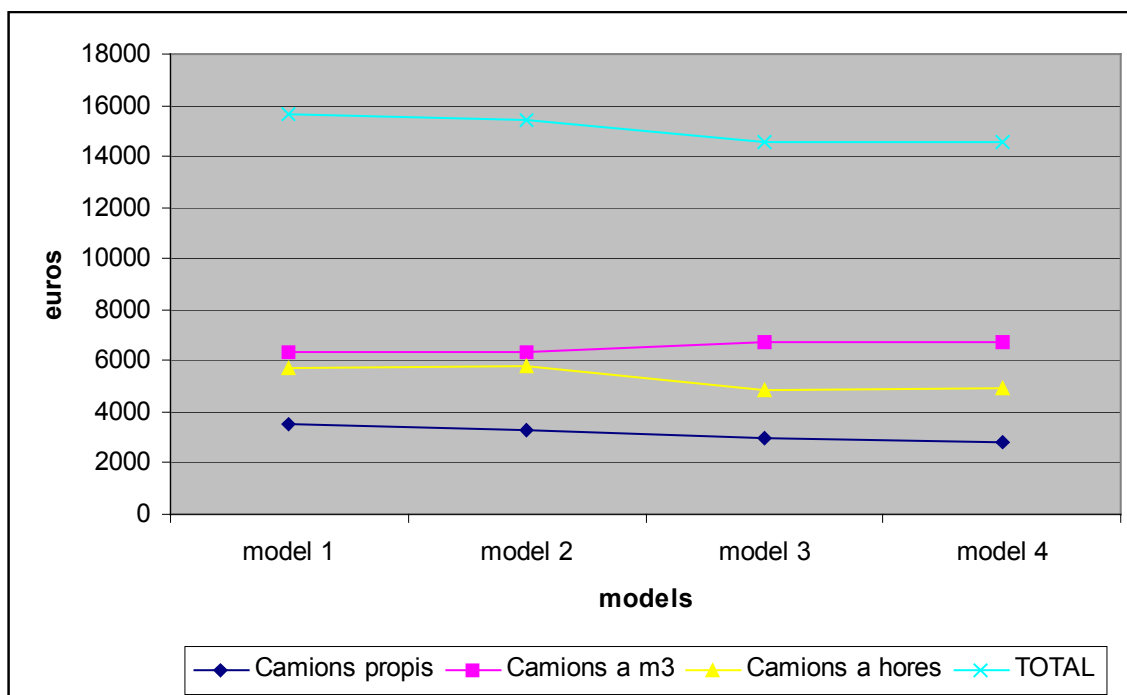


10. Comparació entre els quatre models

10.1. Costos mitjos

Després de la simulació dels quatre models es veu que a mesura que es van introduint les millores proposades s'aconsegueix una reducció progressiva dels costos. A la Gràfica 10-1 s'hi representa l'evolució dels costos per cada tipus camió, així com pel total. S'observa que el cost total en el quart model és el menor de tots, per tant, basant-se només amb els costos, és el que es recomana.

També cal remarcar que els camions autònoms a metres cúbics no experimenten cap reducció de cost en el tercer i quart model. Això és conseqüència de les penalitzacions que tenen aquest tipus de camions, ja sigui en quilometratge, com passa en el tercer model o per treballar en horaris més cars, com passa en el quart model. Malgrat tot, aquest fet es veu compensat per la reducció de costos dels camions propis i els autònoms a hores.

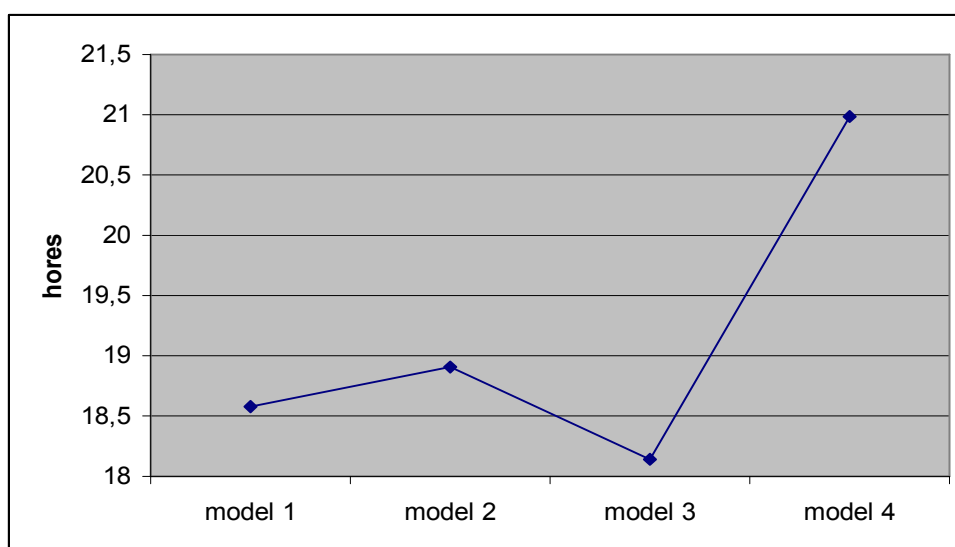


Gràfica 10-1: Costos per cada model



10.2. Temps execució

En l'últim model el temps d'execució augmenta considerablement (Gràfica 10.2), com a conseqüència de la sortida de camions de la simulació. Tot i això, els temps obtinguts en cadascun dels models són excessius i no reflecteixen ben bé el que passa a la realitat. Ja que durant l'any 2003, en algunes obres importants, s'han hagut de servir a la nit i, això no és un fet usual. Però com que el que es fa és una comparació entre models, només interessen els augments i les disminucions que hi ha entre els quatre models.

