

Resum

En aquest projecte es presenta el disseny d'un procés d'optimització per planificar, el dia anterior, la distribució de producte que una empresa realitzarà als seus clients el dia següent.

Actualment l'empresa té diverses plantes de producció des de les quals distribueix el producte als diferents clients. La planificació pel dia següent la realitza assignant a cada client una planta de producció i una hora de subministrament de producte i a cada planta un nombre de vehicles per fer aquest subministrament.

El procediment d'assignació de clients a les plantes realitzat per l'empresa, dona lloc a un elevat nombre de vehicles i a grans cues a les plantes en determinats moments del dia. Aquest sobredimensionament de la flota provoca un augment important en els costos de distribució.

Per tal de disminuir la flota de vehicles, i per tant reduir els seus costos fixos associats, en aquest projecte, s'ha dissenyat un procés automatitzat per realitzar la planificació, que permet fer una millor assignació de les comandes a cada planta de producció i de les hores de sortida de les comandes. D'aquesta manera es redueix el nombre de vehicles en cua a cada planta, garantint sempre el nivell de servei als clients. El procés automatitzat està format per un algorisme de planificació basat en regles i per una metaheurística que permet la millora de les solucions.





Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
1. INTRODUCCIÓ	5
1.1. Origen del projecte.....	5
1.2. Objectius del projecte	5
1.3. Abast del projecte	6
2. ANÀLISI DE LES CARACTERÍSTIQUES DE LA DISTRIBUCIÓ DE L'EMPRESA	9
2.1. Plantes de producció	9
2.2. Zonificació	9
2.3. Clients.....	10
2.4. Vehicles.....	11
2.5. Dades de partida.....	11
2.5.1. Plantes	11
2.5.2. Zones	11
2.5.3. Clients	12
2.5.4. Vehicles	12
2.6. Criteris de Planificació	12
3. ESTUDI DE LA DISTRIBUCIÓ EN UNA JORNADA LABORAL A PARTIR D'UNA PLANIFICACIÓ INICIAL	14
3.1. Càlcul de les sortides i arribades a planta.....	14
3.2. Anàlisi de la demanda.....	15
3.3. Càlcul de les necessitats de vehicles i les cues al llarg de la jornada laboral	18
3.4. Resultats de les necessitats de vehicles i anàlisi.....	20
3.5. Resultats de les cues de vehicles al llarg de la jornada laboral i anàlisi	22
3.6. Accions per optimitzar la planificació.....	24
4. DISSENY DE L'ALGORISME DE CANVI DE PLANTA	26
4.1. Algorisme de reducció de les necessitats de vehicles per canvi de planta	28
4.2. Algorisme de desplaçament de l'últim interval amb cua zero per canvi de planta ...	31
4.3. Algorisme de canvi de planta.....	33
4.4. Resultats de l'algorisme de canvi de planta.....	34
5. DISSENY DE L'ALGORISME D'AVANÇ I RETARD.	36
5.1. Algorisme de reducció de les necessitats de vehicles per avanç o retard de la primera hora de sortida.....	36



5.2.	Algorisme de desplaçament de l'últim interval amb cua zero per avanç o retard de la primera hora de sortida	38
5.3.	Algorisme d'avanç o retard.....	39
5.4.	Resultats de l'algorisme d'avanç o retard	40
5.5.	Comparació dels resultats de l'algorisme de canvi de planta i del d'avanç i retard .	41
6.	DISSENY D'UN ALGORISME DE PLANIFICACIÓ INTEGRANT EL DE CANVI DE PLANTA I EL D'AVANÇ I RETARD: ALGORISME INTEGRAT _	43
6.1.	Aplicació seqüencial de l'algorisme de canvi de planta i del d'avanç i retard.....	44
6.2.	Integració de l'algorisme de canvi de planta i del d'avanç i retard	45
6.3.	Resultats de l'algorisme integrat.	47
7.	APLICACIÓ D'UNA METAHEURÍSTICA PER OPTIMITZAR L'ALGORISME DE PLANIFICACIÓ	48
7.1.	Canvi de planta sense restricció de nombre de trajectes.....	49
7.2.	Canvi en l'ordre de les plantes per executar l'algorisme de reducció de les necessitats de vehicles per canvi de planta.....	49
7.3.	Prohibició de canvis i desplaçaments	51
7.4.	Canvis aleatoris de planta	53
7.5.	Integració en una sola metaheurística	55
8.	ANÀLISI DE LA PLANIFICACIÓ FINAL	58
9.	ASSIGNACIÓ DE LA FLOTA DEFINITIVA A LES PLANTES.	61
9.1.	Algorisme d'assignació de la flota de vehicles	61
9.1.1.	Disseny de l'algorisme	62
9.1.2.	Resultats de l'algorisme d'assignació de vehicles.....	63
9.2.	Entrada dels vehicles	65
9.2.1.	Mètode d'entrada dels vehicles	65
9.2.2.	Resultats de variar l'entrada de vehicles.....	65
9.3.	Sortida dels vehicles.....	67
9.3.1.	Mètode per la sortida de vehicles	67
9.3.2.	Resultats de variar la sortida de vehicles.....	67
9.4.	Tipus de vehicles	69
10.	VALORACIÓ ECONÒMICA DEL PROJECTE	73
	CONCLUSIONS	75
	BIBLIOGRAFIA	77
	Referències bibliogràfiques.....	77



1. Introducció

1.1. Origen del projecte

Una empresa del sector de la construcció, dedicada a la producció i distribució, disposa de diverses plantes productores, la major part d'elles a Catalunya. Aquestes plantes treballen de manera independent, amb vehicles assignats, el dia anterior, a cadascuna d'elles en funció de la planificació de les comandes. Aquesta planificació assigna les comandes dels clients a les plantes, en funció de la proximitat, del volum de comanda i de la producció de la planta, fonamentalment. Així mateix, se li assigna a cada comanda una hora en que començarà el servei d'aquesta.

També el dia anterior, una vegada s'han assignat les comandes a les plantes, es decideix el nombre de vehicles necessaris per cobrir la demanda a cada planta i s'assignen aquests vehicles a cadascuna d'elles.

Cada vehicle realitzarà al llarg del dia diversos trajectes, retornant sempre a la planta origen. Com que la demanda no està uniformement distribuïda al llarg del dia es produeixen cues importants a les plantes. Això provoca que els camions estiguin més temps aturats, disminuint el seu rendiment. La empresa treballa amb camions propis i camions autònoms i l'interessa, per tant, que els primers facin el nombre màxim de viatges possibles. En el cas dels camions autònoms, la existència de cues molt grans genera conflictes, ja que aquests facturen pels viatges que realitzen o pel volum de càrrega transportat.

L'empresa preveu canviar els criteris de planificació per tal de uniformitzar la demanda a les plantes i, en conseqüència, reduir la flota de vehicles i les cues que es generen al llarg de la jornada laboral.

1.2. Objectius del projecte

L'objectiu del projecte es dissenyar un algorisme que permeti, partint d'una planificació inicial obtinguda amb els criteris actuals de l'empresa, obtenir una nova planificació que redueixi al màxim la flota de vehicles.

Actualment l'empresa realitza la planificació mitjançant criteris senzills i l'experiència dels seus planificadors. Per tal de dissenyar l'algorisme s'han hagut d'establir nous criteris per tal de realitzar la planificació. En aquest cas el criteri principal ha estat un criteri de cost que ha implicat buscar la màxima reducció de la flota de vehicles.



Amb l'objectiu d'aplicar aquests criteris, s'ha analitzat la distribució de l'empresa i s'han tingut en compte diversos factors que intervenen de forma important en aquesta. Aquest factors s'han introduït en el disseny de l'algorisme i són tinguts en compte per aquest de forma automatitzada.

Finalment, també s'ha volgut donar una eina per tal de simular la distribució sense incidències per tal de poder veure els efectes de la variació de la tipologia de la flota de vehicles, i del sistema d'inici i finalització de la jornada per part d'aquests i realitzar una comparació entre les planificacions a nivell de costos.

1.3. Abast del projecte

A la figura 1.1 és presenta un diagrama de blocs que mostra les diferents entrades i sortides als diferents algorismes i mètodes de càlcul dissenyats:

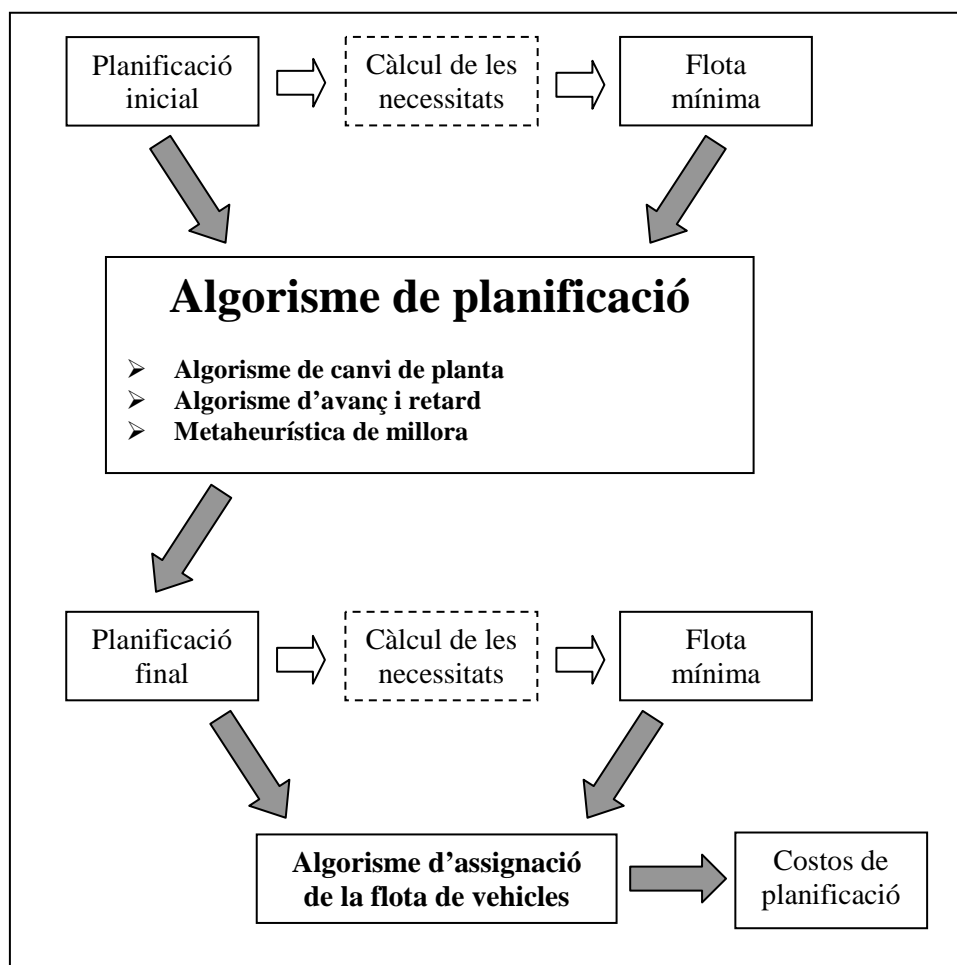


Fig. 1.1 – Diagrama d'entrades i sortides dels algorismes dissenyats



En la primera part del projecte s'analitzen els criteris actuals de planificació de l'empresa, mitjançant la demanda i les cues de vehicles al llarg de la jornada. També es dissenya un mètode per conèixer les flotes mínimes de vehicles, suposant que s'ha de satisfer la demanda i que no hi ha incidències. Mitjançant aquest mètode es calcularen les flotes mínimes per tots els dies de que es disposa la planificació de l'empresa.

Es dissenya un algorisme que redueixi les flotes mínimes de vehicles a partir de variar els següents dos factors:

- La planta de producció assignada a cada client
- L'hora en que es començarà a servir a cada client

Així mateix, es dissenya una metaheurística que millora les solucions obtingudes. La unió d'aquests dos algorismes dona lloc a l'algorisme de planificació que, a partir de una planificació inicial i la seva flota mínima de vehicles, obté la planificació final.

Finalment, un cop obtingudes la planificació final i la flota mínima de vehicles per servir-la, es realitza una assignació dels trajectes a cada vehicle. Aquesta assignació permet calcular els costos associats a cada vehicle, segons els trajectes realitzats, els temps que ha estat en cua, etc. Posteriorment, s'estudia la incidència que té sobre la planificació l'entrada i sortida esglaonada dels vehicles a la planta i la variació de la proporció de vehicles de cada tipus.



2. Anàlisi de les característiques de la distribució de l'empresa

Per tal de poder realitzar una optimització de la planificació de l'empresa, en aquest apartat s'analitzen les característiques dels diferents elements que intervenen en la distribució física. Aquests elements són les plantes de producció, els clients i els vehicles.

2.1. Plantes de producció

A les plantes es fa la producció i la càrrega dels vehicles. A la planificació del dia següent, a cada planta se li assignen els clients que servirà i el nombre de vehicles de que disposarà per fer aquesta distribució.

Totes les plantes deixen de produir entre les 13h i les 14h que és l'hora assignada als treballadors per dinar.

De cada planta es coneix el temps necessari per carregar un vehicle, que dependrà de la tecnologia de càrrega que s'utilitzi, la velocitat mitjana dels vehicles assignats a aquella planta durant la jornada laboral, producte de la situació del trànsit habitual en el seu radi d'acció, i la seva capacitat de producció.

2.2. Zonificació

Les plantes de producció s'agrupen segons la seva proximitat en diferents zones. La planificació es realitza per separat per cada zona, de forma que si un client pertany a una zona determinada, només el poden servir les plantes de producció d'aquella zona.



A continuació es mostra la zonificació de les diferents plantes de producció de les que disposa l'empresa:

	Subzona	Plantes de producció
Zona nord	Zona A	3 plantes
Zona centre	Zona B	5 plantes
	Zona C	3 plantes
	Zona D	3 plantes
Zona Sud	Zona E	3 plantes
	Zona F	5 plantes
	Zona G	5 plantes

Taula 2.1 - Agrupació de les plantes de producció per zones

Per cada zona es coneixen les distàncies entre les seves plantes i la variació del cost de producció segons la planta a on es produeixi.

2.3. Clients

Cada client truca durant el dia per demanar un servei per al dia següent. Amb cada client es pacta una hora en que se li començarà a servir i la quantitat de producte que necessita. Si al client se li ha de servir una quantitat de producte superior a la capacitat d'un vehicle, un cop el client l'hagi començat a rebre, no es pot interrompre el servei, de forma que de la planta de producció hauran de sortir camions amb una freqüència igual a la de descàrrega del client. D'aquesta forma es garanteix que quan un vehicle acaba de descarregar arriba un altre per continuar el servei fins acabar de servir la totalitat de la demanda del client.

Com que es coneix la tecnologia de descàrrega utilitzada pel client, es coneix el temps que triga en descarregar un vehicle i per tant es pot determinar la freqüència de descàrrega per cadascun d'ells.

Per altre banda, l'empresa disposa d'un marge de temps per començar a servir al client sobre l'hora pactada per ambdues parts. Aquest marge dependrà de la tecnologia de descàrrega del client.



2.4. Vehicles

Els vehicles són els elements de transport del procés de distribució. S'encarreguen de servir les comandes als clients. L'empresa disposa de tres tipus diferents de vehicles, en funció del tipus de contractació. Els vehicles propis, que pertanyen a l'empresa, els autònoms, que són remunerats a partir del volum de comanda que transporten o per el nombre de viatges que realitzen, i els vehicles contractats a hores.

Els vehicles també es diferencien segons la seva capacitat de càrrega. Poden ser de 6m^3 , 8m^3 o 9m^3 , essent els de 6m^3 els més comuns. Per aquesta raó, i ja que l'empresa no sap de quina capacitat serà cada vehicle fins que aquest arriba a planta el dia següent, es fa la planificació suposant el pitjor dels casos, es a dir, que tots els vehicles són de 6m^3 .

Com s'ha dit, cada vehicle serà assignat a una planta de producció des de la que servirà les diferents comandes. Quan un vehicle arriba a planta es posa en cua fins que arriba el moment de ser carregat. Aquesta cua de vehicles es regeix per un sistema FIFO, de forma que un vehicle no tindrà un client assignat sinó que servirà al client que tingui assignada una sortida de planta en el moment en que el vehicle arriba a la zona de càrrega.

Els vehicles disposen d'una hora per dinar a partir de les 13h. Si aquests es troben en cua a la planta dinen de 13h a 14h ja que la planta deixa de produir en aquest interval de temps. Si es troben servint a un client disposen d'una hora a partir del moment que acabin de servir al client.

2.5. Dades de partida

Les dades que serviran de partida per a realitzar la planificació són:

2.5.1. Plantes

- Velocitat mitjana dels vehicles que treballen en una planta.
- Capacitat de producció de la planta.
- Temps per carregar un vehicle.

2.5.2. Zones

- Distàncies entre les plantes de la zona.
- Diferència en el cost de producció entre les plantes de la zona.



2.5.3. Clients

- Distància a cada una de les plantes de la zona.
- Temps de descàrrega.
- Volum de producte sol·licitat.
- Hora sol·licitada per començar a rebre el producte.

2.5.4. Vehicles

- Capacitat del vehicle. En aquest cas es considera que tots els vehicles tenen una capacitat de 6m³.
- Tipus de vehicle (per hores, autònom o propi).
- Planta en la que treballarà.
- Costos associats al vehicle.

2.6. Criteris de Planificació

Abans d'analitzar la planificació actual i realitzar el disseny de un algorisme de millora, es defineixen quins són els criteris que s'utilitzaran per optimitzar la planificació i, a partir d'aquests, establir quines són les característiques de la distribució que es poden modificar per aconseguir la planificació òptima.

El criteri per optimitzar la planificació serà un criteri de cost. Es considera que, en l'empresa d'estudi, els costos més importants són els fixes associats a cada vehicle, ja que les distàncies entre els clients i les plantes de producció no són gaire elevades. Per tant, la reducció de costos provocada per una reducció de la flota de vehicles necessària per realitzar la distribució física serà superior a l'augment dels costos d'operació associats a cada vehicle, deguts a l'augment del número de kilòmetres i de trajectes realitzats a causa de la reducció de la flota.

Així, l'objectiu de la nova planificació serà utilitzar la mínima flota de vehicles per realitzar la distribució.

La flota mínima de vehicles necessaris dependrà de la distribució dels clients al llarg de la jornada laboral. Com s'ha comentat anteriorment, hi ha diversos factors que intervenen en



aquesta distribució. La majoria d'aquets factors no es poden modificar ja que són valors fixes de les plantes, els clients o els vehicles. Només hi ha dos factors que es poden modificar per tal de intentar millorar la planificació. Un és la planta de producció a la que s'assigna cada client i l'altre és la primera hora de sortida de planta per servir-lo.

Així, els dos únics paràmetres que es modificaran per tal de intentar reduir la flota de vehicles són la assignació de la planta de producció a cada client i la primera hora de sortida de planta per començar a servir-lo.

Per tant, l'algorisme de millora de la planificació buscarà trobar, mitjançant canvis en l'assignació de la planta de producció i en la primera hora de sortida de planta de cada client, la planificació que suposi la menor flota mínima de vehicles necessària per fer la distribució.



3. Estudi de la distribució en una jornada laboral a partir d'una planificació inicial

En aquest apartat es realitza un estudi de la distribució al llarg de la jornada laboral, partint d'una planificació inicial realitzada amb els criteris que utilitza l'empresa. L'assignació inicial de les obres a cada planta es realitza utilitzant el criteri de proximitat, es a dir, cada client serà servit des de la planta de producció més propera. A més, es pacta amb el client l'hora en que s'iniciarà el seu servei.

S'analitzen els elements que intervenen en la distribució, com són els vehicles necessaris, la demanda a les plantes, les cues al llarg de la jornada, etc. Aquest anàlisi permetrà determinar com afectaran les modificacions dels factors presentats en el capítol anterior en la millora de la planificació.

La metodologia serà, en primer lloc, calcular les sortides i les arribades a planta que hauran de fer els vehicles per tal de realitzar la distribució. Un cop calculats es farà un estudi de la demanda i finalment es determinarà quina ha de ser la flota de vehicles mínima necessària i quines modificacions caldrà fer en la primera hora de sortida o en l'assignació de la planta de producció, per cada client, per disminuir aquesta flota.

3.1. Càlcul de les sortides i arribades a planta

Per tal de calcular totes les sortides i arribades que han de fer els vehicles a cada planta es segueixen els següents passos:

- N° de viatges: volum de producte sol·licitat / volum de producte dels vehicles
- Hores de sortida de planta: es determina sumant-li a l'hora de sortida del viatge anterior, el temps de descàrrega.
- Hores d'arribada a planta: es determina sumant-li a l'hora de sortida, el temps de càrrega, el temps de trajecte multiplicat per dos i el temps de descàrrega.
- Entre les 13h i les 14h la planta de producció deixa de fabricar producte per permetre dinar als seus treballadors. Això implica modificar les hores de sortida i d'arribada a planta:
 - Si una sortida de planta es situa entre les 13h i les 14h, cal desplaçar-la fora d'aquest interval, començant altre cop a partir de les 14h.



- Si la sortida de planta és abans de les 13h i l'arribada a planta és després de les 13h, cal sumar-li una hora a l'hora d'arribada a planta.
- Si la sortida de planta és abans de les 13h i l'arribada a planta és abans de les 13h, no es modifica.

3.2. Anàlisi de la demanda

Una vegada s'han calculat les sortides de vehicles, l'anàlisi de la seva demanda per a les diverses jornades laborals de les que es disposa, posa de manifest que per a cada jornada la demanda acostuma a presentar pics i valls.

En les següents figures es mostra l'oscil·lació la demanda al llarg de la jornada per un dia de baixa, un de mitja i un de alta producció, a cada una de les plantes de les zones C.

