

**U P C**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Escola Politècnica Superior d’Enginyeria de Manresa

Gestor energètic

Control de càrregues, alimentades per autoproducció renovable i/o la xarxa, per minimitzar el cost elèctric

25 juny de 2022

treball de fi de grau que presenta

Jordi Panadès Closes

en compliment dels requisits per assolir el

Grau d’Enginyeria en Sistemes TIC

Direcció: Jordi Bonet Dalmau i Francisco del Aguila Lopez

Aquesta obra està subjecte a la llicència de Reconeixement-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Espanya de Creative Commons. Si voleu veure una còpia d'aquesta llicència accediu a <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/es/> o envieu una carta sol·licitant-la a Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.



# Resum

A Espanya, l’autoproducció i autoconsum d’energies renovable està regit pel Reial Decret 244/2019 [1]. Per un costat, aquest decret permet als usuaris consumir de la xarxa elèctrica quan la seva producció no cobreix les necessitats, i per l’altre, vendre l’energia excedent a l’empresa subministradora contractada, a un preu menor però.

Gràcies al balanç net horari, l’energia injectada a la xarxa equival a la consumida, fent que la reducció de la factura sigui més significativa. Això permet al usuari tenir cert joc per consumir i retornar lo consumit de forma no instantània.

Aquest projecte explora alguns dels diversos algoritmes que es poden fer servir per controlar les càrregues d’una instal·lació, simplificada, per tal de reduir el cost de la factura i aprofitar el màxim l’energia produïda.

# Abstract

In Spain, the self-production and self-consumption of renewable energy is governed by the Royal Decree 244/2019 [1]. This decree allows the users to consume from the energy grid when their production doesn’t cover their needs. I also allow them to sell the surplus energy to the supply company, at a lower price be it.

Thanks to the *“Balanç net horary”* (net hourly balance), the energy injected to the grid is equivalent to the consumed, making reducing the bill price easier. This allows the user some wiggle room to consume and return the consumption non-instantaneously.

This project explores some of the various algorithms that can be used to control the loads of a simplified installation in order to reduce the cost of the bill and make the most of the energy produced.

Índex

[Resum i](#_Toc107000225)

[Abstract i](#_Toc107000226)

[I. Memòria 1](#_Toc107000227)

[1. Introducció 3](#_Toc107000228)

[1.1. Punt de partida 3](#_Toc107000229)

[1.2. Objectiu 4](#_Toc107000230)

[2. Model del sistema 7](#_Toc107000231)

[2.1. Model general i model ideal 7](#_Toc107000232)

[2.2. Model simplificat 7](#_Toc107000233)

[2.2.1 Model energètic 7](#_Toc107000234)

[2.2.2 Classificació energètica 8](#_Toc107000235)

[3. Algoritmes 11](#_Toc107000236)

[3.1. Histèresis 11](#_Toc107000237)

[3.2. Temps mínim engegat 11](#_Toc107000238)

[3.3. Predictiu 11](#_Toc107000239)

[4. Simulador 13](#_Toc107000240)

[5. Implementació real 15](#_Toc107000241)

[6. Anàlisi de resultats 17](#_Toc107000242)

[7. Conclusions 19](#_Toc107000243)

[Bibliografia 21](#_Toc107000244)

[II. Annexos 23](#_Toc107000245)

[1. None 25](#_Toc107000246)

Figures

[Figura 1. Càlcul de la factura de la llum 3](#_Toc107000247)

[Figura 2. Model energètic (vàlid tant per potència o energia) 8](#_Toc107000248)

Taules

[Taula 1. Exemple del càlcul del balanç net horari 4](#_Toc107000249)

[Taula 2. Exemple del càlcul de la factura 4](#_Toc107000250)

[Taula 3. Exemple del càlcul de la factura sense balanç net horari 4](#_Toc107000251)

[Taula 4. Traducció dels termes de classificació de potències 9](#_Toc107000252)

1. Memòria

# Introducció

## Punt de partida

A Espanya, l’autoproducció i autoconsum d’energies renovable està regit pel Reial Decret 244/2019 [1]. Aquest defineix diverses modalitats d’autoconsum a les quals els usuaris de la xarxa elèctrica es poden acollir[[1]](#footnote-2). En resum hi han dues modalitats en funció de l’energia produïa[[2]](#footnote-3):

1. Sense excedents: L’energia produïda no consumida, si n’hi ha, no s’injecta a la xarxa. Requereixen d’un sistema antiabocament que impedeix la injecció d’energia excedent a la xarxa de transport i distribució.
2. Amb excedents: L’energia produïda no consumida és injectada a la xarxa de transport i distribució. Aquest excedents poden ser:
   1. Sense compensació econòmica
   2. Amb compensació econòmica simplificada

La compensació simplificada consisteix un saldo monetari de l’energia consumida de la xarxa en el període de facturació[[3]](#footnote-4), [[4]](#footnote-5):

* El cost a pagar és la diferència entre el valor econòmic de l’energia horària consumida de la xarxa i de l’energia horària excedent/injectada. És a dir, la suma de tots els valors econòmics dels balanços nets horaris dins del període.
* Com a màxim és compensa el valor econòmic d’energia horària consumida de la xarxa. Això vol dir que el valor més baix de la factura pot ser 0.
* La compensació com a molt pot ser mensual.