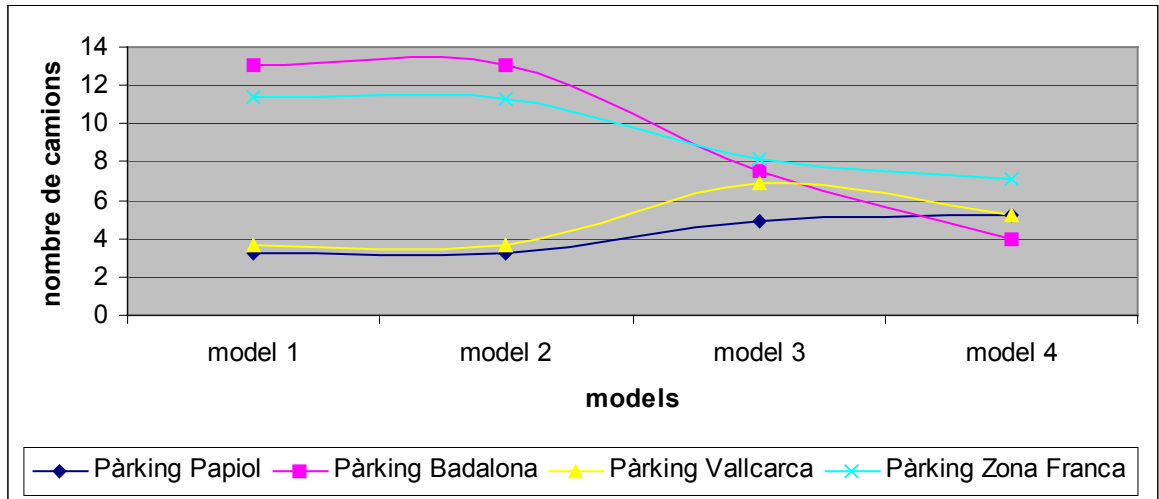


Gràfica 10-2 : Temps de simulació en cada model



10.3. Cues en les plantes

Pel que fa les cues, tal i com es mostra en la Gràfica 10-3, podem observar que en els models 3 i 4, la reducció en les plantes de la Zona Franca i de Badalona és notable, amb la diferència que en el tercer model implica un petit augment en les plantes del Papiol i de Vallcarca. En el quart model, el fet d'anar retirant camions de la simulació ajuda a reduir les cues en totes les plantes.



Gràfica 10-3 : N° de camions en cua en cada planta i en cada model



11. Conclusions

L'objectiu d'aquest projecte és valorar econòmicament un canvi en el sistema de transport de formigó entre plantes i obres. Aquest canvi consisteix en compartir els camions entre les diferents plantes, i per tant, es tracta de determinar una metodologia a seguir.

A partir dels models plantejats s'ha aconseguit una reducció de cost del 7 %, però amb un augment de 2 hores i 24 minuts (des de les 6 hores fins a l'arribada de l'últim camió a la seva planta). Aquest fet fa que s'hagi d'anar molt en compte a l'hora d'acceptar les comandes, ja que a mesura que avança el dia, sobretot cap al final, pot ser que es serveixin amb un cert retard.

El que proposa aquest projecte és, per una banda, la utilització del quart model, ja que és amb aquest on s'aconsegueix una reducció important del cost i per tant assoleix un dels objectius marcats en el projecte. Per altra banda, el fet de què s'allargui tant es pot solucionar prescindint de la reducció de vehicles, però aleshores no es tindran uns resultats econòmics tant satisfactoris.

Un altre punt a considerar, és que només s'ha simulat amb camions de 6 m³ de capacitat. Això també distorsiona el que passa en la realitat, però ajuda a veure el cas més desfavorable. A part, la utilització de camions de 8 m³ de capacitat no és molt generalitzada, ja que degut a les seves grans dimensions, té dificultats per accedir a les obres.

Matisar també que en la simulació els vehicles han estat implementats a una velocitat mitja fixa facilitada per UNILAND. Perquè l'anàlisi fos més rigorós caldria fer un estudi del trànsit en les plantes i obres per tal d'aconseguir un model encara més real.



12. Bibliografia

- [1] Lanner Group; Witness, Learning Witness. Manual del programa (1998).
- [2] Lanner Group Ltd; Witness2001, Technology for knowing (2000)
- [3] Edicions UPC; A. Prat Bartés, X. Tort-Martorell Llabres, P. Grima Cintas, L. Pozueta Fernández: *Métodos estadísticos. Control y mejora de la calidad.* (1997).
- [4] L. Blanco Hernández, A. Santos López: *Simulación y análisis de un almacén automatizado de productos de baja rotación.* Projecte Fi de Carrera (setembre 2000).
- [5] N. Llorca Quintin, A. Santos López: *Simulació i anàlisi d'una instal·lació automatitzada d'emmagatzematge i preparació de comandes per una empresa del sector del moble d'oficina.* Projecte Fi de Carrera (octubre 2003).

Pàgines internet

www.viamichelin.com

www.uniland.es

Programes utilitzats

Witness 2002

Witness XA 1.60

Microsoft Excell 2000

Microsoft Visual Basic 6.0

Microsoft Word 2000