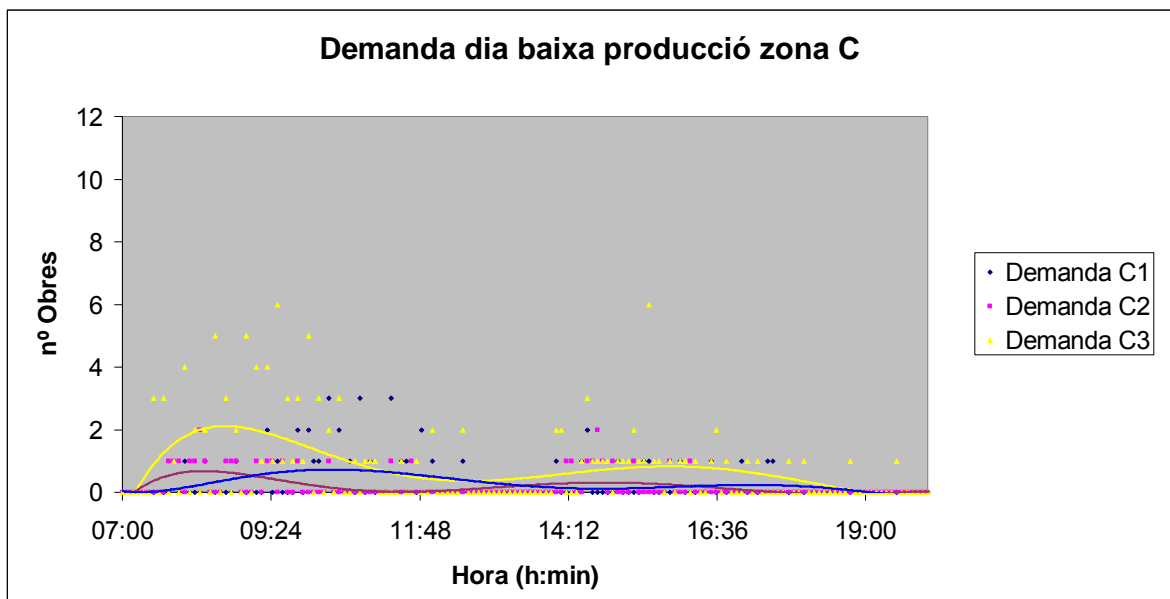


Fig. 3.1 - Distribució de la demanda de un dia de baixa producció a les plantes C1, C2, C3



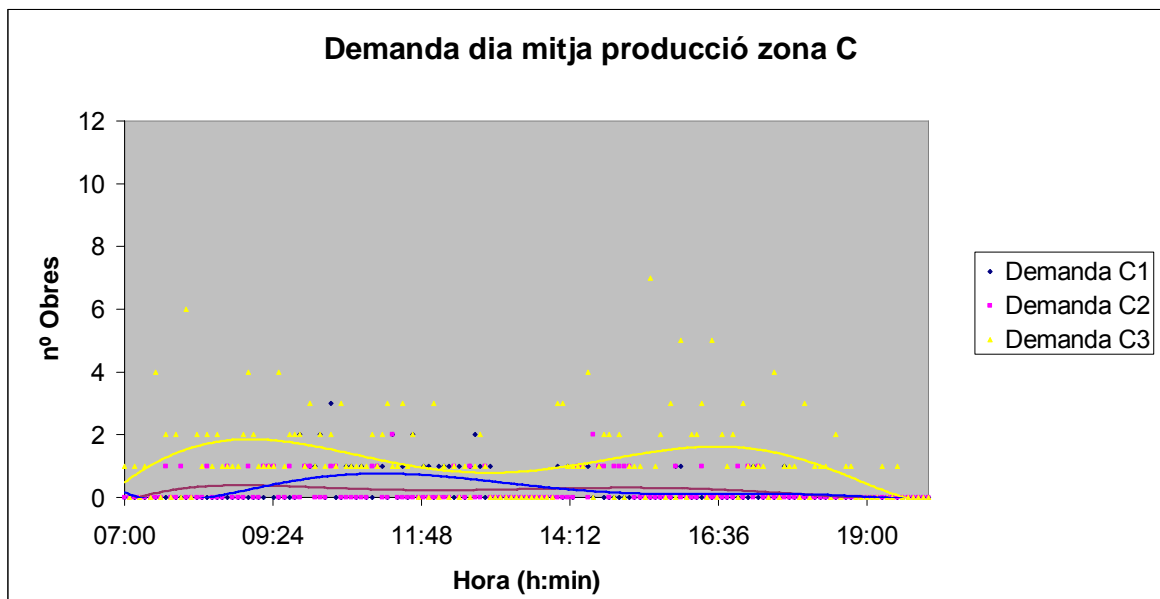


Fig. 3.2 - Distribució de la demanda de un dia de mitja producció a les plantes C1, C2, C3

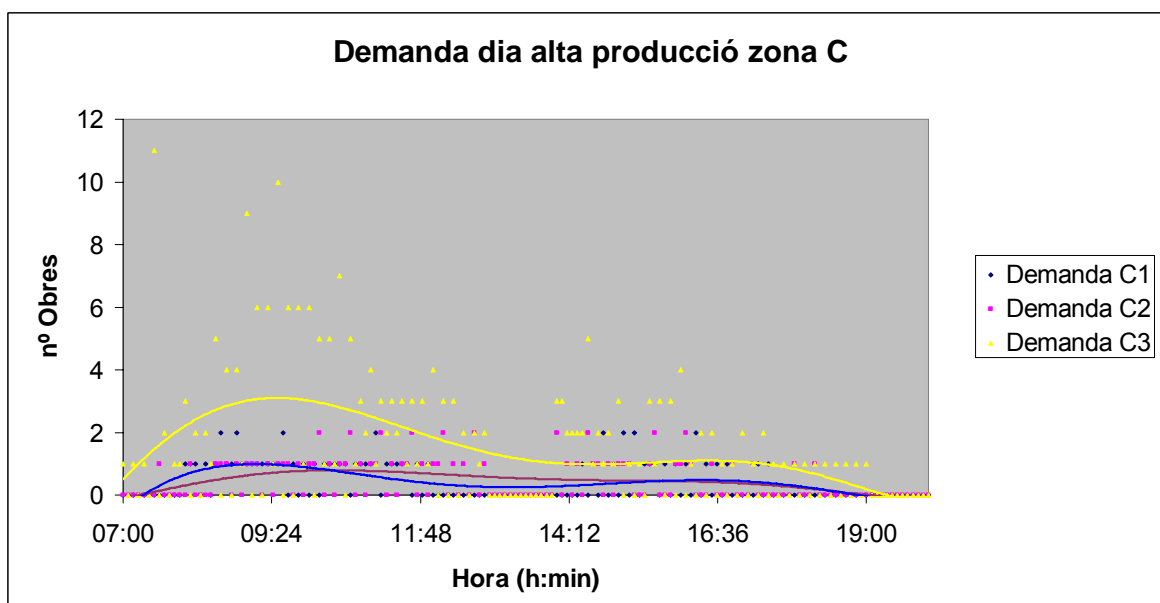


Fig. 3.3 - Distribució de la demanda de un dia d'alta producció a les plantes C1, C2, C3

Com es pot observar, les línies de tendència associades a les demandes de cada planta en els tres casos tenen una forma semblant. Es produeixen dos pics de demanda principals, més o menys pronunciats segons la planta i el dia tractat. Un d'aquests pics té lloc al matí i l'altre a principis de la tarda.

Aquesta desigualtat implica que en aquestes dues franges horàries s'estiguin realitzant gran part de les sortides del dia i per tant que es necessiti una important flota de vehicles per



realitzar-les totes, mentre que la resta del dia gran part de la flota roman en cua degut al baix volum de demanda.

En les següents figures es mostra també l'oscil·lació de la demanda al llarg de la jornada per un dia de baixa, un de mitja i un d'alta producció, en aquest cas per a cada una de les plantes de la zona E.

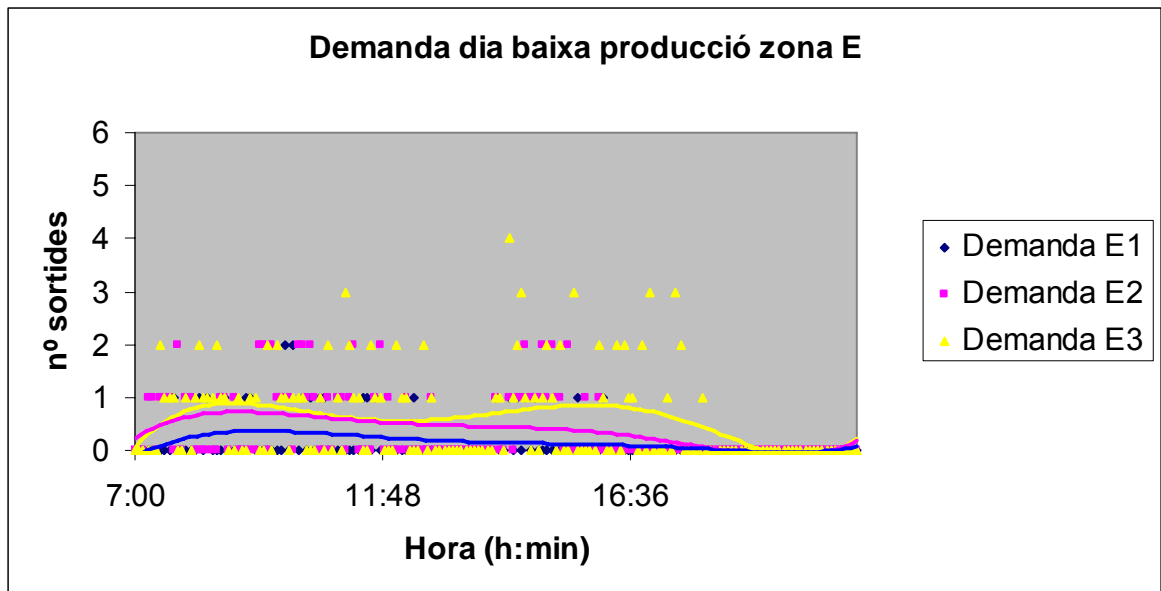


Fig. 3.4 - Distribució de la demanda de un dia de baixa producció a les plantes E1, E2, E3

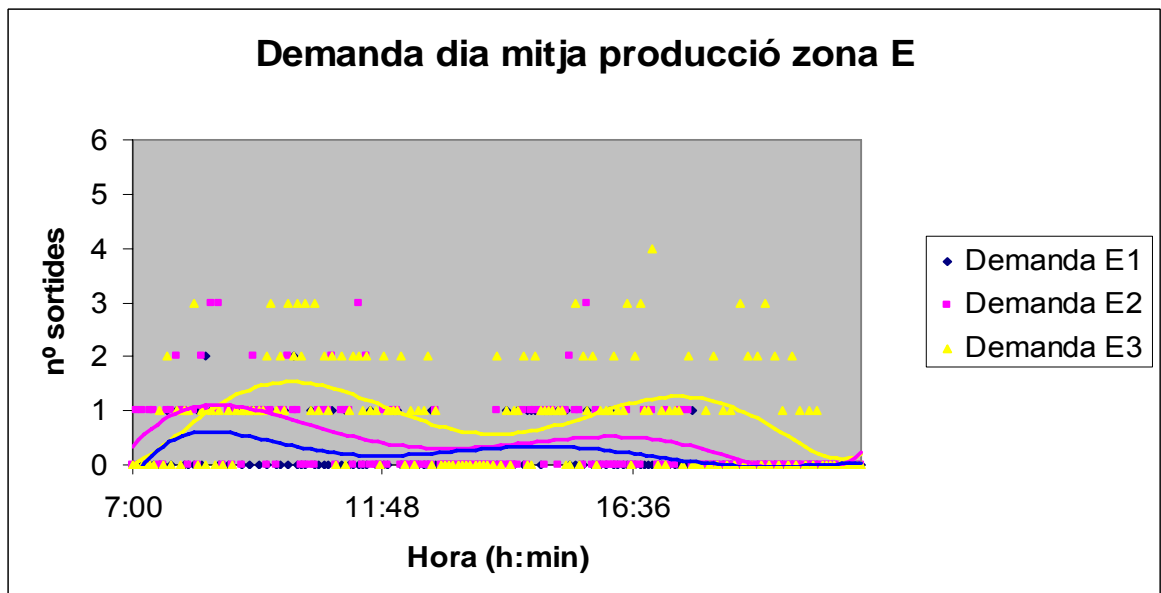


Fig. 3.5 - Distribució de la demanda de un dia de mitja producció a les plantes E1, E2, E3



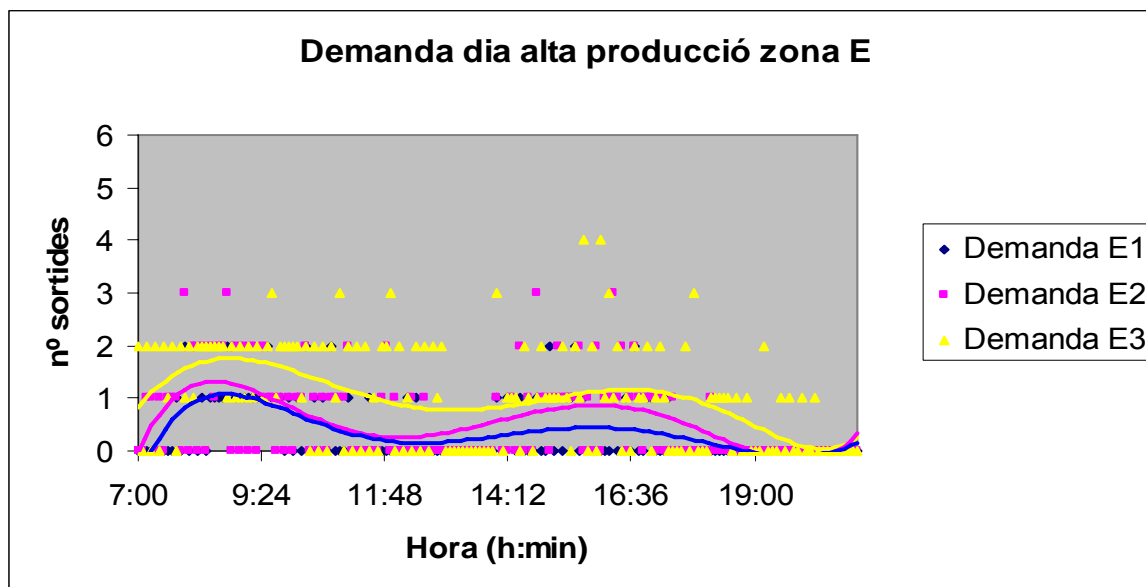


Fig. 3.6 - Distribució de la demanda de un dia d'alta producció a les plantes E1, E2, E3

Les línies de tendència segueixen la mateixa forma que en el cas de la zona C, però amb una demanda més reduïda. Per tant, es considera que la problemàtica és equivalent en ambdues zones.

A l'apartat B.1.1 de l'annex es mostren les demandes de la resta de dies dels que es disposa dades i s'observa que també segueixen la tendència ja comentada.

3.3. Càlcul de les necessitats de vehicles i les cues al llarg de la jornada laboral

Per poder continuar l'estudi dels elements que afectaran al procés de distribució és necessari analitzar l'evolució de les cues al llarg de la jornada i trobar la flota mínima amb la que es podria servir a tots els clients.

El concepte de la necessitat de vehicles es crea per tal de poder calcular quina és la flota mínima de vehicles i veure quins són els factors que la provoquen.

Per tal de definir aquesta flota mínima de vehicles necessària per realitzar la distribució física de producte des d'una planta, es considera que no hi ha cap vehicle a la planta i que aquests es van afegint a mesura que són necessaris. En el moment en que és necessari un vehicle, es diu que es crea una necessitat de vehicles.



Així, es crearà una necessitat de vehicles a la planta quan el número de vehicles que es troben en un determinat moment del dia a la planta i els que just arriben en aquell moment no són suficients per cobrir totes les sortides de planta que s'han de realitzar en aquell instant. La necessitat serà, en número, igual al nombre de vehicles que falten.

La flota mínima de vehicles necessària per tal de realitzar la distribució serà la suma de totes les necessitats de vehicles al llarg del dia.

Per tal de conèixer la situació de les cues i les necessitats de vehicles en tot moment, la jornada laboral es divideix en intervals de 5 minuts. Es considera que aquests intervals que es representen amb la variable i comencen per $i = 0$ que equival a les 7:00h i acaben en $i=168$ que equival a les 21:00h. Aquests intervals s'especifiquen a continuació:

$i \in [0,168]$	
$i = 0 \Rightarrow \text{hora} = 7:00h$	
$i = 1 \Rightarrow \text{hora} = 7:05h$	
$i = 2 \Rightarrow \text{hora} = 7:10h$	
\vdots	
$i = 72 \Rightarrow \text{hora} = 13:00h$	} Hora de dinar
$i = 83 \Rightarrow \text{hora} = 14:00h$	
\vdots	
$i = 168 \Rightarrow \text{hora} = 21:00h$	

Fig. 3.7 - Divisió en intervals de la jornada laboral

A continuació es mostra el càlcul de les cues i les necessitats de vehicles per cada interval:

Cua:

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{cua}(i) = n_a(i) - n_s(i) & \text{si } \text{cua}(i) \geq 0 \text{ i } i = 0 \\ \text{cua}(i) = \text{cua}(i-1) + n_a(i) - n_s(i) & \text{si } \text{cua}(i) \geq 0 \text{ i } i \neq 0 \\ \text{cua}(i) = 0 & \text{si } \text{cua}(i) < 0 \text{ o } 72 \leq i < 83 \end{array} \right.$$

Eq. 3.1

$n_s(i)$: número de sortides de planta en l'interval de temps i .

$n_a(i)$: número d'arribades a planta en l'interval de temps i .



Necessitats de vehicles:

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{nec}(i) = n_s(i) - n_a(i) & \text{si } \text{nec}(i) \geq 0 \text{ i } i = 0 \\ \text{nec}(i) = n_s(i) - n_a(i) - \text{cua}(i - 1) & \text{si } \text{nec}(i) \geq 0 \text{ i } i \neq 0 \\ \text{nec}(i) = 0 & \text{si } \text{nec}(i) < 0 \end{array} \right. \quad \text{Eq. 3.2}$$

$n_s(i)$: número de sortides de planta en l'interval de temps i .

$n_a(i)$: número d'arribades a planta en l'interval de temps i .

3.4. Resultats de les necessitats de vehicles i anàlisi

És habitual que a l'inici del dia es generin necessitats de vehicles, ja que es produeixen les primeres sortides del dia i no hi ha cap arribada. Però pot succeir que també es generin necessitats més endavant, a causa d'un augment de la demanda, es a dir, degut a un nombre elevat de sortides de planta. Això pot fer que el nombre de vehicles que es necessiti per cobrir la demanda augmenti.

En la següent figura es mostra les necessitats de vehicles al llarg de la jornada laboral per un dia de mitja producció, a cada una de les plantes de la zona C.



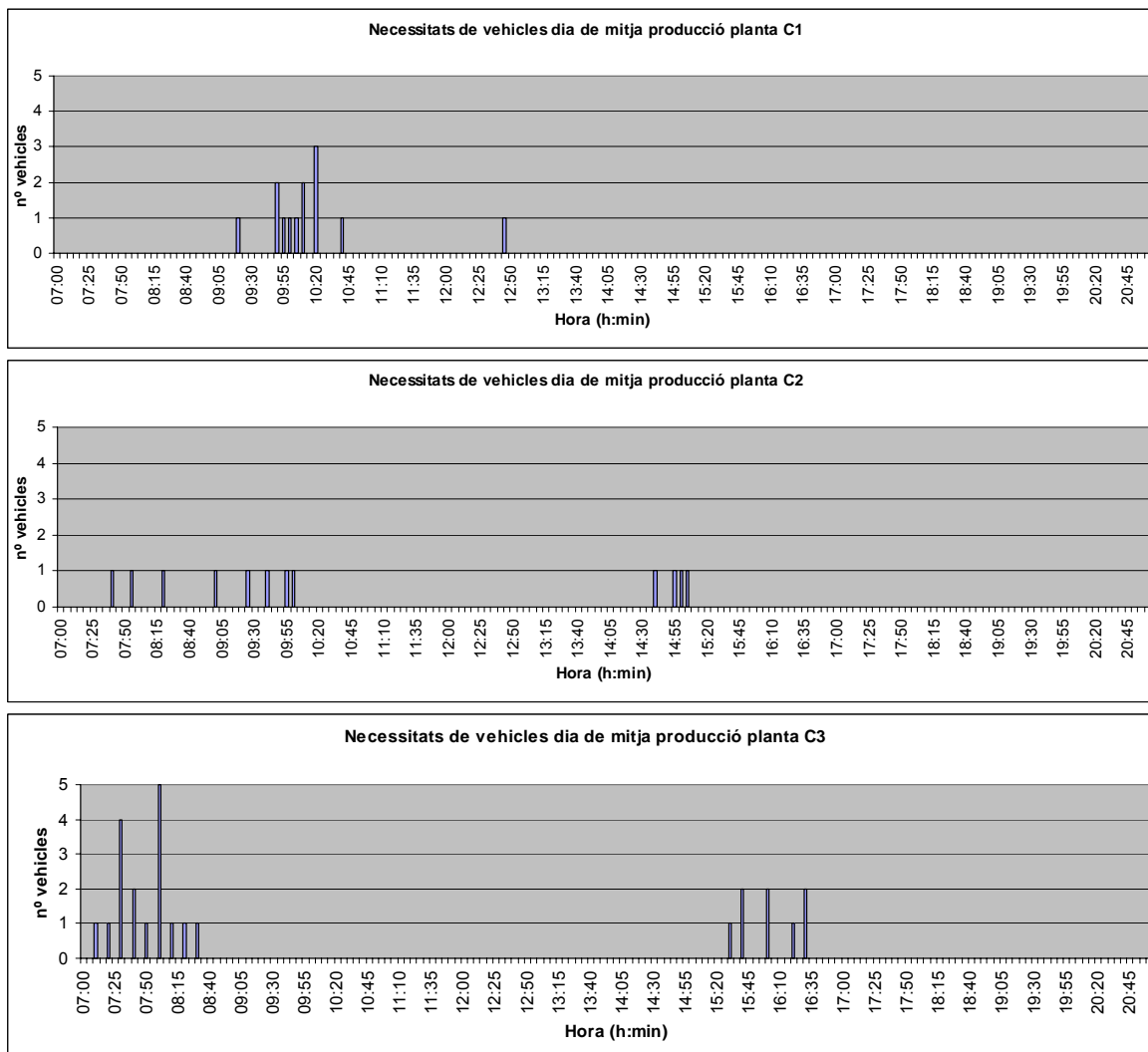


Fig. 3.8 - Necessitats de vehicles en un dia de mitja producció a les plantes C1, C2 i C3

Es pot observar a la figura 3.8, a la planta C3, com a l'inici de la jornada laboral, van apareixent les diferents necessitats de vehicles fins a obtenir una flota de vehicles en planta que permeti servir totes les sortides que es produeixen al matí. En aquests cas la flota necessària per cobrir totes les sortides del matí és de 17 vehicles. En canvi, quan arriba la tarda, el pic de demanda és tant important que aquests 17 vehicles no són suficients per cobrir totes les sortides i apareixen noves necessitats de vehicles. Aquest fet fa que s'hagi d'ampliar la flota fins a 25 vehicles per tal de poder cobrir les sortides de tota la jornada laboral.

A l'apartat B.1.2 de l'annex es mostren els resultats obtinguts per la resta de dies, que segueixen una tendència semblant als presentats.