El balanç net horari és el saldo energètic net hora a hora [2]. És a dir, la diferència entre l’energia consumida de la xarxa i l’excedent injectada (des del punt de vista del proveïdor).

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1) |

Un resultat és positiu, significa que hem consumit de la xarxa, i un negatiu, que n’hem injectat.

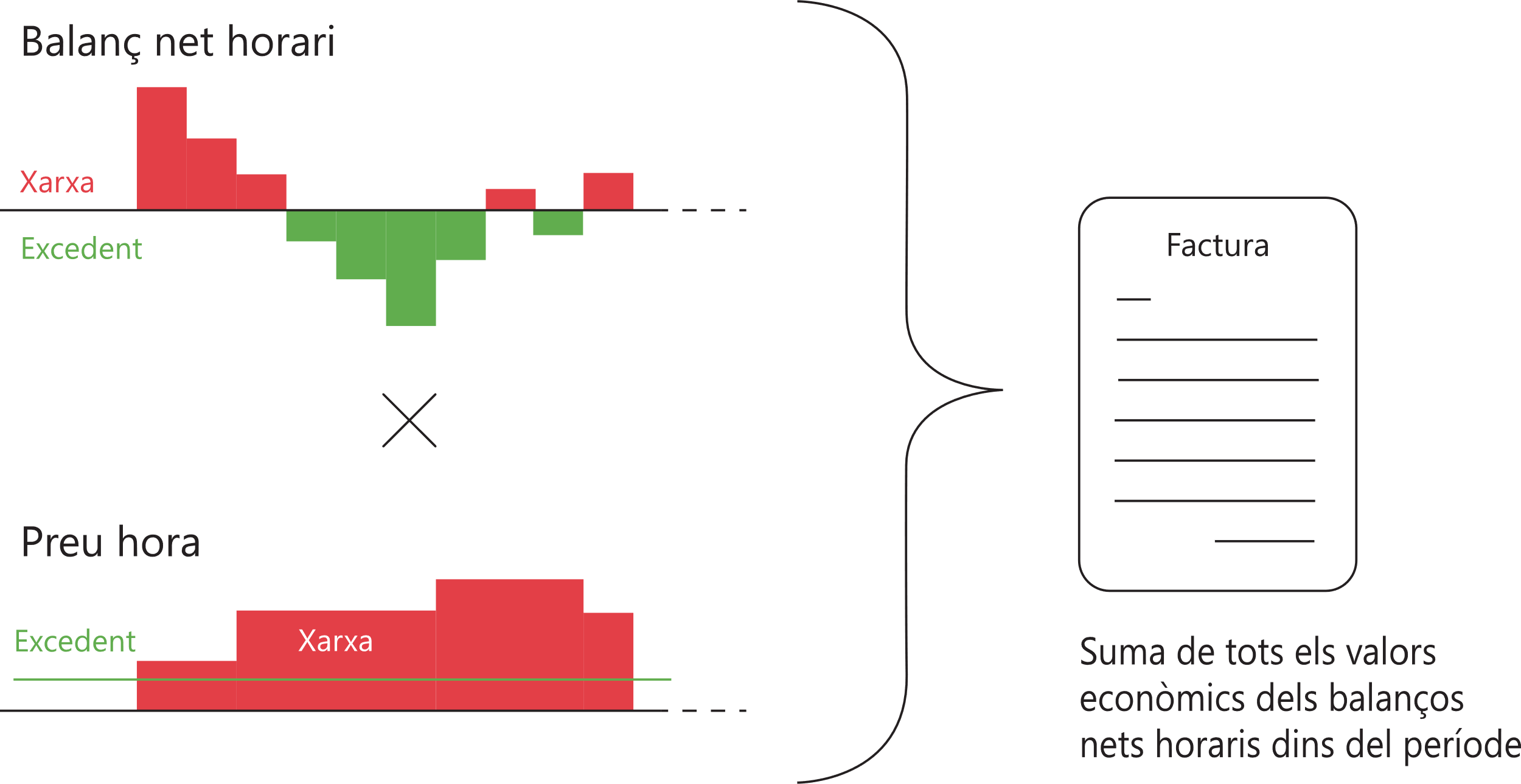


Figura 1. Càlcul de la factura de la llum

Exemple

Primer exemplificarem el càlcul del balanç net horari (en kWh):

