

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Química

Títol: Obtenció d'una eina per disminuir els costos elèctrics i emissions de CO₂ en depuradores

Document: Memòria

Alumne: Maria Simón Font

Tutor: Neus Pellicer

Departament: Enginyeria Química, Agrària i Tecnologia
Agroalimentària

Àrea: Enginyeria Química

Convocatòria (mes/any): Setembre/2015

AGRAÏMENTS

En primer lloc vull donar les gràcies als meus dos tutors, en Lluís Corominas, des de l'ICRA, i la Neus Pellicer, des de la Universitat de Girona, per la seva dedicació i les seves crítiques constructives al llarg d'aquest projecte. També vull agrair a en Lluís Bosch l'ajuda en les diverses tasques de programació i a l'Ignasi Aymerich la introducció dins d'aquest món i l'aportació del seu punt de vista al llarg de tots aquests mesos.

Així mateix m'agradaria donar les gràcies a la gent del CCB i EMACBSA per haver acceptat col·laborar amb nosaltres, i en especial a l'Agustí i a l'Enric, pel temps invertit en resoldre'm qualsevol problema i en tot moment haver-me proporcionat la informació que he necessitat.

Per últim vull dedicar aquest projecte a la meva família, en especial la meva mare per la il·lusió que sempre mostra en els meus treballs, i a l'Èric, la meva parella, pel seu suport en moltes ocasions. També vull recordar el meu pare i el meu avi, que fa quatre anys em van veure començar però que no han pogut estar presents durant aquesta fase final de la carrera.

ÍNDIX

1. INTRODUCCIÓ.....	8
1.1. Antecedents	8
1.2. Objecte.....	11
1.3. Abast.....	12
2. FUNCIONAMENT DEL SISTEMA TARIFARI ESPANYOL.....	13
2.1. Definició de les tarifes d'accés	13
2.1.1. Tarifes de baixa tensió	13
2.1.2. Tarifes d'alta tensió	14
2.2. Facturació dels termes elèctrics en les tarifes d'accés	16
2.2.1. Energia activa	18
2.2.2. Potència.....	18
2.2.3. Energia reactiva	20
2.2.4. Impost sobre l'electricitat.....	21
2.2.5. Lloguer d'equips de mesura	21
2.2.6. IVA.....	21
2.2.7. Altres	21
3. FUNCIONAMENT DE L'EINA	22
3.1. Càlcul de la factura elèctrica.....	22
3.1.1. Paràmetres d'entrada.....	22
3.1.2. Procediment de càlcul.....	24
3.1.3. Paràmetres de sortida.....	25
3.2. Càlcul de la potència contractada òptima	27
4. EXEMPLE D'ESTUDI: EDAR BLANES.....	30
4.1. Descripció de la planta	30
4.2. Dades de referència	32
4.3. Estudi per reduir costos elèctrics	36
4.3.1. Validació de l'eina i obtenció de la factura en dinàmic.....	36
4.3.2. Anàlisi del contracte òptim	37
4.3.3. Anàlisi de possibles estratègies d'operació	44

5. EMISSIONS DE CO ₂ ASSOCIADES AL CONSUM D'ENERGIA ELÈCTRICA.....	49
5.1. Càlcul del factor d'emissió de CO ₂	49
5.2. Estudi per reduir la petjada de carboni	51
6. PLANIFICACIÓ	54
7. PRESSUPOST	55
8. CONCLUSIONS.....	56
9. BIBLIOGRAFIA.....	58
10. GLOSSARI	61
ANNEX. FACTURES ELÈCTRIQUES I PERFILS TÍPICS DIARIS DE L'EDAR BLANES PER MESOS.....	62

LLISTAT DE FIGURES

Figura 1. Variació de la demanda i del preu de l'energia en funció de l'hora del dia.....	9
Figura 2. Exemple de com equilibrar la demanda elèctrica al llarg d'un dia.	10
Figura 3. Conceptes elèctrics que intervenen en les tarifes d'accés.....	17
Figura 4. Relació entre l'energia activa, reactiva i aparent.	17
Figura 5. Entrada de les temporades de la tarifa elèctrica (exemple tarifa 6.1).	22
Figura 6. Entrada de les potències quart horàries a l'eina (exemple mes de gener).....	23
Figura 7. Entrada de la data d'inici i fi de cada període, els dies festius i el canvi horari a l'eina (exemple any 2012).	23
Figura 8. Entrada de les potències contractades i els preus (exemple tarifa 6.1).	24
Figura 9. Mesura de la potència demandada	25
Figura 10. Potència òptima per una tarifa tipus 6.	28
Figura 11. Esquema general de la planta.....	31
Figura 12. Cabals mensuals tractats durant els anys 2012, 2013, 2014 i 2015.	33
Figura 13. Variació del terme de potència en funció de la potència contractada aplicant els preus del 2012.....	39
Figura 14. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic de gener.....	45
Figura 15. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic de gener.	45
Figura 16. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic de juliol.....	45
Figura 17. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic de juliol.	46
Figura 18. Exemple de com variaria el perfil de demanda per un dia típic de gener considerant la demanda constant	47
Figura 19. Exemple de com variaria l'histograma de valors quart horaris de demanda a P1 per aproximar-se a la idealitat.....	48
Figura 20. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic de gener.....	51
Figura 21. Distribució diària de les fonts d'energia utilitzades a la península ibèrica.	52
Figura 22. Distribució diària de les fonts d'energia utilitzades a Califòrnia (SCE, 2010).	53
Figura 23. Diagrama de Gantt del projecte.....	54
Figura 24. Diagrama de Gantt del projecte (continuació).....	54
Figura 25. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic de febrer.....	63
Figura 26. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic de febrer.	64
Figura 27. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic de febrer.	64
Figura 28. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic de març.....	65
Figura 29. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic de març.....	66
Figura 30. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic de març.....	66

Figura 31. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic de abril.	67
Figura 32. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic d'abril.	68
Figura 33. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic d'abril.	68
Figura 34. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic de maig.	69
Figura 35. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic de maig.	70
Figura 36. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic de maig.	70
Figura 37. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic de juny (primera quinzena).....	71
Figura 38. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic de juny (primera quinzena).....	72
Figura 39. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic de juny (primera quinzena).....	72
Figura 40. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic de juny (segona quinzena).....	72
Figura 41. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic de juny (segona quinzena).....	73
Figura 42. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic de juny (segona quinzena).....	73
Figura 43. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic de juliol.....	74
Figura 44. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic de juliol.	75
Figura 45. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic de juliol.....	75
Figura 46. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic d'agost.	76
Figura 47. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic d'agost.	77
Figura 48. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic d'agost.	77
Figura 49. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic de setembre.	78
Figura 50. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic de setembre.	79
Figura 51. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic de setembre.	79
Figura 52. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic d'octubre.	80
Figura 53. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic d'octubre.	81
Figura 54. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic d'octubre.	81
Figura 55. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic de novembre.	82
Figura 56. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic de novembre.	83
Figura 57. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic de novembre.	83
Figura 58. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic de desembre.	84
Figura 59. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic de desembre.	85
Figura 60. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic de desembre.	85

LLISTAT DE TAULES

Taula 1. Tarifes de baixa tensió: tensió, potència i períodes tarifaris.	13
Taula 2. Distribució horària dels períodes punta (P1), pla (P2) i vall (P3) per la tarifa 3.0A i la zona 1.....	14
Taula 3. Tarifes d'alta tensió: tensió, potència i períodes tarifaris.	14
Taula 4. Distribució horària dels períodes punta (P1), pla (P2) i vall (P3) per la tarifa 3.1A i la zona 1.....	15
Taula 5. Distribució horària dels períodes P1 fins a P6 per la tarifa 6 i la zona 1.	16
Taula 6. Coeficient K per a cada període “i”.....	20
Taula 7. Resultats obtinguts a través de l'eina (exemple gener tarifa 6.1).	26
Taula 8. Exemple del mètode seguit per trobar les potències òptimes.....	29
Taula 9. Paràmetres de disseny.	30
Taula 10. Potències contractades per períodes.....	32
Taula 11. Potències quart horàries demandades del dia 01/01/2012.....	33
Taula 12. Factura elèctrica del mes de gener.....	34
Taula 13. Preus de l'energia activa i de la potència el 2012 per una tarifa 6.1.....	35
Taula 14. Valors reals i valors obtinguts amb l'eina del total de les factures.....	36
Taula 15. Terme fix i terme d'excessos de potència durant l'any 2012 per les potències contractades reals: P1=350 kW, P2=380 kW, P3=400 kW, P4=400 kW, P5=400 kW i P6=451 kW.	37
Taula 16. Potències contractades òptimes per la tarifa 6.1 aplicant els preus del 2012.	38
Taula 17. Terme fix i terme d'excessos de potència aplicant els preus del 2012 i les potències contractades: P1=252 kW, P2=252 kW, P3=252 kW, P4=252 kW, P5=252 kW i P6=451 kW.....	38
Taula 18. Preus de l'energia activa i de la potència el 2012 per una tarifa 3.1A.	40
Taula 19. Potències contractades òptimes per la tarifa 3.1A aplicant els preus del 2012.....	40
Taula 20. Cost del terme d'energia activa i cost òptim del terme de potència el 2012 per una tarifa 3.1A i una 6.1.....	41
Taula 21. Variació del preu de la potència per una tarifa 6.1 (2012) – 6.1A (2015) en funció de l'any.	41
Taula 22. Terme fix i terme d'excessos de potència aplicant els preus del 2015 i les potències contractades: P1=350 kW, P2=380 kW, P3=400 kW, P4=400 kW, P5=400 kW i P6=451 kW.....	42
Taula 23. Potències contractades òptimes per la tarifa 6.1 aplicant els preus del 2015.	42

Taula 24. Terme fix i terme d'excessos de potència aplicant els preus del 2015 i les potències contractades: P1=208 kW, P2=208 kW, P3=208 kW, P4=208 kW, P5=208 kW i P6=451 kW.....	43
Taula 25. Resum dels resultats obtinguts per l'anàlisi del contracte òptim.....	43
Taula 26. Resum dels resultats obtinguts per l'anàlisi del contracte òptim.....	47
Taula 27. Valors del factor d'emissió de CO ₂ per a cada font d'energia.....	50
Taula 28. Pressupost del projecte desglossat per etapes.....	55
Taula 29. Factura elèctrica del mes de febrer.....	63
Taula 30. Factura elèctrica del mes de març.....	65
Taula 31. Factura elèctrica del mes d'abril.....	67
Taula 32. Factura elèctrica del mes de maig.....	69
Taula 33. Factura elèctrica del mes de juny.....	71
Taula 34. Factura elèctrica del mes de juliol.....	74
Taula 35. Factura elèctrica del mes d'agost.....	76
Taula 36. Factura elèctrica del mes de setembre.....	78
Taula 37. Factura elèctrica del mes d'octubre.....	80
Taula 38. Factura elèctrica del mes de novembre.....	82
Taula 39. Factura elèctrica del mes de desembre.....	84

1. INTRODUCCIÓ

1.1. Antecedents

Les plantes depuradores o EDARs són instal·lacions encarregades d'eliminar la matèria en suspensió i les substàncies dissoltes en les aigües residuals per mitjà de tractaments físics, químics i/o biològics. Segons el tipus de tractament que utilitzen es poden classificar en tres grups diferents: les que solament fan servir tractaments físics i químics, les que a més utilitzen tractaments biològics i les que inclouen un tractament terciari en el que s'acaben d'ajustar alguns paràmetres de qualitat.

Les depuradores més comunes són les de tractament biològic. Els processos que utilitzen aquestes EDARs per eliminar els contaminants consumeixen gran quantitat d'energia elèctrica; de fet, entre el 44% i el 56% dels costos d'operació són deguts al consum energètic (Albadalejo et al., 2013). Aquest prové bàsicament de l'aeració –per portar a terme el tractament biològic de fangs actius–, del bombeig –pel transport de l'aigua i dels fangs generats al llarg del procés– i de l'assecatge dels fangs. Cal remarcar que l'energia utilitzada en l'aeració representa entre el 50% i el 70% de l'energia total consumida (Reardon, 1995; Rosso i Stenstrom, 2005; WEF, 2009).

Els requeriments energètics de les depuradores depenen directament del cabal d'aigua que els hi arriba, el qual fluctua durant el dia segons l'activitat de la població. El consum d'electricitat també és un reflex de l'activitat humana al llarg del dia, per això la corba que segueix la demanda elèctrica d'una depuradora és semblant a la demanda en la xarxa elèctrica nacional, trobant-se els valors màxims a mig matí i a començaments del vespre. El problema és que durant aquests pics de consum les companyies elèctriques cobren l'energia i la potència contractada a un preu molt més elevat comparat amb les hores nocturnes, quan l'electricitat és molt més barata (Figura 1). Aquest fet perjudica totalment a les depuradores, ja que significa haver de pagar més cara l'electricitat en hores en què la quantitat d'aigua a tractar és més gran.

Durant els últims anys els preus de l'electricitat han augmentat considerablement i s'espera que d'ara endavant ho segueixin fent, ja que els combustibles fòssils s'estan esgotant i cada vegada costa més trobar recursos tan rendibles. De fet, a Espanya, el preu mitjà de l'energia per a usos industrials l'any 2004 era de 0,0538 €/kWh, mentre que aquesta xifra ha

augmentat fins als 0,1185 €/kWh l'any 2014 (Eurostat, 2015). Per altra banda, les EDARs tendeixen a utilitzar cada vegada més energia com a conseqüència tant del major volum d'aigua a tractar –degut a l'increment de la població i a l'augment de la qualitat de vida– com de la implantació de noves tecnologies destinades a obtenir efluents de major qualitat –per exemple, el tractament per membranes o la desinfecció mitjançant rajos ultravioleta (UV)–. Per tant, encara que la funció principal de les depuradores és eliminar els contaminants de les aigües residuals, el seu disseny i operació cada vegada es focalitza més en millorar l'eficiència energètica i, conseqüentment, en disminuir els costos de tractament.

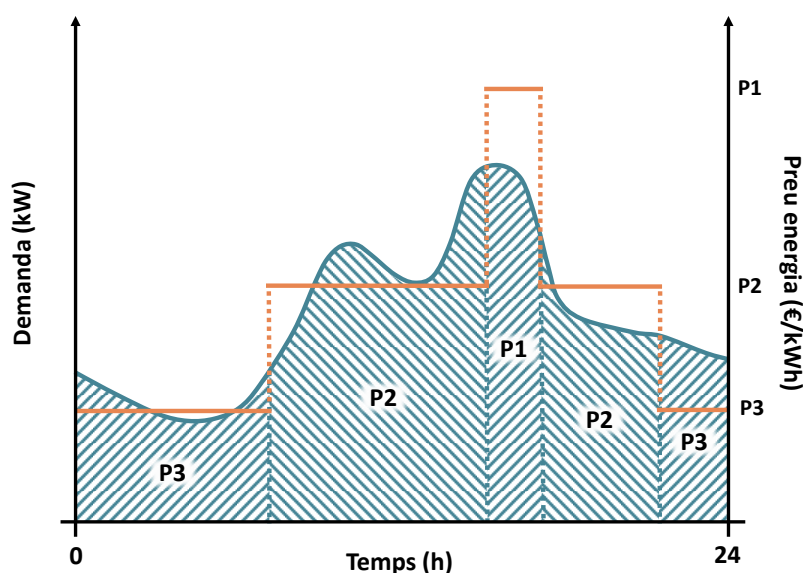


Figura 1. Variació de la demanda i del preu de l'energia en funció de l'hora del dia.

Una manera de disminuir els costos elèctrics d'una EDAR sense haver de canviar cap dels sistemes utilitzats per d'altres de més eficients i, per tant, sense necessitat de realitzar cap inversió inicial, és a través de l'anàlisi del seu perfil de demanda elèctrica. Si es consumeix menys energia en els períodes més cars i s'augmenta el consum en els més barats s'aconsegueixen reduir els pics de consum i, conseqüentment, equilibrar la potència demandada al llarg del dia (Figura 2). Aquesta forma d'operar també afavoreix a les companyies elèctriques, ja que si tothom actués de la mateixa manera les centrals no s'haurien d'estar engegant i parant tan sovint per tal d'adaptar-se a les necessitats dels consumidors.

Un altre dels aspectes que cal tenir en compte, i no menys important que l'anterior, és el contracte entre la companyia elèctrica i la depuradora. A Espanya, un dels termes més importants de la factura és la potència contractada: com més kilowatts contracta una

empresa més cara és la seva factura elèctrica, mentre que si en contracta pocs i en algun moment s'excedeix del límit la companyia elèctrica la penalitza i el preu a pagar també augmenta. En aquest sentit, convé que les empreses facin estudis periòdics per tal de triar una potència que estigui d'acord amb els consums de la seva instal·lació. Cal tenir present que tenir contractada la potència òptima ajuda a reduir el cost de la factura sense necessitat de buscar alternatives al funcionament actual, ja que és un terme que no depèn del que s'ha consumit, simplement es tracta d'un conveni entre la comercialitzadora i el client.

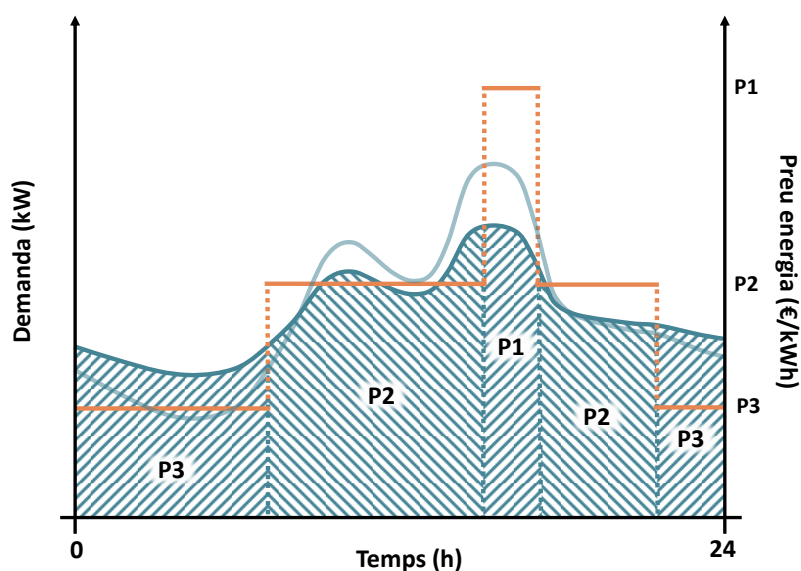


Figura 2. Exemple de com equilibrar la demanda elèctrica al llarg d'un dia.

Actualment les depuradores coneixen l'energia total consumida per cada dia o cada mes, però en general no disposen d'una eina que permeti analitzar aquest consum al llarg del dia i així intentar modificar la seva estratègia d'operació. Per altra banda, si no és per mitjà d'auditories energètiques les EDARs tampoc saben quina és la millor potència a contractar. Per això l'ICRA, com a centre d'investigació per a l'ús sostenible de l'aigua, està treballant en el disseny d'una eina amb aquestes finalitats. De tota manera això no és tan senzill, ja que no totes les depuradores funcionen amb la mateixa tarifa, sinó que aquesta depèn del país on es troba i de la capacitat de tractament.

Un dels aspectes més relacionats amb l'electricitat és la contaminació. És cert que cada vegada s'estan fomentant més les fonts d'energia renovables, però actualment un elevat percentatge de l'energia generada arreu del món encara s'obté cremant combustibles fòssils, com per exemple el carbó o el gas natural. L'avantatge de les combustions és que desprenen una gran quantitat de calor que pot transformant-se fàcilment en electricitat, però

per altra banda alliberen a l'atmosfera diòxid de carboni (CO₂), un dels principals causants de l'efecte hivernacle. De fet, a la península ibèrica, el voltant del 28% del CO₂ emès a l'atmosfera es deu a la generació d'energia elèctrica (REE, 2015).

L'efecte hivernacle fa referència al fenomen natural pel qual la Terra es manté calenta gràcies a la presència d'uns gasos a l'atmosfera, entre ells el CO₂ –amb una contribució del 78%–, que absorbeixen i retenen la radiació solar. Així la Terra és capaç de mantenir-se a una temperatura mitjana de 15°C enlloc dels -20°C als quals es trobaria. No obstant, degut a l'activitat humana la quantitat d'aquests gasos ha augmentat de forma considerable: des del 1750 la concentració de CO₂ a l'atmosfera ha augmentat un 40%. Aquest canvi està provocant l'escalfament global del planeta i, conseqüentment, un canvi climàtic (IPCC, 2014). En aquest sentit, el Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (GIECC) ha estimat que les emissions de gasos amb efecte hivernacle haurien de ser quasi nul·les el 2100 per mantenir un increment de la temperatura global del planeta inferior a 2°C.

Per aconseguir l'ambiciós objectiu del GIECC el sector de la depuració d'aigües pren un paper important, ja que les EDARs consumeixen una gran quantitat d'energia –entre un 2% i un 3% de la demanda elèctrica mundial es destina al subministrament d'aigua i al tractament d'aigües residuals (Olsson, 2012)–. En aquest sentit, implementar a l'eina anterior la dinàmica que segueixen les emissions de CO₂ en relació al consum d'energia permetria buscar una estratègia d'operació no només per reduir costos, sinó també per intentar reduir la contaminació i, conseqüentment, contribuir al desenvolupament sostenible.

1.2. Objecte

L'objectiu principal d'aquest projecte és validar i millorar una eina informàtica capaç de fer el seguiment dels costos elèctrics d'una EDAR a més de les emissions de CO₂ associades a la generació elèctrica. A través d'aquestes millores, l'eina ha de permetre:

- a) Determinar la potència òptima que les depuradores haurien de contractar a la seva companyia elèctrica.
- b) Obtenir perfils dinàmics que permetin a les depuradores buscar alternatives d'operació amb l'objectiu de reduir els costos elèctrics.
- c) Estudiar si la reducció dels costos elèctrics implicaria també la reducció de la petjada de carboni de les depuradores.

La idea és aconseguir una eina que sigui útil per les depuradores i que pugui ser utilitzada fàcilment i intuïtivament per qualsevol persona. A més, com que la relació entre els conceptes aigua–energia–CO₂ es troba present arreu del món, s'ha de pensar que aquesta pugui ser utilitzada no només a nivell espanyol, sinó que es pugui adaptar fàcilment a la resta de països.

1.3. Abast

Aquest projecte consta de les següents tasques principals:

- a) Entendre amb profunditat el funcionament del sistema tarifari espanyol aplicat a l'àmbit industrial, el qual es troba reglamentat per part de l'estat.
- b) Ajudar en el desenvolupament i disseny de l'eina informàtica conjuntament amb altres tècnics i investigadors de l'ICRA.
- c) Presentar l'eina al Consorci de la Costa Brava (CCB) i Empresa Mixta d'Aigües de la Costa Brava (EMACBSA) per decidir amb quina depuradora realitzar un estudi exemple.
- d) Validar l'eina per la depuradora escollida –segons la tarifa aplicada i descrita a la legislació– mitjançant les dades històriques de demanda elèctrica enregistrades cada quinze minuts per part de la companyia.
- e) Identificar el contracte òptim amb la comercialitzadora –millor tarifa i millors potències contractades– utilitzant l'eina desenvolupada i proposar alternatives d'operació al funcionament actual que ajudin a reduir costos.
- f) Entendre el funcionament de la generació elèctrica i la quantitat de CO₂ emesa a l'atmosfera segons el tipus de font d'energia.
- g) Trobar la dinàmica que segueix el factor d'emissió de CO₂ a nivell estatal –kg CO₂/kWh– gràcies a les dades de generació elèctrica publicades a la web de Red Eléctrica de España (REE) cada deu minuts i estudiar si un canvi en el perfil de demanda de les EDARs contribuiria a disminuir la seva petjada de carboni.
- h) Presentar els resultats obtinguts al CCB i EMACBSA per la depuradora d'estudi.

2. FUNCIONAMENT DEL SISTEMA TARIFARI ESPANYOL

Una EDAR, més gran o més petita, no deixa de ser una activitat de tipus industrial. Per tant, per crear una eina que ajudi a reduir els costos elèctrics primer de tot cal conèixer el funcionament del sistema tarifari, concretament l'industrial. El sistema tarifari espanyol es troba reglamentat per l'estat en tot el territori peninsular, les illes i les ciutats de Ceuta i Melilla. El seu funcionament es descriu al Real Decret 1164/2001, de 21 de setembre. Més endavant, les tarifes elèctriques es revisen primer en l'Ordre ITC/2794/2007, de 27 de setembre, després en l'Ordre ITC/3801/2008, de 26 de desembre, i finalment en l'ordre ITC/2444/2014, de 19 de desembre.

A continuació s'explica el funcionament de les tarifes d'accés aplicables a qualsevol activitat industrial a dia d'avui, així com els termes principals que facturen les comercialitzadores.

2.1. Definició de les tarifes d'accés

Les tarifes d'accés es divideixen en dos grups: les tarifes de baixa tensió, que s'apliquen a tensions de servei inferiors a 1 kV, i les tarifes d'alta tensió, que s'apliquen a tensions de servei iguals o superiors a 1 kV.

2.1.1. Tarifes de baixa tensió

Dins d'aquest grup es troben les tarifes 2.0A –amb varietat 2.0DHA i 2.0DHS–, 2.1A –amb varietat 2.1DHA i 2.1DHS– i 3.0A (Taula 1). Les tarifes 2.0A i 2.1A es diferencien de la tercera perquè no permeten una potència contractada superior a 15 kW. Es tracten de les tarifes més comunes en cases i petits negocis, però no s'apliquen a depuradores, per la qual cosa el seu funcionament no s'explicarà en aquesta memòria.

Taula 1. Tarifes de baixa tensió: tensió, potència i períodes tarifaris.

	Tarifa elèctrica						
	2.0A	2.0DHA	2.0DHS	2.1A	2.1DHA	2.1DHS	3.0A
Tensió (kV)	< 1			< 1			< 1
Potència (kW)	≤ 10			> 10 i ≤ 15			> 15
Períodes	1	2	3	1	2	3	3

- **Tarifa 3.0A**

En el cas de la tarifa 3.0A es divideixen les 24 hores del dia en tres períodes tarifaris: hores punta, hores pla i hores vall, sent l'electricitat consumida en el primer període més cara que en el segon i aquesta més cara que en el tercer.

La distribució horària en els tres períodes tarifaris descrits varia segons l'època de l'any: hivern o estiu –considerant que el canvi d'una època a l'altra correspon al canvi d'hora oficial. Aquesta distribució també varia segons la zona que es considera: la Península (zona 1), les illes Balears (zona 2), les illes Canàries (zona 3) i Ceuta i Melilla (zona 4).