Les taules 3.2 i 3.3 mostren el repartiment de les flotes mínimes necessàries per tal de cobrir totes les sortides per 6 dies de la zona C i 3 dies de la zona E. A la zona C es mostren dos dies de baixa, dos de mitja i dos d'alta producció i a la zona E un de cada:

		Flota necessària mínima de vehicles					
		Zona C					
Planificació amb criteri de mínima distància	Planta	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció
	C1	13	13	15	9	10	21
	C2	9	12	9	8	12	15
	C3	22	25	30	16	29	22
		44	50	54	33	51	58

Taula 3.2 - Flota necessària mínima de vehicles per 6 dies de la zona C

		Flota necessària mínima de vehicles		
		Zona E		
Planificació amb criteri de mínima distància	Planta	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció
	E1	8	11	12
	E2	15	15	15
	E3	20	21	20
		43	47	47

Taula 3.3 - Flota necessària mínima de vehicles per 3 dies de la zona E

3.5. Resultats de les cues de vehicles al llarg de la jornada laboral i anàlisi

En aquest apartat s'analitza el nivell de cua que es va produint al llarg del dia. Aquest nivell oscil·la en funció de la distribució de la demanda al llarg de la jornada. Quan hi ha pics de demanda, ha d'haver-hi un nombre alt de sortides de planta, i per tant la cua ha de disminuir arribant a ser zero en alguns punts. En canvi quan la demanda presenta valls, el nivell de cua augmenta, provocant acumulacions importants de vehicles en planta.

En la següent figura es mostra l'oscil·lació de la cua al llarg de un dia de mitja producció a la planta C3. Aquesta figura representa les cues que es produïrien si els vehicles arribessin a planta a mesura que es van generant les diferents necessitats de vehicles. Com es veurà més endavant, el sistema de funcionament de l'empresa no és aquest, ja que actualment tots els vehicles arriben a planta a les 7:00h. Les barres representen el nombre de camions que en una determinada hora es troben en cua a la planta.



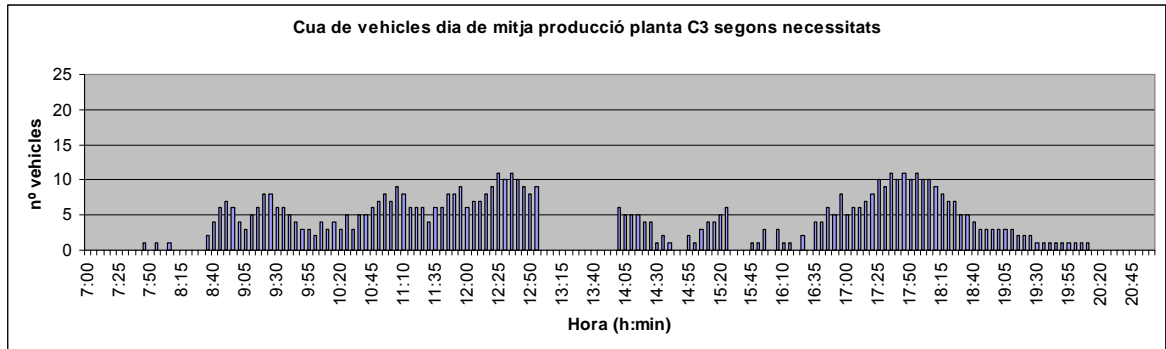


Fig. 3.9 - Cua de vehicles en un dia de mitja producció a la planta C3 amb entrada segons necessitats

En aquest dia, com s'havia comentat anteriorment i es pot veure a la figura 3.8 de la pàgina 21, a la planta C3 apareixen necessitats tant al matí com a la tarda. Si es considera el sistema de funcionament actual de l'empresa, en que tots els vehicles entren a les 7:00h, durant el matí, en que només són necessaris 17 vehicles per tal de servir a tots els clients, es tindrà en planta un nombre de vehicles superior al necessari, fet que farà augmentar de forma important les cues de vehicles. No serà fins a la hora en que apareix la última necessitat de vehicles, les 16:30h, que la totalitat de la flota que es troba a planta serà necessària per poder servir a totes les obres.

A continuació es mostra l'oscil·lació de la cua al llarg de la jornada per aquest dia a la planta C3 considerant que tots els vehicles entren a les 7:00h.

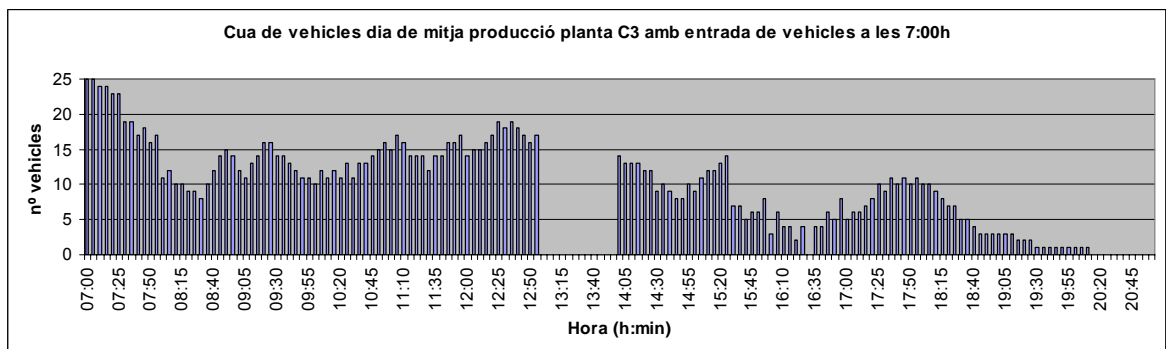


Fig. 3.10 - Cua de vehicles en un dia de mitja producció a la planta C3 amb entrada de vehicles a les 7:00h

A continuació es mostren les cues per un dia de baixa producció a la zona C amb entrada segons necessitats:



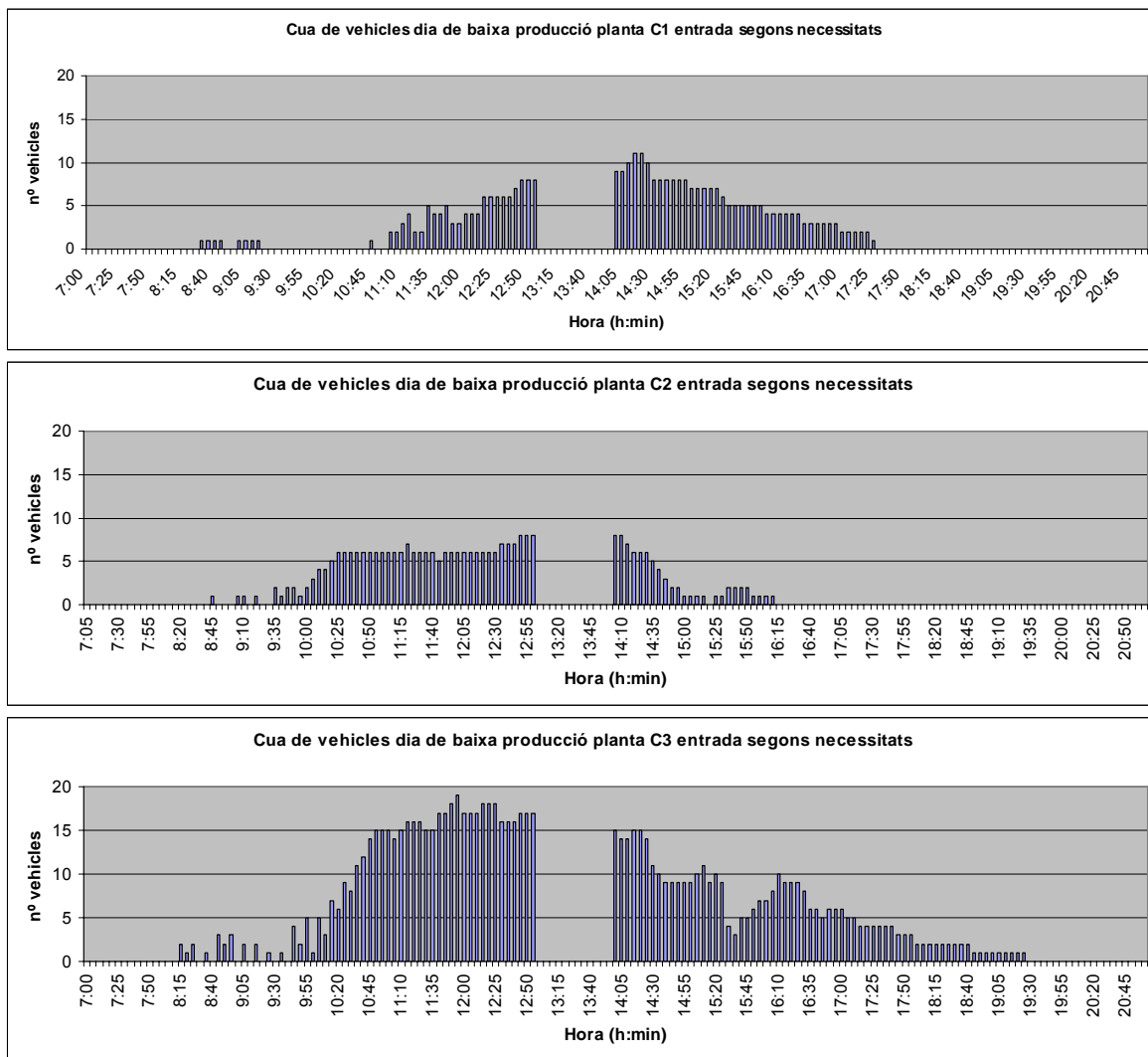


Fig. 3.11 - Cua de vehicles en un dia de baixa producció a les plantes C1, C2 i C3 amb entrada segons necessitats

A l'apartat B.1.3 de l'annex es mostren els resultats obtinguts per la resta de dies, que segueixen una tendència semblant als presentats.

3.6. Accions per optimitzar la planificació

Els resultats que s'han obtingut de les necessitats generades en una planta i de l'evolució de les cues, posa de manifest que en generar-se les necessitats de vehicles en els pics de demanda, la redistribució adequada d'aquesta demanda entre les diferents plantes pot fer que es redueixin les necessitats i que per tant la flota de vehicles necessària per cobrir tota la demanda disminueixi.



Així, es planteja una nova planificació amb l'objectiu d'eliminar o reduir les necessitats en cada planta de la zona d'estudi i, en conseqüència, aconseguir que la distribució d'obres sigui més uniforme al llarg de la jornada. Reduir, a cada una de les plantes, algunes de les necessitats, redundarà en una disminució del nombre mínim de vehicles necessari per fer la distribució. A més, si es tenen necessitats de vehicles a la tarda, una reducció d'aquestes implicarà també una millor distribució de les cues de vehicles al llarg de la jornada.

Només hi ha dues opcions per variar la planificació i intentar reduir les necessitats a les plantes a partir de la planificació inicial. Una és canviar les obres que es troben en els intervals on existeix una necessitat de vehicles, generalment situats en els pics de demanda d'una planta, a una altre planta que en aquella hora tingui una acumulació de vehicles en cua, normalment valls en la seva demanda. Això implica assignar el client a una nova planta. L'altre opció és modificar la hora de sortida de les obres aprofitant els marges permesos per la tecnologia de descàrrega del client. En aquesta última es manté l'assignació inicial de les obres a les plantes.

Així s'han realitzat dos algorismes de planificació, un per a cadascuna de les opcions anteriors per tal d'analitzar la influència de cada una d'elles. Els algorismes s'anomenen:

- Algorisme de planificació amb el criteri de canvi de planta de les obres.
- Algorisme de planificació amb el criteri d'avanç o retard de l'hora de sortida de les obres.

El disseny de cada un dels algorismes persegueix el mateix objectiu:

- Variar la distribució de les obres per tal de disminuir el nombre de sortides en els punts de molta demanda, i situar-les en punts on la cua es elevada.
- Variar la distribució de les obres per tal de disminuir el nombre d'arribades en els punts on la cua es molt elevada, i situar-les en punts on la demanda es més elevada.

L'aplicació amb èxit d'aquests algorismes provoca que es disminueixi el nombre mínim de vehicles per fer la distribució com a conseqüència d'haver reduït o eliminat les necessitats. Com a conseqüència d'això, s'aconsegueix fer més uniforme la demanda i les cues a cada una de les plantes.



4. Disseny de l'algorisme de canvi de planta

En aquest apartat es presenta el disseny d'un algorisme automatitzat de planificació que permet modificar l'assignació de les obres a les plantes, anomenat algorisme de canvi de planta. Aquest algorisme és el resultat de la integració de dos algorismes més, un per reduir les necessitats de vehicles i un altre per desplaçar l'últim interval amb cua zero. El desenvolupament d'aquests dos algorismes, així com la seva integració es presenten al llarg d'aquest capítol.

L'algorisme de canvi de planta es dissenya de manera que, els clients que inicialment generen necessitats de vehicles en una planta, poden ser assignats a una nova planta. Si amb el canvi s'aconsegueix que la reducció de les necessitats de vehicles sigui superior a l'augment de les necessitats a la planta de canvi, el canvi serà efectiu, ja que la flota mínima de vehicles necessaris disminuirà. A continuació es mostra un exemple de canvi de planta.

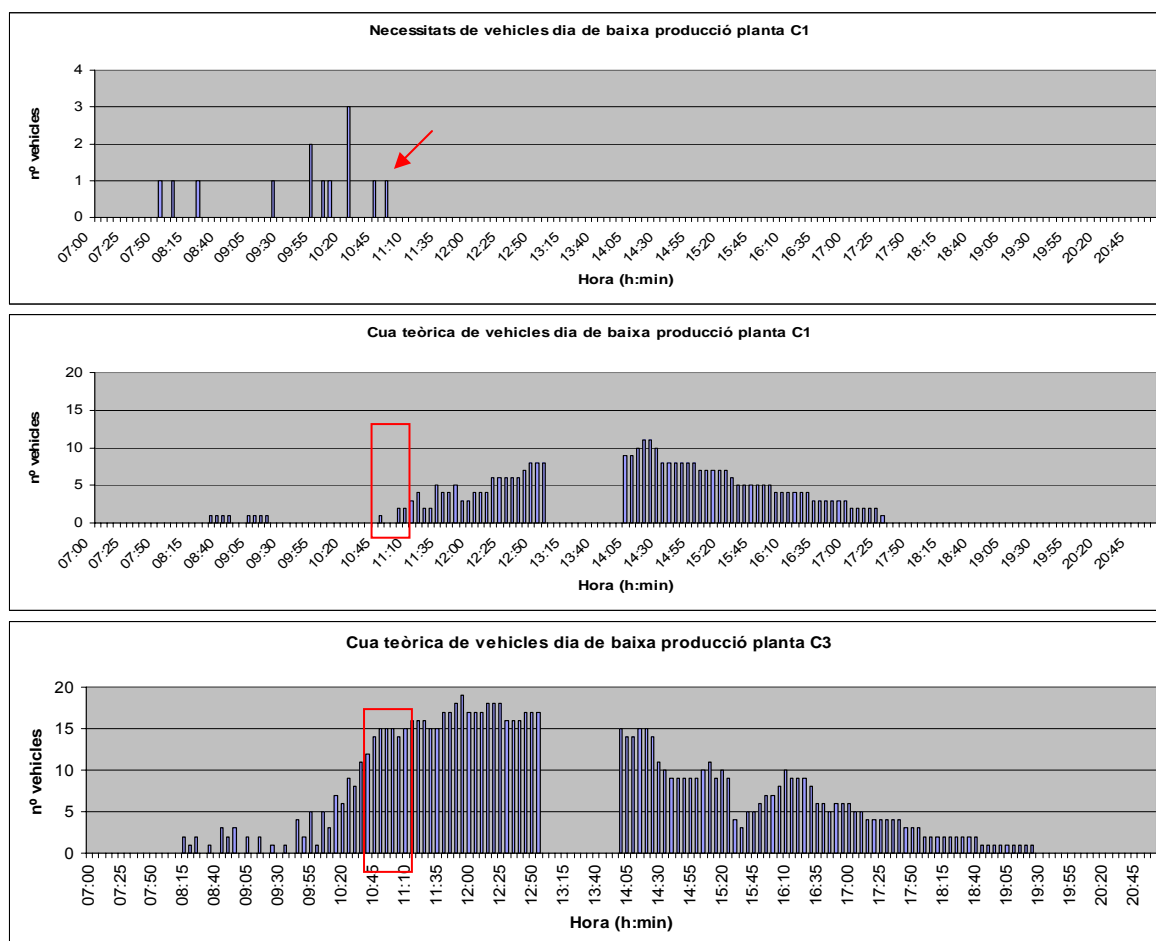


Fig. 4.1 - Situació de les necessitats de vehicles i les cues en un dia de baixa producció amb la planificació inicial



En l'anterior figura es pot observar com, en un dia de baixa producció a la zona C, es produeix una necessitat de vehicles a la planta C1 en un interval de temps en que a la planta C3 hi ha acumulació de cua. L'objectiu de l'algorisme serà passar sortides de les plantes amb necessitats, a plantes que en aquella franja horària tinguin un excés de cua.

Per tal de fer un canvi de planta apropiat s'ha de buscar un client que tingui una sortida en l'interval de temps en que es produeix la necessitat o just abans. En el cas de la figura 4.1 es tria un client que té tres trajectes. El primer trajecte té la seva sortida abans de l'interval de necessitat, el segon just en l'interval en que es produeix la necessitat i el tercer després. En la següent figura es pot veure els efectes que té canviar aquest client de la planta C1 a la planta C3.

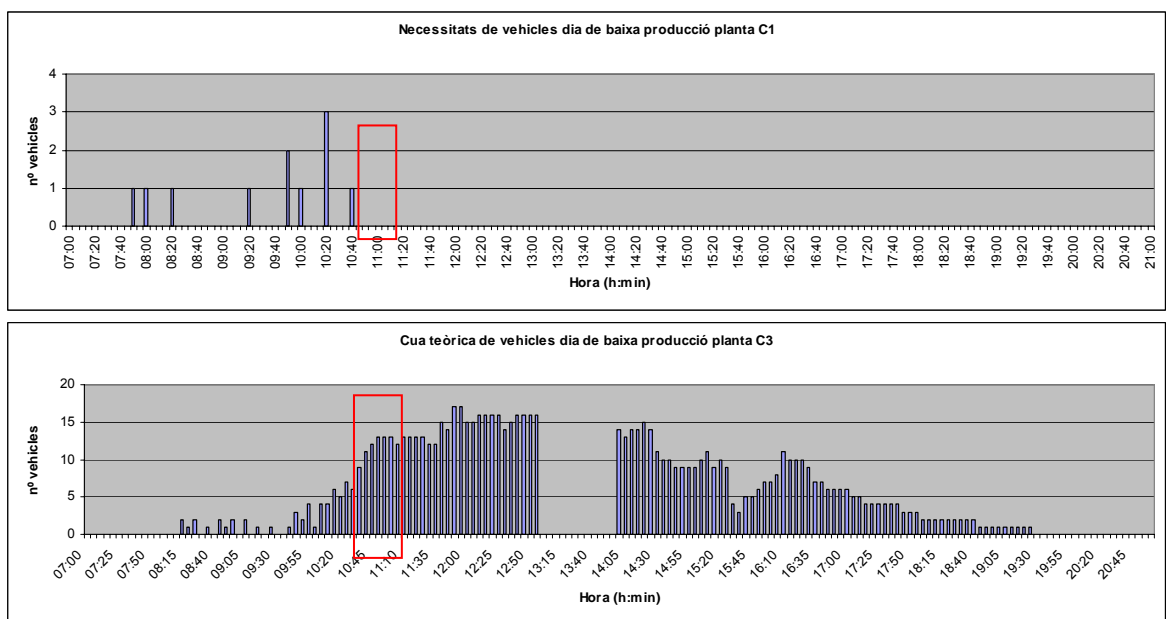


Fig. 4.2 - Efectes de canviar a la planta C3 un client assignat inicialment a la planta C1 en un dia de baixa producció

A la figura 4.2 s'observa com, després de canviar el client de planta, la planta C3 ha reduït les seves cues de vehicles en els intervals de temps a on té les noves sortides. Com que aquesta planta tenia unes cues importants en aquesta franja horària, el canvi no implica cap problema per servir a la resta de clients. Per altre banda, a la planta C1, al treure una sortida de l'interval de temps a on tenia una necessitat, s'ha eliminat aquesta necessitat. A més, donat que aquest client no tenia només un trajecte, han estat dos els trajectes que han produït aquest efecte en la planta, i per tant, aquesta ha passat de necessitar una flota mínima de 13 vehicles a necessitar-ne una de 11 vehicles.



L'anàlisi dels clients es realitzarà per trajectes, tenint en compte les sortides i les arribades tant en la planta d'inici com en la planta de canvi. Com s'ha vist, si es canvia de planta al client sencer, normalment s'haurà de canviar més d'un trajecte i per tant, un cop fet aquest anàlisi, s'haurà d'ampliar per veure quin és l'efecte del canvi de més d'un trajecte a la vegada.

4.1. Algorisme de reducció de les necessitats de vehicles per canvi de planta

Com s'ha dit, per tal de reduir una necessitat, s'haurà de treure un trajecte de la planta que tingui la sortida en l'interval de temps en que es troba aquesta necessitat o en intervals anteriors. A més, s'haurà de tenir en compte el retorn del vehicle que ha realitzat el trajecte, ja que si aquest es produeix abans d'un interval amb cua igual a zero, al treure el trajecte de la planta, en aquest interval es generarà una necessitat o augmentarà si ja existia. Això és degut a que una necessitat de vehicles depèn del número de vehicles que es trobin a la planta en aquell interval de temps. Per tant, si s'elimina un retorn, es reduirà el nombre de vehicles que es troben en planta a partir de l'interval a on es troba el retorn i, si després d'aquest hi ha algun interval a on no hi ha cua, al eliminar el retorn, augmentaran en un vehicle les necessitats en aquest.

Per tant, per què el canvi sigui positiu per a la planta a la que es troba el trajecte inicialment, la sortida s'haurà de trobar en l'interval en que es produeix una necessitat o en intervals anteriors, i el retorn haurà de produir-se després de l'últim interval amb cua igual a zero.

Pel que fa a la planta a on es canvia el client, caldrà garantir que aquest canvi no provoca un augment de les necessitats de vehicles a la planta.

Per tal de no provocar aquest augment, entre la sortida i el retorn del trajecte afegit a la planta no hi ha d'haver cap interval sense cua, o, en el cas de que n'hi hagi, després del retorn ha d'haver algun interval amb necessitats de vehicles.

Si entre la nova sortida i el nou retorn hi ha algun interval sense cua, com que en afegir la sortida es treu un vehicle de la planta i aquest no tornarà fins al retorn del trajecte, la cua entre ells es reduirà en un vehicle. Aquesta reducció provocarà que, si hi ha algun interval sense cua, en aquest es generarà una necessitat o augmentarà si ja existia.