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Hora | Consum instal·lació | Producció | Consum Xarxa | Injectats |
| 13:00 | 0,5 | 0,4 | 0,1 | 0 |
| 13:15 | 0,5 | 0,4 | 0,1 | 0 |
| 13:30 | 0 | 0,4 | 0 | 0,4 |
| 13:45 | 0 | 0,4 | 0 | 0,4 |
| Total | 1 | 1,6 | 0,2 | 0,8 |

Taula 1. Exemple del càlcul del balanç net horari

El balanç net horari serà com si només haguéssim injectat 0,6 kWh.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.2) |

Ara que hem vist el càlcul del balanç net horari, podem mirar com és calcula la factura amb compensació simplificada, si el període fos de 5 hores:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | Energia [kWh] | | |  | Preu [€/kWh] | |  |  |
| Hora |  | Consum Xarxa | Injectats | Balanç net horari |  | Xarxa | Injectats |  | Total [€] |
| 12:00 |  | 2,0 | 0 | 2,0 |  | 0,357 | 0,187 |  | 0,714 |
| 13:00 |  | 1,0 | 3,0 | - 2,0 |  | 0,357 | 0,187 |  | - 0,374 |
| 14:00 |  | 1,0 | 2,5 | - 1,5 |  | 0,293 | 0,187 |  | - 0,2805 |
| 15:00 |  | 2,0 | 0,5 | 1,5 |  | 0,293 | 0,187 |  | 0,4395 |
| 16:00 |  | 1,0 | 1,5 | - 0,5 |  | 0,293 | 0,187 |  | - 0,0935 |
|  |  |  |  |  |  |  | Factura [€] | | 0,4055 |

Taula 2. Exemple del càlcul de la factura

## Objectiu

Gràcies al balanç net horari podem reduir considerablement el cost de la factura, degut a que a cada interval d’hora estem “venent” l’energia al mateix preu que el cost de compra. Per demostrar-ho podem repetir l’exemple anterior sense balanç net total:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | Energia [kWh] | |  | Preu [€/kWh] | |  | [€] | | |
| Hora |  | Consum Xarxa | Injectats |  | Xarxa | Preu Injectats |  | Cost Xarxa | Benefici Injectat | Total |
| 12:00 |  | 2,0 | 0 |  | 0,357 | 0,187 |  | 0,714 | 0 | 0,714 |
| 13:00 |  | 1,0 | 3,0 |  | 0,357 | 0,187 |  | 0,357 | 0,561 | - 0,204 |
| 14:00 |  | 1,0 | 2,5 |  | 0,293 | 0,187 |  | 0,293 | 0,4675 | - 0,1745 |
| 15:00 |  | 2,0 | 0,5 |  | 0,293 | 0,187 |  | 0,586 | 0,0935 | 0,4925 |
| 16:00 |  | 1,0 | 1,5 |  | 0,293 | 0,187 |  | 0,293 | 0,2805 | 0,0125 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | Total Factura [€] | 0,8405 |

Taula 3. Exemple del càlcul de la factura sense balanç net horari

Aquest principi fonamental és el que ha motivat a la creació d’aquest projecte.

L’objectiu d’aquest projecte és dissenyar i analitzar algoritmes que controlin les càrregues elèctriques d’una instal·lació amb autoproducció renovable per tal de reduir el preu de la factura al màxim (buscar cost 0) i alhora maximitzar l’ús d’aquesta producció.

Pot semblar que l’objectiu està enfocat només cap al model d’autoproducció amb excedents i compensació econòmica. Però el fet és que la resta de models també els interessa injectar el mínim a la xarxa per aprofitar el màxim la seva producció.

Inicialment, la idea havia sortit per ser aplicada en un habitatge, tot i així, al tractar amb conceptes genèrics, és pot aplicar quasi qualsevol espais o instal·lació.

L’objectiu general s’ha segmentat en els següents objectius/tasques:

* Dissenyar un model el màxim simplificat del sistema.
* Dissenyar diferents algoritmes de control.
* Crear un simulador del sistema.
* Implementar el sistema a la realitat.
* Provar els algoritmes a la realitat.

# Model del sistema

Abans de res, el primer pas que hem de fer és plantejar com serà el sistema que l’algoritme controlarà per poder-lo simular o implementar.

També hem de mantenir en ment que, per poder comparar els algoritmes entre ells, tots han de fer servir el mateix sistema, ja que sinó, no estarem comparant només una sola variable.