Per la primera de les zones, la zona 1, que és on es focalitza l'aplicació de l'eina, el criteri de distribució de les hores tant pel període d'hivern com el d'estiu és el mostrat a la Taula 2.

Taula 2. Distribució horària dels períodes punta (P1), pla (P2) i vall (P3) per la tarifa 3.0A i la zona 1.

		HORES																							
		00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Hiv.		P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P2	P2
Est.		P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2

2.1.2. Tarifes d'alta tensió

Dins d'aquest grup es troben les tarifes 3.1A i 6 –amb varietat 6.1A, 6.1B, 6.2, 6.3, 6.4 i 6.5 segons el nivell de tensió de servei– (Taula 3). La diferència entre les dues és que la tarifa 3.1A avarca tensions de servei entre 1 i 36 kV amb potències contractades no superiors a 450 kW, mentre que en la tarifa 6 les restriccions en la tensió de servei i la potència contractada depenen de la subtarifa.

Taula 3. Tarifes d'alta tensió: tensió, potència i períodes tarifaris.

	Tarifa elèctrica						
	3.1A	6.1A	6.1B	6.2	6.3	6.4	6.5
Tensió (kV)	≥ 1 i < 36	≥ 1 i < 30	≥ 30 i < 36	≥ 36 i < 72,5	≥ 72,5 i < 145	≥ 145	Connexions internacionals
Potència (kW)	≤ 450	> 450 (en algun període)		Sense restricció			
Períodes	3			6			

Les tarifes d'alta tensió, igual que succeeix en el cas de la tarifa 3.0A, consideren el mercat elèctric nacional dividit en les quatre zones descrites anteriorment: la Península (zona 1), les illes Balears (zona 2), les illes Canàries (zona 3) i Ceuta i Melilla (zona 4).

- **Tarifa 3.1A**

La tarifa 3.1A classifica les 24 hores del dia en: hores punta (P), hores pla (L) i hores vall (V), sent el primer grup el període més car i l'últim el més barat, igual que en el cas de la tarifa 3.0A de baixa tensió.

Per a la zona 1, la Península, les hores del dia es distribueixen tal com mostra la Taula 4 segons si es tracta d'un dia laborable o d'un cap de setmana o festiu del període d'estiu o d'hivern –considerant que el canvi d'una època a l'altra correspon al canvi d'hora oficial–.

Taula 4. Distribució horària dels períodes punta (P1), pla (P2) i vall (P3) per la tarifa 3.1A i la zona 1.

		HORES DE DIES LABORABLES																							
		00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Hiv.		P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2
Est.		P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2

		HORES DE CAPS DE SETMANA I FESTIUS																							
		00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Hiv.		P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P2	P2	P2	P2	P2	P2
Est.		P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P2	P2	P2	P2	P2	P2

- **Tarifa 6**

Segons el nivell de tensió de servei la tarifa 6 es divideix en sis tarifes diferents, tal com s'ha explicat anteriorment. Totes elles classifiquen els dotze mesos de l'any en les mateixes cinc temporades, les quals presenten una distribució horària dividida, com a màxim, en tres períodes tarifaris diferents. Aquests períodes poden ser: P1, P2, P3, P4, P5 o P6, sent el primer període el més car i l'últim el més barat.

Per a la zona 1, la distribució horària dels períodes tarifaris en els diversos mesos de l'any és tal com mostra la Taula 5, segons si es tracta d'un dia laborable o d'un cap de setmana o un festiu. En la mateixa Taula 5 es pot veure que els mesos de gener, febrer i desembre

pertanyen a una mateixa temporada, els mesos de març i novembre a una segona temporada, l'abril, el maig i l'octubre a una tercera temporada, la primera quinzena de juny i el mes de setembre a una quarta temporada i, finalment, la segona quinzena de juny i el juliol a una cinquena temporada. També es pot veure que l'agost, els caps de setmana i els dies festius pertanyen a una sisena temporada.

Taula 5. Distribució horària dels períodes P1 fins a P6 per la tarifa 6 i la zona 1.

HORES DE DIES LABORABLES																								
	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Gen.	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2
Feb.	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2
Mar.	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4
Abr.	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
Mai.	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
1-15J.	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4
16-30J.	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2
Jul.	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2
Ago.	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
Set.	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4
Oct.	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
Nov.	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4
Des.	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2
HORES DE CAPS DE SETMANA I FESTIUS																								
Tot l'any	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6

2.2. Facturació dels termes elèctrics en les tarifes d'accés

Les tarifes d'accés es componen d'un terme de facturació d'energia activa, un de potència i, en la majoria de casos, un terme d'energia reactiva, a més d'altres aspectes com l'impost sobre l'electricitat, el lloguer d'equips, l'IVA, etc. Cada un d'aquests termes es factura mensualment.

Els termes que cobren un major pes en les factures elèctriques són normalment el terme d'energia activa seguit del terme de potència. La diferència entre aquests dos conceptes es pot apreciar a la Figura 3. Per una banda, l'energia fa referència al consum total d'electricitat, per la qual cosa es tracta d'un terme acumulatiu, és a dir, el seu valor va

augmentant a mesura que s'avança en el mes. La potència, en canvi, es tracta del consum d'electricitat instantani, és a dir que no és acumulativa, sinó que varia en funció del temps.

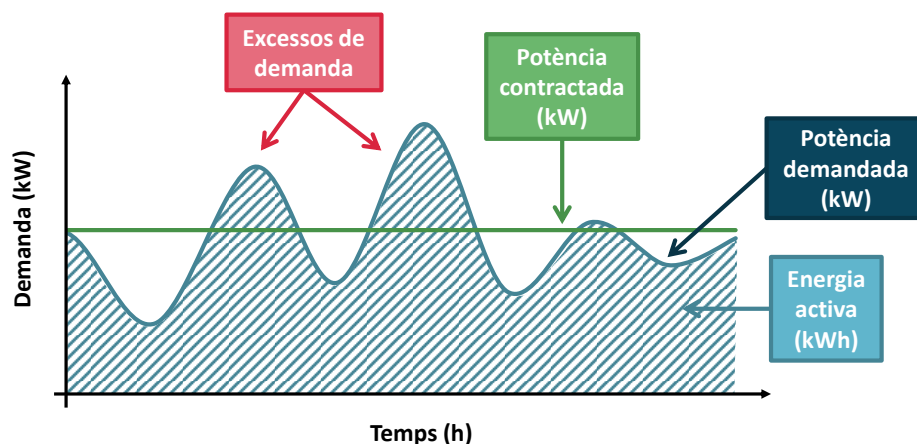


Figura 3. Conceptes elèctrics que intervenen en les tarifes d'accés.

El terme d'energia reactiva pot ser un pes important en la factura elèctrica si no es té una instal·lació ben optimitzada des d'aquest punt de vista. L'energia reactiva és aquella que consumeixen certes càrregues de tipus inductiu –motors, transformadors, etc.– per a crear els camps magnètics necessaris pel seu funcionament. Amb tot, consumir aquest tipus d'energia comporta certs desavantatges a la xarxa elèctrica, com per exemple la pèrdua de potència en la instal·lació, caigudes de tensió, sobrecàrregues en les línies, etc. Per això és important compensar-la amb l'ús de condensadors, que generen energia reactiva capacitativa, és a dir, de signe oposat a l'energia reactiva inductiva (Figura 4).

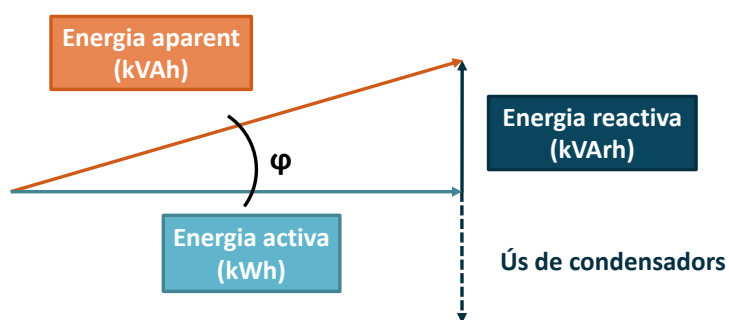


Figura 4. Relació entre l'energia activa, reactiva i aparent.

2.2.1. Energia activa

Per a cada una de les tarifes d'accés, tenint en compte que aquestes estan compostes per "n" períodes tarifaris, el terme d'energia activa es factura segons l'Equació 1.

$$\text{Terme d'energia activa (€)} = \sum_{i=1}^n t_{Eai} E_{a_i} \quad (\text{Eq. 1})$$

on,

E_{a_i} = energia activa consumida –mesurada amb comptador– durant totes les hores del període tarifari "i" (kWh/mes)

t_{Eai} = preu del kWh corresponent al període tarifari "i" (€/kWh)

2.2.2. Potència

Pel que fa al terme de potència, en el cas de la tarifa 3.0A es contracta una sola potència que s'aplica als tres períodes tarifaris. En el cas de les tarifes 3.1A i 6 es contracta una potència "Pc" per a cada un dels períodes tarifaris "i", sempre que $P_{c_{i+1}}$ sigui superior a P_{c_i} . Per les tres tarifes la potència contractada és aplicable durant tot l'any.

Tenint en compte que cada tarifa està composta per "n" períodes tarifaris, el terme de potència es calcula tal com mostra l'Equació 2.

$$\text{Terme de potència (€)} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^n t_{Pi} P_{c_i} \quad (\text{Eq. 2})$$

on,

P_{c_i} = potència contractada en el període tarifari "i" (kW)

t_{Pi} = preu del kW corresponent al període tarifari "i" (€/kW i any)

Tanmateix, en funció de la tarifa contractada el terme de potència pot variar tal com s'explica a continuació.

- **Tarifes 3.0A i 3.1A**

Per les tarifes 3.0A i 3.1A s'utilitzen aparells de mesura capaços d'enregistrar la potència màxima demandada en cada període tarifari (P_{md_i}). D'aquesta manera, per un període "i", en lloc de facturar la potència contractada (P_{c_i}) el que es fa és facturar una potència " P_i " que varia segons el criteri que es mostra a continuació, obtenint així les Equacions 3, 4 i 5.

Si $P_{md_i} < 0,85 P_{c_i}$:

$$P_i = 0,85 P_{c_i} \quad (\text{Eq. 3})$$

Si $0,85 P_{c_i} \leq P_{md_i} \leq 1,05 P_{c_i}$:

$$P_i = P_{md_i} \quad (\text{Eq. 4})$$

Si $P_{md_i} > 1,05 P_{c_i}$:

$$P_i = [P_{md_i} + 2(P_{md_i} - 1,05 P_{c_i})] \quad (\text{Eq. 5})$$

- **Tarifa 6**

En el cas de la tarifa 6 es facturen dos termes: un corresponent a la potència contractada, que segueix l'Equació 2, i un altre corresponent als excessos de demanda. Per facturar els excessos s'utilitzen aparells de mesura capaços d'enregistrar la potència demandada cada quart d'hora. D'aquesta manera, la companyia elèctrica penalitza el client si el valor enregistrat sobrepassa la potència contractada del període en què es produeix l'excés. Tots els excessos produïts en un mes es facturen segons l'Equació 6.

$$\text{Terme d'excessos de potència (€)} = \sum_{i=1}^6 (1,4064 \cdot K_i \cdot A_{c_i}) \quad (\text{Eq. 6})$$

on,

K_i = coeficient que pren els valors de la Taula 6 segons el període tarifari "i"

Taula 6. Coeficient K per a cada període "i".

Període "i":	1	2	3	4	5	6
K_i :	1	0,5	0,37	0,37	0,37	0,17

A_{c_i} = terme que es calcula segons l'Equació 7

$$A_{c_i} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (P_{d_j} - P_{c_i})^2} \quad (\text{Eq. 7})$$

on,

P_{d_j} = potència demandada en cada un dels quarts d'hora del període tarifari "i" en el que es sobrepassa " P_{c_i} " (kW)

P_{c_i} = potència contractada en el període tarifari "i" (kW)

2.2.3. Energia reactiva

El terme d'energia reactiva es comptabilitza en qualsevol de les tarifes –3.0A, 3.1A i 6– sempre que el valor del $\cos(\varphi)$ sigui inferior a 0,95, o en altres paraules, sempre que el consum d'energia reactiva durant el període de facturació excedeixi el 33% del consum d'activa. Aquest terme s'aplica sobre qualsevol dels períodes tarifaris descrits excepte per les hores vall, en el cas de les tarifes 3.0A i 3.1A, i el període 6, en el cas de la tarifa 6. El seu valor es factura segons l'Equació 8.

$$\text{Terme d'energia reactiva (€)} = \sum_{i=1}^{n-1} t_{E_{ri}} (E_{r_i} - 0,33 E_{a_i}) \quad (\text{Eq. 8})$$

on,

E_{r_i} = energia reactiva consumida –mesurada amb comptador– durant totes les hores del període tarifari “i” (kVArh/mes)

$t_{E_{r_i}}$ = preu del kVArh corresponent al període tarifari “i” segons el valor del $\cos(\varphi)$ (€/kVArh)

2.2.4. Impost sobre l'electricitat

L'impost sobre l'electricitat entra dins del grup d'impostos especials (alcohol, tabac, etc.). El seu valor es calcula tal com descriu la llei: multiplicant el percentatge 4,864% per 1,05113 i per la suma del terme d'energia activa, el de potència, i el d'energia reactiva, tal com mostra l'Equació 9.

$$\text{Impost sobre l'electricitat (€)} = 4,864\% (E_a + P + E_r) (\text{€}) \cdot 1,05113 \quad (\text{Eq. 9})$$

2.2.5. Lloguer d'equips de mesura

Les empreses que no són propietàries dels comptadors d'energia activa i reactiva han de pagar un lloguer mensual fixat pel Ministeri d'Indústria, Energia i Turisme, el qual depèn del tipus de comptador que tenen instal·lat. Aquest import se suma a la resta dels termes anteriors.

2.2.6. IVA

L'IVA és l'últim impost que es factura i actualment es calcula, a la zona peninsular, com el 21% de la suma de tots els termes anteriors.

2.2.7. Altres

A les factures també poden aparèixer altres conceptes regulats com l'ajustament de preus – que es cobra quan el govern augmenta els preus de mesos que ja s'han facturat–, el cost de pèrdues –que fa uns anys es trobava inclòs al preu del kilowatt, però des del juny del 2014 es cobra com un terme a part– o el cost d'*interromprebilitat* –que es tracta d'un cost negatiu que es paga al consumidor per tal de reduir el seu consum elèctric en els moments de més demanda–.

3. FUNCIONAMENT DE L'EINA

Des de l'ICRA s'ha desenvolupat una eina capaç de fer el seguiment en dinàmic dels costos elèctrics d'una instal·lació. Per tal de poder replicar les factures, les úniques dades que l'eina necessita conèixer de l'EDAR són les potències quart horàries demandades i la informació que apareix a les factures, és a dir, la tarifa aplicada, les potències contractades, els preus i els totals mensuals, els quals s'utilitzen posteriorment per validar els resultats obtinguts. Coneixent aquesta informació i les fórmules descrites al BOE, l'eina és capaç de replicar qualsevol factura elèctrica al cèntim.

En els següents dos apartats es mostra amb detall el càlcul de la factura elèctrica i el mètode utilitzat per trobar la potència contractada òptima.

3.1. Càlcul de la factura elèctrica

A continuació s'explica com l'eina és capaç de replicar la factura elèctrica: els paràmetres d'entrades, el procediment de càlcul i els valors que finalment s'obtenen i s'acaben mostrant.

3.1.1. Paràmetres d'entrada

El primer pas és introduir cada una de les temporades que considera la tarifa elèctrica, entenent com a temporada cada mes o estació en què canvien els períodes tarifaris i/o bé la seva distribució. Per a cada temporada es selecciona el període tarifari que pertoca a cada hora del dia –des de les 0h fins a les 24h–, tal com descriuen les Taules 2, 4 i 5. També es tria la temporada corresponent als caps de setmana i dies festius si és que aquests presenten una distribució de períodes diferents. En el cas de les tarifes elèctriques espanyoles són dues temporades per la tarifa 3.0A, tres per la 3.1A i sis per la 6. Un exemple per una tarifa 6.1 es mostra a la Figura 5.

		1 Tipus <input type="text" value="Nou tipus"/>		2 Tipus (caps de setmana i festius) T5 (weekmod)																									
		00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00				
T0	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2				
T1	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4				
T2	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5				
T3	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4				
T4	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P2				
T5	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6				

Figura 5. Entrada de les temporades de la tarifa elèctrica (exemple tarifa 6.1).

A continuació es carrega un fitxer en format .txt on solament es trobin els valors de potència activa demandada pel període que es vol estudiar –per exemple, els valors de tot un mes o de tot un any– (Figura 6).

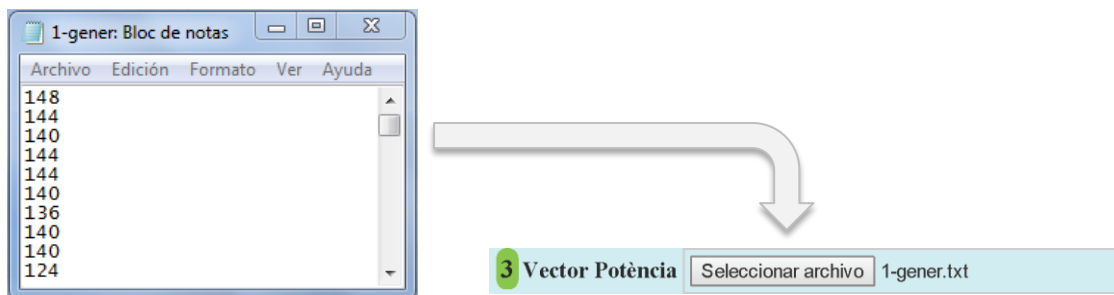


Figura 6. Entrada de les potències quart horàries a l'eina (exemple mes de gener).

Un cop carregat, es selecciona l'interval de temps entre dades, el qual és de quinze minuts pel sistema tarifari espanyol. El següent pas és introduir la data d'inici i fi de cada període, així com la temporada assignada a cada un d'ells. També s'introdueixen, un a un, els dies festius de l'època que s'estudia i les dates en què es dona el canvi d'hora. A Espanya, aquestes dates corresponen a l'últim diumenge de març a les 2h, que passen a ser les 3h, i l'últim diumenge d'octubre a les 3h, que passen a ser les 2h. Tots aquests passos es mostren d'exemple a la Figura 7.

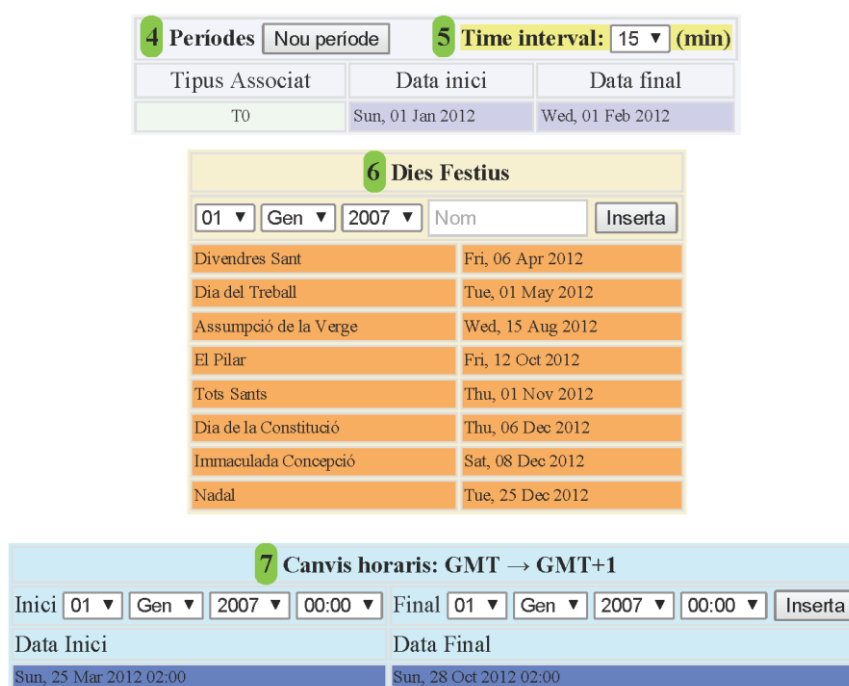


Figura 7. Entrada de la data d'inici i fi de cada període, els dies festius i el canvi horari a l'eina (exemple any 2012).

Finalment, s'introdueix la potència contractada per cada període tarifari (Figura 8). També s'introdueixen els preus del kilowatt, el kilowatt-hora d'energia activa i els altres conceptes que també es facturen: lloguers d'equips, en cas que n'hi hagi, impostos, etc. Dins d'aquests conceptes també hi entra el terme d'energia reactiva. La raó de que l'eina no calculi l'energia reactiva és que el percentatge que representa del total de la factura és quasi irrellevant, a part que l'única manera de reduir-la és mitjançant l'aportació d'energia capacitativa, tal com s'ha explicat a l'inici del punt 2.2. Disminuir el terme d'energia reactiva seria un estudi que pertanyeria més a l'àmbit elèctric i que per tant, no entra dins l'abast d'aquest projecte.

9 Tarifa 6.1 ▼	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Preus (€/kWh)	0.164136	0.131849	0.065823	0.086439	0.080138	0.066081
Potència contractada (kW)	350	380	400	400	400	451
Preus (€/kW)	16.925945	8.470298	6.198851	6.198851	6.198851	2.828316
Altres	Terme energia reactiva (€)		50.48			
	Impost sobre electricitat		0.04864	1.05113		
	Lloguer equips		59.72	Iva		0.18

Figura 8. Entrada de les potències contractades i els preus (exemple tarifa 6.1).

3.1.2. Procediment de càlcul

Abans d'entrar les potències contractades i els preus, l'eina té un botó anomenat "Genera calendari de blocs". Clicant sobre ell s'assigna a cada quart d'hora el període tarifari que li correspon. En aquest moment es pot comprovar si falta alguna dada en el fitxer de potències demandades, ja que pot ser que alguns valors no s'enregistressin bé al seu moment. En aquest cas, com que l'eina necessita forçosament una dada per a cada quart d'hora, una solució és fer la mitjana entre la demanda anterior i la posterior.

Un cop entrats tots els paràmetres, el primer pas és calcular el terme d'energia activa i el terme de potència. Per fer-ho, cal tenir en compte que els valors de potència que facilita la companyia elèctrica no són instantanis, sinó que corresponen a la demanda mitjana de tot un quart d'hora, ja que els equips de mesura tenen una freqüència de mostreig molt superior a una lectura per cada quinze minuts (Figura 9). Per exemple, la demanda de les 00:00h no és pot dir que sigui la demanda en aquest precís moment, sinó que correspon al valor mitjà entre les 00:00h i les 00:15h. Per tant, per a calcular l'energia activa consumida en un quart d'hora és tan senzill com multiplicar el valor de potència demandada per quinze minuts, o bé

per 0,25 hores per tal d'expressar l'energia en kilowatts-hora. Sumant tots els consums quart horaris segons el període que els hi pertoca es calcula el terme d'energia activa (Equació 1).

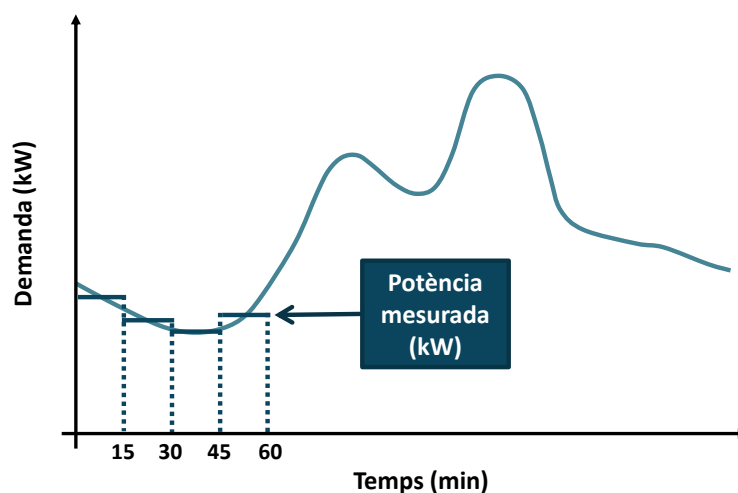


Figura 9. Mesura de la potència demandada

Per calcular el terme de potència existeixen dues vies segons la tarifa elèctrica aplicada: tarifa 3.0A i 3.1A o tarifa 6. En el primer cas, per cada període es compara cada valor de potència demandada amb l'anterior per tal de quedar-se amb el màxim dels dos. D'aquesta manera es troba el la demanda màxima en un mes. Aquest valor comparat amb el contractat és el que es té en compte a l'hora de calcular la potència a facturar (Equacions 3, 4 o 5) i, per tant, el terme de potència (Equació 2). En el segon cas es calculen dos termes: el corresponent a la potència contractada (Equació 2) i el corresponent als excessos (Equació 6). Aquesta vegada, per cada un dels períodes a facturar s'han de tenir en compte totes i cada una de les potències demandades que s'excedeixen del valor contractat.

3.1.3. Paràmetres de sortida

Un cop aplicada la tarifa elèctrica l'eina genera una taula on es mostra l'evolució de la factura al llarg de tot el període establert. A cada valor de potència demandada se li assigna la data corresponent –any, mes, dia i hora– i, segons aquesta data, el període tarifari que li pertoca. Per tal d'observar millor els canvis d'un període a un altre, l'eina marca les dates amb períodes tarifaris diferents de colors diferents.

A cada línia es mostra l'energia activa acumulada fins al moment i dividida en columnes segons els períodes tarifaris. En el cas de la potència, per les tarifes 3.0A i 3.1A l'eina

mostra la màxima demanda registrada fins al moment, en canvi, per la tarifa 6 mostra el terme "Ac" recalculat cada vegada que es produeix un excés. En ambdós casos els valors es mostren per períodes tarifaris, igual que l'energia activa.

A la taula també es mostra l'augment de cost que va suposant cada nova dada per a cadascun dels tres termes de la factura: energia activa i potència. En el cas de la tarifa 6, el terme de potència es divideix en dos: el terme fix, que manté sempre el mateix valor constant, i els excessos, que és el terme que pot anar augmentat a mesura que s'avança en el mes. Finalment, en l'última columna es suma l'energia reactiva, el lloguer d'equips, l'impost sobre l'electricitat i l'IVA. Així, per un determinat mes l'última dada de totes és la que representa el cost total de la factura del mateix mes.

La taula obtinguda es pot descarregar en format .csv per tal de poder treballar amb les dades més fàcilment –per exemple, amb Excel–. L'adaptació d'aquesta seguint l'exemple anterior es mostra a la Taula 7.

Taula 7. Resultats obtinguts a través de l'eina (exemple gener tarifa 6.1).