En el cas de que després del retorn hi hagi una necessitat de vehicles, la aparició de la nova necessitat quedarà compensada per la reducció d'aquesta última, ja que al aparèixer una nova necessitat s'incrementa en un la flota de vehicles i aquest vehicle de més arriba a planta en el retorn afegit. Això implica que hi haurà un vehicle més en l'interval en que es



produïa la necessitat i per tant que aquesta es reduirà en una unitat i compensarà la que s'havia generat.

Aquest anàlisi serveix només en el cas de que es vulgui canviar un sol trajecte. Si es volgués canviar més d'un trajecte la única forma de fer un anàlisi tan exhaustiu seria fent-ho per separat per cada trajecte, de forma que si es volgués saber l'efecte del canvi d'un client amb diversos trajectes, s'hauria de fer l'anàlisi pel primer trajecte, canviar-lo, calcular les noves cues i necessitats a la planta i així successivament per tots els trajectes. L'efecte global del canvi del client sencer seria igual a la suma dels efectes per cada trajecte.

Donada aquesta situació es considera que la forma més senzilla de triar els clients a canviar és seleccionar una necessitat que es vulgui reduir i buscar els trajectes que la reduïrien si es canviessin de planta. Un cop es tenen tots els trajectes, els clients als que pertanyen es consideren clients candidats a ser canviats i aquests es proven a canviar a les altres plantes per veure l'efecte del canvi. D'aquesta forma, es té un número limitat de clients candidats dels que es coneix l'efecte exacte del canvi a una altra planta, sense necessitat d'analitzar cada trajecte per separat.

Tenint en compte tots els factors anteriors s'ha dissenyat un algorisme amb les regles i el procediment que es presenta a continuació:

- S'identifiquen els intervals de temps amb necessitats de vehicles a la planta d'estudi. Si hi ha més d'un interval es selecciona l'últim de la jornada.
- Es selecciona cada trajecte que té la sortida abans o dins de l'interval de necessitat i la arribada després de l'últim punt de cua 0. S'identifica el client al que pertany cada trajecte.
- Un cop obtinguts els clients candidats, es seleccionen totes les combinacions de trajectes possibles, tenint en compte que els clients només es poden partir un cop. Per exemple, si un client té 10 trajectes, i els trajectes 4 i 6 són candidats, seleccionarem les següents combinacions de trajectes candidats a canviar de planta: del 1 al 4, del 1 al 6, del 4 al 10, del 6 al 10 i del 1 al 10.
- Per a cada combinació de trajectes es calcula:
 - A la planta d'origen:
 - La possible reducció de cada combinació a la planta d'origen:
 - Es treu el client de la planta i es calculen de nou les cues i les necessitats de vehicles.



- Per cada una de les altres plantes de la zona:
 - Les noves hores de sortida i de retorn de tots els trajectes a canviar, ja que varia la distància entre el client i la planta.
 - La variació de les necessitats de vehicles que es produiria si s'acceptés la combinació del client candidat:
 - Es col·loca el client a la nova planta i es tornen a calcular les cues i les necessitats de vehicles.
 - El cost del canvi. Aquest augment de cost està en funció de la distància i el cost de producció.
- Per tal d'escollir el client i la combinació de trajectes més indicada per al canvi de planta s'estableix un ordre de prioritats:
 - S'escull el client i la combinació de trajectes que provoqui una major reducció de vehicles global. Cal recordar que el canvi es positiu si la reducció de vehicles a la planta d'inici es superior a l'augment de vehicles a la planta de destí.
 - En cas d'empat entre dues combinacions, s'escull la combinació de trajectes que provoqui un menor augment a la planta de canvi.
 - Si també empaten es té en compte:
 - Si les combinacions que empaten pertanyen al mateix client:
 - Si una d'elles conté tots els trajectes del client, es canvia el client sencer.
 - Si les dues combinacions provoquen una partició del client, es canvia aquella amb menor cost de canvi.
 - Si son combinacions de clients diferents:
 - Es canvia aquella amb menor cost de canvi.
- Es prohibeix el canvi, continuant amb el procediment utilitzat per l'empresa, a les combinacions de clients que compleixin:
 - Que tenen més de 20 trajectes.



- Que provenen d'un client partit anteriorment i que s'ha de tornar a partir.
- Que el seu cost de canvi és superior a $C_{màx. de canvi}$

El cost de canvi consta de un cost de operació associat a la variació de la distància recorreguda pels vehicles per tal de servir al client i un cost de producció associat a la diferència de cost entre produir en la planta inicial i en la planta de canvi.

En el cas de que el cost de canvi sigui superior a $C_{màx. de canvi}$ el canvi deixarà de ser un canvi candidat. En aquest treball, i per tal de validar l'algorisme, s'ha considerat que $C_{màx. de canvi}$ és igual al cost de contractar un vehicle per hores durant vuit hores, ja que és l'única dada de la que es disposa, i que aquest cost és de 281,76€.

Com s'ha comentat, un client candidat serà aquell que tingui com a mínim un trajecte amb la sortida abans de la última necessitat i el seu retorn després de l'últim interval amb cua zero. Es pot donar el cas que, inicialment, o després de realitzar algun canvi, es vulgui reduir una necessitat en una planta però aquesta estigui tan separada en el temps de l'últim interval amb cua zero, que no hi hagi cap trajecte que tingui la seva sortida abans de la necessitat i el seu retorn després de l'últim interval amb cua zero. En aquest cas, per tal de tornar a obtenir candidats, es planteja un nou algorisme que permeti modificar les cues de la planta, mitjançant un canvi de planta d'algun client, per tal de moure l'últim interval amb cua zero cap a l'inici del dia.

4.2. Algorisme de desplaçament de l'últim interval amb cua zero per canvi de planta

Aquest algorisme es basarà en les mateixes regles que l'anterior però enlloc de buscar reduir les necessitats buscarà, mitjançant el mateix mètode, afegir un vehicle a la cua de vehicles en l'interval a on no hi ha cua. La única manera d'afegir un vehicle per un canvi de planta és treure una sortida de la planta que es trobi en l'interval sense cua o en intervals anteriors. En aquest cas, no cal una reducció de la necessitat de vehicles, sinó que aquestes no augmentin i que l'interval sense cua es desplaci. Donat que al treure la sortida no es reduiran les necessitats de vehicles a la planta d'inici, les consideracions per a la planta de canvi seran les mateixes que en l'algorisme anterior, es a dir, que no augmentin les seves necessitats de vehicles.

Les regles i el procediment d'aquest algorisme es presenten a continuació:

- S'identifica l'hora de l'últim interval amb cua zero en la planta d'inici.
- Es selecciona cada trajecte que compleix:



- Hora de sortida \leq Hora de l'últim punt de cua zero.
- Hora d'arribada $>$ Hora de l'últim punt de cua zero.
- S'identifica el client al que pertany cada trajecte com a client candidat.
- Es seleccionen totes les combinacions de trajectes de la mateixa manera que en *l'algorisme de reducció de les necessitats de vehicles per canvi de planta*.
- Per cada combinació de trajectes es realitzen els mateixos càlculs que amb *l'algorisme de reducció de les necessitats de vehicles per canvi de planta*, tenint en compte, en aquest cas, l'últim interval amb cua zero enlloc de l'interval amb necessitats i calculant el desplaçament del punt de cua zero a la planta d'inici.
- Per tal d'escollir la combinació de trajectes més indicada per al canvi de planta s'estableix un ordre de prioritat:
 - S'escull la combinació de trajectes que provoqui un major desplaçament de l'últim punt de cua 0 a la planta d'inici, i que no provoqui cap augment de les necessitats de vehicles globals a totes les plantes.
 - En cas d'empat entre dues combinacions:
 - Si les combinacions que empaten pertanyen al mateix client:
 - Si una d'elles conté tots els trajectes del client, es canvia el client sencer.
 - Si les dues combinacions provoquen una partició del client, es canvia aquell amb menor cost de canvi.
 - Si són combinacions d'obres diferents:
 - Es canvia aquella amb menor cost de canvi.
- Es prohibeix el canvi a les combinacions de trajectes que compleixin:
 - Que tenen més de 20 trajectes.
 - Que provenen d'un client partit anteriorment i que s'ha de tornar a partir.
 - Que el seu cost de canvi és superior a $C_{màx. de canvi}$



4.3. Algorisme de canvi de planta

Els dos algorismes presentats permeten, donada una planta de producció, o bé reduir les seves necessitats de vehicles o bé desplaçar l'últim interval amb cua zero per tal de poder tornar a reduir les necessitats, mitjançant canvis en l'assignació de la planta de producció a cada client.

En aquest apartat es presenta un algorisme que integra els dos anteriors i permet, partint d'una planificació inicial, reduir de forma automatitzada les necessitats de vehicles a totes les plantes mitjançant el canvi en l'assignació dels clients a les plantes de producció.

Aquest algorisme intentarà reduir les necessitats de vehicles a totes les plantes de la zona i quan ja no pugui reduir cap necessitat, desplaçarà l'últim interval de cua zero per tal de tornar a obtenir candidates.

Les regles i el procediment de l'algorisme es presenten a continuació:

- S'identifica la millor planta per aplicar *l'algorisme de reducció de les necessitats de vehicles per canvi de planta*.
 - Si troba un candidat que es pugui canviar, es realitza el canvi i es torna al principi.
 - Si cap candidat es pot canviar o no hi ha candidats s'aplica *l'algorisme de reducció de les necessitats de vehicles per canvi de planta* a la següent planta millor i així successivament fins a realitzar un canvi o haver provat totes les plantes.
 - Si s'ha realitzat un canvi es torna al principi
 - Si no s'ha realitzat cap canvi s'aplica *l'algorisme de desplaçament de l'últim interval amb cua zero per canvi de planta* a la planta més apropiada.
 - Si es troba un candidat que es pugui canviar, es realitza el canvi i es torna al principi.
 - En cas de no trobar cap candidat a cap planta finalitza l'algorisme.

La millor planta per aplicar *l'algorisme de reducció de les necessitats de vehicles per canvi de planta* serà aquella que tingui l'últim interval amb necessitats de vehicles més tard. Això



és degut a que normalment és la que té la necessitat més a prop de l'últim interval amb cua zero i a que es considera que les necessitats que primer s'han d'eliminar per obtenir una millor planificació són les que es produeixen més tard.

Al buscar el millor canvi per tal de desplaçar l'últim interval amb cua zero s'executa l'algorisme de desplaçament de l'últim interval amb cua zero per canvi de planta a totes les plantes de producció. Un cop s'obté el millor candidat per cada planta que té candidats que es puguin canviar, es tria aquell que apropa més l'últim interval amb cua zero a l'interval amb necessitats de vehicles, per tal de obtenir el major nombre possible de candidats.

4.4. Resultats de l'algorisme de canvi de planta

En les següents taules es mostren els resultats obtinguts d'aplicar, partint de la planificació inicial realitzada amb el criteri de mínima distància, l'algorisme de canvi de planta. A la taula 4.1 es presenten els repartiments de les flotes mínimes de vehicles, tant per la planificació inicial com per la nova planificació, calculats per dos dies de baixa, dos de mitja i dos d'alta producció per la zona C. A la taula 4.2 es presenten els mateixos resultats per la zona E.

Flota necessària mínima de vehicles							
Zona C							
	Planta	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció
Planificació amb criteri de mínima distància	C1	13	13	15	9	10	21
	C2	9	12	9	8	12	15
	C3	22	26	30	16	29	22
			44	51	54	33	51
Planificació aplicant algorisme de canvi de planta	C1	6	11	15	7	7	17
	C2	7	8	6	7	14	12
	C3	23	19	30	15	23	21
			36	38	51	29	44

Taula 4.1 - Flota necessària mínima de vehicles per la zona C obtinguda amb la planificació inicial i amb l'aplicació de l'algorisme de canvi de planta

Flota necessària mínima de vehicles				
Zona E				
	Planta	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció
Planificació amb criteri de mínima distància	E1	8	11	12
	E2	15	15	15
	E3	20	21	20
			43	47
Planificació aplicant algorisme de canvi de planta	E1	7	11	12
	E2	14	14	15
	E3	16	15	18
			37	40

Taula 4.2 - Flota necessària mínima de vehicles per la zona E obtinguda amb la planificació inicial i amb l'aplicació de l'algorisme de canvi de planta

Com es pot observar en les taules anteriors, l'algorisme de canvi de planta redueix les flotes mínimes de vehicles necessàries per tal de servir a tots els clients en tots els dies. També es pot observar que la reducció no és la mateixa en tots els casos. En el primer dia de mitja producció de la zona C es passa d'una flota mínima de 50 vehicles a una de 38, que equival



a una reducció del 24%. En canvi, en el dia d'alta producció de la zona E es passa d'una flota mínima de 47 vehicles a una de 45 vehicles, essent aquesta reducció de només el 4,5%.

Això és degut a que, com que es parteix d'una planificació inicial en que l'assignació de la planta de producció es fa per criteri de mínima distància, la distribució dels clients a la planta al llarg de la jornada dependrà de la situació geogràfica dels clients d'aquell dia. Per tant, pot ser que un dia els clients quedin molt esglaonats entre ells i que un altre dia els clients assignats a la planta tinguin una hora de sortida molt semblant, generant, en conseqüència, un nombre diferent de necessitats de vehicles per una mateixa demanda.

Això es pot observar en la zona E, en que per un dia de mitja producció i un d'alta es generen les mateixes necessitats de vehicles amb la planificació inicial. Si la demanda de producte és més gran en el dia d'alta producció i les necessitats de vehicles són les mateixes, voldrà dir que, des del punt de vista de reduir al màxim les flotes mínimes de vehicles, la planificació inicial en el cas del dia d'alta producció és millor que en el dia de mitja producció i, per tant, al aplicar l'algorisme, es podrà millorar més la planificació en el dia de mitja producció.

Per altre banda, cal notar també la importància de la tipologia dels clients. Clients amb un nombre reduït de trajectes permeten moltes més possibilitats de canvi que clients amb un nombre elevat, degut a les menors conseqüències de passar-los a la planta de canvi, donat el poc volum de producció que se li afegeix.



5. Disseny de l'algorisme d'avanç i retard.

En aquest apartat es presenta el disseny d'un algorisme automatitzat de planificació que permet la modificació de la distribució horària dels clients, anomenat algorisme d'avanç i retard. Aquest algorisme és el resultat de la integració de dos algorismes més, un per reduir les necessitats de vehicles i un altre per desplaçar l'últim interval amb cua zero. El desenvolupament d'aquests dos algorismes, així com la seva integració es presenten al llarg d'aquest capítol.

Aquest algorisme permet millorar la planificació en base a la variació de la primera hora de sortida d'un client, utilitzant el marge de temps adjudicat a cada client a partir del tipus de tecnologia de descàrrega.

El fet de desplaçar la primera hora de sortida de vehicles d'un client implica desplaçar tots els trajectes d'aquell client, ja que la freqüència d'arribada de producte al client ha de ser constant i, per tant, totes les sortides i retorns depenen de la primera hora de sortida.

De la mateixa forma que per l'algorisme anterior, s'utilitza un mètode per detectar els trajectes candidats, amb la diferència que, com s'ha comentat, per garantir el servei els clients candidats no es poden partir sinó que s'haurà de desplaçar el client sencer.

En aquest cas, es considerarà que no existeix cap cost de canvi, donat que el client és servit des de la mateixa planta de producció i per tant no hi ha cap variació ni en els kilòmetres realitzats pels vehicles ni en el cost de producció.

Cada client té adjudicat un marge de temps. El valor d'aquest marge s'adjudica a un marge d'avanç i a un marge de retard, que depenen l'un de l'altre. Quan un augmenta l'altre disminueix en la mateixa proporció i al revés. Es a dir, si un client té un marge de temps de mitja hora i es retarda 10 minuts la seva hora de sortida, el següent cop que l'algorisme provi a desplaçar aquest client només podrà retardar la seva hora de sortida vint minuts però en canvi la podrà avançar quaranta.

5.1. Algorisme de reducció de les necessitats de vehicles per avanç o retard de la primera hora de sortida

Per tal de trobar els trajectes candidats s'utilitza un mètode molt similar al de l'algorisme anterior, amb petites diferències ja que en aquest cas no es canvien els clients de planta i per tant la planta d'inici i la de canvi són les mateixes.



En aquest cas hi ha dues formes de reduir una necessitat de vehicles:

- Retardar una sortida que es trobi en l'interval en que es produeix la necessitat, o en intervals anteriors, fins a després de l'últim interval amb cua zero.

D'aquesta manera s'estan augmentant les cues de vehicles en l'interval amb necessitats i per tant aquestes es reduiran. Per altre banda, com que la sortida es desplaça a una zona en que hi ha cua de vehicles, no hi hauran problemes per servir-la donat que a la planta hi hauran més vehicles dels necessaris per servir a totes les obres.

- Avançar un retorn que es trobi després de l'últim interval amb cua zero fins a l'interval en que es produeix la necessitat o intervals anteriors.

Un retorn que es troba després de l'últim interval amb cua zero és pot eliminar sense provocar un augment de les necessitats de vehicles i, si es situa abans o en l'interval amb necessitats de vehicles, provoca un augment de la cua que fa reduir aquesta necessitat.

Les regles i el procediment de l'algorisme es presenten a continuació:

- S'identifica l'últim interval de temps amb necessitats de vehicles.
- S'identifica l'últim interval de temps amb cua zero.
- Els clients candidats a ser retardats són aquells que contenen trajectes amb hora de sortida de planta que compleix:
 - Hora de sortida \leq Hora on es genera la necessitat.
 - Hora de sortida $>$ Hora de l'últim punt de cua zero – marge de retard.
- Els candidats a ser avançats són aquells que contenen trajectes amb hora d'arribada a planta que compleix:
 - Hora d'arribada $>$ Hora de l'últim punt de cua zero.
 - Hora d'arribada \leq Hora on es genera la necessitat + marge d'avanç.
- Un cop s'obtenen els clients candidats es prova l'avanç o retard de cada un d'ells.
 - Es calculen les noves hores de sortida i de retorn de tots els trajectes i es calculen les noves cues i necessitats de vehicles a la planta.



- Per tal d'escollir el client més indicat s'estableix un ordre de prioritat:
 - S'escull el client que el seu avanç o retard provoqui una major reducció de les necessitats de vehicles.
 - En cas d'empat s'escull el client que s'hagi d'avançar o retardar menys.
 - En cas d'empat s'escull el client amb menor número de trajectes.
 - Es descarten els clients que, amb l'avanç o el retard, haurien de començar abans de les 7:00h o finalitzar després de les 21:00h.
- Un cop s'escull el client s'actualitza el marge d'avanç o el marge de retard i s'avança o es retarda al client.

Igual que en el cas anterior, s'ha dissenyat un algorisme que desplaci l'últim interval amb cua zero per tal d'obtenir més candidates un cop ja no es poden reduir més les necessitats de vehicles.

El seu funcionament és molt semblant al dels anteriors algorismes i es mostra a continuació:

5.2. Algorisme de desplaçament de l'últim interval amb cua zero per avanç o retard de la primera hora de sortida

- S'identifica l'últim interval amb cua zero de la planta.
- Els clients candidats per a desplaçar l'interval de cua zero, mitjançant els seu retard, són aquells que contenen algun trajecte que compleix:
 - Hora de sortida > Hora de l'últim punt de cua zero – marge de retard.
 - Hora de sortida ≤ Hora de l'últim punt de cua zero.
- Els clients candidats per a desplaçar l'interval de cua zero, mitjançant el seu avanç, són aquells que contenen algun trajecte que compleix:
 - Hora d'arribada ≤ Hora de l'últim punt de cua zero + marge d'avanç.
 - Hora d'arribada > Hora de l'últim punt de cua zero.
- Un cop s'obtenen els clients candidats es prova l'avanç o retard de cada un d'ells.



- Es calculen les noves hores de sortida i de retorn de tots els trajectes i es calculen les noves cues i necessitats de vehicles a la planta.
- Per tal d'escollir el client més indicat s'estableix el següent ordre de prioritat:
 - S'escull el client que el seu avanç o retard provoqui un major desplaçament cap a l'inici del dia de l'últim interval amb cua 0 i que no provoqui un augment de les necessitats de vehicles globals a totes les plantes.
 - En cas d'empat s'escull el client que s'hagi d'avançar o retardar menys.
 - En cas d'empat s'escull el client amb menor número de trajectes.
 - Es descarten els clients que, amb l'avanç o el retard, haurien de començar abans de les 7:00h o finalitzar després de les 21:00h.
- Un cop s'escull el client s'actualitza el marge d'avanç o el marge de retard i s'avança o es retarda al client.

5.3. Algorisme d'avanç o retard

Els dos algorismes presentats permeten, donada una planta de producció, o bé reduir les seves necessitats de vehicles o bé desplaçar l'últim interval amb cua zero per tal de poder tornar a reduir les necessitats, mitjançant canvis en l'hora a la que es servirà a cada client.

En aquest apartat es presenta un algorisme que integra els dos anteriors i permet, partint d'una planificació inicial, reduir de forma automatitzada les necessitats de vehicles a totes les plantes mitjançant el canvi de l'hora en que es comença a servir a cada client.

A diferència de *l'algorisme de canvi de planta*, aquest algorisme actua sobre cada planta per separat donat que el canvi d'hora d'un client no afecta a la resta de plantes. L'algorisme comença per la primera planta de la zona, ja que en aquest cas no importa l'ordre en que es comenci, i redueix les necessitats tot el que es pugui. Un cop ja no es poden reduir més intenta desplaçar l'interval amb cua zero per tal de tornar a obtenir candidates. En el cas de que pugui desplaçar a un client, l'algorisme torna a intentar reduir les necessitats i així successivament fins que ja no pugui realitzar cap desplaçament a cap de les plantes.



Les regles i el procediment de l'algorisme es presenten a continuació:

- Per cada planta de la zona
 - S'aplica l'algorisme de reducció de les necessitats de vehicles per avanç o retard de la primera hora de sortida fins que no quedin clients candidats o els candidats no es puguin avançar ni retardar.
 - S'aplica un cop l'algorisme de desplaçament de l'últim interval amb cua zero per avanç o retard de la primera hora de sortida.
 - Si es pot avançar o retardar un client, es realitza el desplaçament i es torna a executar l'algorisme de reducció de les necessitats de vehicles per avanç o retard de la primera hora de sortida.
 - En cas que no es pugui avançar o retardar cap client es passa a la següent planta.
- Un cop aplicats els dos algorismes a totes les plantes finalitza l'algorisme.

5.4. Resultats de l'algorisme d'avanç o retard

En les següents taules es mostren els resultats obtinguts d'aplicar, partint de la planificació inicial realitzada amb el criteri de mínima distància, l'algorisme d'avanç o retard. A la taula 5.1 es presenten els repartiments de les flotes mínimes de vehicles, tant per la planificació inicial com per la nova planificació, calculats per dos dies de baixa, dos de mitja i dos d'alta producció per la zona C. A la taula 5.2 es presenten els mateixos resultats per la zona E.