## Model general i model ideal

Si generalitzem, el podem descriure com un sistema que, a partir de múltiples entrades i dades internes (preestablertes o calculades a temps real), gestioni les càrregues per assolir les necessitats que l’usuari tingui i indiqui. Això implica directament algoritmes més complexos

El sistema ideal tindria una gran nombre d’entrades i dades internes per poder cobrir totes les necessitats:

* Entrades: producció, consum de la xarxa a temps real, temperatura de l’habitatge, temperatura de la calefacció, predicció d’irradiació solar, ...
* Dades internes:consum intern, balanç net horari a temps real, aproximació de la producció diària, quant i en quina forma cada càrrega consumeix, quines càrregues controla, ...
* Control:calefacció, rentadora, nevera, carrega del cotxe, ...
* Necessitats: aclimatació de l’espai, engegar una rentadora ja preparada quan sigui i abans del dia/hora determinada, poder engegar fer un cafè de forma espontània, ...
* Complexitat de l’algoritme: Predir els consums i l’energia al final d’hora; si volem controlar la temperatura i que al càrrega s’engegui al millor moment, també haurà de predir la temperatura, deduir i predir rutines de consum ...

## Model simplificat

Ara bé, aquest treball el primer o dels primers en aquest àmbit, és per això que partirem d’una aproximació el màxim de simplificada.

* Entrades: producció i consum de la xarxa a temps real
* Dades internes: consum intern, balanç net horari
* Control:dues càrregues (com poden ser dues bombes de calor)
* Necessitats:Mantenir les càrregues el màxim de temps enceses, és a dir, consumir el màxim d’energia produïa possible.
* Possible complexitat de l’algoritme: Predir els consums i l’energia al final d’hora

### Model energètic

A nivell energètic, tant en si parlem en termes de potència com de d’energia, es pot modelar com un sistema amb entrades i sortides:

* Entrades: potència/energia produïda i/o de la xarxa
* Us intern: potència/energia consumida
* Sortides: potència/energia produïda no consumida (sobrant)

Produïda

Xarxa

No consumida

Consumida

Figura 2. Model energètic (vàlid tant per potència o energia)

I sempre complirà que:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (.1) |

### Classificació energètica

Al desenvolupar el projecte, s’han definit/classificat/segmentat diferents “tipus” de potències i energies per poder fer els càlculs i analitzar els resultats. És aquí on definirem aquesta classificació i el nom simplificat que farem servir en les equacions.

A més a més, tant la programació com l’interficial gràfica del simulador s’han fet en anglès per així treballar la 3a llengua, i com a conseqüència fer-lo més accessible a tot el món.

#### Potència

La classificació/segmentació que s’ha fet per les potències és la següent:

* Produïda: Potència total generada per una o més fons d’energia renovable.
* Càrrega Base: Potència consumida de totes les càrregues de la instal·lació no controlades pel sistema.
* Càrrega 1 o 2: Potència consumida de la càrrega controlada *i.*
* Consumida: Potència consumida per la instal·lació.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.2) |

* Xarxa: Potència consumida de la xarxa. Només s’utilitzarà per suplir demanda d’energia no produïda.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.3) |

* Disponible: Potència restant del sistema després de considerar la consumida.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.4) |

Si ens hi fixem, *pX* i *pD* són la part positiva i negativa de calcular *pP - pC.*

* Xarxa durant Producció: Potència consumida de la xarxa només quan s’ha estat produint energia.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.3) |

Les seves traduccions a l’anglès i el nom que farem servir a les equacions són:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Terme | |  | Formula | |
| Català | Anglès |  | Català (document) | Anglès (codi i simulador) |
| Produïda | Produced |  | *pP* | *powerP* |
| Consumida | Consumed |  | *pC* | *powerC* |
| Xarxa | Grid |  | *pX* | *powerG* |
| Xarxa durant Producció. | Grid while Prod. |  | *pXP* | *powerGP* |
| Disponible | Available |  | *pD* | *powerA* |
| Càrrega Base | Base Load |  | *pCB* | *powerLB* |
| Càrrega 1 | Load 1 |  | *pC1* | *powerL1* |
| Càrrega 2 | Load 2 |  | *pC2* | *powerL2* |

Taula 4. Traducció dels termes de classificació de potències

Per exemplificar cada definició

# Algoritmes

## Histèresis

## Temps mínim engegat

## Predictiu

# Simulador

Explicar llenguatge, libs, estructura, ...

# Implementació real

Explicar llenguatge, libs, estructura, hardware ...

# Anàlisi de resultats

# Conclusions

# Bibliografia

There are no sources in the current document.

1. Annexos

# None

1. Torbareu la informació a la pàgina 9 del Reial Decret 244/2019 [1]. [↑](#footnote-ref-2)
2. Per una explicació més completa podeu anar al centre d’ajuda de Som Energia [3] [↑](#footnote-ref-3)
3. Torbareu la informació a la pàgina 17 del Reial Decret 244/2019 [1]. [↑](#footnote-ref-4)
4. Més informació al centre d’ajuda de Som Energia [4] [↑](#footnote-ref-5)