Data:	Dim 01 Gen 2012, 00:00												
Bloc:	P6												
Potència (kW)							Energia activa (kWh)						
Demanda (kW)	Excessos, Ac						P1	P2	P3	P4	P5	P6	
	P1	P2	P3	P4	P5	P6							
148	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	
Terme de potència (€)							Terme d'energia activa (€)						
Terme fix (€)	Terme d'excessos (€)						P1	P2	P3	P4	P5	P6	
	P1	P2	P3	P4	P5	P6							
1.076,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,44	
TOTAL:											1.539,11 €		

...

Data:	Dim 31 Gen 2012, 23:45												
Bloc:	P2												
Potència (kW)							Energia activa (kWh)						
Demanda (kW)	Excessos, Ac						P1	P2	P3	P4	P5	P6	
	P1	P2	P3	P4	P5	P6							
160	30,2	0	0	0	0	0	19.057	27.976	0	0	0	46.782	
Terme de potència (€)							Terme d'energia activa (€)						
Terme fix (€)	Terme d'excessos (€)						P1	P2	P3	P4	P5	P6	
	P1	P2	P3	P4	P5	P6							
1.076,23	42,46	0	0	0	0	0	3.789,70	3.756,34	0	0	0	3.091,40	
TOTAL:											15.361,24 €		

3.2. Càlcul de la potència contractada òptima

Dins de cada tarifa elèctrica les empreses han de contractar la potència que millor s'ajusta als seus requeriments energètics. Amb tot, a vegades és difícil saber quina és aquesta potència, ja que contractar pocs kilowatts per estalviar costos pot acabar penalitzant a les empreses, mentre que sobrevalorar el consum energètic i contractar-ne massa també repercuteix en un cost major. Fa uns anys el preu del kilowatt no era molt alt i per les empreses no suposava un cost important contractar grans potències. El problema és que durant els últims tres anys aquest preu ha augmentat més del doble en totes les tarifes i això fa que avui dia es tingui més en compte el valor que es contracta.

Si es suposa que el comportament de les depuradores segueix la mateixa dinàmica al llarg del temps, una manera de trobar la potència òptima és mitjançant l'anàlisi de dades històriques de demanda. En aquest cas cal tenir en compte que, encara que el valor òptim que es troba segurament no serà exactament l'òptim pels següents anys –ja que no es poden preveure exactament valors futurs de demanda–, si a l'hora de fer l'anàlisi es té en compte una gran quantitat de dades l'error comès segurament serà molt petit.

Per les depuradores amb tarifa 3.0A o 3.1A, quan la potència màxima demandada és molt semblant a la contractada –entre el 85% i el 105%– el terme de potència no s'allunya molt de l'esperat. Tanmateix, quan la diferència entre les dues és molt gran el cost pot augmentar considerablement, ja que en aquest cas l'excés es cobra doble. Per tant, amb tarifes 3.0A i 3.1A la potència òptima és aquella que permet que la màxima demandada es trobi entre el 85% i el 105% del seu valor, ja que d'aquesta manera es paga pel que s'utilitza. De tota manera, per la tarifa 3.1A existeix la següent restricció en les potències contractades: $P1 \leq P2 \leq P3$. Això és un inconvenient, ja que normalment les demandes més altes es donen a P1 enlloc de P3, per tant, en aquest cas no es pot dir exactament quina és la millor potència a contractar.

En les depuradores amb tarifa 6 el terme de potència funciona de manera diferent: per una part es factura la potència contractada, que es manté sempre com un terme fix en la factura elèctrica, i per altra banda es penalitzen totes i cada una de les potències que excedeixen el valor contractat. D'aquesta manera, si una depuradora contracta pocs kilowatts el seu terme fix serà baix, però en canvi les penalitzacions seran elevades. En canvi, si contracta una potència molt alta les penalitzacions seran baixes, però per contra el terme fix augmentarà – un exemple per entendre el funcionament de manera simplificada es mostra a la Figura 10–.

Per tant, la potència contractada per aquest tipus de tarifes ha de ser prou alta perquè els excessos de potència no siguin exagerats i prou baixa perquè el cost fix no sigui massa elevat. A més, aquí també s'ha de tenir en compte, igual que anteriorment, la restricció en les potències contractades: $P1 \leq P2 \leq P3 \leq P4 \leq P5 \leq P6$.

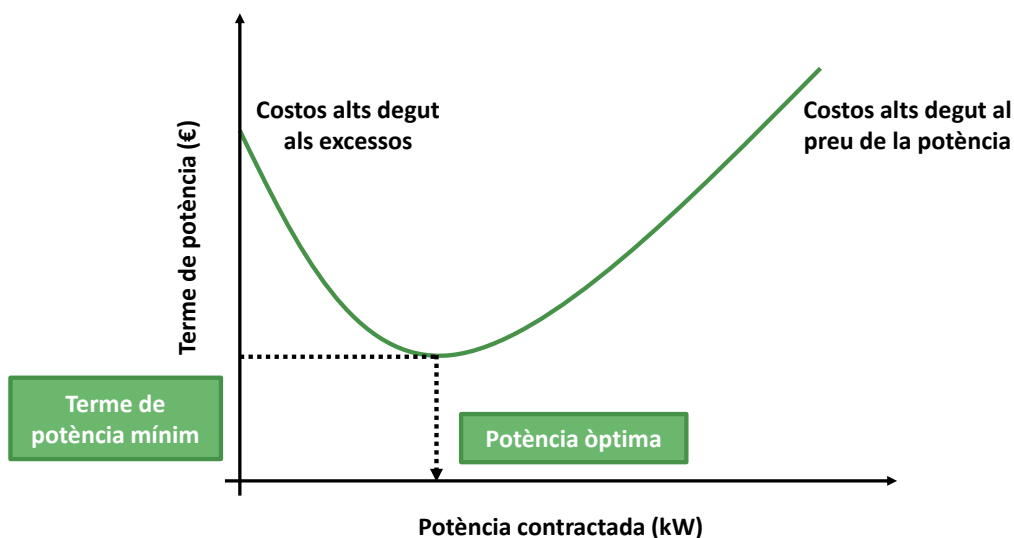


Figura 10. Potència òptima per una tarifa tipus 6.

Considerant tots els valors de demanda d'un any –ja que les potències contractades només estan permeses de canviar una vegada per any– l'eina és capaç de trobar la potència òptima del mateix. Amb tot, cal tenir clar que el mètode d'optimització que utilitza no és matemàtic, ja que no parteix de cap funció que es pugui derivar. El seu funcionament és iteratiu: es basa en anar provant potències contractades diferents, calcular la factura elèctrica de cada mes, sumar les dotze factures de any i quedar-se sempre amb la potència que asseguri el mínim cost anual. En aquest sentit, l'optimitzador necessita com a paràmetres d'entrada una potència de partida, una potència final i els kilowatts equivalents a un salt, és a dir, cada quan calcular una nova potència. L'optimització s'ha decidit fer d'aquesta manera perquè si es fes mes a mes hi hauria casos en què la potència òptima per algun dels períodes seria zero, com es el cas de l'agost. A l'agost s'aplica P6 durant tot el mes, per la qual cosa els excessos de potència només es poden donar a P6, sent la potència òptima dels altres períodes de 0 kW, cosa que no té cap sentit respecte la resta de mesos.

A l'hora de trobar el cost mínim l'eina no només es capaç de provar diferents potències, sinó que també permet fer diferents combinacions. En el cas de les tarifes 3.1A i 6 no és necessari contractar la mateixa potència per a tots els períodes tarifaris, només fa falta que

la potència d'un període sigui sempre superior a l'anterior. Per exemple, si es vol trobar la potència òptima per una tarifa 6 partint d'una potència inicial de 500 kW fins a una potència final de 600 kW i fent salts de 10 kW, les combinacions possibles segueixen el mateix ordre que l'exemple mostrat a la Taula 8.

Cal tenir present que la quantitat de càlculs que s'han de fer per tal de trobar la potència òptima són molts, és a dir que el resultat no és instantani. Per tant, convé que primer es faci un anàlisi general, fent salts relativament grans, i que es valori el resultat obtingut per anar acotant el rang de potències i poder acabar fent salts més petits.

Taula 8. Exemple del mètode seguit per trobar les potències òptimes.

	Potències contractades (kW)					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Combinació 1:	500	500	500	500	500	500
Combinació 2:	500	500	500	500	500	510
Combinació 3:	500	500	500	500	500	520
Combinació 4:	500	500	500	500	500	530
Combinació 5:	500	500	500	500	510	510
Combinació 6:	500	500	500	500	510	520
Combinació 7:	500	500	500	500	510	530
Combinació 8:	500	500	500	500	520	520
Combinació 9:	500	500	500	500	520	530
Combinació 10:	500	500	500	500	530	530
Combinació 11:	500	500	500	510	510	510
Combinació 12:	500	500	500	510	510	520
Combinació 13:	500	500	500	510	510	530
Combinació 14:	500	500	500	510	520	520
Combinació 15:	500	500	500	510	520	530
Combinació 16:	500	500	500	510	530	530
Combinació 17:	500	500	500	520	520	520
Combinació 18:	500	500	500	520	520	530
Combinació 19:	500	500	500	520	530	530
Combinació 20:	500	500	500	530	530	530
Combinació 21:	500	500	510	510	510	510
...

4. EXEMPLE D'ESTUDI: EDAR BLANES

Per tal de poder demostrar el potencial de l'eina s'ha presentat el projecte al CCB i a EMACBSA, els quals s'encarreguen d'administrar i gestionar les depuradores de la Costa Brava. Després d'una primera reunió i considerar quines dades feien falta s'ha decidit realitzar l'estudi per l'EDAR Blanes, una de les dinou depuradores situada a la zona sud.

A continuació s'explica la descripció d'aquesta planta, les dades de referència utilitzades i l'estudi que s'ha fet per tal de reduir els costos elèctrics.

4.1. Descripció de la planta

L'EDAR Blanes és la planta depuradora que tracta les aigües de Blanes i les urbanitzacions de Mas Cremat i Sant Francesc. Es va posar en marxa el 1997 i va ser ampliada posteriorment el 2002. Actualment inclou un tractament biològic amb eliminació de nitrogen i fòsfor i un tractament terciari amb l'objectiu de reduir la matèria en suspensió (MES). També inclou una planta de compostatge per tal de tractar els fangs de la mateixa depuradora i d'altres EDARs de la zona. Les seves dades de disseny es mostren a la Taula 9.

Taula 9. Paràmetres de disseny.

Dada de disseny	Valor
Cabal	23.584 m ³ /dia
Població equivalent	109.985 h-e
MES	365 mg/L
DBO ₅	462 mg/L
DQO	no límit
Nitrogen	70 mg/L
Fòsfor	no límit
Capacitat nominal de tractament de fangs	9.000 t fangs/any
Producció nominal de fangs	2.000 t compost/any

La depuradora de Blanes compta amb dues línies de tractament, tal com s'observa a l'esquema mostrat a la Figura 11. En ell es pot veure que l'aigua residual que arriba a la planta passa en primer lloc per un dessorrador–desgreixador, on s'elimina la sorra per

sedimentació i els greixos per flotació. Posteriorment l'aigua arriba a un decantador primari, on es produeix la sedimentació dels sòlids en suspensió de matèria orgànica i inorgànica. El següent pas és el tractament biològic mitjançant un carrusel d'oxidació, on es digereix la matèria orgànica gràcies a l'activitat biològica dels microorganismes, a més de la reducció dels compostos de nitrogen i fòsfor. Un cop l'aigua surt del carrusel es porta cap a un decantador secundari, on es realitza la separació de l'aigua depurada dels fangs biològics, els quals sedimenten. En aquest punt, una part de l'efluent s'aboca al riu –o al mar a través d'un emissari submarí– i a l'altra se li fa un tractament terciari, on s'elimina més quantitat de fangs i es desinfecta mitjançant rajos UV i l'addició d'hipoclorit. El destí de d'aquesta aigua és el reg agrícola. De tota manera, el tractament terciari no s'inclou dins d'aquest estudi ja que forma part d'una instal·lació secundària que funciona amb un altre transformador.

La matèria que es recull del dessorrador–desgreixador i els fangs provinents del decantador primari i secundari es bombegen cap a un espesidor de fangs, on es concentren i s'homogeneïtzen. Posteriorment es porten cap a un digestor anaeròbic, on s'estabilitzen i se'ls hi elimina la part fermentable produint metà, que s'emmagatzema en un gasòmetre per una futura valorització energètica. El següent pas és la deshidratació, que consisteix en la reducció del seu contingut d'aigua per tal de disminuir el seu volum i així poder-los manipular més fàcilment. Finalment, els fangs deshidratats es porten a uns túnels de compostatge amb l'objectiu d'obtenir un fertilitzant orgànic que pugui destinar-se a l'agricultura.

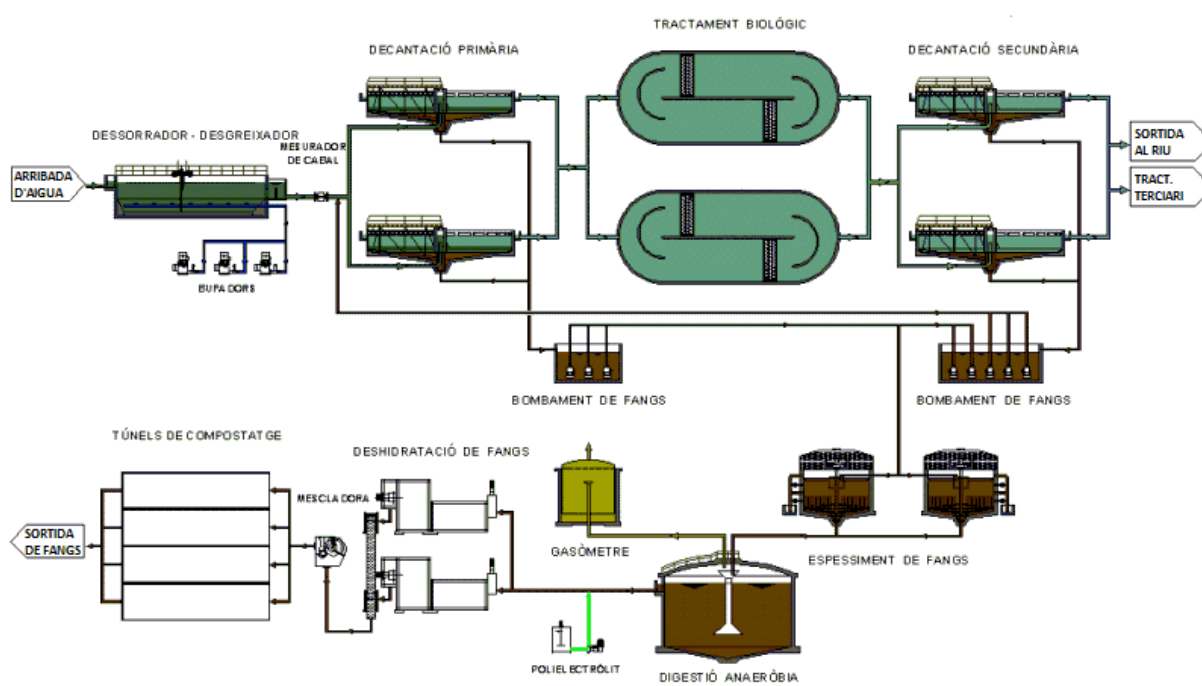


Figura 11. Esquema general de la planta.

L'envergadura d'aquesta planta i els sistemes de sanejament utilitzats fan que la depuradora tingui contractada una tarifa 6.1A amb les potències contractades que es mostren a la Taula 10.

Taula 10. Potències contractades per períodes.

Potències contractades (kW)					
P1	P2	P3	P4	P5	P6
350	380	400	400	400	451

4.2. Dades de referència

La base de l'estudi és aconseguir les potències quart horàries demandades, ja que són aquests valors els que les companyies elèctriques tenen en compte a l'hora de facturar. La idea és aconseguir les potències demandades de tot un any sencer, ja sigui a través del comptador –connectant-se al comptador es poden aconseguir els consums dels últims dos mesos– o a través de la companyia elèctrica. Hi ha comercialitzadores que faciliten aquesta informació als seus clients, com per exemple Endesa a través de la seva pàgina web. Tanmateix, també n'hi ha d'altres que no ofereixen aquest tipus de servei, sinó que se'ls hi ha de sol·licitar els valors. En el cas de Blanes les dades més recents han estat impossibles d'aconseguir amb la companyia actual, per la qual cosa s'ha optat per treballar amb dades del 2012, que és quan la depuradora era client d'Endesa. Un exemple per veure com són aquestes dades es mostra a la Taula 11. El 2012 les tarifes 6.1A i 6.1B formaven un sol grup, la tarifa 6.1. Per tant, a partir d'aquest moment es parlarà de tarifa 6.1 enlloc de tarifa 6.1A.

Treballar amb dades antigues té el risc que aquestes hagin variat amb el temps i que, per tant, els resultats obtinguts no s'ajustin molt bé a l'actualitat. En el cas de les depuradores, ja s'ha explicat anteriorment que la seva demanda elèctrica segueix una dinàmica molt semblant a la del cabal. Per l'EDAR Blanes els cabals mensuals tractats des de l'any 2012 fins el juny del 2015 han estat els mostrats a la Figura 12. Tal com s'observa, la variabilitat en els valors respecte dels anys no és significativa, per tant, com que no hi ha hagut ampliacions a la planta durant aquests tres anys, si es considera que el cabal és proporcional al consum d'energia es pot assumir que les dades quart horàries del 2012 són semblants a les actuals.

Taula 11. Potències quart horàries demandades del dia 01/01/2012.

Temps (h)	Demanda (kW)	Temps (h)	Demanda (kW)	Temps (h)	Demanda (kW)	Temps (h)	Demanda (kW)
0:00	148	6:00	160	12:00	120	18:00	128
0:15	144	6:15	156	12:15	116	18:15	128
0:30	140	6:30	160	12:30	120	18:30	132
0:45	144	6:45	164	12:45	124	18:45	128
1:00	144	7:00	160	13:00	124	19:00	124
1:15	140	7:15	160	13:15	120	19:15	132
1:30	136	7:30	164	13:30	128	19:30	140
1:45	140	7:45	164	13:45	132	19:45	132
2:00	140	8:00	156	14:00	132	20:00	132
2:15	124	8:15	156	14:15	132	20:15	132
2:30	132	8:30	148	14:30	136	20:30	144
2:45	136	8:45	148	14:45	132	20:45	156
3:00	136	9:00	140	15:00	128	21:00	176
3:15	136	9:15	116	15:15	132	21:15	172
3:30	132	9:30	116	15:30	140	21:30	172
3:45	140	9:45	132	15:45	144	21:45	176
4:00	144	10:00	112	16:00	128	22:00	176
4:15	152	10:15	124	16:15	128	22:15	180
4:30	144	10:30	136	16:30	120	22:30	184
4:45	148	10:45	152	16:45	124	22:45	192
5:00	128	11:00	152	17:00	120	23:00	172
5:15	152	11:15	128	17:15	116	23:15	172
5:30	152	11:30	112	17:30	120	23:30	168
5:45	152	11:45	120	17:45	132	23:45	172

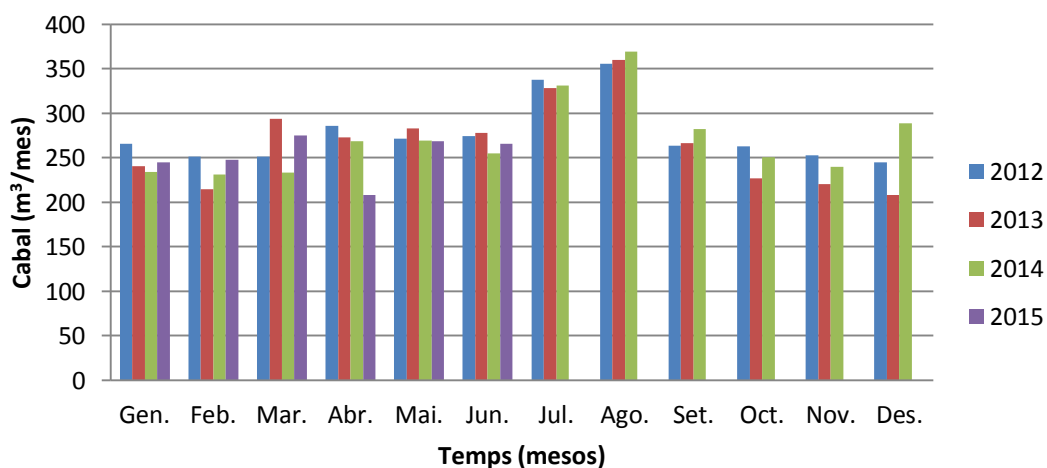


Figura 12. Cabals mensuals tractats durant els anys 2012, 2013, 2014 i 2015.

Un altre tipus d'informació que cal considerar són les dotze factures de l'any que ha rebut la depuradora, en el cas de Blanes les del 2012. La factura del gener es mostra com a exemple a la Taula 12, mentre que la resta de factures es poden trobar a l'Annex. Els valors que apareixen a les factures permeten demostrar si els resultats obtinguts amb l'eina quadren amb els reals i, per tant, si es pot continuar amb l'estudi o hi ha alguna cosa que s'ha d'acabar d'ajustar. A més, les factures elèctriques informen d'altres paràmetres que també són necessaris: els preus unitaris de l'energia activa i de la potència per cada període tarifari. Per una banda, el preu del kilowatt ve marcat per llei i es pot conèixer fàcilment, però en canvi el preu del kilowatt-hora depèn, en part, del contracte amb la companyia elèctrica. El problema d'aquests preus és que canvien constantment, per això no estan inclosos a l'eina com un terme fix de la tarifa.

Taula 12. Factura elèctrica del mes de gener.

FACTURACIÓ		
CONCEPTE	CÀLCUL	IMPORT
TERME D'ENERGIA VARIABLE		9.895,88
	P1: 19.057 kWh x 0,164136 Eur/kWh = 3.127,94 Eur	
	P2: 27.976 kWh x 0,131849 Eur/kWh = 3.688,61 Eur	
	P6: 46.782 kWh x 0,065823 Eur/kWh = 3.079,33 Eur	
FACTURACIÓ POTÈNCIA PER PERÍODES		1.488,08
	P1: 350 kW x 16,925945 Eur/kW = 5.924,08 Eur	
	P2: 380 kW x 8,470298 Eur/kW = 3.218,71 Eur	
	P3: 400 kW x 6,198851 Eur/kW = 2.479,54 Eur	
	P4: 400 kW x 6,198851 Eur/kW = 2.479,54 Eur	
	P5: 400 kW x 6,198851 Eur/kW = 2.479,54 Eur	
	P6: 451 kW x 2,828316 Eur/kW = 1.275,57 Eur	
	17.856,98 Eur x 1 MES / 12 MESOS	
RECÀRREC PER EXCESSOS DE POTÈNCIA		0,00
ENERGIA REACTIVA		50,48
	P2: 1.214,92 kVArh x 0,041554 Eur/kVArh = 50,48 Eur, cos phi 0,94	
IMPOST SOBRE L'ELECTRICITAT	4,864% sobre 11.434,44 Eur x 1,05113	584,61
LLOGUER D'EQUIPS DE MESURA		59,72
IVA NORMAL	18% sobre 12.078,77 Eur	2.174,18
	Total Factura	14.252,95 €

Si s'analitzen les factures es pot veure que a partir de l'agost fins al desembre apareix un terme anomenat "Ajustament preus 1º T 2012". Aquest concepte fa referència al canvi de preus del kilowatt i el kilowatt-hora que es va fer públic durant l'abril del 2012 a l'Ordre

IET/843/2012, però que resulta que al juliol es van adonar que també afectava al primer trimestre del mateix any. Aleshores, com que els tres primers mesos ja s'havien facturats, la companyia elèctrica es va veure obligada a cobrar la diferència de preus associada als termes d'energia i de potència posteriorment. Per tal que aquest nou cost no repercutís significativament es va decidir dividir el recàrrec en cinc parts iguals, per això aquest terme apareix a partir de l'agost fins al mes de desembre. Tanmateix, a l'hora de fer els anàlisis dels punts 5.3.2. i 5.3.3. per temes de comoditat s'ha decidit eliminar aquest nou cost i treballar amb els preus que es mostren a la Taula 13, és a dir, com si no hi hagués hagut cap error en els preus durant el primer trimestre.

Taula 13. Preus de l'energia activa i de la potència el 2012 per una tarifa 6.1.

Preu energia activa (€/kWh)						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Gen.						
Feb.						
Mar.	0,167377	0,13427	0,11087	0,086439	0,080138	0,066081
Abr.						
Mai.						
Jun.						
Jul.						
Ago.						
Set.	0,167449	0,134342	0,110941	0,08651	0,080208	0,066152
Oct.						
Nov.						
Des.						

Preu potència (€/kW)						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Tot l'any	17,683102	8,849205	6,476148	6,476148	6,476148	2,954837

Per últim també es necessiten conèixer els dies festius, ja que aquests varien any per any. El sistema elèctric considera com a dies festius els anomenats "festius d'àmbit nacional no substituïbles". Pel 2012 són els vuit següents: 6 d'abril, 1 de maig, 15 d'agost, 12 d'octubre, 1 de novembre, 6 de desembre, 8 de desembre i 25 de desembre. Aquestes dates apareixen publicades a la Resolució del 6 d'octubre del 2011 de la DGT (Direcció General de Treball).

4.3. Estudi per reduir costos elèctrics

A continuació s'expliquen els passos que s'han seguit per tal de portar a terme la reducció dels costos elèctrics de l'EDAR Blanes. En primer lloc s'ha validat l'eina amb les dades descrites al punt 5.2. Seguidament s'ha avaluat si el contracte amb la comercialitzadora era el més òptim i, finalment, gràcies als resultats obtinguts amb l'eina s'han discutit futures estratègies d'operació amb els responsables del CCB i EMACBSA.

4.3.1. Validació de l'eina i obtenció de la factura en dinàmic

Després de calcular les factures elèctriques de l'any 2012 els resultats han estat els mostrats a la Taula 14. Tal com es pot veure, la diferència entre els valors reals i els aconseguits amb l'eina no és significativa –en qualsevol cas aquesta diferència és inferior al 0,5% del total de la factura–, la qual cosa indica que els càlculs realitzats són correctes i que l'eina permet replicar les factures elèctriques igual que ho fa la comercialitzadora. De fet, la petites diferències que poden haver-hi es deuen a les dades de demanda que s'han estimat quan hi ha hagut algun error en algun dels valors quart horaris d'entrada.

Taula 14. Valors reals i valors obtinguts amb l'eina del total de les factures.