		Flota necessària mínima de vehicles					
		Zona C					
	Planta	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció
Planificació amb criteri de mínima distància	C1	13	13	15	9	10	21
	C2	9	12	9	8	12	15
	C3	22	26	30	16	29	22
		44	51	54	33	51	58
Planificació aplicant algorisme d'avanç i retard	C1	8	11	10	7	7	16
	C2	6	10	7	6	9	10
	C3	17	22	25	12	18	17
		31	43	42	25	34	43

Taula 5.1 - Flota necessària mínima de vehicles per la zona C obtinguts amb la planificació inicial i amb l'aplicació de l'algorisme d'avanç i retard



		Flota necessària mínima de vehicles			
		Zona E			
		Planta	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció
Planificació amb criteri de mínima distància	E1		8	11	12
	E2		15	15	15
	E3		20	21	20
			43	47	47
Planificació aplicant algorisme d'avanç i retard	E1		6	9	10
	E2		10	11	12
	E3		17	13	16
			33	33	38

Taula 5.2 - Flota necessària mínima de vehicles per la zona E amb la planificació inicial i amb l'aplicació de l'algorisme d'avanç i retard

Com es pot observar en les taules anteriors, l'algorisme redueix les flotes mínimes de vehicles necessàries per tal de servir a tots els clients en tots els dies. També es pot observar que, com al aplicar *l'algorisme de canvi de planta*, la reducció no és la mateixa en tots els dies.

Això és degut a que, com que es parteix d'una planificació inicial en que l'hora de sortida es pacta amb el client, la distribució d'aquests al llarg de la jornada dependrà de les seves necessitats. Per tant, pot ser que un dia els clients quedin molt esglaonats entre ells i que un altre dia sol·licitin producte tots a la mateixa hora, generant una quantitat més gran de necessitats de vehicles.

Per altre banda cal notar, com en el cas de *l'algorisme de canvi de planta*, la importància de la tipologia dels clients. Clients amb un nombre reduït de trajectes permeten moltes més possibilitats de desplaçament, ja que un client s'ha d'avançar o retardar sencer.

5.5. Comparació dels resultats de l'algorisme de canvi de planta i del d'avanç i retard

Comparant els resultats obtinguts amb l'algorisme de canvi de planta i el d'avanç i retard s'observa que, dels dies analitzats, el primer dia de mitja producció de la zona C és l'únic en que es produeix una major reducció aplicant *l'algorisme de canvi de planta*. Si s'analitza la distribució dels clients d'aquest dia s'observa que les plantes treballen en intervals horaris diferents i per tant tenen una distribució de clients més adequada per al canvi de planta. Aquest sempre es produirà d'una planta amb necessitats de vehicles, en un cert interval de temps, a un altre on en el mateix interval de temps tingui vehicles en cua. En canvi, com que els clients es troben ja bastant ben esglaonats, *l'algorisme d'avanç o retard* no redueix de forma tan important les necessitats de vehicles.



Com es pot observar a les següents taules, per la resta de dies la reducció és superior aplicant l'algorisme d'avanç i retard.

Flota necessària mínima de vehicles							
Zona C							
	Planta	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció
Planificació amb criteri de mínima distància	C1	13	13	15	9	10	21
	C2	9	12	9	8	12	15
	C3	22	26	30	16	29	22
		44	51	54	33	51	58
Planificació aplicant algorisme de canvi de planta	C1	6	11	15	7	7	17
	C2	7	8	6	7	14	12
	C3	23	19	30	15	23	21
		36	38	51	29	44	50
Planificació aplicant algorisme d'avanç i retard	C1	8	11	10	7	7	16
	C2	6	10	7	6	9	10
	C3	17	22	25	12	18	17
		31	43	42	25	34	43

Taula 5.3 - Flota necessària mínima de vehicles per la zona C amb la planificació inicial, aplicant l'algorisme de canvi de planta i l'algorisme d'avanç i retard

Flota necessària mínima de vehicles				
Zona E				
	Planta	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció
Planificació amb criteri de mínima distància	E1	8	11	12
	E2	15	15	15
	E3	20	21	20
		43	47	47
Planificació aplicant algorisme de canvi de planta	E1	7	11	12
	E2	14	14	15
	E3	16	15	18
		37	40	45
Planificació aplicant algorisme d'avanç i retard	E1	6	9	10
	E2	10	11	12
	E3	17	13	16
		33	33	38

Taula 5.4 - Flota necessària mínima de vehicles per la zona E amb la planificació inicial, aplicant l'algorisme de canvi de planta i l'algorisme d'avanç i retard

Es pot concloure que, en general, les reduccions obtingudes al aplicar l'algorisme d'avanç i retard són més importants que les obtingudes al aplicar l'algorisme de canvi de planta ja que l'avanç i retard dona un joc de canvis superior al canvi de planta.



6. Disseny d'un algorisme de planificació integrant el de canvi de planta i el d'avanç i retard: algorisme integrat

L'algorisme que es presenta en aquest apartat s'ha dissenyat amb l'objectiu d'integrar els dos algorismes desenvolupats en els capítols anteriors. Així, en aquest s'inclourà la possibilitat de canviar les obres de planta i la possibilitat d'avançar o retardar la primera hora de sortida de cada client.

Com s'ha comentat, es disposa de dos algorismes per la reducció de vehicles i cadascun d'ells integra dos algorismes més:

- Algorisme de canvi de planta:
 - Algorisme de reducció de les necessitats de vehicles per canvi de planta.
 - Algorisme de desplaçament de l'últim interval amb cua zero per canvi de planta.
- Algorisme d'avanç o retard:
 - Algorisme de reducció de les necessitats de vehicles per avanç o retard de la primera hora de sortida.
 - Algorisme de desplaçament de l'últim interval amb cua zero per avanç o retard de la primera hora de sortida.

Donada la diferent tipologia dels dos mètodes, cada un té efectes diferents sobre la distribució dels clients i sobre l'evolució de les cues a cada planta. Inicialment s'han aplicat els dos algorismes de forma seqüencial per tal de veure quina seqüència és la que dona millors resultats.

Posteriorment s'han integrat els dos algorismes de forma que es puguin activar els dos algorismes a cada iteració.



6.1. Aplicació seqüencial de l'algorisme de canvi de planta i del d'avanç i retard

A les taules 6.1 i 6.2 es mostra la reducció en la flota mínima de vehicles necessària per fer la distribució, obtinguda com a resultat d'aplicar els dos algorismes de forma seqüencial. Primer, s'ha aplicat un dels dos algorismes i la planificació obtinguda s'ha utilitzat com a planificació de partida per aplicar l'altre i, després, s'ha realitzat el procés anàleg.

Flota necessària mínima de vehicles							
Zona C							
	Planta	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció
Planificació amb criteri de mínima distància	C1	13	13	15	9	10	21
	C2	9	12	9	8	12	15
	C3	22	26	30	16	29	22
		44	51	54	33	51	58
Planificació aplicant algorisme de canvi de planta seguit de algorisme d'avanç i retard	C1	8	10	10	7	7	15
	C2	6	8	6	6	12	10
	C3	17	16	25	13	18	18
		31	34	41	26	37	43
Planificació aplicant algorisme d'avanç i retard seguit de algorisme de canvi de planta	C1	8	10	10	7	6	16
	C2	6	9	7	6	9	9
	C3	17	18	25	12	18	18
		31	37	42	25	33	43

Taula 6.1 - Flota necessària mínima de vehicles per 6 dies de la zona C amb la planificació inicial, aplicant l'algorisme de canvi de planta seguit de l'algorisme de avanç i retard i l'anàleg

Flota necessària mínima de vehicles				
Zona E				
	Planta	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció
Planificació amb criteri de mínima distància	E1	8	11	12
	E2	15	15	15
	E3	20	21	20
		43	47	47
Planificació aplicant algorisme de canvi de planta seguit de algorisme d'avanç i retard	E1	5	9	10
	E2	11	10	12
	E3	14	13	16
		30	32	38
Planificació aplicant algorisme d'avanç i retard seguit de algorisme de canvi de planta	E1	6	9	10
	E2	9	10	12
	E3	17	13	16
		32	32	38

Taula 6.2 - Flota necessària mínima de vehicles per 3 dies de la zona E amb la planificació inicial, aplicant l'algorisme de canvi de planta seguit de l'algorisme de avanç i retard i l'anàleg

Com es pot observar, segons el dia tractat, s'obtenen millors reduccions amb una seqüència o amb una altre. Depenent de les característiques de les obres (hora de sortida, m³, marge de temps, etc.), una seqüència aconsegueix reduir la flota mínima en major nombre que l'altre. Donada la necessitat d'obtenir un mètode que funcioni de forma general, s'ha de dissenyar un procediment que integri ambdós algorismes i que no calgui fer un anàlisi previ per tal de veure quina és la seqüència més apropiada per aplicar.



6.2. Integració de l'algorisme de canvi de planta i del d'avanç i retard

La integració dels dos algorismes s'ha realitzat prioritant l'avanç i retard d'una comanda respecte al possible canvi de planta d'aquesta. L'avanç o retard d'una comanda no fa augmentar el quilometratge dels vehicles, ni provoca augments en els costos de producció, que són diferents en funció de la planta assignada. En canvi, aquests costos si que poden augmentar amb el canvi de planta.

El procediment d'integració és realitza de la forma següent:

Donada una distribució inicial de les obres a les plantes de producció realitzada amb el criteri de mínima distància:

- *S'aplica l'algorisme de reducció de les necessitats de vehicles per avanç o retard de la primera hora de sortida fins que no s'obtenen més clients candidats o aquests ja no es poden desplaçar. Un cop arribat a aquest punt, per tal de tornar a obtenir clients candidats, s'aplica l'algorisme de desplaçament de l'últim interval amb cua zero per avanç o retard de la primera hora de sortida.*
 - Si produeix un desplaçament, es torna al primer punt.
 - Si no es produeix cap desplaçament s'aplica l'algorisme de reducció de les necessitats de vehicles per canvi de planta.
 - Si es produeix un canvi es torna al primer punt.
 - Si no es produeix cap canvi s'aplica l'algorisme de desplaçament de l'últim interval amb cua zero per canvi de planta.
 - Si es produeix un canvi es torna al primer punt.
 - Si no es produeix cap canvi, finalitza l'algorisme.

En la següent figura es representa, amb diagrames de blocs, el funcionament de l'algorisme integrat:



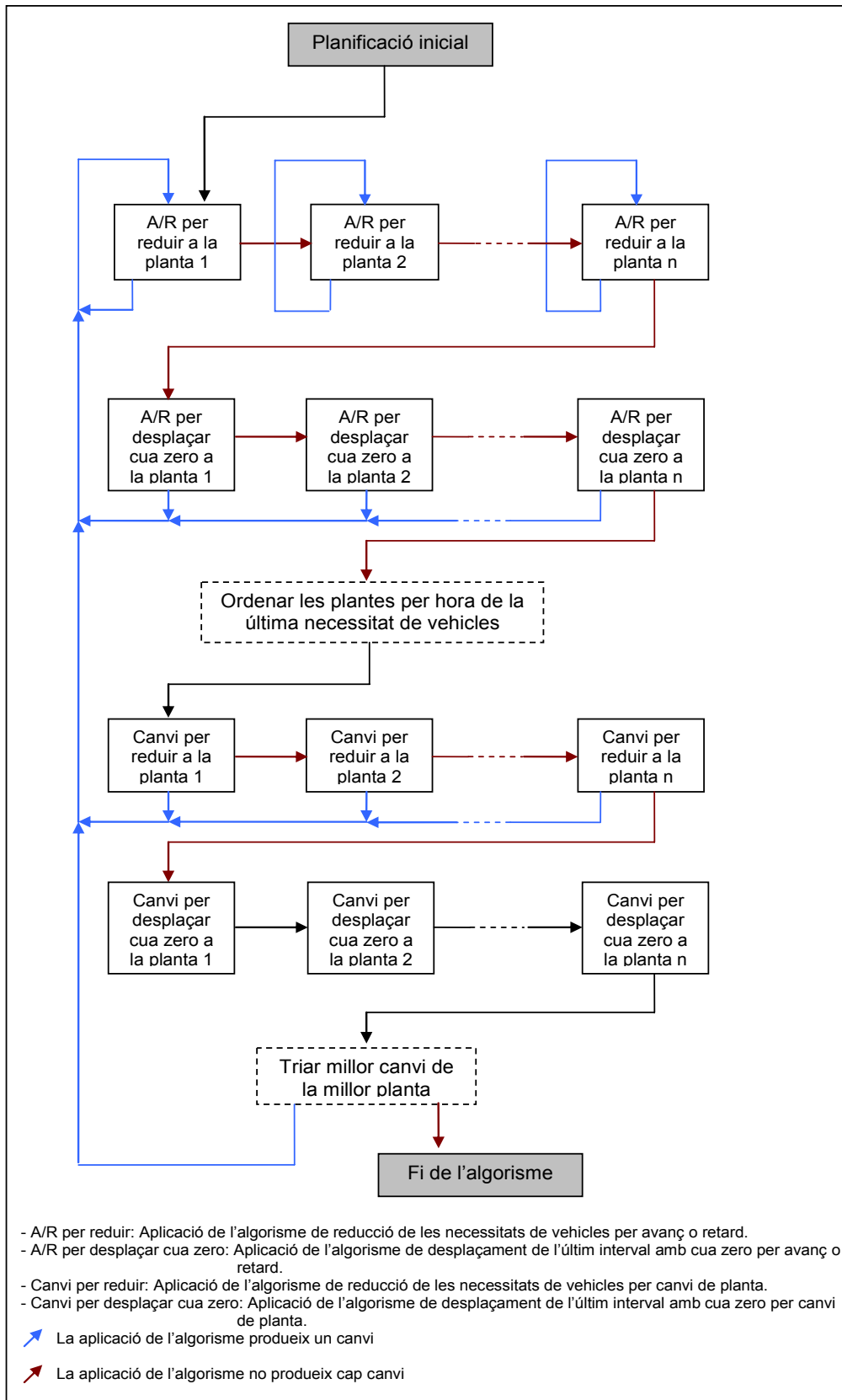


Fig. 6.1 Diagrama de funcionament de l'algorisme integrat



6.3. Resultats de l'algorisme integrat.

Per tal de validar l'algorisme integrat, s'ha aplicat a les sis jornades laborals de la zona C i a les tres de la zona E, planificades inicialment amb el criteri de mínima distància. Els resultats obtinguts son els següents:

		Flota necessària mínima de vehicles						
		Zona C						
		Planta	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció
Planificació amb criteri de mínima distància	C1		13	13	15	9	10	21
	C2		9	12	9	8	12	15
	C3		22	26	30	16	29	22
			44	51	54	33	51	58
Planificació aplicant l'algorisme integrat	C1		7	9	9	7	5	15
	C2		5	10	7	6	9	8
	C3		17	17	24	12	18	18
			29	36	40	25	32	41

Taula 6.3 - Flota necessària mínima de vehicles per la zona C obtinguda amb la planificació inicial i amb l'aplicació de l'algorisme integrat.

		Flota necessària mínima de vehicles			
		Zona E			
		Planta	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció
Planificació amb criteri de mínima distància	E1		8	11	12
	E2		15	15	15
	E3		20	21	20
			43	47	47
Planificació aplicant l'algorisme integrat	E1		6	8	10
	E2		9	10	12
	E3		15	12	16
			30	30	38

Taula 6.4 - Flota necessària mínima de vehicles per la zona E obtinguda amb la planificació inicial i amb l'aplicació de l'algorisme integrat.

Si es comparen els resultats obtinguts aplicant l'algorisme integrat, amb els obtinguts aplicant les dues seqüències mostrades a les taules 6.1 i 6.2 de la pàgina 44, s'observa que amb la integració, de forma general, sempre s'igualava o fins i tot es millora la millor reducció obtinguda utilitzant els algorismes de forma seqüencial. La única excepció torna ha ser el dia 1 de la zona b, que, com s'ha comentat anteriorment, té unes característiques que afavoreixen especialment el canvi de planta. Per a la majoria de dies, la utilització de l'algorisme integrat permet obtenir la major reducció sense tenir en compte les característiques de la jornada laboral.

El fet que en algunes de les jornades laborals analitzades s'aconsegueixi una flota mínima més reduïda utilitzant l'algorisme integrat posa de manifest que, combinant els dos algorismes, es poden obtenir distribucions amb un número menor de vehicles que les que s'aconsegueixen utilitzant els dos algorismes de forma seqüencial i, per tant, es valida l'algorisme integrat.



7. Aplicació d'una metaheurística per optimitzar l'algorisme de planificació

En aquest apartat es mostra el disseny de un procés de millora de les solucions obtingudes per l'algorisme integrat basat en la utilització d'una metaheurística.

Si s'analitza el funcionament de l'algorisme integrat és pot observar com aquest sempre busca obtenir òptims locals, es a dir, cada cop que tria un canvi de planta o un desplaçament en la primera hora de sortida, tria el millor canvi entre els candidats, garantint que aquest canvi suposa una millora en la planificació, però sense tenir en compte les conseqüències d'aquest canvi sobre els canvis posteriors.

Aquesta forma de treballar de l'algorisme garanteix que, si obté una nova solució, aquesta serà millor que l'anterior. El que no pot garantir l'algorisme és que aquesta solució sigui òptima.

Es pot donar el cas en que un canvi de planta o un desplaçament de la primera hora de sortida provoquin un augment de la flota mínima necessària de vehicles però, que al realitzar-los, la distribució dels clients al llarg de la jornada quedi molt més favorable per l'aplicació de l'algorisme i que aquest acabi trobant una distribució en que la flota mínima necessària sigui menor que sense haver realitzat aquest primer canvi.

De la mateixa forma, també es pot donar el cas en que un òptim local, es a dir, el millor canvi o desplaçament entre els candidats, provoqui que la distribució dels clients no permeti reduir més la flota de vehicles i, en canvi, si no s'hagués realitzat, l'algorisme l'hagués pogut reduir.

Per tot això es planteja un algorisme iteratiu que provi aleatòriament diverses variacions en el criteri de tria dels candidats i del candidat millor, de forma que és puguin realitzar canvis que no siguin òptims locals i, per tant, augmentar les possibilitats d'apropar-se a l'òptim global.

Com que les possibilitats de canvi de planta i de desplaçament de la primera hora de sortida són molt grans i és molt difícil valorar els seus efectes sobre l'efectivitat de l'algorisme integrat, no s'ha pogut plantejar una metaheurística "intel·ligent" que faci convergir les solucions cap a la solució òptima, sinó que s'ha plantejat una metaheurística que dona variabilitat a les solucions de forma que es puguin trobar diverses solucions bones, de les quals, al finalitzar la seva execució, es tria la millor.

Aquest fet provoca que no sempre es trobi una solució millor que aplicant l'algorisme integrat, i que aquesta probabilitat de trobar-ne una depengui del temps de que es disposi per executar la metaheurística.



Es plantegen quatre tipus de variacions en el funcionament de l'algorisme integrat per tal de obtenir solucions diferents:

- Permetre els canvis de planta de comandes amb més de 20 trajectes
- Canviar el criteri d'ordenació de les plantes al aplicar *l'algorisme de reducció de les necessitats de vehicles per canvi de planta*.
- Prohibir una sèrie de canvis de planta i desplaçaments de la primera hora de sortida durant l'execució de l'algorisme integrat.
- Realitzar un canvi de planta aleatori abans de executar l'algorisme integrat

A continuació es mostra el disseny de cadascuna de les variacions, l'anàlisi dels resultats obtinguts amb la seva aplicació i el disseny d'una metaheurística que integri aquestes variacions.

7.1. Canvi de planta sense restricció de nombre de trajectes

Com s'ha comentat, al aplicar *l'algorisme de canvi de planta* només es consideraven com a candidats al canvi aquells clients amb comandes que s'havien de servir amb un nombre de trajectes inferior a 20.

Donat que aquesta restricció s'havia fet seguint el consell de l'empresa, tot i que no s'ajusti a cap criteri, en aquest apartat es planteja la possibilitat d'executar l'algorisme integrat eliminant aquesta restricció.

Un cop eliminada la restricció i tornant a aplicar l'algorisme integrat per els 9 dies dels que es disposa, s'obtenen els mateixos resultats per les flotes de vehicles que en el cas d'aplicar l'algorisme integrat amb la restricció.

7.2. Canvi en l'ordre de les plantes per executar l'algorisme de reducció de les necessitats de vehicles per canvi de planta

Com s'ha comentat, no es poden mesurar exactament els efectes que té un canvi de planta sobre la diferència entre la solució que es trobarà i l'òptim global. A més, un canvi de planta implica perjudicar a una planta per obtenir un benefici més gran en una altre. Per tant, en el moment de fer un canvi de planta és important la tria de la planta per la que es comença a



buscar candidates, ja que s'està prioritzant la millora de la seva planificació respecte la de les altres plantes i això pot tenir efectes sobre la solució final.

En l'algorisme integrat, per tal d'aplicar *l'algorisme de reducció de les necessitats de vehicles per canvi de planta* es començava a buscar candidates per la planta que tenia la última necessitat de vehicles més tard.

En aquest apartat es planteja la variació de l'ordre de les plantes de producció per tal de buscar clients candidats, de forma que l'algorisme no sempre comenci a buscar els candidats per la planta que té la necessitat més tard.

Per comprovar els efectes d'aquest canvi s'ha tornat a aplicar l'algorisme integrat als 9 dies dels que es disposa, però en aquest cas, cada cop que s'ha aplicat *l'algorisme de reducció de les necessitats de vehicles per canvi de planta* s'han ordenat les plantes de diferent forma. Donat que les dues zones disposen de tres plantes de producció s'ha començat buscant candidates per la segona planta que tingués la última necessitat de vehicles més tard, després per la que la tingués més d'hora i per últim per la que tingués la necessitat més tard, que és per la que s'hagués començat en condicions normals.

Els resultats obtinguts amb aquest nou criteri, tal com es mostra a la següent taula, són molt semblants als obtinguts amb l'algorisme integrat. Per la majoria dels dies s'obtenen petites variacions en els canvis realitzats però que no influeixen en la flota mínima necessària de vehicles. L'únic cas en que es produeix una variació és en un dia de mitja producció de la zona C en que es passa d'una flota mínima de 36 vehicles a una de 35.

		Flota necessària mínima de vehicles					
		Zona C					
Planta		Baixa producció	Mitja producció	Alta producció	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció
Planificació amb criteri de mínima distància	C1	13	13	15	9	10	21
	C2	9	12	9	8	12	15
	C3	22	26	30	16	29	22
		44	51	54	33	51	58
Planificació aplicant l'algorisme integrat	C1	7	9	9	7	5	15
	C2	5	10	7	6	9	8
	C3	17	17	24	12	18	18
		29	36	40	25	32	41
Planificació variant la planta inicial pel canvi de planta	C1	7	10	9	7	5	15
	C2	5	6	7	6	9	8
	C3	17	19	24	12	18	18
		29	35	40	25	32	41

Taula 7.1 - Flota necessària mínima de vehicles per la zona C obtinguda amb la planificació inicial, aplicant l'algorisme integrat i variant la planta inicial pel canvi de planta



Flota necessària mínima de vehicles				
Zona E				
	Planta	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció
Planificació amb criteri de mínima distància	E1	8	11	12
	E2	15	15	15
	E3	20	21	20
		43	47	47
Planificació aplicant l'algorisme integrat	E1	6	8	10
	E2	9	10	12
	E3	15	12	16
		30	30	38
Planificació variant la planta inicial pel canvi de planta	E1	6	8	10
	E2	9	10	12
	E3	15	12	16
		30	30	38

Taula 7.2 - Flota necessària mínima de vehicles per la zona C obtinguda amb la planificació inicial, aplicant l'algorisme integrat i variant la planta inicial pel canvi de planta

La poca variació dels resultats és deguda a que, al prioritzar l'avanç i el retard respecte al canvi de planta, quan s'aplica l'algorisme de reducció de les necessitats de vehicles per canvi de planta el número de clients candidats és reduït donat que ja s'ha modificat la planificació fent desplaçaments de la primera hora de sortida dels clients. Això fa que en molts casos només hi hagi candidats en una planta i per tant l'ordre en que es busqui candidats a les plantes no importi.

Igualment, el fet que en un dels dies s'hagi produït una reducció de la flota mínima posa de manifest que aquesta és una variació a tenir en compte ja que sí que té efectes sobre el funcionament de l'algorisme.

7.3. Prohibició de canvis i desplaçaments

La variació presentada en aquest apartat està basada en el funcionament de la metaheurística coneguda com *algorisme Tabú*.

Aquesta metaheurística es basa en crear un llista, anomenada llista Tabú, de moviments prohibits. Es consideren moviments totes les accions que pot realitzar en un determinat moment un algorisme i d'entre les quals ha de triar una. La llista Tabú es genera triant, d'entre tots els moviments realitzats per l'algorisme, un nombre limitat. Un cop es té aquesta llista es torna a executar l'algorisme prohibint la realització dels moviments que es troben en ella. D'aquesta forma s'està prohibint alguns dels òptims locals que ha trobat l'algorisme per intentar apropar-se més a l'òptim global.

En aquest projecte, els moviments són els possibles canvis de planta o desplaçaments de la primera hora de sortida. S'ha plantejat un algorisme iteratiu que, partint d'una execució de l'algorisme integrat, genera una llista tabú i torna a executar l'algorisme integrat prohibint els



canvis i desplaçaments que es troben a la llista. A partir de la nova solució es torna a generar una llista tabú i així fins realitzar un número determinat d'iteracions.

A cada execució de l'algorisme integrat es genera un historial de canvis en que es guarda el codi del client modificat i la variació que si li ha fet, ja sigui en l'assignació de la planta de producció o en la primera hora de sortida. Per generar la llista Tabú l'algorisme triarà aleatòriament vuit línies de l'historial de canvis. Per cada línia triada guardarà quin és el client i si se li ha fet un canvi de planta o un desplaçament de la primera hora de sortida. En la següent execució de l'algorisme integrat hi hauran vuit clients que no podran ser desplaçats o canviats de planta.

Cal notar que, tot i que l'historial de canvis guardi exactament la modificació que se li ha fet al client, la prohibició es realitza a tots els moviments del client d'aquell tipus. Per exemple, si es selecciona una línia de l'historial en que s'ha canviat un client de la primera planta a la segona planta de la zona, en la següent execució de l'algorisme aquell client no podrà ser canviat a cap planta, no només a la segona, però si que es podrà desplaçar la seva primera hora de sortida.

L'algorisme realitza una execució de l'algorisme integrat i quinze execucions amb moviments prohibits. Aquestes 16 execucions equivalen a un temps d'execució d'entre 2 i 3 hores depenent del volum de clients del dia tractat, que s'ha considerat un temps d'execució raonable per un procés d'aquest tipus.

A continuació es mostren els resultats obtinguts d'aplicar aquesta metaheurística a 6 dies per la zona C i tres dies per la zona E:

Flota necessària mínima de vehicles							
Zona C							
	Planta	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció
Planificació amb criteri de mínima distància	C1	13	13	15	9	10	21
	C2	9	12	9	8	12	15
	C3	22	26	30	16	29	22
		44	51	54	33	51	58
Planificació aplicant l'algorisme integrat	C1	7	9	9	7	5	15
	C2	5	10	7	6	9	8
	C3	17	17	24	12	18	18
		29	36	40	25	32	41
Planificació aplicant metaheurística canvis prohibits	C1	6	8	9	7	5	14
	C2	7	10	4	6	9	8
	C3	17	15	24	11	18	18
		28	33	37	24	32	40

Taula 7.3 - Flota necessària mínima de vehicles per la zona C obtinguts amb la planificació inicial, amb l'aplicació de l'algorisme integrat i amb la metaheurística de moviments prohibits.



		Flota necessària mínima de vehicles		
		Zona E		
		Baixa producció	Mitja producció	Alta producció
Planificació amb criteri de mínima distància	Planta			
	E1	8	11	12
	E2	15	15	15
	E3	20	21	20
		43	47	47
Planificació aplicant l'algorisme integrat	E1	6	8	10
	E2	9	10	12
	E3	15	12	16
		30	30	38
Planificació aplicant metaheurística canvis prohibits	E1	6	8	10
	E2	9	10	12
	E3	13	10	15
		28	28	37

Taula 7.4 - Flota necessària mínima de vehicles per la zona E obtinguts amb la planificació inicial, amb l'aplicació l'algorisme integrat i amb la metaheurística de moviments prohibits.

Es pot observar com en la majoria dels dies, l'aplicació de la metaheurística millora la solució obtinguda per l'algorisme integrat. Dels dies analitzats, només en el cas de un dia de mitja producció a la zona C la metaheurística no ha millorat la solució de l'algorisme integrat.

Com s'ha comentat, els resultats anteriors s'han obtingut utilitzant una llista tabú amb una longitud de vuit moviments. També s'ha realitzat l'aplicació d'aquesta metaheurística utilitzant una llista de només 4 moviments per intentar reduir el número de combinacions de moviments possibles i així recórrer amb l'algorisme una major proporció. Els resultats, que es presenten a l'apartat B.2 de l'annex, són diferents als anteriors degut a la aleatorietat de l'algorisme, però globalment obtenen una reducció molt semblant, i per tant s'ha decidit mantenir la llista de vuit moviments.

7.4. Canvis aleatoris de planta

En aquest apartat es planteja la possibilitat de realitzar un canvi de planta aleatori abans de cada execució de l'algorisme integrat. Es considera que realitzar un canvi de planta de un client amb un nombre elevat de trajectes, abans d'aplicar l'algorisme integrat, canvia de forma important la planificació inicial, es a dir, el punt de partida de l'algorisme, i per tant que també varia la seva solució final.

Contra més trajectes tingui el client, més importants són els efectes del seu canvi sobre la planificació de les plantes de producció, i per tant més variabilitat dóna a les solucions. Per aquesta mateixa raó un sol desplaçament en la primera hora de sortida no donaria aquesta variabilitat donats els seus reduïts efectes sobre la planificació.

Es planteja un altre algorisme iteratiu que, en aquest cas, tria aleatòriament un canvi de planta, donant més pes als clients amb més trajectes i, posteriorment, executa l'algorisme



integrat. Igual que en el cas de la prohibició de moviments, es realitzen 15 iteracions i es selecciona la millor planificació obtinguda.

Per tal de donar més pes als clients amb més trajectes, aquest s'han ordenat segons el volum de producte sol·licitat. Donat un dia amb n clients s'ha donat un pes 1 al client que menys volum de producte ha sol·licitat i un pes n al que més. D'aquesta forma, el client que més volum de producte hagi sol·licitat és el que més probabilitats té de ser escollit. Un cop escollit el client la probabilitat de canviar-lo a una planta o a una altre és igual per a totes les plantes.

A continuació es mostren els resultats obtinguts d'aplicar aquesta metaheurística a 6 dies per la zona C i tres dies per la zona E:

Flota necessària mínima de vehicles							
Zona C							
	Planta	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció
Planificació amb criteri de mínima distància	C1	13	13	15	9	10	21
	C2	9	12	9	8	12	15
	C3	22	26	30	16	29	22
		44	51	54	33	51	58
Planificació aplicant l'algorisme integrat	C1	7	9	9	7	5	15
	C2	5	10	7	6	9	8
	C3	17	17	24	12	18	18
		29	36	40	25	32	41
Planificació aplicant metaheurística canvis aleatoris	C1	9	7	9	6	5	14
	C2	3	9	4	5	9	7
	C3	15	16	24	11	18	18
		27	32	37	22	32	39

Taula 7.5 - Flota necessària mínima de vehicles per la zona C obtinguts amb la planificació inicial, amb l'aplicació de l'algorisme integrat i amb la metaheurística de canvis aleatoris.

Flota necessària mínima de vehicles				
Zona E				
	Planta	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció
Planificació amb criteri de mínima distància	E1	8	11	12
	E2	15	15	15
	E3	20	21	20
		43	47	47
Planificació aplicant l'algorisme integrat	E1	6	8	10
	E2	9	10	12
	E3	15	12	16
		30	30	38
Planificació aplicant metaheurística canvis aleatoris	E1	6	8	10
	E2	10	9	12
	E3	12	12	16
		28	29	38

Taula 7.6 - Flota necessària mínima de vehicles per la zona E obtinguts amb la planificació inicial, amb l'aplicació de l'algorisme integrat i amb la metaheurística de canvis aleatoris.

Es pot observar com en la majoria dels dies, l'aplicació de la metaheurística millora la solució obtinguda per l'algorisme integrat. Dels dies analitzats, només en el cas de un dia de mitja producció a la zona C i el dia d'alta producció de la zona E, la metaheurística no ha millorat la solució de l'algorisme integrat. També es pot observar, si es comparen els resultats amb els



de les taules 7.1 i 7.2 de la pàgina 51, que en molts dies s'obtenen resultats millors que aplicant la metaheurística de canvis prohibits.

7.5. Integració en una sola metaheurística

Com en el cas de l'algorisme integrat, en aquest apartat es planteja el disseny d'una sola metaheurística que integri les mostrades en els apartats anteriors.

S'han realitzat dues integracions diferents, una que aplica la realització de canvis aleatoris i la prohibició de moviments de forma seqüencial i un altre que barreja aquestes dues juntament amb la variació de l'ordre de les plantes per aplicar l'algorisme de canvi de planta.

La primera de les dues consisteix en aplicar, durant quinze iteracions, la metaheurística de canvis aleatoris, per després aplicar durant quinze iteracions més la metaheurística de canvis prohibits. El millor canvi trobat amb els canvis aleatoris es realitzarà a la planificació de partida per als moviments prohibits, de forma que les últimes 15 iteracions parteixin de la millor planificació trobada amb les 15 primeres.

En el cas de la metaheurística barrejada, a cada iteració es realitzarà un canvi aleatori, s'aplicarà la llista de moviments prohibits i és triarà de forma aleatòria la planta per la que començar a buscar candidats al aplicar l'algorisme de canvi de planta. Aquesta metaheurística ha estat executada durant 15, 30 i 150 iteracions per tal de veure la importància del número d'iteracions.

A les taules 7.7 i 7.8 es mostren els resultats obtinguts d'aplicar aquestes metaheurístiques i la seva comparació amb els resultats obtinguts en els anteriors capítols.



		Flota necessària mínima de vehicles					
		Zona C					
Planta		Baixa producció	Mitja producció	Alta producció	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció
Planificació aplicant l'algorisme integrat	C1	7	9	9	7	5	15
	C2	5	10	7	6	9	8
	C3	17	17	24	12	18	18
		29	36	40	25	32	41
Planificació aplicant metaheurística moviments prohibits	C1	6	8	9	7	5	14
	C2	7	10	4	6	9	8
	C3	17	15	24	11	18	18
		28	33	37	24	32	40
Planificació aplicant metaheurística canvis aleatoris	C1	9	7	9	6	5	14
	C2	3	9	4	5	9	7
	C3	15	16	24	11	18	18
		27	32	37	22	32	39
Planificació aplicant metaheurística seqüencial	C1	5	12	10	7	5	14
	C2	4	7	7	5	9	8
	C3	16	15	21	11	18	17
		25	34	38	23	32	39
Planificació aplicant metaheurística barrejada 15 iter.	C1	8	10	9	7	5	13
	C2	6	6	8	5	9	8
	C3	14	19	22	11	18	19
		28	35	39	23	32	40
Planificació aplicant metaheurística barrejada 30 iter.	C1	6	12	9	7	5	14
	C2	4	8	7	5	9	8
	C3	17	14	23	11	18	18
		27	34	39	23	32	40
Planificació aplicant metaheurística barrejada 150 iter.	C1	7	6	9	7	5	13
	C2	6	8	10	4	9	8
	C3	14	17	19	11	18	18
		27	31	38	22	32	39

Taula 7.7 - Flota necessària mínima de vehicles per la zona C obtinguts amb l'aplicació de l'algorisme integrat i les diferents metaheurístiques dissenyades.

		Flota necessària mínima de vehicles		
		Zona E		
Planta		Baixa producció	Mitja producció	Alta producció
Planificació aplicant l'algorisme integrat	E1	6	8	10
	E2	9	10	12
	E3	15	12	16
		30	30	38
Planificació aplicant metaheurística moviments prohibits	E1	6	8	10
	E2	9	10	12
	E3	13	10	15
		28	28	37
Planificació aplicant metaheurística canvis aleatoris	E1	6	8	10
	E2	10	9	12
	E3	12	12	16
		28	29	38
Planificació aplicant metaheurística seqüencial	E1	6	8	10
	E2	9	10	11
	E3	13	11	16
		28	29	37
Planificació aplicant metaheurística berrajada 15 iter.	E1	6	8	10
	E2	10	10	12
	E3	12	12	16
		28	30	38
Planificació aplicant metaheurística berrajada 30 iter.	E1	6	8	10
	E2	9	10	12
	E3	13	11	16
		28	29	38
Planificació aplicant metaheurística berrajada 150 iter.	E1	6	8	12
	E2	9	10	10
	E3	12	11	15
		27	29	37

Taula 7.8 - Flota necessària mínima de vehicles per la zona E obtinguts amb l'aplicació de l'algorisme integrat i les diferents metaheurístiques dissenyades.

Es pot observar com totes les metaheurístiques milloren, en la majoria dels dies, i per tant de forma general, els resultats obtinguts per l'algorisme integrat.



Si s'observen els resultats obtinguts per la metaheurística barrejada, es pot veure com els resultats milloren amb el número de iteracions. Mentre amb 15 iteracions s'han obtingut pitjors resultats que amb cada una de les metaheurístiques per separat, amb 150 iteracions ha estat la integració que millors resultats ha obtingut. En aquest projecte, donat que l'objectiu ha estat el disseny de l'algorisme, i no la seva programació, aquesta no s'ha fet de una manera òptima i, per tant, el temps d'execució de l'algorisme integrat és massa elevat. Si es realitza una bona programació, i en funció del temps de que disposi la empresa per fer funcionar l'algorisme, es pot veure quin és el nombre de iteracions que es poden realitzar i per tant quina és la millor metaheurística per aplicar.

En aquest projecte, donat que la metaheurística seqüencial no obté millors resultats que la de canvis aleatoris i que amb la programació actual es considera raonable un temps d'execució corresponent a unes 15 iteracions, es considera que la millor metaheurística serà la de canvis aleatoris, i per tant serà aquesta la que obtindrà la planificació final.

En el següent diagrama de blocs es mostra el funcionament final de l'algorisme de planificació.

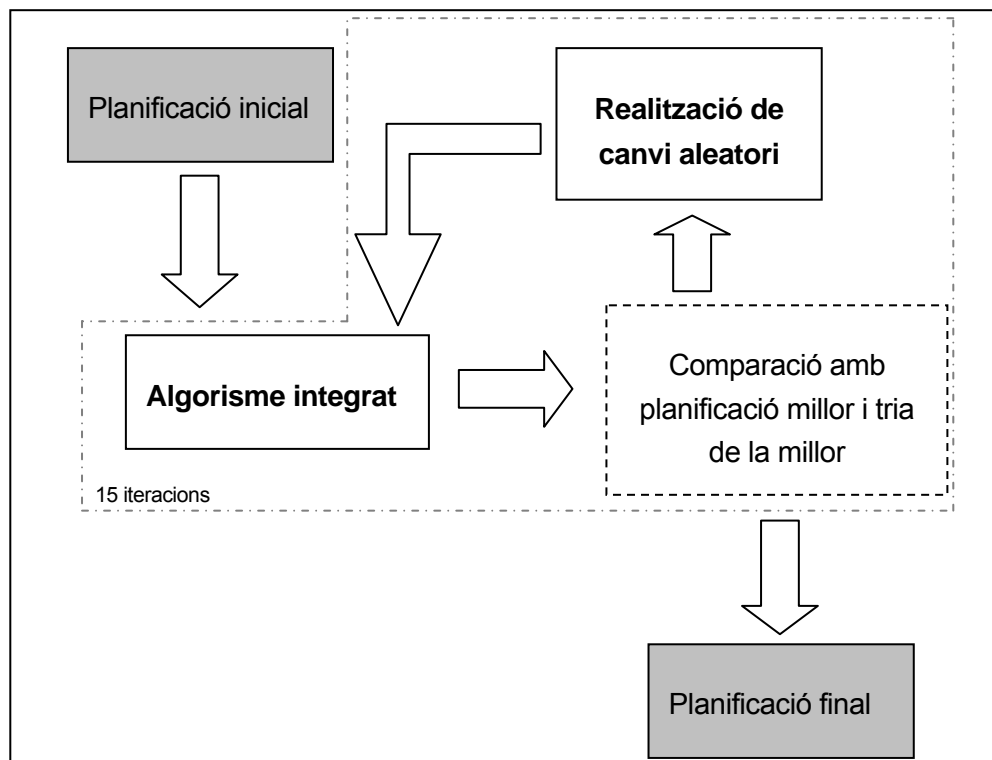


Fig. 7.1 – Diagrama de funcionament de l'algorisme de planificació.



8. Anàlisi de la planificació final

En aquest apartat es torna a realitzar l'anàlisi de la demanda, les cues de vehicles i les necessitats de vehicles al llarg de la jornada aplicant, en aquest cas, la planificació final per tal de veure quins han estat els seus efectes.

A les següents taules es mostren les reduccions obtingudes de les flotes mínimes al aplicar la nova planificació:

		Flota necessària mínima de vehicles					
		Zona C					
	Planta	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció
Planificació Inicial	C1	13	13	15	9	10	21
	C2	9	12	9	8	12	15
	C3	22	26	30	16	29	22
		44	51	54	33	51	58
Planificació Final	C1	9	7	9	6	5	14
	C2	3	9	4	5	9	7
	C3	15	16	24	11	18	18
		27	32	37	22	32	39

Taula 8.1 - Flota necessària mínima de vehicles per la zona C obtinguda amb les planificacions inicial i final.

		Flota necessària mínima de vehicles		
		Zona E		
	Planta	Baixa producció	Mitja producció	Alta producció
Planificació Inicial	E1	8	11	12
	E2	15	15	15
	E3	20	21	20
		43	47	47
Planificació Final	E1	6	8	10
	E2	10	9	12
	E3	12	12	16
		28	29	38

Taula 8.2 - Flota necessària mínima de vehicles per la zona E obtinguda amb les planificacions inicial i final.

Com es pot observar, s'han reduït de forma molt important les flotes mínimes i per tant les necessitats de vehicles. A l'apartat B.3.1 de l'annex es pot veure l'evolució de les necessitats de vehicles aplicant la nova planificació. En tots els dies analitzats s'han eliminat les necessitats de la tarda i s'han reduït les del matí, de forma que es sobredimensionen molt menys les flotes de vehicles durant el matí.

Pel que fa a la demanda, com s'ha comentat durant el projecte, l'algorisme busca els punts en que es produeixen les necessitats, que en la majoria dels casos són els pics de demanda, i intenta passar sortides d'aquells punts a punts a on hi ha cua, que en la majoria dels casos són valls de demanda. Per tant, la nova planificació té una demanda més homogeneïtzada que en la planificació inicial.

Això permet, a més, garantir que no s'estaran creant problemes en la producció durant el dia, ja que, les franges horàries amb més producció s'han reduït per passar producció a franges



que abans no en tenien tanta. Cal notar, que la capacitat de producció total de les plantes era sempre superior a la producció total del dia i que per tant tampoc es poden tenir problemes en aquest sentit.

Això es pot comprovar a la següent figura en que es compara la demanda per hores amb les planificacions inicial i final per un dia d'alta producció a la zona C a la planta C1. En aquesta figura es pot veure com els pics més grans, que a més superaven el límit de producció per hora, són reduïts per augmentar la producció de les zones amb menys producció.

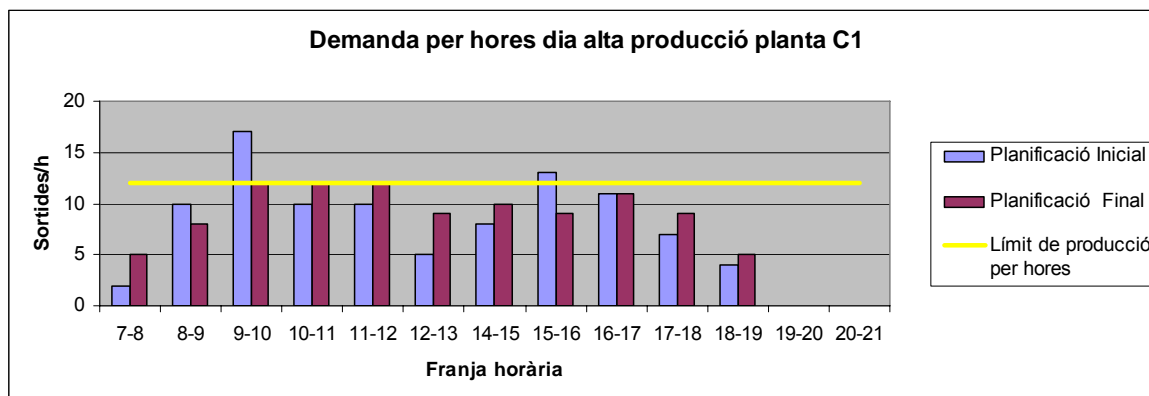


Fig. 8.1 – Demanda per hores en un dia d'alta producció a la planta C1 amb la planificació inicial i final

La resta de figures comparatives de l'evolució de la demanda per tots els dies i plantes analitzats es troben en el apartat B.3.2 de l'annex i es pot observar que segueixen una tendència molt semblant.