	Total de la factura real (€)	Total de la factura eina (€)	Diferència (%)
Gen.	14.252,95	14.252,95	0,000%
Feb.	14.182,27	14.182,28	0,000%
Mar.	10.143,94	10.161,71	0,175%
Abr.	10.244,90	10.211,73	0,324%
Mai.	11.975,15	11.975,15	0,000%
Jun.	16.547,92	16.547,92	0,000%
Jul.	22.967,79	22.967,80	0,000%
Ago.	13.480,36	13.484,41	0,030%
Set.	11.077,94	11.077,93	0,000%
Oct.	10.072,48	10.072,48	0,000%
Nov.	10.167,95	10.168,38	0,004%
Des.	13.284,91	13.284,91	0,000%

Fent la validació de l'eina no només s'obtenen els valors totals de les factures, sinó també els costos desglossats per termes tal com s'ha explicat al punt 3.1.3.

4.3.2. Anàlisi del contracte òptim

El primer que cal tenir en compte per tal de reduir costos són les potències contractades a la companyia elèctrica, ja que la majoria d'EDARs solen tenir potències contractades molt superiors a les demandades. Sense fer cap estudi previ no es pot saber si aquest és el cas de Blanes, però d'entrada sí que s'observa (Taula 15) que aquesta depuradora quasi mai presenta excessos de potència, però sí un terme fix molt gran en comparació a aquests. En aquests casos val la pena estudiar si les potències contractades per cada període es troben a prop de les òptimes o realment val la pena canviar el contracte.

Taula 15. Terme fix i terme d'excessos de potència durant l'any 2012 per les potències contractades reals: P1=350 kW, P2=380 kW, P3=400 kW, P4=400 kW, P5=400 kW i P6=451 kW.

	Terme fix (€)	Terme d'excessos (€)						TOTAL (€)
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	
Gen.	1.554,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.554,65
Feb.	1.554,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.554,65
Mar.	1.554,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.554,65
Abr.	1.554,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.554,65
Mai.	1.554,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.554,65
Jun.	1.554,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.554,65
Jul.	1.554,65	57,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.612,55
Ago.	1.554,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.554,65
Set.	1.554,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.554,65
Oct.	1.554,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.554,65
Nov.	1.554,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.554,65
Des.	1.554,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.554,65
TOTAL	18.655,80	57,90						18.713,70

Després d'utilitzar l'optimitzador descrit al punt 3.2.2. per calcular les potències òptimes pels consums del 2012 els resultats són els que es mostren a la Taula 16. Tal com s'observa, les potències de tots els períodes han disminuït respecte les contractades menys la de P6, que no ha variat. La raó de que aquesta potència s'hagi mantingut a 451 kW es deu a la legislació, que obliga a tenir una potència contractada en algun dels períodes tarifaris superior a 450 kW. Per tant, com que $P1 \leq P2 \leq P3 \leq P4 \leq P5 \leq P6$, el més lògic és contractar com a mínim 451 kW a P6.

Taula 16. Potències contractades òptimes per la tarifa 6.1 aplicant els preus del 2012.

Potències contractades (kW)					
P1	P2	P3	P4	P5	P6
252	252	252	252	252	451

Els costos associats a les potències de la Taula 16 són els que es poden veure a la Taula 17. Tal com s'observa, els excessos que es donen als períodes més cars prenen molta més importància que els dels períodes més barats. En aquest sentit, com que $P1 \leq P2 \leq P3 \leq P4 \leq P5 \leq P6$, es pot intuir que la potència òptima per a tots els períodes ve marcada bàsicament pels excessos de P1, per això les potències òptimes presenten totes elles els mateixos valors.

Taula 17. Terme fix i terme d'excessos de potència aplicant els preus del 2012 i les potències contractades: P1=252 kW, P2=252 kW, P3=252 kW, P4=252 kW, P5=252 kW i P6=451 kW.

	Terme fix (€)	Terme d'excessos (€)						TOTAL (€)
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	
Gen.	1.076,23	42,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.118,69
Feb.	1.076,23	29,76	8,44	0,00	0,00	0,00	0,00	1.114,43
Mar.	1.076,23	0,00	0,00	0,00	2,08	0,00	0,00	1.078,31
Abr.	1.076,23	0,00	0,00	0,00	0,00	7,50	0,00	1.083,73
Mai.	1.076,23	0,00	0,00	0,00	0,00	30,65	0,00	1.106,88
Jun.	1.076,23	101,39	78,83	0,00	16,38	0,00	0,00	1.272,83
Jul.	1.076,23	1.133,23	415,88	0,00	0,00	0,00	0,00	2.625,34
Ago.	1.076,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.076,23
Set.	1.076,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.076,23
Oct.	1.076,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.076,23
Nov.	1.076,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.076,23
Des.	1.076,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.076,23
TOTAL	12.914,76	1.866,60						14.781,36

Gràficament no té gaire sentit representar l'optimització anterior, ja que al haver-hi tantes combinacions possibles el gràfic tindria més dimensions de les que es poden apreciar a simple vista –cal recordar que per trobar la combinació òptima en una tarifa 6 s'han de modificar sis variables a l'hora–. No obstant, per tenir una idea gràfica de l'optimització i de manera anàloga a la Figura 10 sí que es pot representar el terme de potència anual en

funció de la potència contractada mantenint aquesta constant en tots els períodes tarifaris des de P1 fins a P5. El resultat es mostra a la Figura 13.

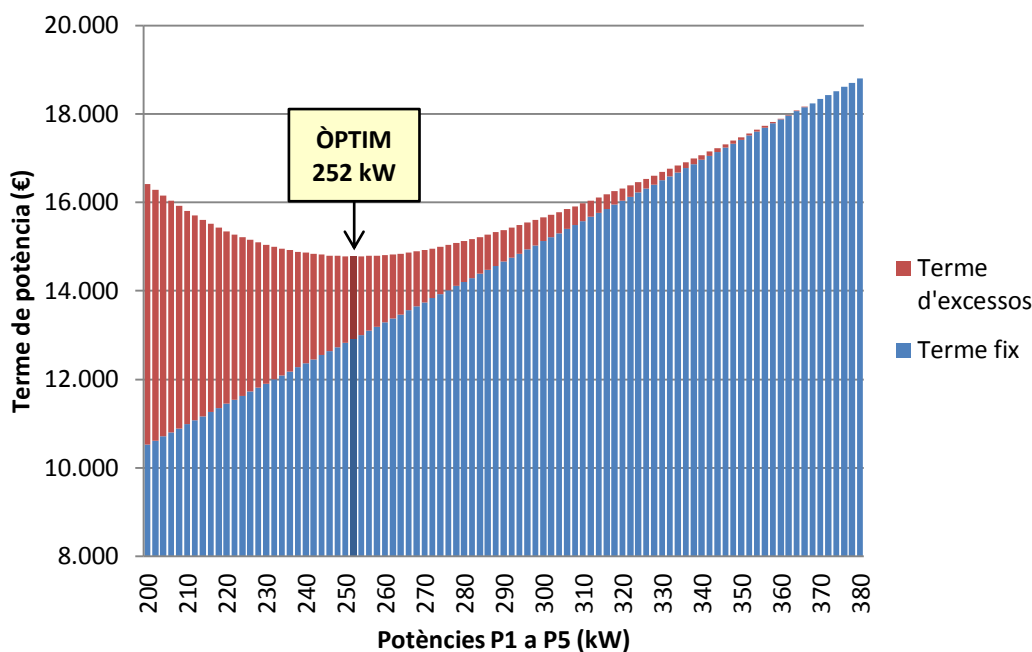


Figura 13. Variació del terme de potència en funció de la potència contractada aplicant els preus del 2012.

Si les potències contractades haguessin estat les òptimes la depuradora s'hagués estalviat l'any 2012 4.952,83 € –impostos inclosos–, el que equival a un 21% del total anual del terme de potència. Tanmateix, veient que la tarifa 6.1 obliga a tenir contractada a P6 una potència que s'allunya del valor òptim, s'ha decidit realitzar una segona optimització aplicant la tarifa just inferior a la 6.1, és a dir, la tarifa 3.1A.

En la tarifa 3.1A tant la distribució dels períodes tarifaris com la manera de facturar el terme de potència és diferent –en aquest cas es factura la potència segons la màxima demandada per cada un dels tres períodes tarifaris–. També són diferents els preus unitaris de la potència i de l'energia, per això, per tal de que l'anàlisi fos el més real possible s'han considerat els preus unitaris que es mostren a la Taula 18, els quals corresponen a una tarifa 3.1A del 2012 per una altra depuradora administrada pel mateix CCB. D'aquesta manera, com que els preus de l'energia varien d'una companyia respecte de l'altra, es pot estar segur que els valors corresponen al mateix any i a la mateixa companyia elèctrica.

Taula 18. Preus de l'energia activa i de la potència el 2012 per una tarifa 3.1A.

	Preu energia activa (€/kWh)			Preu potència (€/kW)		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Gen.						
Feb.						
Mar.	0,135908	0,118611	0,083029			
Abr.						
Mai.						
Jun.				25,588674	15,779848	3,618499
Jul.						
Ago.						
Set.	0,13598	0,118681	0,083098			
Oct.						
Nov.						
Des.						

Les potències òptimes aplicant la tarifa 3.1A es mostren a la Taula 19. Tal com es pot veure, els valors són més grans que en els dos anàlisi anteriors, ja que el mètode que s'utilitza per penalitzar els excessos és més desfavorable per la depuradora que l'anterior.

Taula 19. Potències contractades òptimes per la tarifa 3.1A aplicant els preus del 2012.

Potències contractades (kW)		
P1	P2	P3
271	294	294

Els valors mensuals i anuals pel que fa al terme d'energia activa i potència es mostren a la Taula 20. A la mateixa Taula 20 també s'ensenyen els costos obtinguts per la optimització del 2012 aplicant la tarifa 6.1. En aquest cas, per tal de poder comparar les dues optimitzacions es necessita conèixer el cost energètic, ja que al canviar de tarifa no només varia el terme de potència, sinó també el d'energia. En comparació es pot veure que l'alternativa de canviar de tarifa no és bona, ja que encara que el terme de potència podria arribar a ser inferior contractant una tarifa 3.1A, el terme d'energia activa seria un 22% més car. Això faria que no hi hagués un estalvi respecte les dades de referència, sinó un sobrecost total anual de 21.831,80 € –impostos inclosos–.

Taula 20. Cost del terme d'energia activa i cost òptim del terme de potència el 2012 per una tarifa 3.1A i una 6.1.

	Tarifa 3.1A		Tarifa 6.1	
	Terme d'energia activa (€)	Terme de potència (€)	Terme d'energia activa (€)	Terme de potència (€)
Gen.	10.028,39	931,02	10.037,44	1.118,69
Feb.	9.972,75	924,23	10.032,16	1.114,43
Mar.	8.696,49	903,19	6.535,10	1.078,31
Abr.	9.654,21	966,92	6.557,89	1.083,73
Mai.	11.769,53	1.025,04	8.044,01	1.106,88
Jun.	13.326,64	1.096,25	11.728,88	1.272,83
Jul.	16.523,95	1.927,22	16.848,80	2.625,34
Ago.	14.541,76	1.433,23	8.944,35	1.076,23
Set.	9.229,05	895,17	6.928,04	1.076,23
Oct.	9.021,49	895,17	6.146,81	1.076,23
Nov.	8.326,66	895,17	6.253,74	1.076,23
Des.	8.682,46	895,17	8.450,95	1.076,23
TOTAL	129.773,38	12.787,78	106.508,17	14.781,36

Els resultats del 2012 indiquen que l'EDAR Blanes consumeix prou energia en els períodes més barats com perquè li surti més a compte tenir aplicada una tarifa 6.1A amb una potència contractada a P6 de 451 kW que una tarifa 3.1A, sent les potències òptimes les de la Taula 16. Tanmateix, cal tenir en compte que l'anàlisi s'ha realitzat tenint en compte els preus del 2012, els quals actualment –any 2015– han augmentat més del doble en tots els períodes tarifaris (Taula 21).

Taula 21. Variació del preu de la potència per una tarifa 6.1 (2012) – 6.1A (2015) en funció de l'any.

	Preus de la potència contractada (€/kW)					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Inici 2012	16,925945	8,470298	6,198851	6,198851	6,198851	2,828316
Inici 2015	39,139427	19,586654	14,334178	14,334178	14,334178	6,540177

Com que no es disposa de dades més actuals per a poder fer una anàlisi del 2015 però s'ha assumit que la demanda de potència s'ha d'haver mantingut més o menys constant amb els anys, s'ha decidit fer una nova optimització aplicant els nous preus a la dinàmica del 2012. En aquest cas cal tornar a calcular el terme fix de potència, que augmenta al augmentar el preu del kilowatt, tal com mostra la Taula 22.

Taula 22. Terme fix i terme d'excessos de potència aplicant els preus del 2015 i les potències contractades: P1=350 kW, P2=380 kW, P3=400 kW, P4=400 kW, P5=400 kW i P6=451 kW.

	Terme fix (€)	Terme d'excessos (€)						TOTAL (€)
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	
Gen.	3.441,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3.441,03
Feb.	3.441,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3.441,03
Mar.	3.441,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3.441,03
Abr.	3.441,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3.441,03
Mai.	3.441,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3.441,03
Jun.	3.441,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3.441,03
Jul.	3.441,03	57,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3.498,93
Ago.	3.441,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3.441,03
Set.	3.441,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3.441,03
Oct.	3.441,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3.441,03
Nov.	3.441,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3.441,03
Des.	3.441,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3.441,03
TOTAL	42.292,36	57,90						42.350,26

Els resultats pel que fa a les potències contractades òptimes i als valors del terme fix de potència i excessos per aquest nou anàlisi es mostren a les Taules 23 i 24, respectivament. Els valors obtinguts són lògics, ja que al augmentar el preu de la potència contractada i mantenir constant la fórmula per calcular els excessos, l'òptim forçosament ha de disminuir. En aquest cas, l'estalvi que suposaria contractar les potències òptimes comparat amb el nou cost de referència augmenta, sent el seu valor de 15.114,60 € –impostos inclosos–, un 28% del cost anual del terme de potència. Això indica que amb l'increment de preus cada vegada calen tenir més presents els valors que es contracten per tal d'estalviar costos.

Taula 23. Potències contractades òptimes per la tarifa 6.1 aplicant els preus del 2015.

Potències contractades (kW)					
P1	P2	P3	P4	P5	P6
208	208	208	208	208	451

Taula 24. Terme fix i terme d'excessos de potència aplicant els preus del 2015 i les potències contractades: P1=208 kW, P2=208 kW, P3=208 kW, P4=208 kW, P5=208 kW i P6=451 kW.

	Terme fix (€)	Terme d'excessos (€)						TOTAL (€)
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	
Gen.	2.009,10	109,78	2,81	0,00	0,00	0,00	0,00	2.121,69
Feb.	2.009,10	232,22	44,10	0,00	0,00	0,00	0,00	2.285,42
Mar.	2.009,10	0,00	0,00	5,10	24,27	0,00	0,00	2.038,47
Abr.	2.009,10	0,00	0,00	0,00	0,00	103,79	0,00	2.112,89
Mai.	2.009,10	0,00	0,00	0,00	0,00	196,38	0,00	2.205,48
Jun.	2.009,10	552,54	369,64	87,12	158,54	0,00	0,00	3.176,94
Jul.	2.009,10	2.218,64	1.109,52	0,00	0,00	0,00	0,00	5.337,26
Ago.	2.009,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2.009,10
Set.	2.009,10	0,00	0,00	12,48	19,07	0,00	0,00	2.040,65
Oct.	2.009,10	0,00	0,00	0,00	0,00	40,08	0,00	2.049,18
Nov.	2.009,10	0,00	0,00	12,48	0,00	0,00	0,00	2.021,58
Des.	2.009,10	53,06	5,62	0,00	0,00	0,00	0,00	2.067,78
TOTAL	24.109,20	5.357,24						29.466,44

Els resultats pels diferents escenaris analitzats es mostren a la Taula 25. S'ha de tenir present que a l'estalvi que s'ha calculat se li hauria de descomptar el preu corresponent al canvi en les potències contractades, el qual és diferent segons el tipus d'instal·lació, ja que depèn del dimensionament de les línies elèctriques. De tota manera, cal tenir present que en general, quan es volen modificar les potències contractades amb l'objectiu de disminuir-les la companyia elèctrica oposa menys problemes que a l'hora d'augmentar-les.

Taula 25. Resum dels resultats obtinguts per l'anàlisi del contracte òptim.

		Potències contractades (kW)						Terme de potència (€)		Estalvi (€/any)
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	Terme fix	Terme excessos	
2012	Ref.	350	380	400		451		18.655,80	57,90	
	Opt. 6.1	252				451		12.914,76	1.866,60	4.952,83
	Opt. 3.1A	271	294					12.787,78		-21.831,80
2015	Ref.	350	380	400		451		41.292,36	57,90	
	Opt. 6.1A	208				451		24.109,20	5.357,24	15.114,60

4.3.3. Anàlisi de possibles estratègies d'operació

El segon pas per tal de reduir costos a les EDARs és moure els temps d'operació i/o modificar la manera d'operar dels diferents processos amb l'objectiu de mantenir la demanda elèctrica el més constant possible. El problema és que jugar amb els períodes tarifaris no és gens fàcil, ja que és justament durant els períodes més cars que les depuradores reben un cabal d'aigua més gran. L'ideal seria disposar d'un tanc de regulació de cabals d'entrada, el qual permet equilibrar els cabals nocturns i diürns i, conseqüentment, disminuir els pics de consum i millorar el rendiment del sistema. Tanmateix, un tanc així ha de permetre contenir un volum d'aigua considerable per tal de ser rendible, el que suposa disposar d'una gran àrea de terreny i realitzar una inversió inicial molt difícil de poder acabar amortitzant amb l'estalvi elèctric posterior. Per això aquests dipòsits només es construeixen quan la capacitat de la depuradora limita la possibilitat d'absorbir tot el cabal d'entrada al donar-se de forma simultània l'arribada d'aigües pluvials i residuals.

L'alternativa a un tanc de regulació de cabals és fer canvis en el procés de depuració afectant el mínim possible la qualitat de l'aigua a la sortida. Per exemple, el bombeig i la centrifugació dels fangs que són els processos on hi ha més marge de maniobra convé que es portin a terme durant la nit o almenys durant els períodes més barats. En el cas de l'aeració, que és el procés que més energia consumeix i amb el qual es podria aconseguir el major estalvi energètic, la regulació és més difícil, ja que l'aportació de més o menys oxigen afecta a la qualitat de l'efluent. De tota manera, com que es necessita un temps de contacte llarg per tal d'oxidar la matèria orgànica, si que és possible variar mínimament les consignes dels controladors amb l'objectiu d'augmentar el consum elèctric en els períodes més barats i disminuir-lo en els més cars.

Per tal de poder identificar les hores en què la demanda és major i tenint en compte que la distribució dels períodes tarifaris varia mes a mes s'ha pensat que el més útil era disposar dels gràfics típics diaris de demanda i costos, ambdós en dinàmic i per cada mes de l'any. D'aquesta manera, coneixent el consum de cada un dels processos de depuració el cap de planta pot avaluar alternatives d'operació al funcionament actual. En el cas de l'EDAR Blanes, els perfils típics de demanda i costos dels diversos mesos es mostren a l'Annex d'aquesta memòria. Aquests gràfics s'han realitzat considerant la mitjana per cada quart d'hora de tots els dies laborables del mateix mes, és a dir, excloent els caps de setmana i els dies festius, ja que aquests presenten una distribució de períodes diferent. Un exemple pel mes de gener i juliol es mostra a les Figures 14 i 15 i 16 i 17, respectivament.

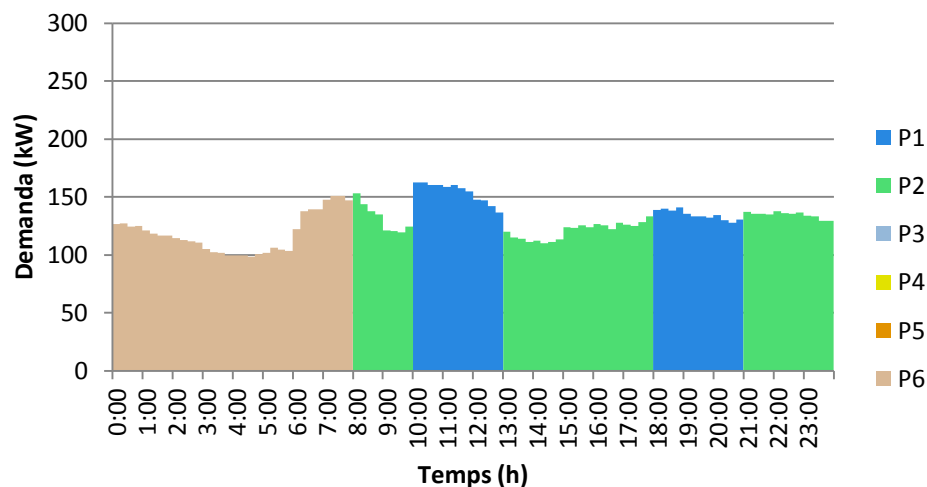


Figura 14. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic de gener.

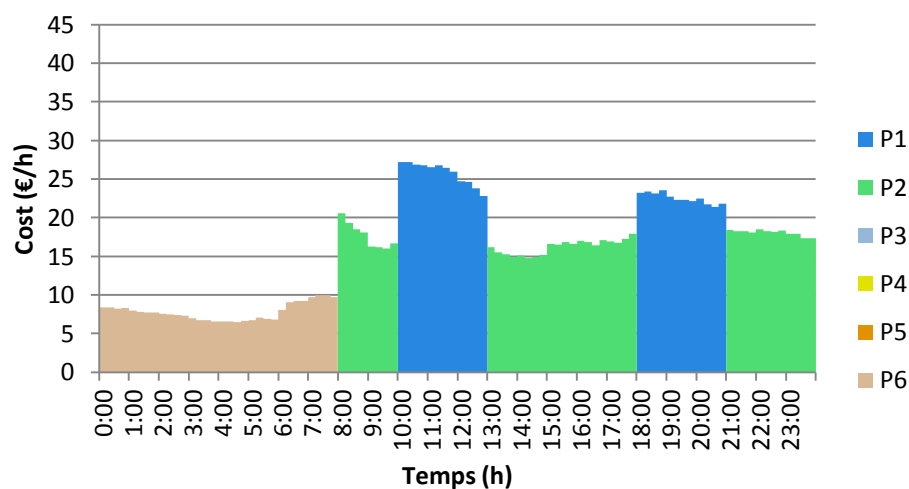


Figura 15. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic de gener.

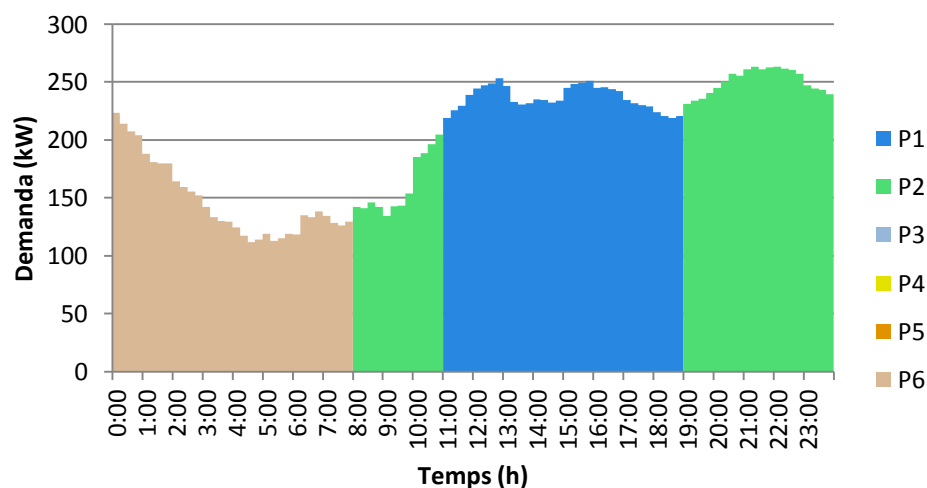


Figura 16. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic de juliol.

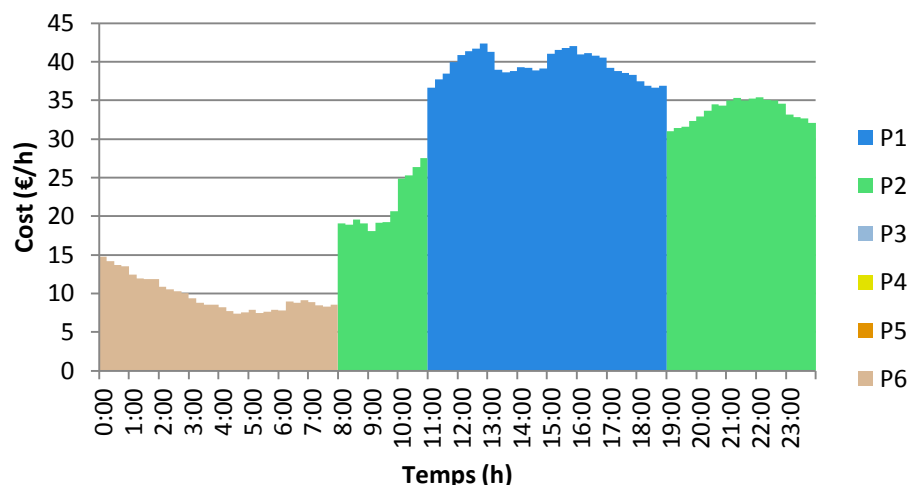


Figura 17. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic de juliol.

Analitzant els perfils de demanda dels dotze mesos es pot veure que durant les hores diürnes es produeixen els pics de consum i durant les hores nocturnes la demanda en general disminueix, com és lògic. No obstant, s'aprecien certes diferències entre el període d'hivern i el d'estiu, ja que el comportament de la societat varia segons l'estació: en general, a principis i a finals d'any les hores amb més consum es donen entre 7h–8h i 10h–13h, però entre abril i setembre aquests pics van perdent importància i va augmentant la demanda entre 21h–0h. A més, el turisme fa que durant l'estiu la demanda es mantingui elevada gairebé durant tot el dia, assolint valors molt majors en comparació amb la resta de l'any.

Pel que fa als costos es pot dir, en general, que les hores que prenen més importància són les que corresponen als períodes més cars i amb diferència. Això es pot veure clarament analitzant la dinàmica dels mesos de gener, febrer i desembre: com que la punta de 10h–13h es dona justament a P1, el període més car de tots, en el gràfic de costos la diferència entre aquest pic i el de 7h–8h és fa molt més gran. Un segon exemple és el que succeeix durant els mesos d'estiu: l'agost, malgrat presentar una alta demanda igual que els mesos de juny o juliol, com que considera totes les hores com a P6 presenta uns costos molt menors en comparació als altres dos.