Per últim, si s'analitzen les cues de vehicles al llarg de la jornada es pot veure com aquestes han disminuït de forma molt important respecte a les que es generaven amb la planificació inicial, ja que la flota és menor i es troba millor aprofitada.

Com a conseqüència, pot semblar que el dia en que es realitza la distribució, al haver-hi incidències que en fer la planificació no es consideren, hi hagi un major risc de no poder satisfer la demanda amb la planificació final. Cal recordar, que les flotes que s'obtenen són flotes mínimes, i que per tant cal utilitzar una flota major considerant un marge de seguretat que haurà de definir l'empresa. Aquest marge haurà de ser semblant al utilitzat amb la planificació inicial donat que en ambdós casos es produïen intervals de temps en que no hi havia cap vehicle a la planta considerant les flotes mínimes.

L'efecte d'aquest marge de seguretat serà augmentar les cues durant tota la jornada en tants vehicles com tingui el marge, de forma que si un vehicle té una incidència i no pot arribar a planta quan estava previst que arribés, hi hagin vehicles de sobra a les plantes per poder realitzar tots els trajectes planificats.



En la següent figura es mostra l'evolució de les cues al llarg de la jornada per un dia de mitja producció a la planta C1, entrant tots els vehicles a les 7h i, en el primer cas amb la planificació inicial i la flota mínima, en el segon cas amb la planificació final i la flota mínima i en l'últim cas amb la planificació final i un marge de seguretat de 3 vehicles.

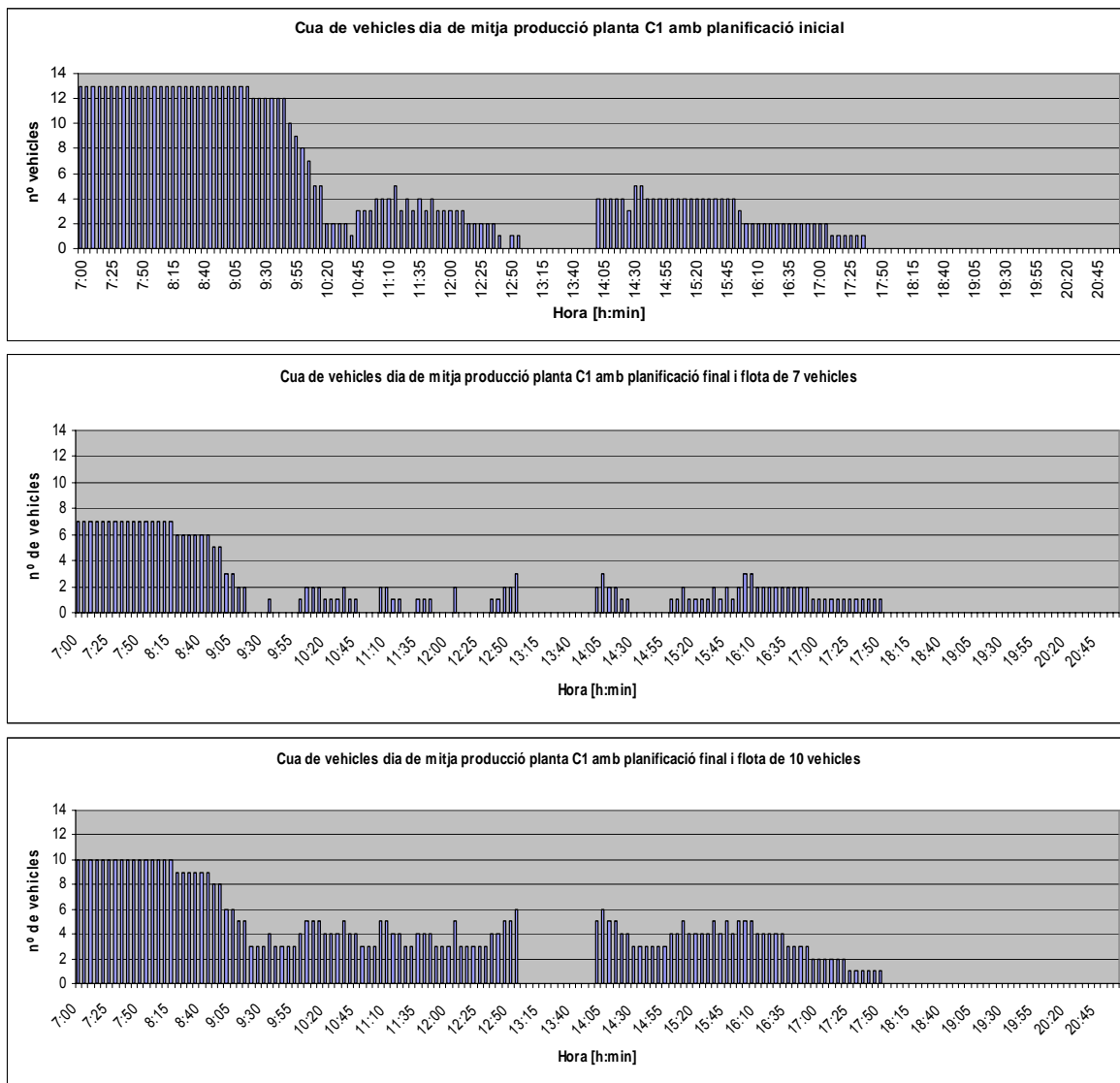


Fig. 8.2 – Evolució de les cues amb la planificació inicial, amb la planificació final i aplicant el marge de seguretat

L'evolució de les cues amb la planificació final per la resta de dies i plantes es troben en l'apartat B.3.3 de l'annex i es pot veure com segueixen una evolució molt semblant.



9. Assignació de la flota definitiva a les plantes.

L'algorisme de planificació ha permès obtenir una planificació final en que s'ha reduït al màxim la flota mínima de vehicles necessària. Aquesta flota cal assignar-la als trajectes que pertanyen a la distribució d'obres obtinguda. D'aquesta manera es podrà simular la jornada laboral de cada vehicle que es produiria, si no hi haguessin incidències, i així conèixer les seves característiques.

9.1. Algorisme d'assignació de la flota de vehicles

En aquest apartat es presenta el disseny d'un algorisme que permet fer l'assignació considerant que la jornada laboral de cada vehicle dependrà del moment d'entrada a planta, a partir d'una cua inicial, i de l'últim servei al final del dia.

El següent diagrama de blocs presenta l'estructura de l'algorisme d'assignació dels vehicles a les plantes:

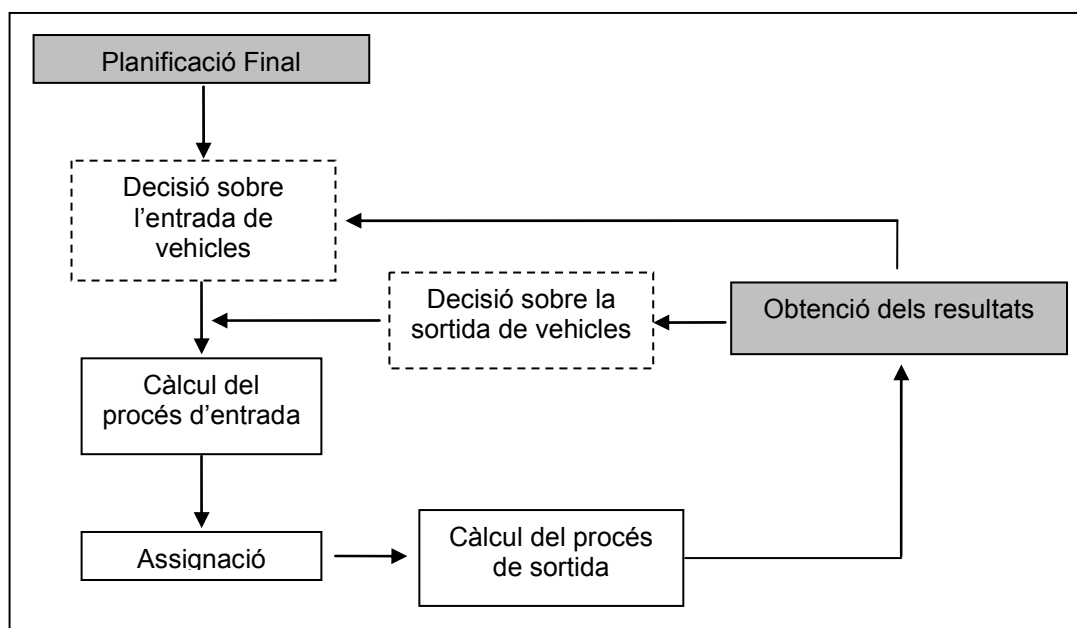


Fig.9.1 - Diagrama de funció de l'algorisme d'assignació de la flota de vehicles

En el diagrama de blocs es mostra com, abans d'executar l'algorisme, s'ha de decidir el tipus d'entrada de vehicles que es vol utilitzar. Un cop decidit, s'executa l'algorisme i aquest calcula el procés d'entrada dels vehicles, realitza l'assignació de cada trajecte a un vehicle i, finalment, calcula el procés de sortida d'aquests, considerant que tots els vehicles acabaran la seva jornada quan ja no tinguin cap trajecte per realitzar.



De l'execució de l'algorisme s'obtenen els resultats amb les característiques de la jornada laboral de cada vehicle. En el cas que aquestes no siguin satisfactòries es pot variar el tipus d'entrada o el tipus de sortida i tornar a executar l'algorisme fins que els resultats siguin satisfactoris.

A continuació es presenta el procediment i les regles per assignar les diferents sortides a cada vehicle i el càlcul del número de quilòmetres, de viatges i d'hores que realitza cada un d'ells, considerant que tots són del mateix tipus.

9.1.1. Disseny de l'algorisme

Assignació de sortides a cada vehicle:

- A partir d'un criteri d'entrada de vehicles, establert prèviament, es genera una cua inicial d'aquests abans de la primera sortida del dia.
- Es fa un recorregut per totes les sortides de la jornada laboral ordenades de forma creixent.
 - A cada sortida se li assigna el primer vehicle que es troba a la cua.
 - Aquell vehicle torna a entrar a la cua quan retorna del client que ha servit i es posa l'últim de la cua. Com es pot observar la cua segueix un sistema FIFO.
- Si l'entrada de vehicles és esglaonada, quan s'arriba a un instant de temps en que es produeixen entrades de vehicles, aquests s'afegeixen a la cua d'aquell moment.
- Quan finalitza la jornada laboral es busca l'últim retorn de cada vehicle, moment en que finalitza la seva jornada i és tret de la cua.

Càlcul de les característiques de la jornada laboral per cada vehicle:

- Hora d'inici de la jornada laboral: hora en que un vehicle entra a la cua inicial.
- Hora de finalització de la jornada laboral: hora de l'últim retorn de un vehicle.
- N° hores totals: Es resta a l'hora de finalització, l'hora inici i una hora per dinar.
- N° de viatges: n° de sortides que realitza cada vehicle.
- N° de quilòmetres: la suma de la distància entre la planta i el client multiplicada per dos, per a cada sortida.



- N° hores en cua: la suma dels intervals de temps que passa un vehicle entre la seva entrada a la cua i la següent sortida.
- Hora de dinar: a les 13h se li resta una hora a les hores en cua de tots els vehicles que es trobin en cua en aquell moment.
- N° hores útils: Es resta al número de hores totals el número de hores en cua.
- Rendiment: Es divideix el número de hores útils entre el número de hores totals.

9.1.2. Resultats de l'algorisme d'assignació de vehicles

A les dues taules següents es presenten els resultats de l'assignació de vehicles per a nou dies diferents, sis corresponents a la zona C i tres corresponents a la zona E, considerant que tots els vehicles entren a les 7h del matí a totes les plantes. Els valors dels diferents factors de les taules han estat obtinguts com a mitjana de tots els dels vehicles de cada planta. Per a cadascun dels dies es comparen els resultats que s'obtenen amb les planificacions inicial i final.

			Plantes	n° vehicles	cua màxima	km per vehicle	viatges per vehicle	km per viatge	hores totals per vehicle	hores circulació per vehicle	Rendiments
Zona E	Baixa producció	Planificació inicial	b1	8	6	41,8	3,1	13,4	07:48	03:46	0,48
			b2	15	12	90,4	4,1	21,9	08:04	04:15	0,53
			b3	20	11	104,8	4,7	22,3	09:56	05:53	0,59
			Totals	43		88,0	4,2	20,9	08:53	04:55	0,55
		Planificació final	b1	6	4	95,3	5,2	18,5	09:52	06:45	0,68
			b2	10	6	145,0	6,5	22,3	08:47	06:55	0,79
	b3		12	4	156,2	7,1	22,0	10:18	08:50	0,86	
	Totals		28		139,1	6,5	21,5	09:40	07:42	0,80	
	Mitja producció	Planificació inicial	b1	11	8	64,4	3,5	18,6	08:44	04:45	0,54
			b2	15	12	98,9	5,2	19,0	09:49	05:27	0,56
			b3	21	15	124,4	7,1	17,4	12:01	06:07	0,51
			Totals	47		102,2	5,7	18,1	10:32	05:35	0,53
		Planificació final	b1	7	5	143,1	5,7	25,1	09:53	07:11	0,73
			b2	9	6	172,0	8,6	20,1	10:53	09:01	0,83
	b3		13	7	219,4	11,5	19,1	12:23	10:21	0,84	
	Totals		29		186,3	9,2	20,3	11:19	09:10	0,81	
	Alta producció	Planificació inicial	b1	12	10	30,8	4,8	6,4	09:19	04:40	0,50
			b2	15	12	114,4	6,1	18,7	09:45	05:36	0,57
b3			20	13	152,7	8,4	18,3	11:34	07:40	0,66	
Totals			47		109,4	6,7	16,2	10:24	06:15	0,59	
Planificació final		b1	10	8	37,0	5,8	6,4	09:31	05:37	0,59	
		b2	12	7	155,5	7,9	19,6	10:12	07:40	0,75	
	b3	16	8	189,0	10,3	18,4	11:49	09:14	0,78		
	Totals	38		138,4	8,3	16,6	10:42	07:47	0,72		

Taula 9.1 – Resultats de l'assignació de vehicles per la zona E



			Plantes	nº vehicles	cua màxima	km per vehicle	viatges per vehicle	km per viatge	hores totals per vehicle	hores circulació per vehicle	Rendiments
Zona C	Baixa producció	Planificació Inicial	b1	13	11	92,9	3,4	27,5	08:52	03:55	0,44
			b2	9	8	94,4	3,3	28,3	08:47	04:43	0,54
			b3	22	19	103,6	5,4	19,2	09:38	04:35	0,48
		Totals	44		98,6	4,4	22,5	09:14	04:25	0,48	
		Planificació final	b1	9	5	207,6	6,0	34,6	10:13	07:26	0,73
			b2	3	2	126,0	5,0	25,2	09:06	06:23	0,70
	b3		15	7	180,9	8,3	21,9	10:27	07:57	0,76	
	Totals	27		183,7	7,1	25,7	10:13	07:36	0,74		
	Mitja producció	Planificació Inicial	b1	13	4	156,3	3,2	48,4	08:37	04:25	0,51
			b2	12	5	76,3	2,9	26,2	08:34	03:58	0,46
			b3	26	11	139,2	7,1	19,7	11:00	06:05	0,55
		Totals	51		128,8	5,1	25,2	09:49	05:10	0,52	
		Planificació final	b1	7	3	210,0	5,3	39,7	10:24	07:14	0,70
			b2	9	5	141,1	5,7	24,9	10:42	06:59	0,65
	b3		16	8	225,5	10,8	20,9	11:17	09:15	0,82	
	Totals	32		198,4	8,2	24,3	10:56	08:10	0,75		
	Alta producció	Planificació Inicial	b1	15	15	140,9	4,3	33,0	08:47	04:08	0,47
			b2	9	5	106,7	7,6	14,1	10:10	05:55	0,58
			b3	30	20	137,7	7,7	17,8	09:52	05:25	0,55
		Totals	54		133,4	6,7	19,8	09:37	05:08	0,53	
		Planificació final	b1	9	6	240,0	7,1	33,8	09:25	06:52	0,73
			b2	4	3	130,5	6,8	19,3	10:08	07:23	0,73
	b3		24	12	213,9	11,4	18,8	10:31	08:14	0,78	
	Totals	37		211,2	9,8	21,5	10:12	07:49	0,76		
Baixa producció	Planificació Inicial	b1	9	7	128,9	4,7	27,6	10:19	05:43	0,56	
		b2	8	4	63,8	4,4	14,6	09:23	05:02	0,54	
		b3	16	9	74,4	5,3	14,2	09:01	05:48	0,64	
	Totals	33		86,7	4,9	17,8	09:28	05:35	0,59		
	Planificació final	b1	6	3	187,7	7,0	26,8	11:00	08:10	0,74	
		b2	5	2	107,1	6,4	16,7	10:20	07:46	0,75	
b3		11	4	132,6	7,9	16,8	10:42	09:24	0,88		
Totals	22		141,8	7,3	19,4	10:42	08:41	0,81			
Mitja producció	Planificació Inicial	b1	10	7	93,4	3,0	31,1	09:47	03:32	0,36	
		b2	12	5	83,8	4,2	20,1	08:37	05:09	0,60	
		b3	29	13	74,4	6,4	11,6	09:35	04:55	0,51	
	Totals	51		80,4	5,2	15,4	09:24	04:42	0,50		
	Planificació final	b1	5	2	186,4	6,0	31,1	11:15	06:58	0,62	
		b2	9	4	118,7	5,6	21,4	09:21	07:04	0,76	
b3		18	6	126,2	10,3	12,2	10:26	08:03	0,77		
Totals	32		133,5	8,3	16,1	10:15	07:36	0,74			
Alta producció	Planificació Inicial	b1	21	16	184,0	4,6	39,8	10:15	05:12	0,51	
		b2	15	12	107,2	5,0	21,4	11:02	05:05	0,46	
		b3	22	16	116,6	11,5	10,1	10:55	07:00	0,64	
	Totals	58		138,6	7,3	18,9	10:42	05:51	0,55		
	Planificació final	b1	14	5	296,0	7,3	40,6	11:06	08:33	0,77	
		b2	7	3	207,8	9,4	22,0	11:37	09:27	0,81	
b3		18	11	159,2	14,3	11,2	11:06	09:00	0,81		
Totals	39		217,0	10,9	19,9	11:12	08:55	0,80			

Taula 9.2 – Resultats de l'assignació de vehicles per la zona C

Dels resultats, s'observa que, el rendiment dels vehicles ha augmentat de forma significativa, fent que aquests passin més proporció de temps en circulació que amb la planificació inicial. Per altre banda, les mitges d'hores treballades amb la planificació final, són més elevades, però queden dins del que l'empresa considera acceptable. La reducció d'aquesta mitja es pot aconseguir augmentant la flota de vehicles, de forma que hi hagués més vehicles per fer tota la feina. Si bé, això no es podrà aconseguir en totes les situacions ja que si, per exemple, hi ha una distribució en la que tots els vehicles entren a les 7h, i un dels clients acaba a les 21h, per molt que s'augmenti la flota de vehicles, hi haurà un vehicle que entrarà a les 7h i sortirà a les 21h.

Per un cas com el de l'exemple es planteja reduir el nombre d'hores treballades variant el criteri d'entrada de vehicles a plantes. A continuació es presenta el procediment realitzat.



9.2. Entrada dels vehicles

Actualment, tots els vehicles arriben a la planta de producció a les 7h independentment de la primera hora de sortida de planta o de la demanda a les primeres hores de la jornada laboral. Aquest criteri d'arribada, com s'ha comentat al capítol 3.5, provoca que a les primeres hores del dia, en la majoria dels casos, la flota estigui molt sobredimensionada.

Realitzar una entrada esglaonada dels vehicles permetrà reduir aquest sobredimensionament a l'inici del dia i, a més, com s'ha comentat en el capítol anterior, serà una forma de reduir les hores treballades per alguns vehicles en dies d'elevada producció, en que han de finalitzar molt tard la seva jornada laboral.

En aquest apartat es presenta el procediment per realitzar una entrada esglaonada dels vehicles i els resultats d'assignació que s'obtenen. Es considera que l'esglaonament de l'entrada es pot realitzar entre les 7h i les 9h, de forma que un vehicle pugui arribar a planta a les 7h, les 8h o les 9h depenent de les necessitats de la planta.

9.2.1. Mètode d'entrada dels vehicles

- A les 7h es genera una cua inicial amb els vehicles que són necessaris entre les 7h i les 8h.
- A les 8h s'afegeixen, als vehicles que es trobin en aquell moment en cua, els vehicles que falten per cobrir les necessitats entre les 8h i les 9h.
- A les 9 h s'afegeixen, als vehicles que es trobin en aquell moment en cua, els vehicles que falten per cobrir les necessitats de la resta del dia.
- La resta d'assignacions es fan igual que en el cas d'una entrada de tots els vehicles a les 7h.

9.2.2. Resultats de variar l'entrada de vehicles

Per a la planificació obtinguda aplicant l'algorisme de planificació, i per als 9 dies dels que es disposa de dades, es presenten els resultats d'assignació de vehicles amb l'entrada de tots ells a les 7h del matí i amb l'entrada entre les 7h i les 9h aplicant el mètode presentat en aquest apartat.



		Plantess	nº vehicles	cua màxima	km per vehicle	viatges per vehicle	km per viatge	hores totals per vehicle	hores circulació per vehicle	Rendiments	
Zona C	Baixa producció	Planificació final entrada 7h	b1	9	5	207,6	6,0	34,6	10:13	07:26	0,73
			b2	3	2	126,0	5,0	25,2	09:06	06:23	0,70
			b3	15	7	180,9	8,3	21,9	10:27	07:57	0,76
		Totals	27		183,7	7,1	25,7	10:13	07:36	0,74	
		Planificació final entrada 7,8,9h	b1	9	5	207,6	6,0	34,6	09:53	07:26	0,75
			b2	3	2	126,0	5,0	25,2	09:06	06:23	0,70
	b3		15	7	180,9	8,3	21,9	10:15	07:57	0,78	
	Totals	27		183,7	7,1	25,7	10:00	07:36	0,76		
	Mitja producció	Planificació final entrada 7h	b1	7	3	210,0	5,3	39,7	10:24	07:14	0,70
			b2	9	5	141,1	5,7	24,9	10:42	06:59	0,65
			b3	16	8	225,5	10,8	20,9	11:17	09:15	0,82
		Totals	32		198,4	8,2	24,3	10:56	08:10	0,75	
		Planificació final entrada 7,8,9h	b1	7	3	210,0	5,3	39,7	08:41	07:14	0,83
			b2	9	5	141,1	5,7	24,9	09:16	06:59	0,75
	b3		16	8	225,5	10,8	20,9	11:02	09:15	0,84	
	Totals	32		198,4	8,2	24,3	10:01	08:10	0,81		
	Alta producció	Planificació final entrada 7h	b1	9	6	240,0	7,1	33,8	09:25	06:52	0,73
			b2	4	3	130,5	6,8	19,3	10:08	07:23	0,73
			b3	24	12	213,9	11,4	18,8	10:31	08:14	0,78
		Totals	37		211,2	9,8	21,5	10:12	07:49	0,76	
		Planificació final entrada 7,8,9h	b1	9	6	240,0	7,1	33,8	08:58	06:52	0,77
			b2	4	3	130,5	6,8	19,3	09:53	07:23	0,75
	b3		24	12	213,9	11,4	18,8	10:18	08:14	0,80	
	Totals	37		211,2	9,8	21,5	09:56	07:49	0,79		
Baixa producció	Planificació final entrada 7h	b1	6	3	187,7	7,0	26,8	11:00	08:10	0,74	
		b2	5	2	107,1	6,4	16,7	10:20	07:46	0,75	
		b3	11	4	132,6	7,9	16,8	10:42	09:24	0,88	
	Totals	22		141,8	7,3	19,4	10:42	08:41	0,81		
	Planificació final entrada 7,8,9h	b1	6	3	187,7	7,0	26,8	10:10	08:10	0,80	
		b2	5	2	107,1	6,4	16,7	09:20	07:46	0,83	
b3		11	4	132,6	7,9	16,8	10:42	09:24	0,88		
Totals	22		141,8	7,3	19,4	10:14	08:41	0,85			
Mitja producció	Planificació final entrada 7h	b1	5	2	186,4	6,0	31,1	11:15	06:58	0,62	
		b2	9	4	118,7	5,6	21,4	09:21	07:04	0,76	
		b3	18	6	126,2	10,3	12,2	10:26	08:03	0,77	
	Totals	32		133,5	8,3	16,1	10:15	07:36	0,74		
	Planificació final entrada 7,8,9h	b1	5	2	186,4	6,0	31,1	09:51	06:58	0,71	
		b2	9	4	118,7	5,6	21,4	08:14	07:04	0,86	
b3		18	6	126,2	10,3	12,2	09:30	08:03	0,85		
Totals	32		133,5	8,3	16,1	09:12	07:36	0,83			
Alta producció	Planificació final entrada 7h	b1	14	5	296,0	7,3	40,6	11:06	08:33	0,77	
		b2	7	3	207,8	9,4	22,0	11:37	09:27	0,81	
		b3	18	11	159,2	14,3	11,2	11:06	09:00	0,81	
	Totals	39		217,0	10,9	19,9	11:12	08:55	0,80		
	Planificació final entrada 7,8,9h	b1	14	5	296,0	7,3	40,6	10:19	08:33	0,83	
		b2	7	3	207,8	9,4	22,0	11:29	09:27	0,82	
b3		18	11	159,2	14,3	11,2	11:06	09:00	0,81		
Totals	39		217,0	10,9	19,9	10:53	08:55	0,82			

Taula 9.3 – Resultats de l'assignació de vehicles per la zona C considerant entrada de vehicles a l'inici del dia i entrada esglaonada

		Plantess	nº vehicles	cua màxima	km per vehicle	viatges per vehicle	km per viatge	hores totals per vehicle	hores circulació per vehicle	Rendiments	
Zona E	Baixa producció	Planificació final entrada 7h	b1	6	4	95,3	5,2	18,5	09:52	06:45	0,68
			b2	10	6	145,0	6,5	22,3	08:47	06:55	0,79
			b3	12	4	156,2	7,1	22,0	10:18	08:50	0,86
		Totals	28		139,1	6,5	21,5	09:40	07:42	0,80	
		Planificació final entrada 7,8,9h	b1	6	4	95,3	5,2	18,5	08:42	06:45	0,78
			b2	10	6	145,0	6,5	22,3	08:17	06:55	0,84
	b3		12	4	156,2	7,1	22,0	10:08	08:50	0,87	
	Totals	28		139,1	6,5	21,5	09:10	07:42	0,84		
	Mitja producció	Planificació final entrada 7h	b1	7	5	143,1	5,7	25,1	09:53	07:11	0,73
			b2	9	6	172,0	8,6	20,1	10:53	09:01	0,83
			b3	13	7	219,4	11,5	19,1	12:23	10:21	0,84
		Totals	29		186,3	9,2	20,3	11:19	09:10	0,81	
		Planificació final entrada 7,8,9h	b1	7	5	143,1	5,7	25,1	09:45	07:11	0,74
			b2	9	6	172,0	8,6	20,1	10:47	09:01	0,84
	b3		13	7	219,4	11,5	19,1	11:41	10:21	0,89	
	Totals	29		186,3	9,2	20,3	10:56	09:10	0,83		
	Alta producció	Planificació final entrada 7h	b1	10	8	37,0	5,8	6,4	09:31	05:37	0,59
			b2	12	7	155,5	7,9	19,6	10:12	07:40	0,75
b3			16	8	189,0	10,3	18,4	11:49	09:14	0,78	
Totals		38		138,4	8,3	16,6	10:42	07:47	0,72		
Planificació final entrada 7,8,9h		b1	10	8	37,0	5,8	6,4	09:07	05:37	0,62	
		b2	12	7	155,5	7,9	19,6	08:52	07:40	0,78	
	b3	16	8	189,0	10,3	18,4	11:38	09:14	0,79		
Totals	38		138,4	8,3	16,6	10:25	07:47	0,74			

Taula 9.4 – Resultats de l'assignació de vehicles per la zona E considerant entrada de vehicles a l'inici del dia i entrada esglaonada



A les taules de resultats anteriors s'observa que l'esglaonament de l'entrada produeix una reducció en el número de hores treballades per vehicle. Aquestes hores només és redueixen de les hores en cua, per tant, a més de reduir les hores totals per vehicle, s'augmenta el seu rendiment. En aquest cas s'ha suposat una entrada amb només tres esglaons però, quan més s'adaptin les entrades a les necessitats de vehicles, millors resultats s'obtindran.

9.3. Sortida dels vehicles

Els vehicles finalitzen la seva jornada laboral quan, en un retorn a planta, queden menys sortides per realitzar que vehicles en cua i, per tant, a aquest vehicle ja no se li assignarà cap altre sortida de planta.

En aquest apartat es planteja la possibilitat de que un vehicle deixi de fer el seu últim trajecte, sempre que les necessitats de la planta ho permetin, i finalitzi abans la seva jornada laboral. Aquest trajecte el realitzarà un altre vehicle que es trobi en cua en aquell moment i, per tant, els vehicles que encara no hagin finalitzat la seva jornada compensaran la manca d'aquest.

Aquesta eina serveix per igualar el número de hores treballades entre els vehicles, i que no hi hagin uns que treballin molt més que els altres. A més, serà molt útil si s'aplica una entrada esglaonada, de forma que els primers vehicles en entrar siguin també els primers en sortir i així tots els vehicles facin un número de hores semblants.

9.3.1. Mètode per la sortida de vehicles

- Un vehicle pot finalitzar abans la seva jornada si entre el seu últim retorn a planta i el seu anterior retorn, a la sortida actual, no existeix cap punt de cua zero.
- Es trien els vehicles que finalitzaran la seva jornada abans.
- És fan les assignacions igual que en l'apartat anterior, fins que s'arriba a la nova hora de finalització de la jornada dels vehicles escollits, moment en que se'ls treu de la cua.
- La resta de les assignacions es fa igual que en l'apartat anterior

9.3.2. Resultats de variar la sortida de vehicles

En les següents taules es mostra la jornada laboral de tots els vehicles en un dia de baixa producció a la planta E1. Els resultats de la taula 9.5 corresponen a considerar que la sortida



de tots els vehicles es realitza al finalitzar tots els trajectes mentre que, en els de la taula 9.6 els vehicles representats per 1 i 2 acaben la seva jornada un viatge abans.

vehicle	h entrada [h:min]	h sortida [h:min]	nº hores [h:min]	nº viatges	h entrada cua [h:min]	h sortida cua [h:min]	h en cua [h:min]	kilòmetres [Km]
1	07:00	19:00	11:00	6	19:00	17:15	03:00	98
2	08:00	18:30	09:30	5	18:30	16:45	01:50	142
3	08:00	17:15	08:15	5	17:15	15:35	02:10	64
4	08:00	18:00	09:00	5	18:00	16:15	02:20	96
5	09:00	17:30	07:30	5	17:30	15:45	00:40	86
6	09:00	17:00	07:00	5	17:00	15:15	01:40	86

Taula 9.5 – Jornada laboral dels vehicles de la planta E1 considerant que tots acaben la seva jornada amb el mateix criteri

vehicle	h entrada	h sortida	nº hores	nº viatges	h entrada cua	h sortida cua	h en cua	kilòmetres
1	07:00	16:30	08:30	5	15:20	15:35	02:15	60
2	08:00	16:10	07:10	4	14:30	14:35	01:15	104
3	08:00	17:15	08:15	5	17:15	15:35	02:10	64
4	08:00	18:00	09:00	5	18:00	16:15	02:20	96
5	09:00	17:30	07:30	5	17:30	15:45	00:40	86
6	09:00	19:00	09:00	6	19:00	17:15	01:55	124

Taula 9.6 – Jornada laboral dels vehicles de la planta E1 considerant anticipació de l'acabament de jornada per dos vehicles

Com es pot observar, aquests dos vehicles, en cas d'acabament al mateix temps de tots, feien un nombre més elevat d'hores que la resta de vehicles. Al fer-los finalitzar la seva jornada abans, la resta de vehicles varien les seves hores i aquests dos vehicles les disminueixen. En la primera taula, els vehicles que entraven més d'hora eren els que feien més hores, en canvi, al fer variar la sortida dels vehicles, el nombre d'hores treballades queda compensat entre les diferents hores d'entrada.

Cal comentar, que aquesta eina pot ser més útil en el dia en que es realitza la distribució que no pas per la planificació donat que, amb les incidències del dia, no es pot planificar exactament quants trajectes haurà realitzat cada vehicle al final de la jornada o quins seran els seus últims trajectes. En aquest projecte, aquesta eina ha servir per mostrar que el fet de realitzar una entrada esglaonada no significa que uns vehicles realitzaran més hores que els altres segons la seva entrada sinó que es pot igualar el nombre d'hores amb la sortida.



9.4. Tipus de vehicles

Com s'ha comentat a l'inici del projecte, es consideren només dos tipus de vehicles, els propis i els autònoms.

En la realitat aquests dos tipus de vehicles no treballen de la mateixa forma i amb la mateixa eficiència ja que el sistema de pagament de l'empresa als conductors no és el mateix en els dos tipus.

Els autònoms cobren segons el número de m³ o de viatges que realitzen i en canvi els propis cobren un sou fix més les hores extres que facin.

En aquest apartat s'ha fet una valoració de costos per tal d'avaluar i comparar els resultats de la planificació inicial i de la planificació optimitzada, en funció del tipus de vehicle utilitzat.

La valoració dels costos per a cada tipus de vehicle es presenta a continuació:

Vehicle propi

$$C_{TOTAL} = C_{Fix} + C_{operació} + C_{adicionals}$$

C_{Fix} = Costos fixes a cada jornada en que s'inclou el sou del conductor del vehicle, els costos d'amortització del vehicle, impostos, etc. [€]

$$C_{operació} = C_{Km\ trajecte}; \quad C_{Km\ trajecte} = (G_p + R_p) [€/Km] * Km\ recorreguts [Km]$$

G_p = Cost del gas-oil per Km i per planta;

R_p = Cost de reparacions per Km i per planta

$$C_{adicionals} = C_{+15\ Km} + C_{hores\ extres}; \quad C_{hores\ extres} = C_{h.\ extra} [€/h] * número\ hores\ extres [h]$$

$$C_{+15\ Km} = C_{+15} [€/Km] * Km\ (número\ de\ Km\ a\ partir\ de\ 15\ Km) [Km]$$

Vehicle autònom

$$C_{TOTAL} = C_{fix} + C_{activitat} + C_{operació} + C_{adicionals}$$

$$C_{operació} = C_{Km\ trajecte}; \quad C_{Km\ trajecte} = (G_p + R_p) [€/Km] * Km\ recorreguts [Km]$$

G_p = Cost del gas-oil per Km i per planta

R_p = Cost de reparacions per Km i per planta



$$C_{activitat} = C_{m3} [\text{€/m}^3] * m^3 \text{ transportats } [m^3]; C_{addicionals} = C_{+15Km} + C_{+19h}$$

$$C_{+15Km} = C_{+15} [\text{€/Km}] * Km \text{ (nombre de Km a partir de 15 Km) } [Km]$$

$$C_{+19h} = C_{+19} [\text{€/m}^3] * m^3 \text{ (nombre de m}^3 \text{ transportats a partir de les 19h) } [m^3]$$

$$C_{fix} = \text{Cost fix associat a cada jornada pel fet de treballar a la planta } [€]$$

A les taules següents es presenten les dades més característiques per cada vehicle durant la jornada laboral per la planta E1 en dia de baixa producció, tant amb la planificació inicial com amb la final.

vehicle	h entrada	h sortida	nº hores	nº viatges	h entrada cua	h sortida cua	h en cua	kilòmetres	Cost propi [€]	Cost m3 [€]
1	07:00	15:30	07:30	3	15:30	14:00	03:00	44	Cf + 8,45	184,16
2	07:00	17:45	09:45	4	17:45	16:05	04:05	44	Cf + 30,88	229,52
3	07:00	16:30	08:30	4	16:30	15:35	03:50	48	Cf + 15,63	232,72
4	07:00	14:55	06:55	3	14:55	12:25	03:30	40	Cf + 7,68	180,96
5	07:00	16:15	08:15	3	16:15	14:45	04:15	56	Cf + 13,96	193,76
6	07:00	15:00	07:00	3	15:00	14:15	04:20	32	Cf + 6,14	174,56
7	07:00	15:10	07:10	2	15:10	14:25	04:50	32	Cf + 6,14	129,20
8	07:00	15:20	07:20	3	15:20	14:35	04:20	38	Cf + 7,3	179,36
									8Cf + 96,18	1504,24

Taula 9.7 – Resultats dels costos de cadascun dels vehicles a la planta E1 en dia de baixa producció amb la planificació inicial

vehicle	h entrada	h sortida	nº hores	nº viatges	h entrada cua	h sortida cua	h en cua	kilòmetres	Cost propi [€]	Cost m3 [€]
1	07:00	19:00	11:00	6	19:00	17:15	03:00	98	Cf + 63,68	369,84
2	07:00	18:30	10:30	5	18:30	16:45	02:50	142	Cf + 80,11	374,08
3	07:00	17:15	09:15	5	17:15	15:35	03:10	64	Cf + 28,31	290,88
4	07:00	18:00	10:00	5	18:00	16:15	03:20	96	Cf + 50,47	322,88
5	07:00	17:30	09:30	5	17:30	15:45	02:40	86	Cf + 42,14	314,88
6	07:00	17:00	09:00	5	17:00	15:15	03:40	86	Cf + 35,73	314,88
									6Cf + 300,44	1987,44

Taula 9.8 – Resultats dels costos de cadascun dels vehicles a la planta E1 en dia de baixa producció amb la planificació final

Si s'observen les dues taules anteriors, es pot veure com el cost dels vehicles propis s'ha deixat en funció de un cost fix (Cf). Aquest cost és el corresponent al sou dels conductors dels vehicles, les amortitzacions dels vehicles, impostos, etc, i no es coneix el seu valor amb exactitud. Al no poder determinar aquest valor s'han hagut de deixar els costos en funció d'aquest paràmetre.

Els resultats per la resta de plantes i de dies analitzats es troben a l'apartat B.3 de l'annex.

A partir dels resultats, s'han comparat per cada planta la diferència de cost si es fa la planificació final en front de la planificació inicial. Per fer la comparació s'han considerat dues situacions, la primera que tots els vehicles són propis (taula 9.9) i la segona que tots els



vehicles són autònoms (taula 9.10). En aquest cas la comparació ha estat feta per un dia de baixa producció a la zona E

	Vehicles propis (Costos calculats en €)		
	planificació inicial	planificació final	Estalvi
E1	8Cf + 96,18	6Cf + 300,44	2Cf - 204,26
E2	15Cf + 367,96	10Cf + 455,98	5Cf - 88,02
E3	20Cf + 883,82	12Cf + 767,07	8Cf + 116,75
Total	43Cf + 1347,96	28Cf + 1523,49	15Cf - 175,53

Taula 9.9 – Comparació dels costos per les dues planificacions en el cas en que tots els vehicles siguin propis

	Vehicles autònoms (Costos calculats en €)		
	planificació inicial	planificació final	Estalvi
E1	1504,24	1987,44	-483,2
E2	4090,32	4240,4	-150,08
E3	6457,44	5726,96	730,48
Total	12052	11954,8	97,2

Taula 9.10 – Comparació dels costos per les dues planificacions en el cas en que tots els vehicles siguin autònoms

De les dues taules anteriors s'observa que en el cas dels propis hi ha hagut una disminució considerable de costos si es realitza la planificació optimitzada tot i que hi ha un augment del cost de quilometratge.

Pel que fa als autònoms s'observa que només és millor la planificació final per la planta E3. Si bé, els resultats per les altres dues plantes no són realistes ja que impliquen, per la planificació inicial, un nombre de viatges molt reduït que no entren dins les condicions de treball que aquests tenen pactades amb l'empresa. En realitat, aquestes dues plantes amb la planificació inicial mai haurien pogut treballar només amb vehicles autònoms.

Per els dos tipus de vehicles s'observa que la disminució de la flota amb l'augment del seu rendiment té com a conseqüència una disminució del cost total de distribució.

Els resultats presentats a les anteriors taules permeten veure com, al reduir les flotes de vehicles i augmentar el rendiment d'aquests, la diferencia entre els costos dels vehicles propis i els autònoms varia, tornant-se més favorable cap als propis que amb la planificació inicial. Si s'observen les dues taules, amb la planificació inicial, per què un vehicle propi fos millor que un autònom, havia de tenir un cost fix com a màxim de 248,93€. En canvi, amb la planificació final aquest valor màxim passa a ser de 372,54€.



Per tant, tot i que aquest valor màxim pot variar en funció dels dies i de les distribucions dels clients, i que no es coneix el valor del cost fix, es pot concloure que al aplicar la nova planificació s'haurien d'augmentar la proporció de vehicles propis a les flotes de vehicles.



10. Valoració econòmica del projecte

La valoració econòmica correspon a suposar que la modelització i anàlisi del sistema estudiat ha estat fet per una enginyeria. En aquest cas els costos principals a considerar són:

- cost de les hores de l'enginyer
- amortització del hardware utilitzat
- amortització del software utilitzat
- material fungible

Cost de les hores de personal	Enginyer analista		
		50 € / hora x 600 hores	30000 €
	Desenvolupament dels models		
		35 € / hora x 300 hores	10500 €

Cost del hardware	Ordinador		
		1200 € x 15 % d'us	180 €

Cost del software	Visual Basic, software ofimàtic (Windows, Office,...)		
		170€ x 50 % d'us	85 €

Material fungible	Electricitat, paper, tinta impressora, etc		150 €
		Total abans d'impostos	40915 €



+ 16 % d'I.V.A.	6546 €
TOTAL	47461 €

Amb aquesta valoració econòmica, el cost total del projecte és de 47461 €.



Conclusions

En aquest projecte s'ha dissenyat un algorisme, anomenat algorisme de planificació, que, partint de la planificació realitzada amb el criteri actual de l'empresa, l'optimitza i obté una planificació final en que les flotes de vehicles es redueixen al màxim.

S'ha dissenyat també, un algorisme per simular la jornada laboral de cada vehicle i poder obtenir tots els factors que la defineixen.

La creació i aplicació de l'algorisme de planificació ha permès extreure les següents consideracions:

- Redistribuir les comandes dels clients a les plantes permet reduir les necessitats de vehicles o desplaçar l'últim interval de temps amb cua zero i, en conseqüència, reduir la flota mínima de vehicles necessària per fer la distribució.
- Avançar o retardar la primera hora de sortida de les comandes dels clients permet reduir les necessitats de vehicles o desplaçar l'últim interval de temps amb cua zero i, en conseqüència, reduir la flota mínima de vehicles necessària per fer la distribució.
- L'algorisme integrat de planificació, dissenyat com a integració dels algorismes de canvi de planta i d'avanç o retard, ha estat validat i ha mostrat la seva eficiència de funcionament en disminuir considerablement, en un temps reduït, la flota mínima de vehicles necessària per realitzar la planificació.
- S'han implementat dues metaheurístiques per millorar la solució obtinguda amb l'algorisme integrat. D'aquestes dues metaheurístiques, una és tabú i l'altre està basada en canvis de planta aleatoris. Ambdues redueixen la flota mínima de vehicles, si bé, la reducció és més gran per la basada en canvis de planta aleatoris.

La creació i aplicació de l'algorisme d'assignació de la flota de vehicles ha permès extreure les següents consideracions:

- Una entrada de vehicles esglaonada, a l'inici de la jornada laboral, per a cada vehicle, redueix les hores en cua, les hores totals treballades i millora el seu rendiment.
- Una jornada laboral amb un nombre inferior de vehicles i, aquests amb un major rendiment, implica una disminució dels costos associats a la distribució.



- A mesura que el rendiment dels vehicles augmenta, que la disminució de costos sigui més important si es redueixen vehicles propis que si es redueixen autònoms, dependrà del valor dels costos fixos dels vehicles propis.
- Donada una planificació es pot determinar la proporció de cada tipus de vehicle, en funció dels costos fixos associats als vehicles propis, per tal que el cost total de distribució sigui el mínim.



Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] JAVIER GARCÍA DE JALÓN, JOSÉ IGNACIO RODRIGUEZ, ALFONSO BRAZÁLEZ, *Aprenda Visual Basic 6.0*. Universitat de Navarra 1999.
- [2] JAVIER GARCÍA DE JALÓN, JOSÉ IGNACIO RODRIGUEZ, ALFONSO BRAZÁLEZ, *Practique Visual Basic 6.0*. Universitat de Navarra 2003.
- [3] HORMIGONES UNILAND S.L. *Uniland. Implantación CRM/SCM. TO-BE Organización hormigón*. UNILAND S.A. 2005.
- [4] DEP. d'organització d'empreses, *Mètodes quantitius d'organització industrial. Sistemes amb esperes. Teoria de cues. Simulació*. Barcelona: ETSEIB – CPDA. 1996.
- [5] DIRECCIÓ GENERAL DE PORTS I TRANSPORTS, *Observatori de costos del Transport de Mercaderies per carretera a Catalunya*. Direcció General de Ports i Transports 2005.