Per veure quina repercussió podia tenir en el terme d'energia un canvi en la dinàmica de demanda s'ha recalculat el cost energètic mensual per una situació ideal: mantenir constant la demanda mitjana diària utilitzant com a referència la demanda d'un dia típic. D'aquesta manera es pot assegurar que l'energia consumida seria la mateixa. A la Figura 18 es mostra un exemple de com variaria el gràfic de demanda realitzant aquest canvi pel mes de gener, en què la demanda s'hauria de mantenir constant a 128,48 kW.

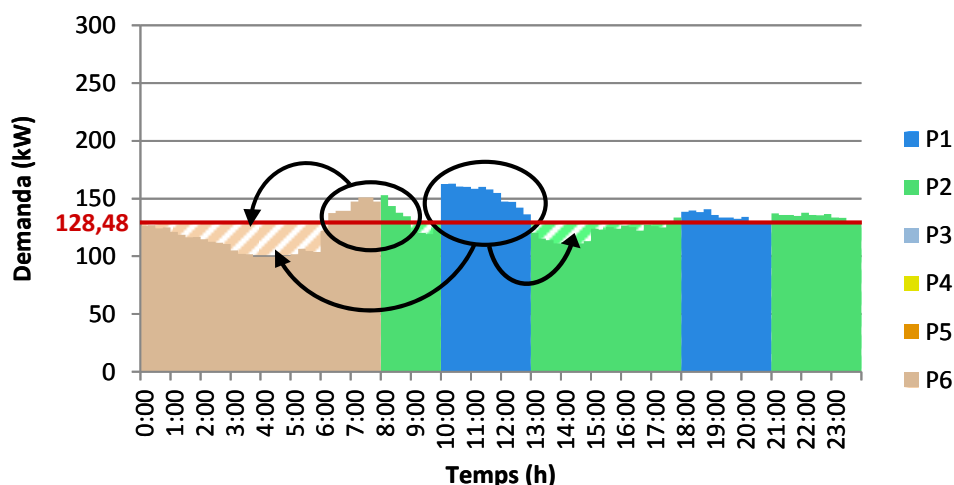


Figura 18. Exemple de com variaria el perfil de demanda per un dia típic de gener considerant la demanda constant

A la Taula 26 es calculen els estalvis mensuals obtinguts pel terme d'energia comparant ambdues situacions. Els resultats mostren que l'estalvi és major pels mesos amb períodes més cars i una major diferència entre la demanda nocturna i diürna. No obstant, cal pensar s'està avaluant una situació ideal i que a la realitat és quasi impossible mantenir la demanda constant durant tot el dia, sobretot durant els mesos d'estiu que no presenten puntes de consum molt marcades. A més, l'estalvi total anual que s'obté realitzant aquest canvi no és gaire significatiu comparat amb l'aconseguit al calcular la potència òptima: 1.860,51 € – 2.319,66 € incloent els impostos–, que representen un 2,3% del terme d'energia.

Taula 26. Resum dels resultats obtinguts per l'anàlisi del contracte òptim.

	Demanda ct. (kW)	Cost energia per demanda ct. (€)	Cost energia per demanda real (€)	Estalvi (€)
Gen.	128,48	8.128,03	8.320,79	192,76
Feb.	138,88	8.265,94	8.437,70	171,76
Mar.	108,09	4.894,45	4.938,65	44,20
Abr.	126,50	4.581,39	4.626,68	45,29
Mai.	144,77	5.767,50	5.801,29	33,79
Jun. (1-15)	162,82	3.689,48	3.748,26	58,78
Jun. (16-30)	185,93	5.472,91	5.562,90	89,99
Jul.	200,07	12.956,38	13.799,26	842,88
Ago.	186,24	6.505,06	6.505,06	0,00
Set.	120,80	4.977,04	5.010,56	33,52
Oct.	114,53	4.566,93	4.594,14	27,21
Nov.	108,65	4.700,06	4.739,78	39,72
Des.	112,81	6.167,32	6.447,93	280,61
TOTAL	–	80.672,49	82.533,00	1.860,51

No obstant, cal tenir en compte que canviar el perfil de demanda no implicaria només una reducció en el terme d'energia, sinó també en el terme d'excessos. Un exemple pels valors de demanda registrats durant el període P1 es pot veure a l'histograma de potències mostrat a la Figura 19. Però això no es tot, ja que si els excessos disminuïssin les potències òptimes també ho farien i, per tant, l'estalvi anual ser superior a l'estalvi energètic de 2.319,66 €/any. A partir d'aquí, s'obre un nou camp perquè l'eina pugui seguir creixent i també permeti fer anàlisis d'aquest tipus.

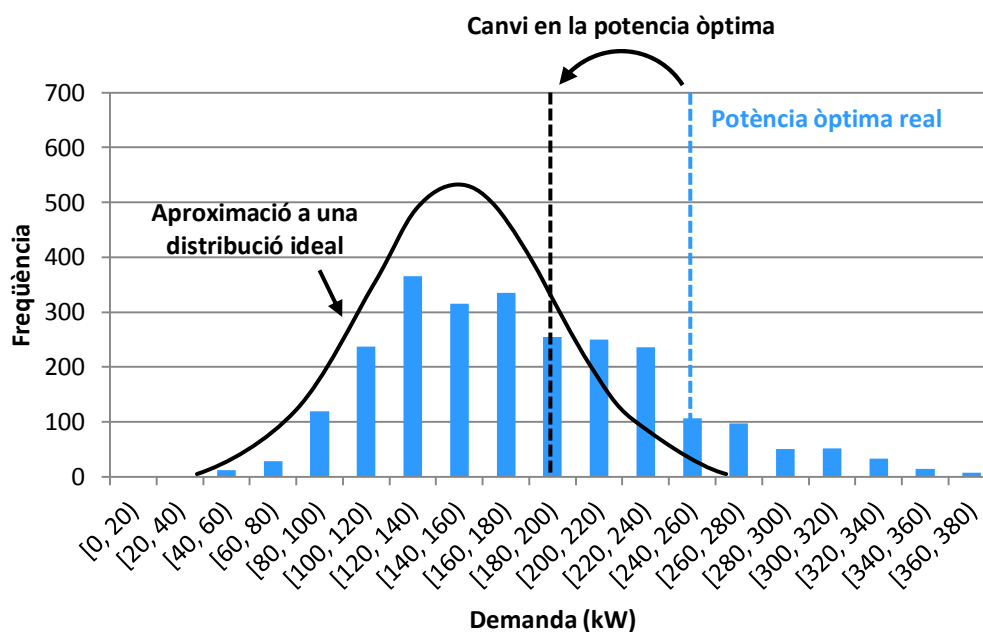


Figura 19. Exemple de com variaria l'histograma de valors quart horaris de demanda a P1 per aproximar-se a la idealitat

5. EMISSIONS DE CO₂ ASSOCIADAES AL CONSUM D'ENERGIA ELÈCTRICA

La mesura de les emissions de gasos amb efecte hivernacle emeses per efecte directe o indirecte d'un individu, una organització o un producte és l'anomenada petjada de carboni. En el cas de les EDARs, la major part d'aquestes emissions són causades per efecte indirecte del consum energètic, ja que com s'ha explicat anteriorment una gran part de l'energia s'obté cremant combustibles –a no ser que la depuradora tingui contractada una tarifa verda, és a dir, que l'energia utilitzada provingui només de fonts d'energia que no contaminin el medi ambient–.

Reduir la petjada de carboni d'una instal·lació pel que fa a l'ús de l'energia no només s'aconsegueix reduint el seu consum, sinó que es poden tenir en compte els moments en què la quantitat de CO₂ emesa a l'atmosfera en relació a l'energia generada és més gran –de manera anàloga al que s'ha explicat amb els preus–. A continuació es mostra la manera de calcular la relació kg CO₂ emesos/kWh d'energia generada i l'estudi realitzat per reduir la petjada de carboni d'una EDAR.

5.1. Càlcul del factor d'emissió de CO₂

A Espanya, es pot conèixer la dinàmica que segueixen les emissions de CO₂ degudes al consum energètic a nivell estatal gràcies a REE, l'operador i transportista del sistema elèctric espanyol. A la seva web es publica cada deu minuts la potència generada per a cada tipus de font energètica, així com les emissions de CO₂ corresponents. Les principals fonts d'energia utilitzades per satisfer la demanda elèctrica es classifiquen en: nuclear, fuel/gas, carbó, cicle combinat –normalment utilitza com a combustible gas natural–, hidràulica, eòlica, solar i règim especial, que inclou instal·lacions amb una generació no superior a 50 MW procedent de la cogeneració, la biomassa –o qualsevol tipus de biocarburant– o bé altres tipus de residus no renovables. També existeix un intercanvi amb els països veïns per quan es necessita comprar energia o bé vendre-la quan se n'ha produït amb excés, a més d'un enllaç amb les illes balears per tal de subministrar-los-hi la demanda necessària.

Cada una de les fonts d'energia anteriors té associat un factor d'emissió de CO₂ (t CO₂/MWh) que es calcula a partir del Pla d'Energies Renovables 2005-2010 (Taula 27). A la Taula 27 es pot veure que aquest factor es nul per totes les fonts d'energia renovables, ja

que aquestes es tracten d'energies verdes, és a dir que no contaminen el medi ambient. Malgrat no es tracti d'una font d'energia verda, el factor d'emissió també és nul per l'energia nuclear, ja que la seva producció genera residus radioactius però no emet CO₂ a l'atmosfera. Per altra banda, les fonts d'energia que tenen un major impacte són el carbó i el fuel/gas, tot i que aquest últim a penes s'utilitza.

Taula 27. Valors del factor d'emissió de CO₂ per a cada font d'energia.

Font d'energia	Factor d'emissió de CO ₂ (kg CO ₂ /kWh)
Nuclear	0
Fuel/gas	0,70
Carbó	0,95
Cicle combinat	0,37
Hidràulica	0
Eòlica	0
Règim especial	0,27
Intercanvis internacionals	0
Enllaç balear	0
Solar	0

Com que els factors d'emissió de la Taula 27 són constants en el temps, fent el producte de la demanda i aquests s'obtenen les velocitats d'emissió (t CO₂/h). Així és com REE calcula la quantitat de CO₂ emesa per a cada una de les fonts d'energia. Anant una mica més lluny, si es fa la suma de totes les velocitats d'emissió i es divideix el valor obtingut per l'energia total generada s'obté un nou factor d'emissió de CO₂. La diferència d'aquest amb l'anterior és que ara el factor varia amb el temps, ja que la quantitat d'energia generada a través de cada font no és en general constant durant el dia.

Cal tenir clar que el factor d'emissió que s'ha calculat (t CO₂/MWh totals generats) no és específic per l'EDAR amb la que es treballa, ja que les dades publicades per REE són a nivell estatal i no d'una companyia elèctrica en particular. Tanmateix, tenir una dinàmica de com varia aquest factor permet identificar, de mitjana, els moments en què hi ha més oportunitats de reduir la petjada de carboni per una depuradora situada a la península ibèrica.

5.2. Estudi per reduir la petjada de carboni

Igual que s'ha fet pels gràfics de demanda i costos, amb les dades extretes de REE es pot generar un gràfic típic diari del factor d'emissió tenint en compte tots els dies del mes. Un exemple d'aquest tipus de gràfic pel mes de gener del 2012 és el que es mostra a la Figura 20. La resta de mesos es troben a l'Annex d'aquesta memòria. Per tal de poder comparar aquests gràfics amb els de demanda de l'EDAR Blanes s'han realitzat tots els perfils considerant les dades de l'any 2012.

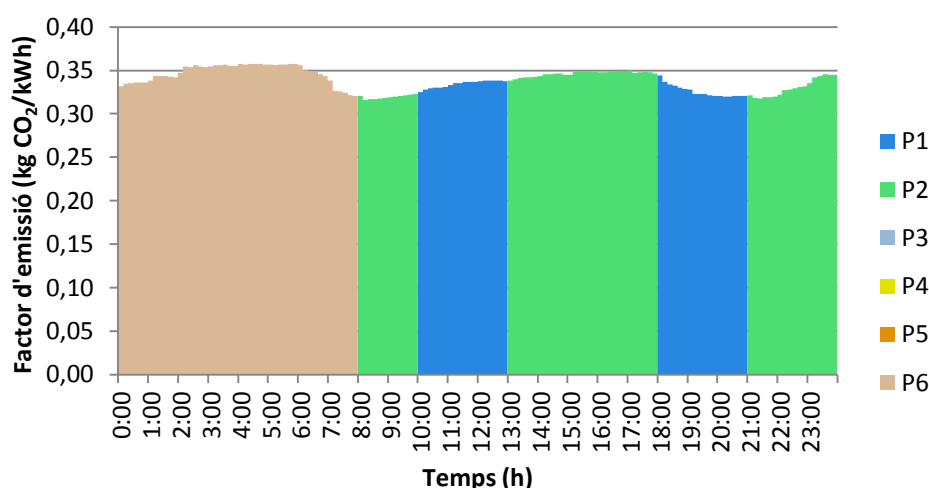


Figura 20. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic de gener.

Tal com s'observa al gràfic anterior, la variació del factor d'emissió al llarg d'un dia típic del mes de gener és mínima: 50 g de CO₂ per kilowatt hora d'energia generada. Si s'analitzen els gràfics dels altres mesos es pot veure que el comportament és gairebé el mateix: en general, durant les hores nocturnes el factor tendeix a augmentar, igual que passa al migdia, no obstant, aquest augment és tant petit que no val la pena tenir-lo en compte. Per altra banda, entre mesos sí que es poden apreciar certes diferències: a l'abril el factor es manté entre 0,20–0,25 kg CO₂/kWh, però durant la segona quinzena de juny quasi arriba als 0,40 kg CO₂/kWh. No obstant, aquestes diferències no juguen cap paper a l'hora de reduir la petjada de carboni de les EDARs, ja que es tracten de diferències mensuals i no diàries.

La raó de què el factor d'emissió de CO₂ a penes variï durant el dia es deu a la generació elèctrica. El principal inconvenient de l'electricitat és que no es pot emmagatzemar, per la qual cosa la generació s'ha d'adaptar en tot moment a la demanda del consumidor –generar electricitat en excés o en defecte suposa en qualsevol cas un cost afegit–. Per això és

important gestionar les centrals elèctriques de la manera més eficient possible, intentant mantenir sempre obertes aquelles que presenten una inèrcia més gran i que, per tant, costen més d'obrir/parar. Per exemple, les centrals nuclears un cop posades en marxa són molt difícils d'aturar, per això la producció d'energia nuclear es manté sempre constant al llarg del dia, sent aquesta font energètica la base de la majoria de països. Per altra banda, energies com la solar o la eòlica depenen de les condicions meteorològiques i no són fàcils de controlar.

El perfil diari que segueix el factor d'emissió depèn de la distribució de les diferents fonts d'energia. A la península ibèrica, la contribució de cada una d'aquestes fonts a la generació elèctrica per un dia típic de l'any 2012 es pot veure a la Figura 21. Tal com s'observa, l'energia obtinguda a partir del carbó, que és la font d'energia que presenta el factor d'emissió més gran $-0,95 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$, es manté gairebé constant durant tot el dia. Pel que fa a l'electricitat generada a partir de fuel/gas, que és la font que presenta el segon factor d'emissió més gran $-0,70 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$, el 2012 no se'n va utilitzar. Per últim, l'electricitat obtinguda mitjançant centrals de cycle combinat o de règim especial degut a la seva flexibilitat sí que augmenta en els períodes de més demanda. No obstant, el fet de tenir un factor d'emissió tan baix $-0,37$ i $0,27 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$, respectivament, sumat al fet que altres tipus de fonts d'energia també es posin en marxa durant aquestes puntes –com la hidràulica– fa que el factor d'emissió global es mantingui quasi invariable.

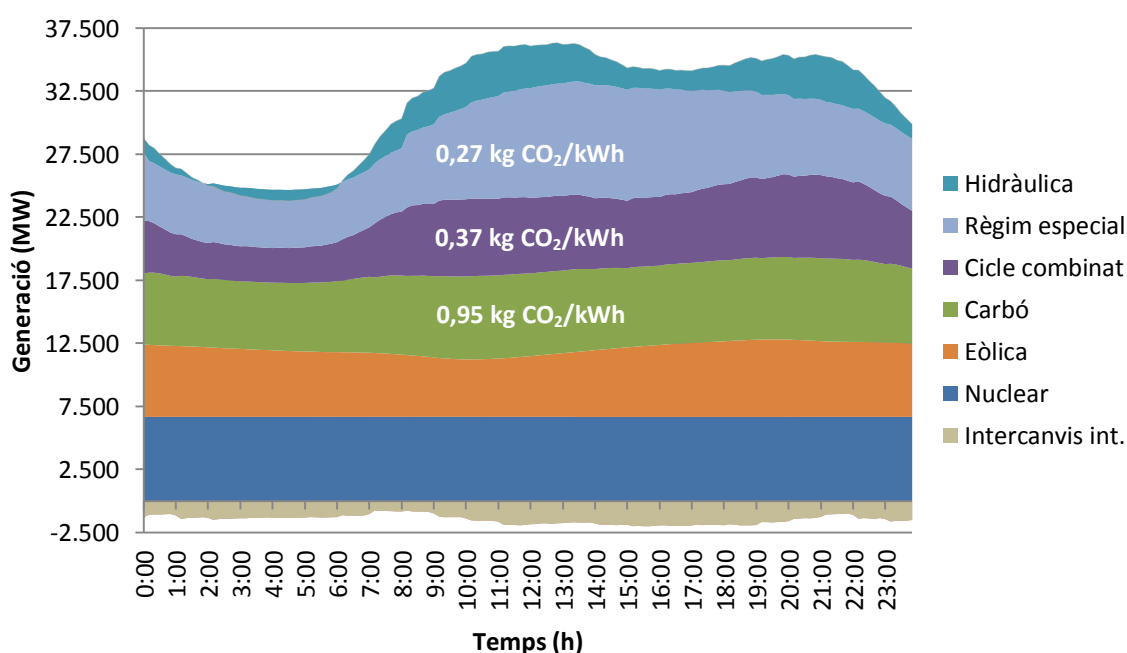


Figura 21. Distribució diària de les fonts d'energia utilitzades a la península ibèrica.

Tanmateix, cal tenir en compte que les fonts d'energia utilitzades als demés països poden no ser les mateixes que aquí a Espanya, ja que a cada lloc els recursos disponibles són diferents, podent explotar més un tipus de recurs que un altre; per posar un exemple, a Austràlia un 65% de l'electricitat es genera a partir del carbó, sent aquesta font l'energia base de tot el dia. Un altre dels aspectes que influeix són les decisions polítiques, ja que a tot arreu no es fomenta el mateix tipus d'energia; per exemple, aquí l'energia nuclear representa el 20% de la generació elèctrica, mentre que a França el 76%. Per tant, encara que a Espanya no es pugui buscar una estratègia d'operació per tal de reduir la petjada de carboni, això no vol dir que a un altre país no valgui la pena fer aquesta anàlisi, com per exemple és el cas de Califòrnia.

La distribució diària de les diferents fonts d'energia a Califòrnia és diferent que aquí a Espanya (Figura 22): l'energia hidràulica juntament amb la nuclear formen la base de demanda diària, seguidament se suma l'energia de les centrals de cicle combinat i finalment la del carbó, que és la que s'utilitza durant els pics de consum. Tal com pot veure a la Figura 22, l'energia obtinguda a partir del carbó és per ells energia importada, cosa que indica que a Califòrnia no disposen de recursos miners, a diferència d'Espanya. Per tant, si en una EDAR situada a Califòrnia es busca una estratègia d'operació amb l'objectiu de reduir costos, com que allà els preus de l'electricitat també són més elevats durant les puntes de consum, segurament que també disminuirà la seva petjada de carboni.

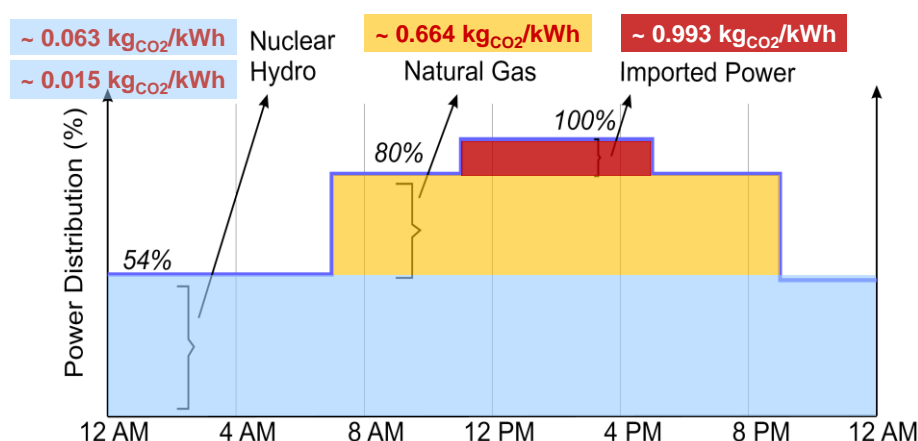


Figura 22. Distribució diària de les fonts d'energia utilitzades a Califòrnia (SCE, 2010).

6. PLANIFICACIÓ

Les diverses tasques que s'han portat a terme per a realitzar aquest projecte, així com el diagrama de Gantt corresponent, es poden veure a les Figures 23 i 24.

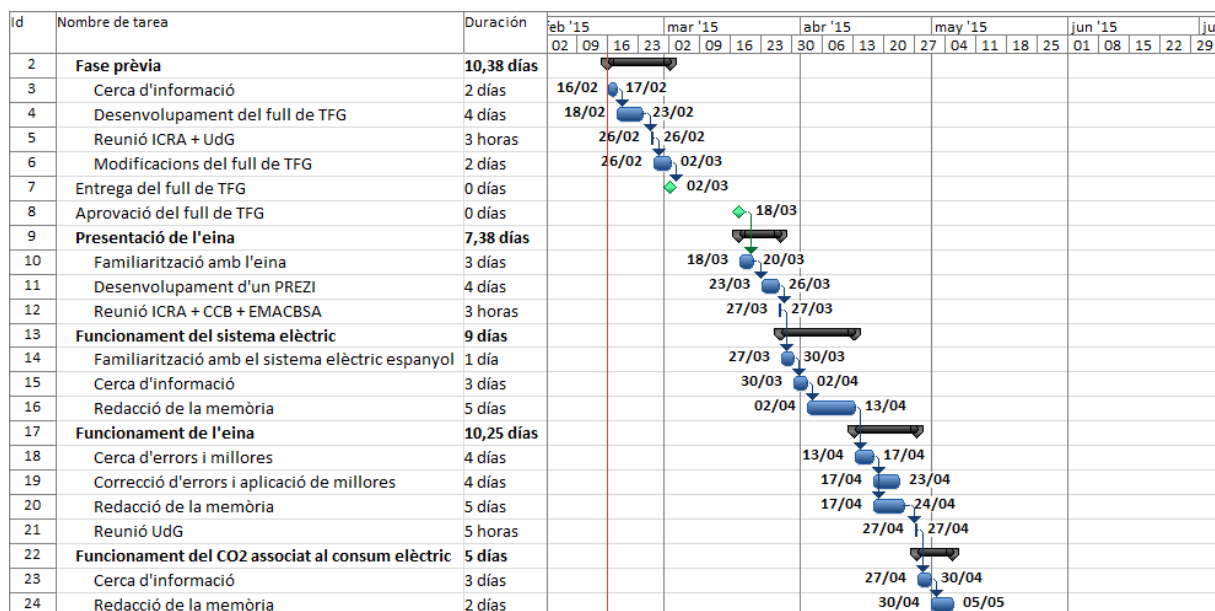


Figura 23. Diagrama de Gantt del projecte.

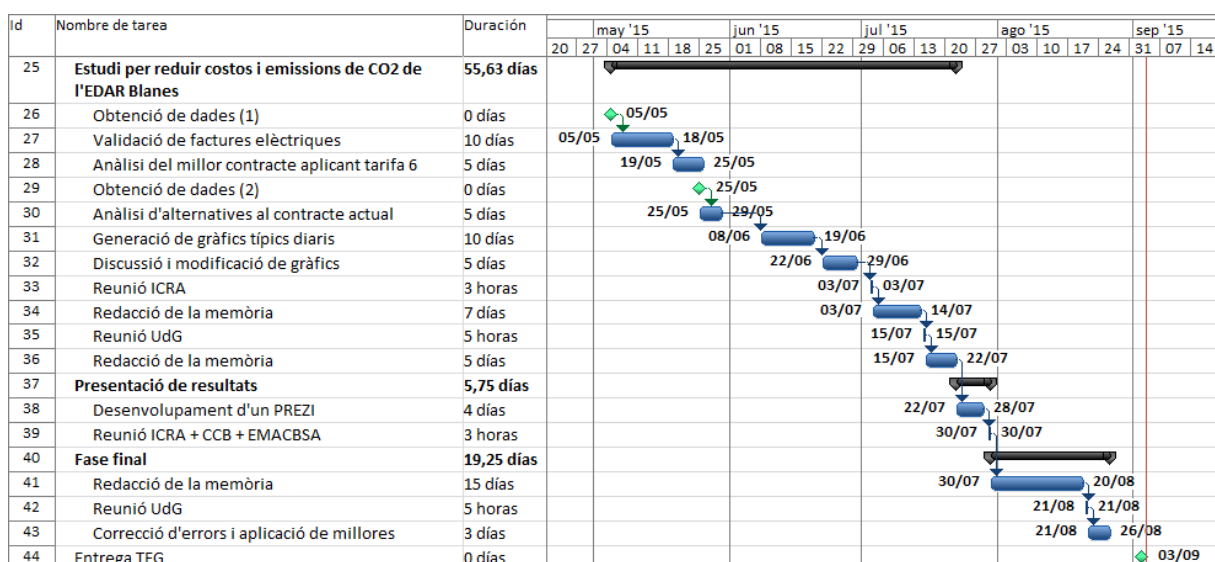


Figura 24. Diagrama de Gantt del projecte (continuació).

7. PRESSUPOST

El pressupost total del present projecte ascendeix a set-mil tres-cents euros, IVA no inclòs. El desglossament del pressupost segons les etapes descrites al capítol 6 es pot veure a la Taula 28.

Taula 28. Pressupost del projecte desglossat per etapes.

DESCRIPCIÓ	QUANTITAT (h)	COST U. (€/h)	COST (€)
PRESENTACIÓ DE L'EINA			
Hores enginyer tècnic	24	25	600,00
Subtotal:			600,00
FUNCIONAMENT DEL SISTEMA ELÈCTRIC			
Hores enginyer tècnic	12	25	300,00
Hores de redacció	20	15	300,00
Subtotal:			600,00
FUNCIONAMENT DE L'EINA			
Hores enginyer tècnic	12	25	300,00
Hores programador informàtic	8	20	160,00
Hores de redacció	20	15	300,00
Subtotal:			760,00
FUNCIONAMENT DEL CO₂ ASSOCIAT ALCONSUM ELÈCTRIC			
Hores enginyer tècnic	9	25	225,00
Hores de redacció	8	15	120,00
Subtotal:			345,00
ESTUDI PER REDUIR COSTOS I EMISSIONS DE CO₂ D'UNA EDAR			
Hores enginyer tècnic	100	25	2.500,00
Hores programador informàtic	16	20	320,00
Hores de redacció	48	15	720,00
Subtotal:			3.540,00
PRESENTACIÓ DE RESULTATS			
Hores enginyer tècnic	15	25	375,00
Subtotal:			375,00
FASE FINAL			
Hores de redacció	72	15	1.080,00
Subtotal:			1.080,00
Base imposable			7.300,00
IVA 21%			1.533,00
IMPORT TOTAL			8.833,00

8. CONCLUSIONS

La realització d'aquest projecte ha permès a les EDARs obtenir una eina efectiva pel càlcul de la potència contractada òptima i capaç de generar gràfics que ajudin a avaluar futures estratègies d'operació.

Gràcies a l'exemple d'estudi realitzat per l'EDAR Blanes es pot concloure, de manera general per qualsevol depuradora, que:

- a) Les potències que es calculen són realment les òptimes, ja que les validacions demostren que l'eina és capaç de replicar les factures al cèntim.
- b) Encara que la paraula "penalitzacions" denota un significat negatiu, en el cas de tenir contractada una tarifa 6 és aconsellable tenir una part de penalitzacions amb l'objectiu de reduir el terme global de potència.
- c) Si el preu del kilowatt augmenta, les potències òptimes tendeixen a disminuir i l'estalvi respecte les potències de referència a augmentar.
- d) Equilibrar la potència demandada al llarg del dia permetria reduir no només el terme d'energia, sinó també el de potència.

En relació a l'eina desenvolupada es pot dir que:

- e) Encara que hagi estat pensada per reduir els costos de les EDARs, realment pot aplicar-se a qualsevol activitat de tipus industrial, ja que el sistema tarifari és el mateix per totes elles.
- f) El fet de poder-se crear un mateix la seva pròpia tarifa fa que fora d'Espanya l'eina pugui ser utilitzada en qualsevol instal·lació que presenti variabilitat de preus en funció de l'hora del dia –*Time Of Use tariffs*, en anglès–.
- g) El seu ús no es limita a realitzar un canvi de contracte o tarifa, sinó que també es pot fer servir per escollir la millor comercialitzadora avaluant els diferents preus que aquestes ofereixen.
- h) El seu potencial és molt major a altres tipus d'eines gratuïtes que poden trobar-se a internet i que sols serveixen per realitzar els últims càlculs un cop coneguts els consums totals.

Per últim, en el cas de buscar una estratègia d'operació per tal de reduir la petjada de carboni conjuntament amb els costos elèctrics es pot afirmar que:

- i) A Espanya, modificar els perfil de demanda de les EDARs no contribueix a disminuir les emissions de CO₂ a l'atmosfera, però sí que seria interessant realitzar el mateix estudi en altres països on l'energia generada presenti una dinàmica diferent.

Maria Simón Font
Graduada en Enginyeria Química

Banyoles, 1 de setembre de 2015

9. BIBLIOGRAFIA

AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA. Fitxes estacions de depuració d'aigües residuals: Sistema de sanejament Blanes. Generalitat de Catalunya. (http://aca-web.gencat.cat/aca/documentos/ca/depuradores_servei/dbln_edar_blanes.pdf, 6 de juliol de 2015)

AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA. Com funcionen les estacions depuradores. Generalitat de Catalunya (http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?_nfpb=true&_pageLabel=P18601079181247496242148&_nfls=false, 7 de juliol)

AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA. Terciari EDAR Blanes: Explotació i aplicació del tractament. Generalitat de Catalunya (<http://aca-web.gencat.cat/aca/documentos/ca/jornadatecnica002/posters/soler.pdf>, 12 de juliol de 2015)

AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA. Fitxes plantes de postractament de fangs: Planta de postractament compostatge EDAR Blanes. Generalitat de Catalunya. (http://aca-web.gencat.cat/aca/documentos/ca/tractament_fangs/cmbln_compostatge_edar_blanes.pdf, 13 de juliol de 2015)

AGENCIA ESTATAL BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. Real Decreto 1164/2001, de 26 de octubre, por el que se establecen tarifas de acceso a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica. BOE núm. 268. 2001.

AGENCIA ESTATAL BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. Orden ITC/2794/2007, de 27 septiembre, por la que se revisan las tarifas eléctricas a partir del 1 de octubre de 2007. BOE núm. 234. 2007.

AGENCIA ESTATAL BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. Orden ITC/3801/2008, de 26 de diciembre, por la que se revisan las tarifas eléctricas a partir de 1 de enero de 2009. BOE núm. 315. 2008.

AGENCIA ESTATAL BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. Resolución de 6 de octubre de 2011, de la Dirección General de Trabajo, por la que se publica la relación de fiestas laborales para el año 2012. BOE núm. 248. 2011.

AGENCIA ESTATAL BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. Orden IET/3586/2011, de 30 de diciembre, por la que se establecen los peajes de acceso a partir de 1 de enero de 2012 y las tarifas y primas de las instalaciones del régimen especial. BOE núm. 315. 2011.

AGENCIA ESTATAL BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. Orden IET/843/2012, de 25 de abril, por la que se establecen los peajes de acceso a partir de 1 de abril de 2012 y determinadas tarifas y primas de las instalaciones del régimen especial. BOE núm. 100. 2012.

AGENCIA ESTATAL BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. Orden IET/2444/2014, de 19 de diciembre, por la que se determinan los peajes de acceso de energía eléctrica para 2015. BOE núm. 312. 2014.

AJUNTAMENT DE BLANES. Pla d'ordenació urbanística municipal de Blanes. (http://www.blanes.cat/poum0/N5-5000/5.5%20Planta_sanejament.pdf, 12 de juliol de 2015)

ALBADALEJO, A., TRAPOTE, A. Influencia de las tarifas eléctricas en los costes de operación y mantenimiento de las depuradoras de aguas residuales. Tecnoaqua. No. 3. p. 48–54. 2013.

AYMERICH, I., RIEGER, L., SOBHANI, R., ROSSO, D., COROMINAS, LI. The difference between energy consumption and energy cost: Modelling energy tariff structures for water resource recovery facilities. Water Research. Vol. 81. p. 113–123. 2015.

CONSORCI DE LA COSTA BRAVA. Sanejament: EDAR Blanes. (http://www.ccbgi.org/sanejament_fitxa.php?id_municipi=3, 12 de juliol de 2015)

HERNÁNDEZ, F., MOLINOS, M., SALA, R. Eficiencia energética, una medida para reducir los costes de operación en las estaciones depuradoras de aguas residuales. Tecnología del agua. Vol. 31. No. 326. p. 46–54. 2011.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. Geneva, Switzerland. 2014.

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA (IDAE). Plan de Energías Renovables 2005-2010. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (<http://www.idae.es/index.php/mod.pags/mem.detalle/id.14/relmenu.12>, 26 de juny de 2015)

METCALF & EDDY, TCHOBANOGLOUS, G., BURTON, F. L., STENSEL, H. D. Wastewater engineering: Treatment and Reuse (4a ed.). McGraw-Hill. Boston. 2003.

OLSSON, G. Water and Energy: Threats and Opportunities. IWA Publishing. London, UK. 2012.

REARDON, D.J. Turning down the power. Civil Engineering. Vol. 65. No. 8. p. 54–56. 1995.

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA (REE). Demanda y producción en tiempo real. (<http://www.ree.es/es/actividades/demanda-y-produccion-en-tiempo-real>, 23 de juny de 2015)

ROSSO, D., STENSTROM, M. K. Comparative economic analysis of the impacts of mean cell retention time and denitrification on aeration systems. Water Research. Vol. 39. No. 16. p. 3773–3780. 2005.

STATISTICAL OFFICE OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (EUROSTAT). Energy database. European Commission. (<http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/database>, 23 de juny de 2015)

THE WORLD BANK. Electricity production from coal sources (% of total). The World Bank Group. (<http://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.COAL.ZS>, 30 de juny de 2015)

WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). Energy Conservation in Water and Wastewater Facilities (MOP 32). WEF Publishing. Alexandria, VA, USA. 2009.

10. GLOSSARI

BOE	Butlletí Oficial de l'Estat
CCB	Consorci de la Costa Brava
CO ₂	Diòxid de carboni
DBO ₅	Demanda Bioquímica d'Oxigen al cap de cinc dies de reacció
DGT	Direcció General de Treball
DQO	Demanda Química d'Oxigen
EDAR	Estació Depuradora d'Aigües Residuals
EMACBSA	Empresa Mixta d'Aigües de la Costa Brava, S.A
GIECC	Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic
ICRA	Institut Català de Recerca de l'Aigua
IVA	Impost sobre el Valor Afegit
MES	Matèria En Suspensió
REE	Red Eléctrica de España
SCE	Southern California Edison
UV	Rajos ultraviolats

**ANNEX. FACTURES ELÈCTRIQUES I PERFILS TÍPICS DIARIS DE L'EDAR BLANES
PER MESOS**

FEBRER 2012

Taula 29. Factura elèctrica del mes de febrer.

FACTURACIÓ		
CONCEPTE	CÀLCUL	IMPORT
TERME D'ENERGIA VARIABLE		9.889,53
	P1: 19.263 kWh x 0,164136 Eur/kWh = 3.161,75 Eur	
	P2: 28.269 kWh x 0,131849 Eur/kWh = 3.727,24 Eur	
	P6: 45.585 kWh x 0,065823 Eur/kWh = 3.000,54 Eur	
FACTURACIÓ POTÈNCIA PER PERÍODES		1.488,08
	P1: 350 kW x 16,925945 Eur/kW = 5.924,08 Eur	
	P2: 380 kW x 8,470298 Eur/kW = 3.218,71 Eur	
	P3: 400 kW x 6,198851 Eur/kW = 2.479,54 Eur	
	P4: 400 kW x 6,198851 Eur/kW = 2.479,54 Eur	
	P5: 400 kW x 6,198851 Eur/kW = 2.479,54 Eur	
	P6: 451 kW x 2,828316 Eur/kW = 1.275,57 Eur	
	17.856,98 Eur x 1 MES / 12 MESOS	
RECÀRREC PER EXCESSOS DE POTÈNCIA		0,00
ENERGIA REACTIVA		0,00
IMPOST SOBRE L'ELECTRICITAT	4,864% sobre 11.377,61 Eur x 1,05113	581,70
LLOGUER D'EQUIPS DE MESURA		59,56
IVA NORMAL	18% sobre 12.018,87 Eur	2.163,40
Total Factura		14.182,27 €

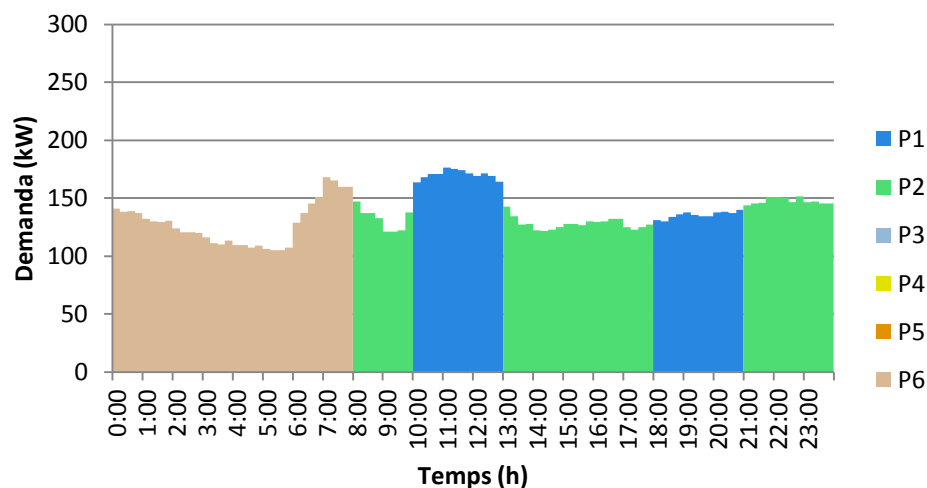


Figura 25. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic de febrer.

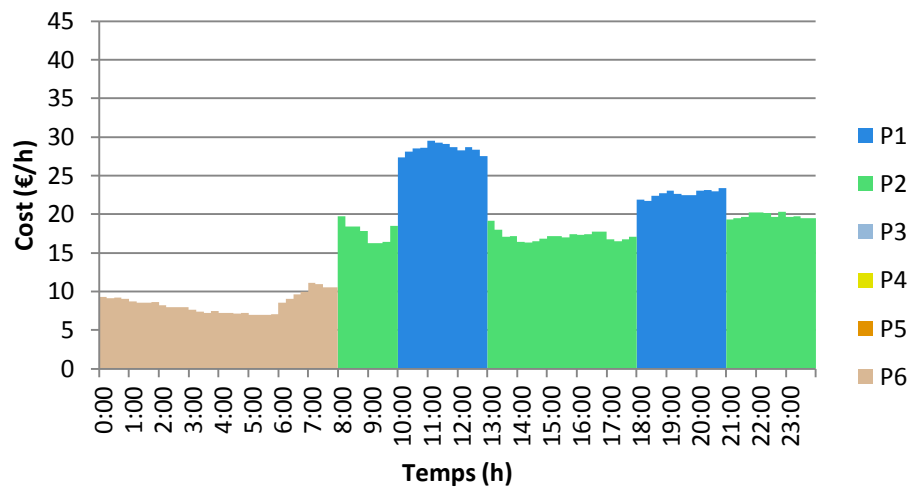


Figura 26. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic de febrer.

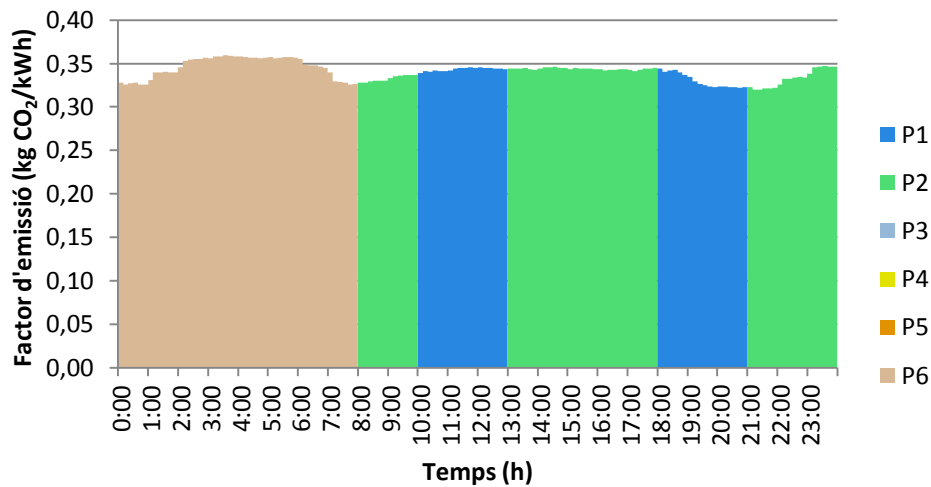


Figura 27. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic de febrer.

MARÇ 2012

Taula 30. Factura elèctrica del mes de març.

FACTURACIÓ		
CONCEPTE	CÀLCUL	IMPORT
TERME D'ENERGIA VARIABLE		6.482,59
	P3: 14.309 kWh x 0,10958 Eur/kWh = 1.567,98 Eur	
	P4: 25.780 kWh x 0,085797 Eur/kWh = 2.211,85 Eur	
	P6: 41.061 kWh x 0,065823 Eur/kWh = 2.702,76 Eur	
FACTURACIÓ POTÈNCIA PER PERÍODES		1.488,08
	P1: 350 kW x 16,925945 Eur/kW = 5.924,08 Eur	
	P2: 380 kW x 8,470298 Eur/kW = 3.218,71 Eur	
	P3: 400 kW x 6,198851 Eur/kW = 2.479,54 Eur	
	P4: 400 kW x 6,198851 Eur/kW = 2.479,54 Eur	
	P5: 400 kW x 6,198851 Eur/kW = 2.479,54 Eur	
	P6: 451 kW x 2,828316 Eur/kW = 1.275,57 Eur	
	17.856,98 Eur x 1 MES / 12 MESOS	
RECÀRREC PER EXCESSOS DE POTÈNCIA		0,00
ENERGIA REACTIVA		153,48
	P3: 1.699,03 kVArh x 0,041554 Eur/kVArh = 70,6 Eur, cos phi 0,91	
	P4: 1.994,6 kVArh x 0,041554 Eur/kVArh = 82,88 Eur, cos phi 0,93	
IMPOST SOBRE L'ELECTRICITAT	4,864% sobre 8.124,15 Eur x 1,05113	415,36
LLOGUER D'EQUIPS DE MESURA		57,05
IVA NORMAL	18% sobre 8.596,56 Eur	1.547,38
Total Factura		10.143,94 €

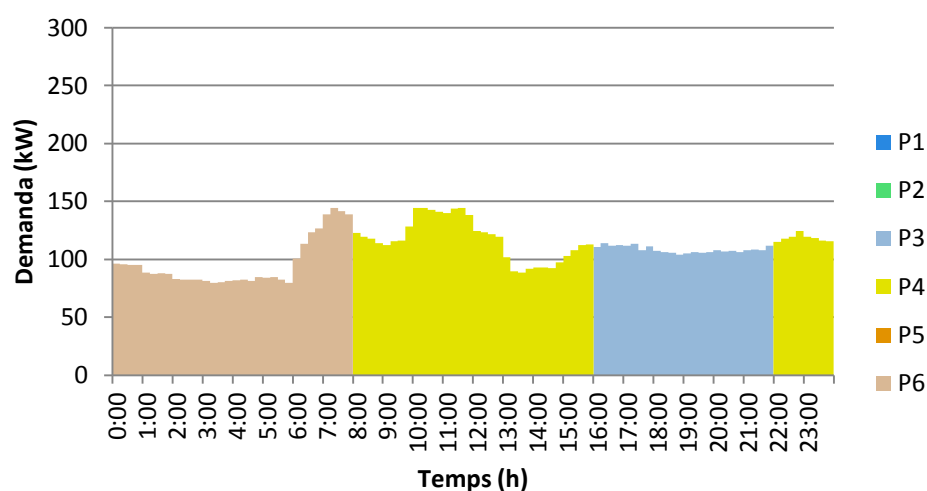


Figura 28. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic de març.

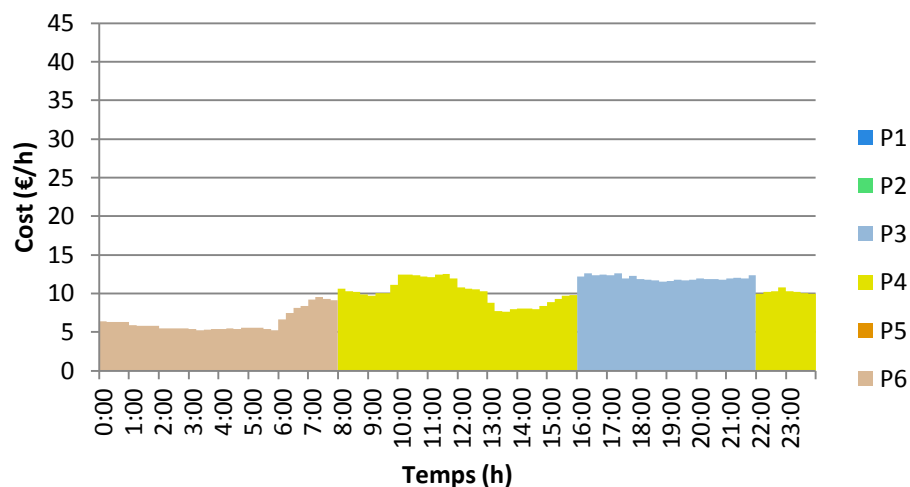


Figura 29. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic de març.

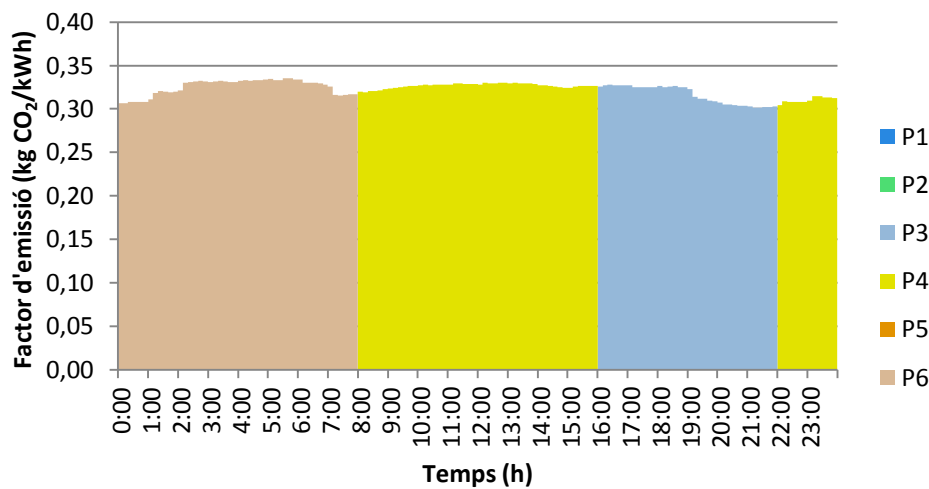


Figura 30. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic de març.

ABRIL 2012

Taula 31. Factura elèctrica del mes d'abril.

FACTURACIÓ		
CONCEPTE	CÀLCUL	IMPORT
TERME D'ENERGIA VARIABLE		6.587,54
	P5: 45.810 kWh x 0,080138 Eur/kWh = 3.671,12 Eur	
	P6: 44.134 kWh x 0,066081 Eur/kWh = 2.916,42 Eur	
FACTURACIÓ POTÈNCIA PER PERÍODES		1.554,65
	P1: 350 kW x 17,683102 Eur/kW = 6.189,09 Eur	
	P2: 380 kW x 8,849205 Eur/kW = 3.362,7 Eur	
	P3: 400 kW x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P4: 400 kW x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P5: 400 kW x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P6: 451 kW x 2,954837 Eur/kW = 1.332,63 Eur	
	18.655,8 Eur x 1 MES / 12 MESOS	
RECÀRREC PER EXCESSOS DE POTÈNCIA		0,00
ENERGIA REACTIVA		59,62
	P5: 1.434,7 kVArh x 0,041554 Eur/kVArh = 59,62 Eur, cos phi 0,94	
IMPOST SOBRE L'ELECTRICITAT	4,864% sobre 8.201,81 Eur x 1,05113	419,33
LLOGUER D'EQUIPS DE MESURA		60,98
IVA NORMAL	18% sobre 8.682,12 Eur	1.562,78
Total Factura		10.244,90 €

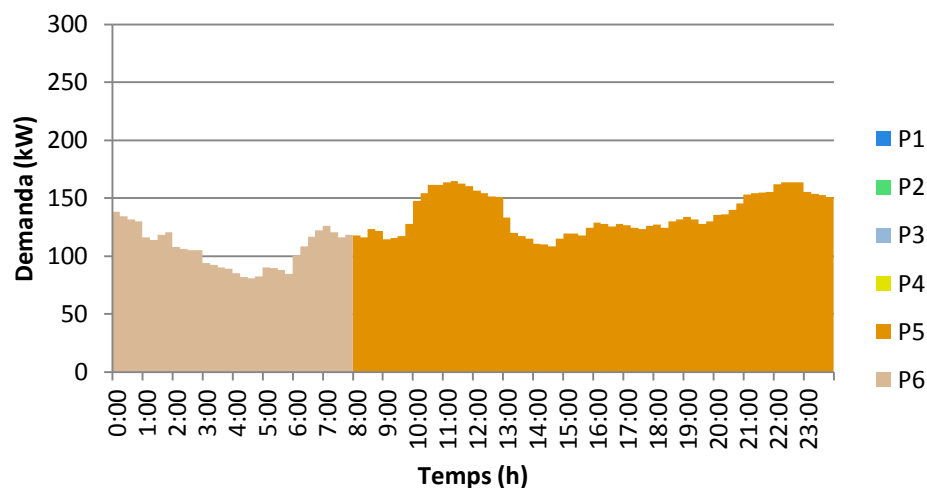


Figura 31. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic de abril.

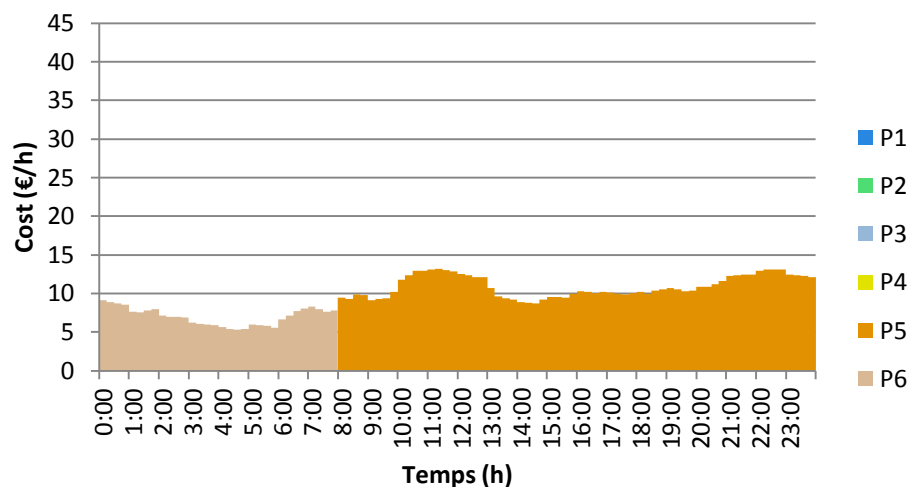


Figura 32. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic d'abril.

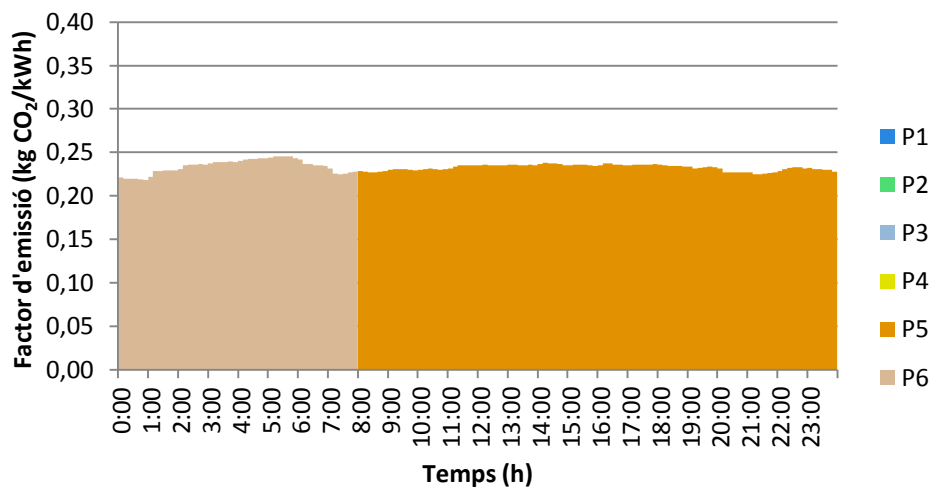


Figura 33. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic d'abril.

MAIG 2012

Taula 32. Factura elèctrica del mes de maig.

FACTURACIÓ		
CONCEPTE	CÀLCUL	IMPORT
TERME D'ENERGIA VARIABLE		8.044,01
	P5: 53.363 kWh x 0,080138 Eur/kWh = 4.276,4 Eur	
	P6: 57.015 kWh x 0,066081 Eur/kWh = 3.767,61 Eur	
FACTURACIÓ POTÈNCIA PER PERÍODES		1.554,65
	P1: 350 kW x 17,683102 Eur/kW = 6.189,09 Eur	
	P2: 380 kW x 8,849205 Eur/kW = 3.362,7 Eur	
	P3: 400 kW x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P4: 400 kW x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P5: 400 kW x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P6: 451 kW x 2,954837 Eur/kW = 1.332,63 Eur	
	18.655,8 Eur x 1 MES / 12 MESOS	
RECÀRREC PER EXCESSOS DE POTÈNCIA		0,00
ENERGIA REACTIVA		0,00
IMPOST SOBRE L'ELECTRICITAT	4,864% sobre 9.598,66 Eur x 1,05113	490,75
LLOGUER D'EQUIPS DE MESURA		59,02
IVA NORMAL	18% sobre 10.148,43 Eur	1.826,72
	Total Factura	11.975,15 €

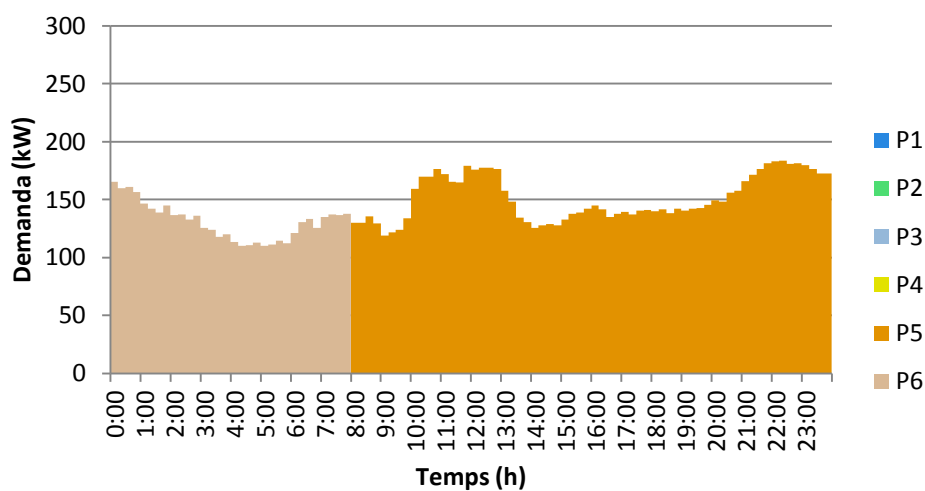


Figura 34. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic de maig.

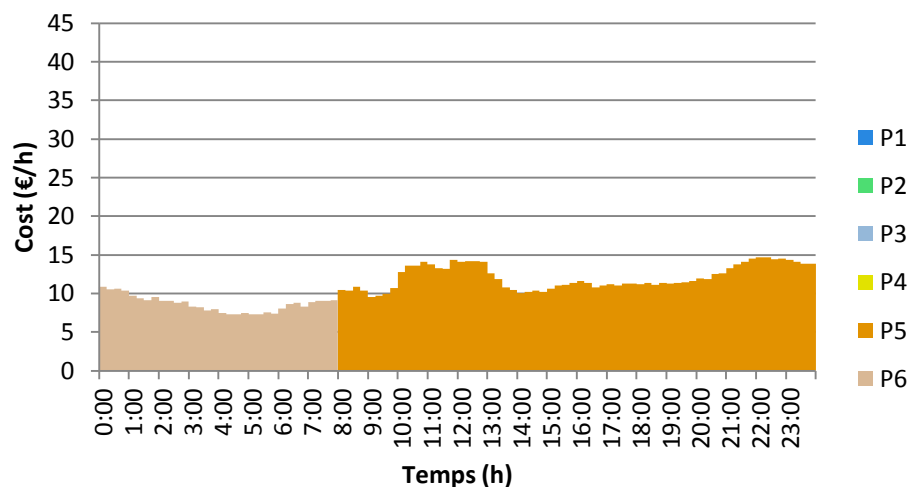


Figura 35. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic de maig.

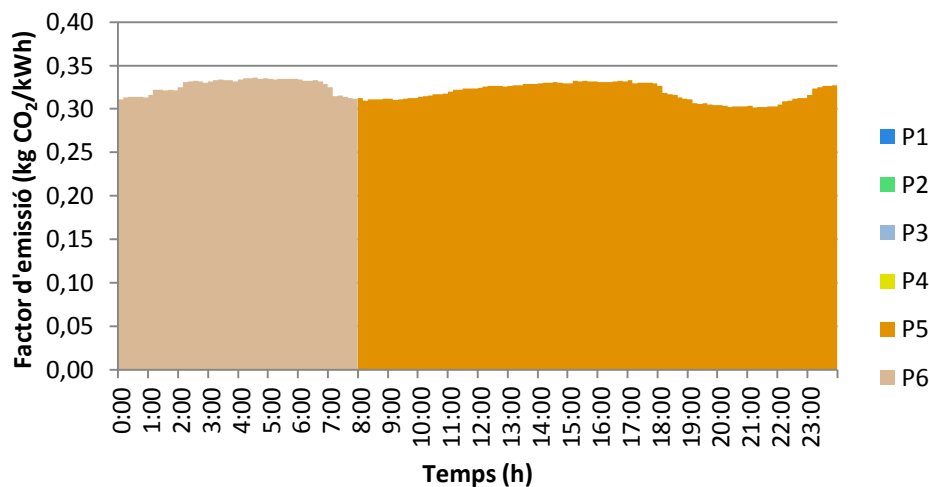


Figura 36. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic de maig.

JUNY 2012

Taula 33. Factura elèctrica del mes de juny.

FACTURACIÓ		
CONCEPTE	CÀLCUL	IMPORT
TERME D'ENERGIA VARIABLE		11.728,88
	P1: 15.353 kWh x 0,167449 Eur/kWh = 2.570,84 Eur	
	P2: 15.483 kWh x 0,134342 Eur/kWh = 2.080,02 Eur	
	P3: 11.233 kWh x 0,110941 Eur/kWh = 1.246,2 Eur	
	P4: 19.727 kWh x 0,08651 Eur/kWh = 1.706,58 Eur	
	P6: 62.360 kWh x 0,066152 Eur/kWh = 4.125,24 Eur	
FACTURACIÓ POTÈNCIA PER PERÍODES		1.554,65
	P1: 350 kW x 17,683102 Eur/kW = 6.189,09 Eur	
	P2: 380 kW x 8,849205 Eur/kW = 3.362,7 Eur	
	P3: 400 kW x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P4: 400 kW x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P5: 400 kW x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P6: 451 kW x 2,954837 Eur/kW = 1.332,63 Eur	
	18.655,8 Eur x 1 MES / 12 MESOS	
RECÀRREC PER EXCESSOS DE POTÈNCIA		0,00
ENERGIA REACTIVA		0,00
IMPOST SOBRE L'ELECTRICITAT	4,864% sobre 13.283,53 Eur x 1,05113	679,15
LLOGUER D'EQUIPS DE MESURA		60,98
IVA NORMAL	18% sobre 14.023,66 Eur	2.524,26
Total Factura		16.547,92 €

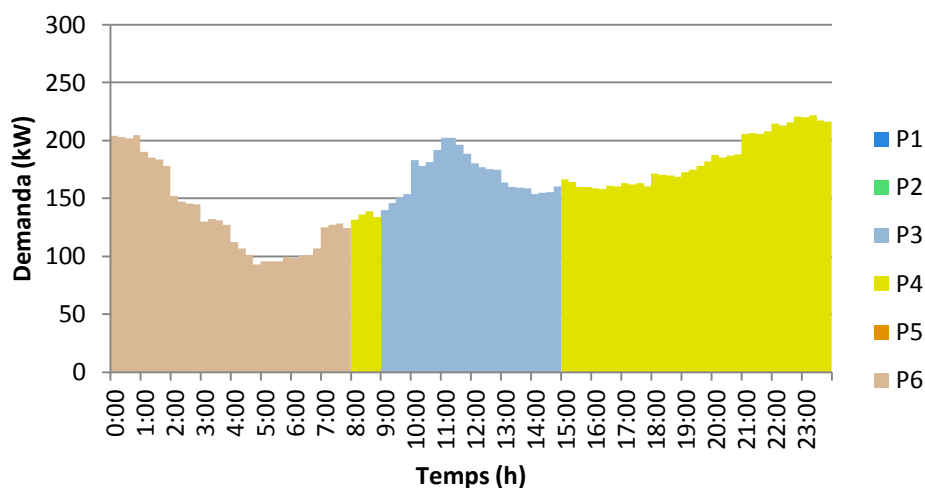


Figura 37. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic de juny (primera quinzena).

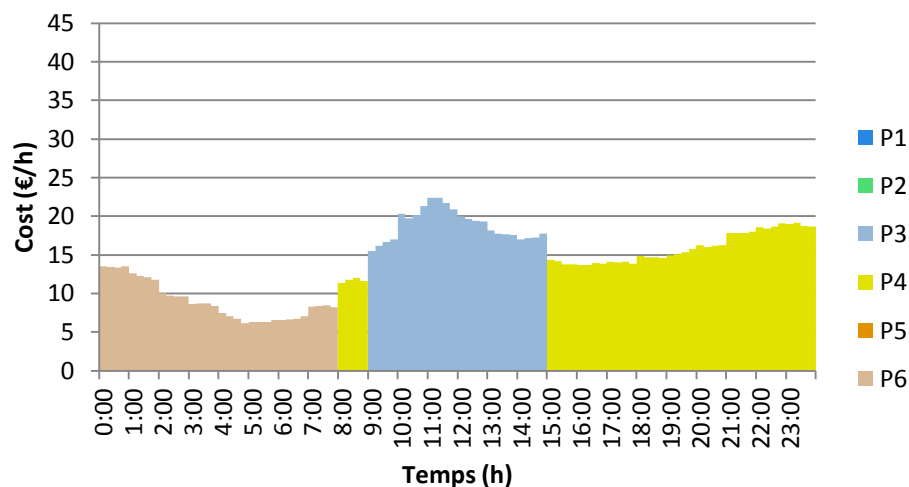


Figura 38. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic de juny (primera quinzena).

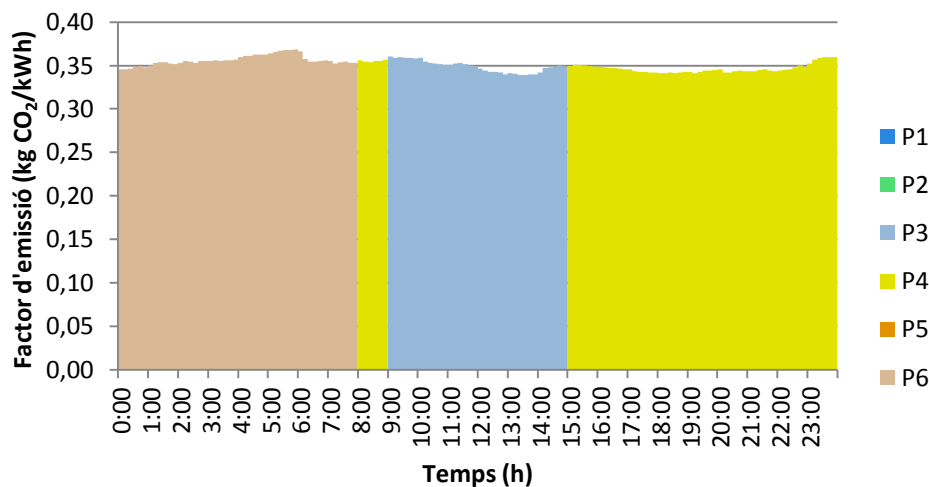


Figura 39. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic de juny (primera quinzena).

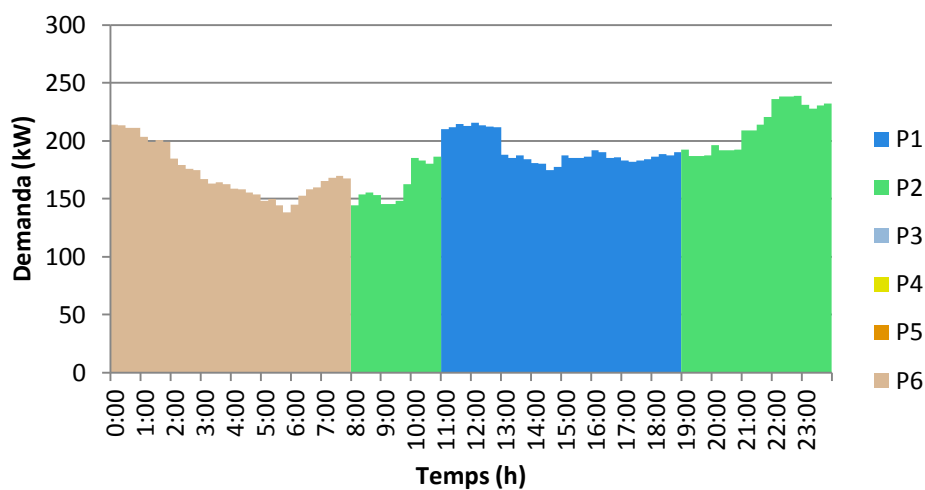


Figura 40. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic de juny (segona quinzena).

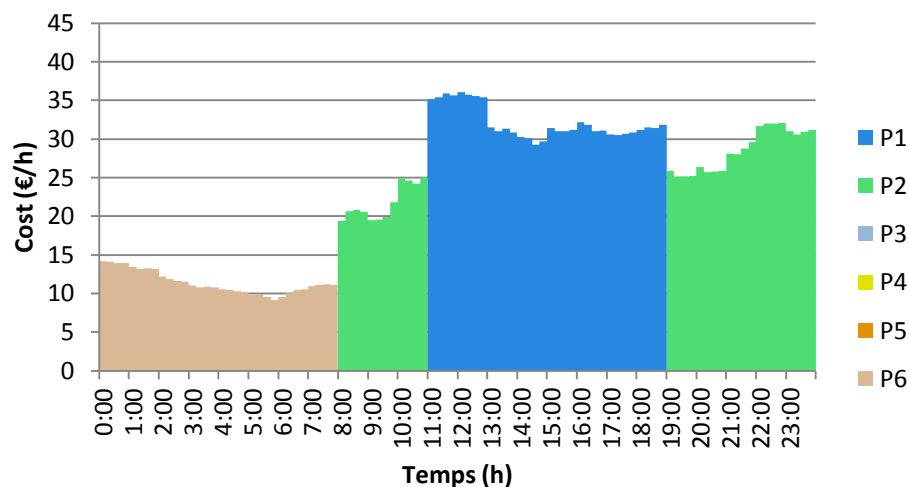


Figura 41. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic de juny (segona quinzena).

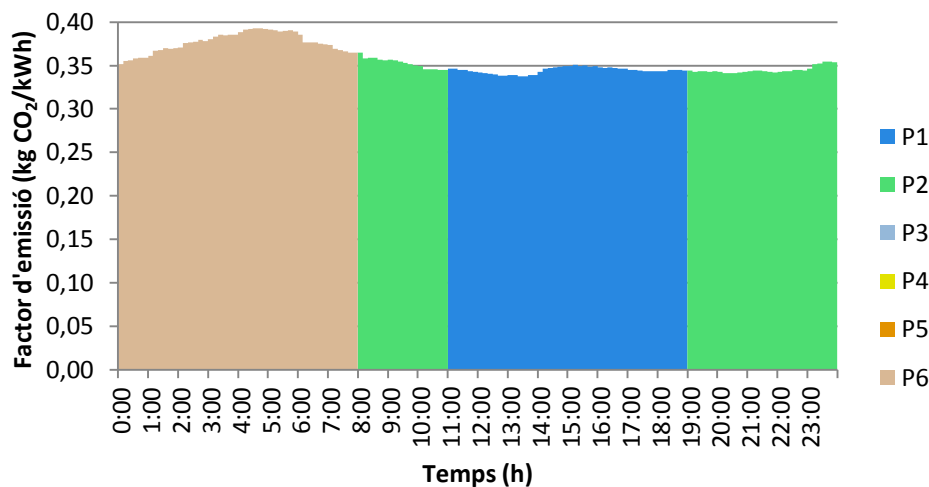


Figura 42. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic de juny (segona quinzena).

JULIOL 2012

Taula 34. Factura elèctrica del mes de juliol.

FACTURACIÓ		
CONCEPTE	CÀLCUL	IMPORT
TERME D'ENERGIA VARIABLE		16.848,79
	P1: 41.579 kWh x 0,167449 Eur/kWh = 6.962,36 Eur	
	P2: 38.117 kWh x 0,134342 Eur/kWh = 5.120,71 Eur	
	P6: 72.042 kWh x 0,066152 Eur/kWh = 4.765,72 Eur	
FACTURACIÓ POTÈNCIA PER PERÍODES		1.554,65
	P1: 350 kW x 17,683102 Eur/kW = 6.189,09 Eur	
	P2: 380 kW x 8,849205 Eur/kW = 3.362,7 Eur	
	P3: 400 kW x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P4: 400 kW x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P5: 400 kW x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P6: 451 kW x 2,954837 Eur/kW = 1.332,63 Eur	
	18.655,8 Eur x 1 MES / 12 MESOS	
RECÀRREC PER EXCESSOS DE POTÈNCIA		57,90
ENERGIA REACTIVA		0,00
IMPOST SOBRE L'ELECTRICITAT	4,864% sobre 18.461,34 Eur x 1,05113	943,87
LLOGUER D'EQUIPS DE MESURA		59,02
IVA NORMAL	18% sobre 19.464,23 Eur	3.503,56
Total Factura		22.967,79 €

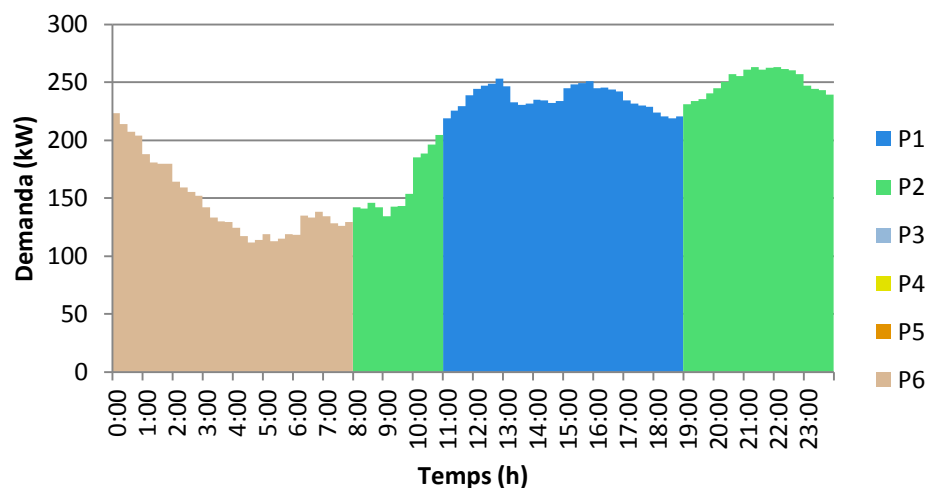


Figura 43. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic de juliol.

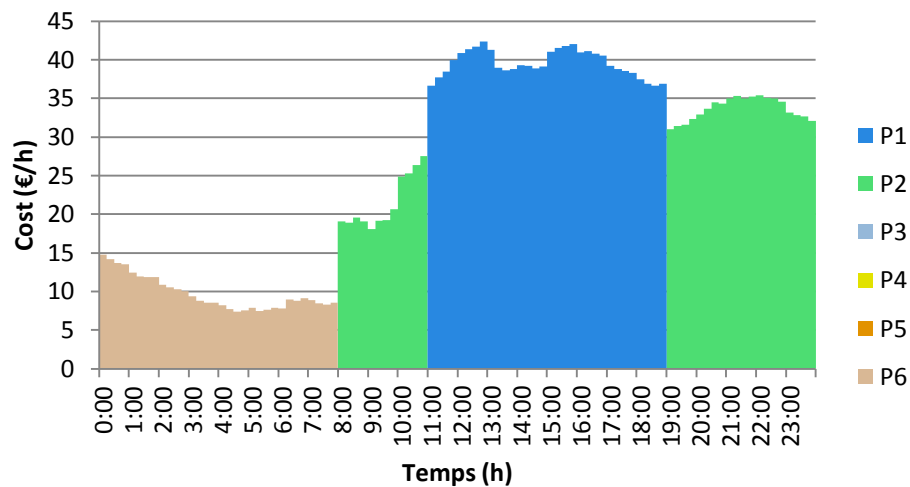


Figura 44. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic de juliol.

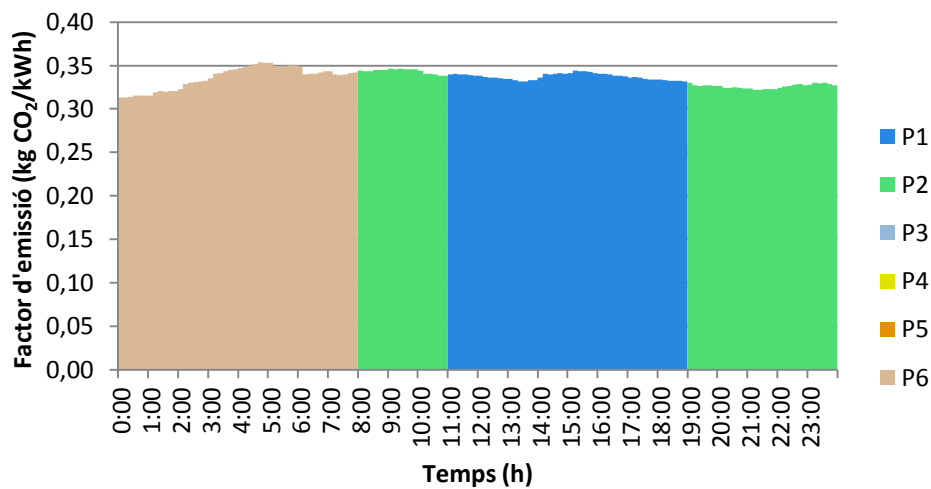


Figura 45. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic de juliol.

AGOST 2012

Taula 35. Factura elèctrica del mes d'agost.

FACTURACIÓ		
CONCEPTE	CÀLCUL	IMPORT
TERME D'ENERGIA VARIABLE		8.941,17
	P6: 135.161 kWh x 0,066152 Eur/kWh = 8.941,17 Eur	
FACTURACIÓ POTÈNCIA PER PERÍODES		1.554,65
	P1: 350 kW x 17,683102 Eur/kW = 6.189,09 Eur	
	P2: 380 kWh x 8,849205 Eur/kW = 3.362,7 Eur	
	P3: 400 kWh x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P4: 400 kWh x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P5: 400 kWh x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P6: 451 kWh x 2,954837 Eur/kW = 1.332,63 Eur	
	18.655,8 Eur x 1 MES / 12 MESOS	
Ajustament preus 1º T 2012		105,71
RECÀRREC PER EXCESSOS DE POTÈNCIA		0,00
ENERGIA REACTIVA		0,00
IMPOST SOBRE L'ELECTRICITAT	4,864% sobre 10.601,53 Eur x 1,05113	542,02
IVA NORMAL	18% sobre 111,11 Eur	20,00
IVA NORMAL	21% sobre 11.032,44 Eur	2.316,81
Total Factura		13.480,36 €

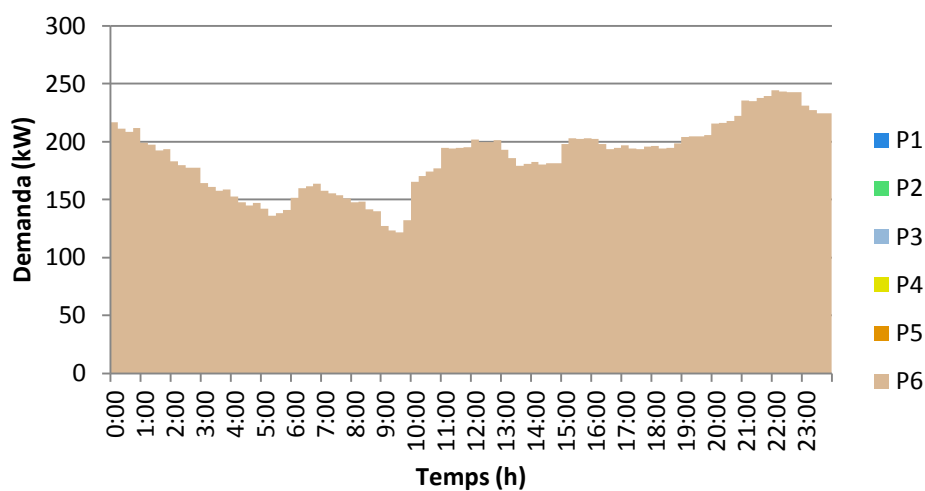


Figura 46. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic d'agost.

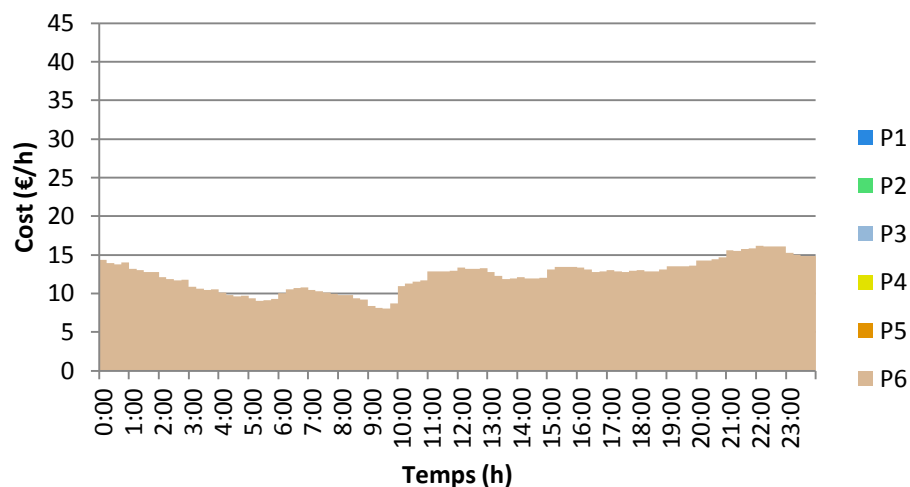


Figura 47. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic d'agost.

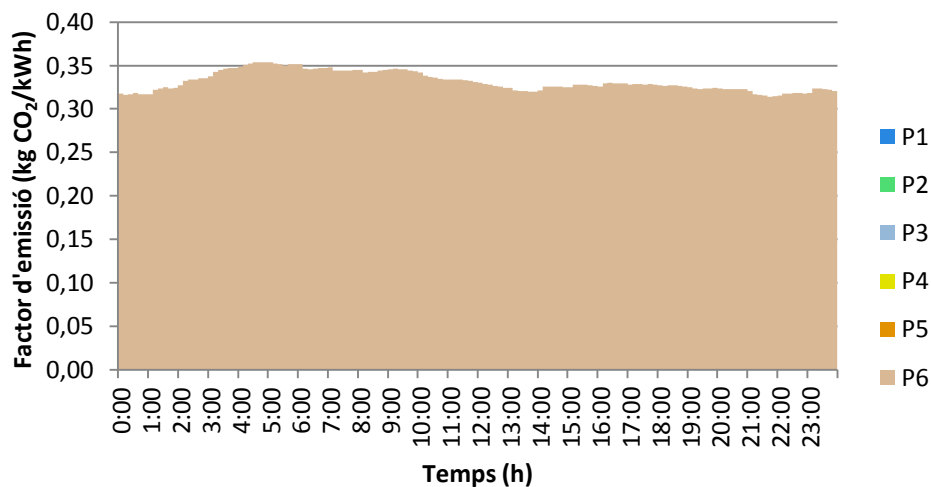


Figura 48. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic d'agost.

SETEMBRE 2012

Taula 36. Factura elèctrica del mes de setembre.

FACTURACIÓ		
CONCEPTE	CÀLCUL	IMPORT
TERME D'ENERGIA VARIABLE		6.928,05
	P3: 15.013 kWh x 0,110941 Eur/kWh = 1.665,56 Eur	
	P4: 24.671 kWh x 0,08651 Eur/kWh = 2.134,29 Eur	
	P6: 47.288 kWh x 0,066152 Eur/kWh = 3.128,2 Eur	
FACTURACIÓ POTÈNCIA PER PERÍODES		1.554,65
	P1: 350 kW x 17,683102 Eur/kW = 6.189,09 Eur	
	P2: 380 kW x 8,849205 Eur/kW = 3.362,7 Eur	
	P3: 400 kW x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P4: 400 kW x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P5: 400 kW x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P6: 451 kW x 2,954837 Eur/kW = 1.332,63 Eur	
	18.655,8 Eur x 1 MES / 12 MESOS	
Ajustament preus 1º T 2012		105,71
RECÀRREC PER EXCESSOS DE POTÈNCIA		0,00
ENERGIA REACTIVA		124,22
	P3: 1.170,71 kVArh x 0,041554 Eur/kVArh = 48,65 Eur, cos phi 0,93	
	P4: 1.818,57 kVArh x 0,041554 Eur/kVArh = 75,57 Eur, cos phi 0,93	
IMPOST SOBRE L'ELECTRICITAT	4,864% sobre 8.712,63 Eur x 1,05113	445,45
IVA NORMAL	18% sobre 111,11 Eur	20,00
IVA NORMAL	21% sobre 9.046,97 Eur	1.899,86
Total Factura		11.077,94 €

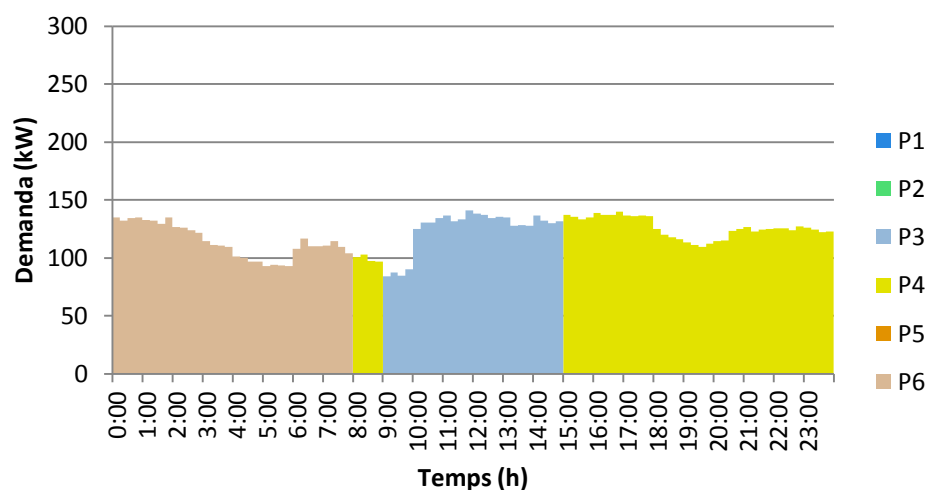


Figura 49. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic de setembre.

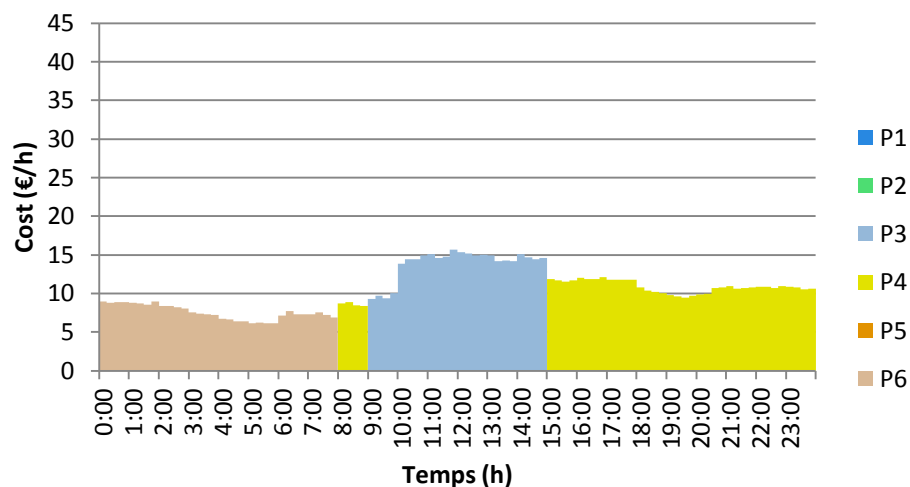


Figura 50. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic de setembre.

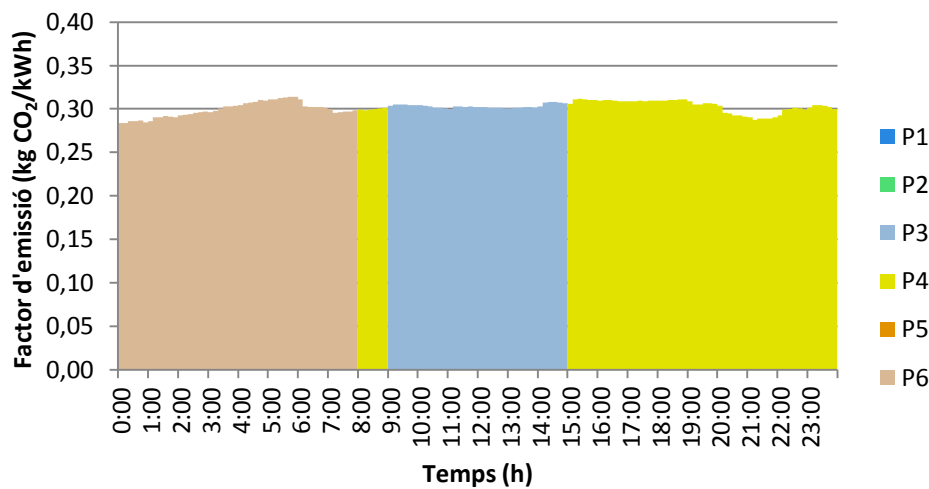


Figura 51. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic de setembre.

OCTUBRE 2012

Taula 37. Factura elèctrica del mes d'octubre.

FACTURACIÓ		
CONCEPTE	CÀLCUL	IMPORT
TERME D'ENERGIA VARIABLE		6.146,81
	P4: 42.792 kWh x 0,080208 Eur/kWh = 3.432,26 Eur	
	P6: 41.035 kWh x 0,066152 Eur/kWh = 2.714,55 Eur	
FACTURACIÓ POTÈNCIA PER PERÍODES		1.554,65
	P1: 350 kW x 17,683102 Eur/kW = 6.189,09 Eur	
	P2: 380 kWh x 8,849205 Eur/kW = 3.362,7 Eur	
	P3: 400 kWh x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P4: 400 kWh x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P5: 400 kWh x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P6: 451 kWh x 2,954837 Eur/kW = 1.332,63 Eur	
	18.655,8 Eur x 1 MES / 12 MESOS	
Ajustament preus 1º T 2012		105,71
RECÀRREC PER EXCESSOS DE POTÈNCIA		0,00
ENERGIA REACTIVA		114,92
	P5: 2.765,64 kVArh x 0,041554 Eur/kVArh = 114,92 Eur, cos phi 0,93	
IMPOST SOBRE L'ELECTRICITAT	4,864% sobre 7.922,09 Eur x 1,05113	405,03
IVA NORMAL	18% sobre 111,11 Eur	20,00
IVA NORMAL	21% sobre 8.216,01 Eur	1.725,36
Total Factura		10.072,48 €

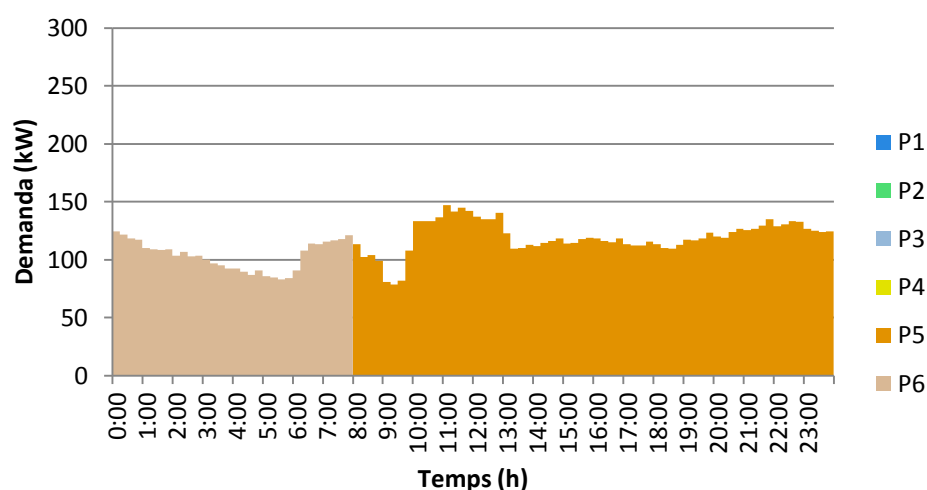


Figura 52. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic d'octubre.

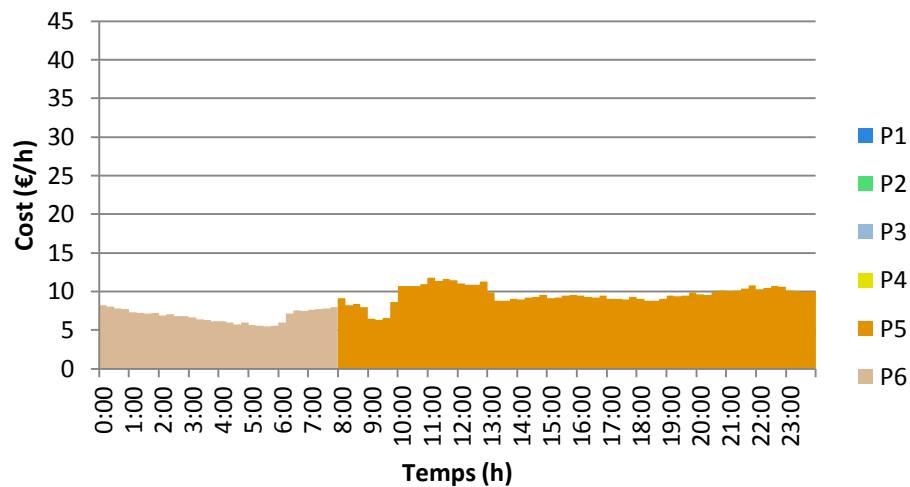


Figura 53. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic d'octubre.

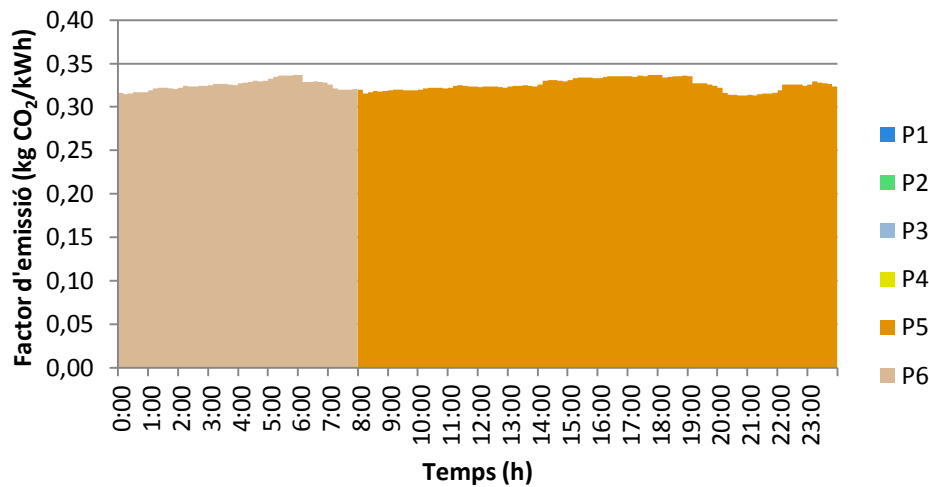


Figura 54. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic d'octubre.

NOVEMBRE 2012

Taula 38. Factura elèctrica del mes de novembre.

FACTURACIÓ		
CONCEPTE	CÀLCUL	IMPORT
TERME D'ENERGIA VARIABLE		6.253,40
	P3: 13.679 kWh x 0,110941 Eur/kWh = 1.517,56 Eur	
	P4: 24.791 kWh x 0,08651 Eur/kWh = 2.144,67 Eur	
	P6: 39.170 kWh x 0,066152 Eur/kWh = 2.591,17 Eur	
FACTURACIÓ POTÈNCIA PER PERÍODES		1.554,65
	P1: 350 kW x 17,683102 Eur/kW = 6.189,09 Eur	
	P2: 380 kW x 8,849205 Eur/kW = 3.362,7 Eur	
	P3: 400 kW x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P4: 400 kW x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P5: 400 kW x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P6: 451 kW x 2,954837 Eur/kW = 1.332,63 Eur	
	18.655,8 Eur x 1 MES / 12 MESOS	
Ajustament preus 1º T 2012		105,71
RECÀRREC PER EXCESSOS DE POTÈNCIA		0,00
ENERGIA REACTIVA		83,39
	P3: 716,93 kVArh x 0,041554 Eur/kVArh = 29,79 Eur, cos phi 0,93	
	P4: 1.289,97 kVArh x 0,041554 Eur/kVArh = 53,6 Eur, cos phi 0,93	
IMPOST SOBRE L'ELECTRICITAT	4,864% sobre 7.997,15 Eur x 1,05113	408,57
IVA NORMAL	18% sobre 111,11 Eur	20,00
IVA NORMAL	21% sobre 8.294,91 Eur	1.741,93
Total Factura		10.167,95 €

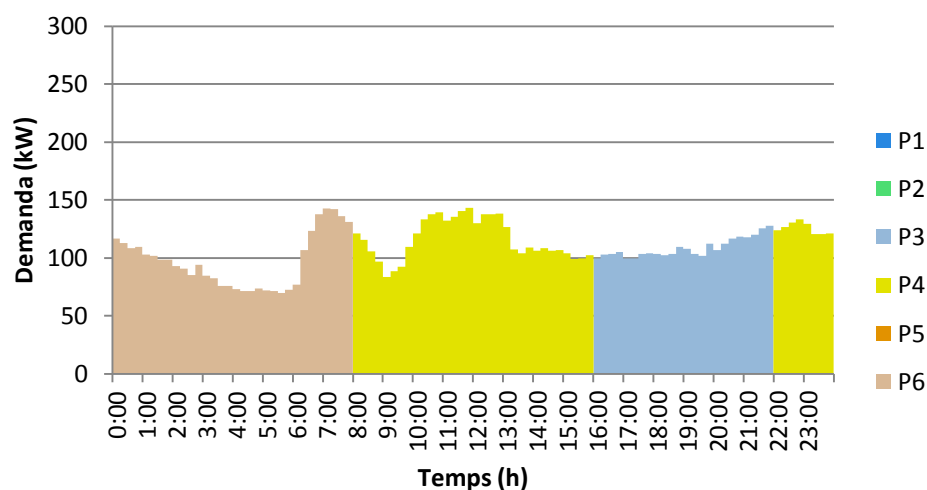


Figura 55. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic de novembre.

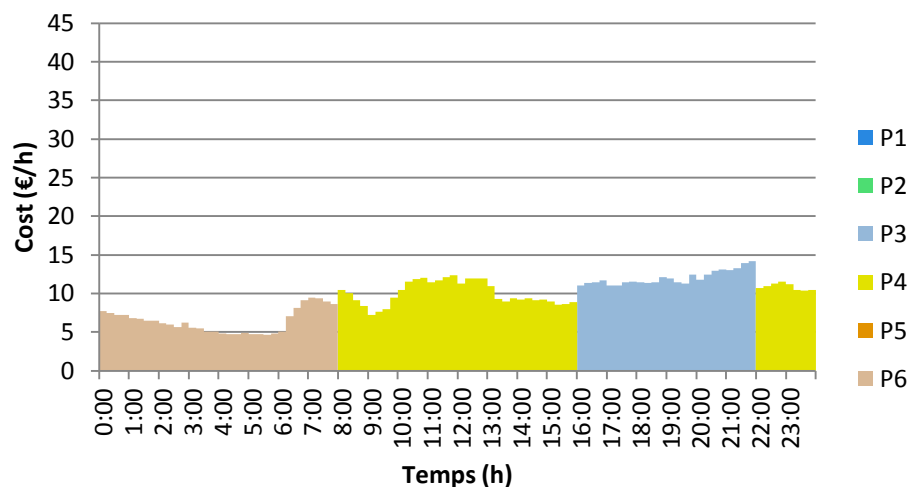


Figura 56. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic de novembre.

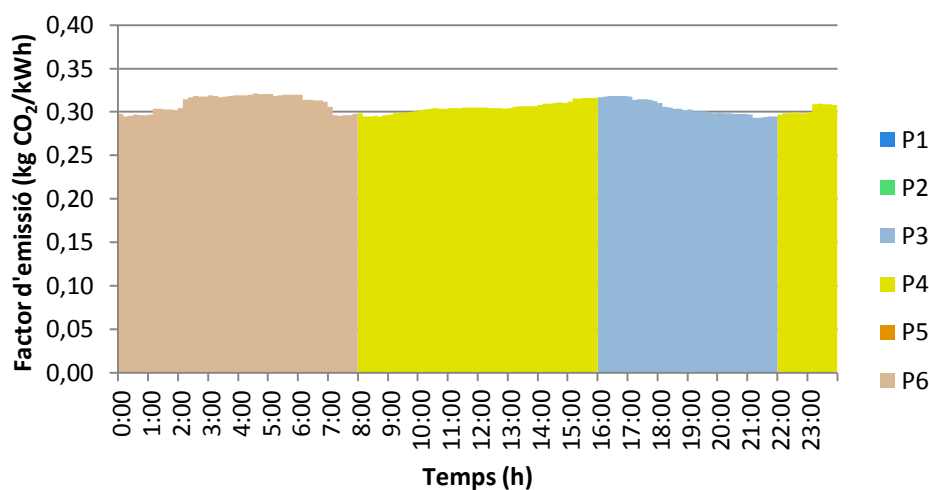


Figura 57. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic de novembre.

DESEMBRE 2012

Taula 39. Factura elèctrica del mes de desembre.

FACTURACIÓ		
CONCEPTE	CÀLCUL	IMPORT
TERME D'ENERGIA VARIABLE		8.450,95
	P1: 15.509 kWh x 0,167449 Eur/kWh = 2.596,97 Eur	
	P2: 21.615 kWh x 0,134342 Eur/kWh = 2.903,8 Eur	
	P6: 44.597 kWh x 0,066152 Eur/kWh = 2.950,18 Eur	
FACTURACIÓ POTÈNCIA PER PERÍODES		1.554,65
	P1: 350 kW x 17,683102 Eur/kW = 6.189,09 Eur	
	P2: 380 kW x 8,849205 Eur/kW = 3.362,7 Eur	
	P3: 400 kW x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P4: 400 kW x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P5: 400 kW x 6,476148 Eur/kW = 2.590,46 Eur	
	P6: 451 kW x 2,954837 Eur/kW = 1.332,63 Eur	
	18.655,8 Eur x 1 MES / 12 MESOS	
Ajustament preus 1º T 2012		105,71
RECÀRREC PER EXCESSOS DE POTÈNCIA		0,00
ENERGIA REACTIVA		50,2
	P2: 1.208,07 kVArh x 0,041554 Eur/kVArh = 50,2 Eur, cos phi 0,94	
IMPOST SOBRE L'ELECTRICITAT	4,864% sobre 10.161,51 Eur x 1,05113	519,53
LLOGUER D'EQUIPS DE MESURA		300,98
IVA NORMAL	18% sobre 111,11 Eur	20,00
IVA NORMAL	21% sobre 10.870,91 Eur	2.282,89
Total Factura		13.284,91 €

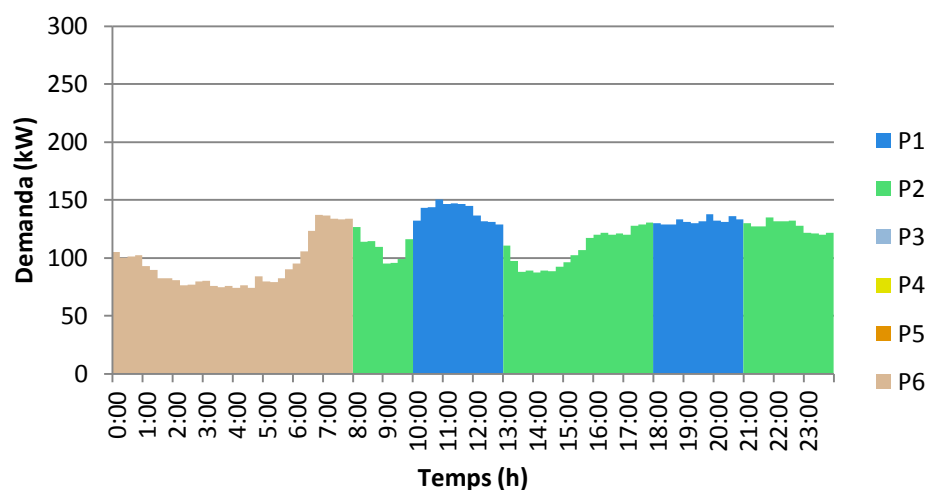


Figura 58. Variació quart horària de la demanda al llarg d'un dia típic de desembre.

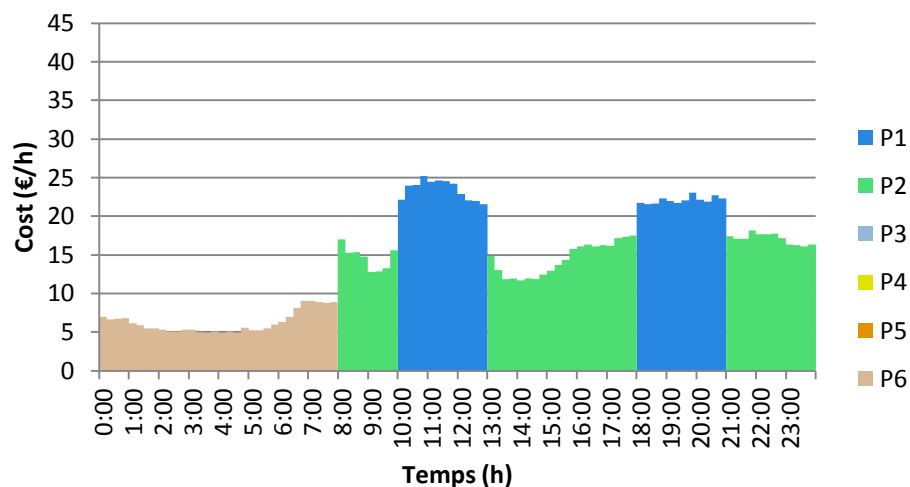


Figura 59. Variació quart horària del cost energètic al llarg d'un dia típic de desembre.

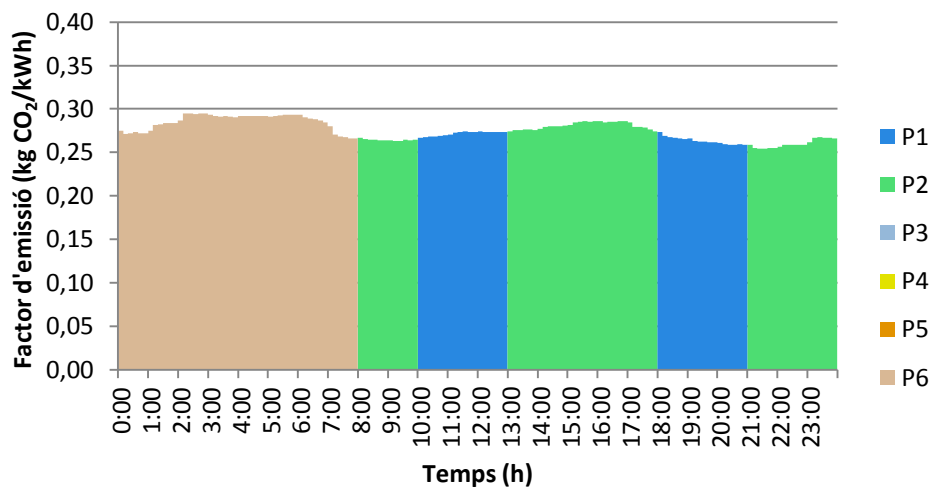


Figura 60. Variació deu minutal del factor d'emissió al llarg d'un dia típic de desembre.