



**Universitat de les
Illes Balears**

Facultat de Ciències

Memòria del Treball de Fi de Grau

Efectes del control dinàmic de la demanda sobre la xarxa elèctrica

Cristian Ferrer Llopis

Grau de Física

Any acadèmic 2017-18

Departament Física
Treball tutelat per Damià Gomila Villalonga

S'autoritza la Universitat a incloure aquest treball en el Repositori Institucional per a la seva consulta en accés obert i difusió en línia, amb finalitats exclusivament acadèmiques i d'investigació

Autor		Tutor	
Sí	No	Sí	No
X		X	

Paraules clau del treball:
Freqüència, Potència, DDC

ÍNDEX DE CONTINGUTS:

RESUM.....	4
INTRODUCCIÓ.....	4
MODEL I IMPLEMENTACIÓ DEL DDC.....	5
RESULTATS I DISCUSSIÓ.....	9
CONCLUSIONS I TREBALL FUTUR.....	15
REFERÈNCIES.....	16

I. RESUM:

El control de la freqüència és una problema que causa grans costos a les centrals per tal d'adaptar el subministrament a la freqüència requerida a cada moment. La idea és buscar una manera de controlar la demanda alterant el menys possible les necessitats humanes. En aquest treball ens centrarem en el control dinàmic de la demanda (DDC), on dispositius poden apagar-se o encendre's segons la freqüència que dugui la xarxa. Nosaltres reproduïrem un model descrit a [1] que està compost per les equacions de la central elèctrica i per un model estocàstic de la demanda amb un protocol senzill per al DDC.

El DDC com veurem al llarg de la memòria s'encarrega de reduir les fluctuacions de freqüència del nostre sistema a causa de acumular tasques pendents, cosa que també pot produir pics de freqüència degut a la necessitat de recuperar-les. Al final estudiarem com la variació de la demanda en el temps modifica els resultats trobats a [1] per una demanda constant.

II. INTRODUCCIÓ:

El nostre treball s'enfoca en la necessitat de les centrals de subministrar la potència exacta que es requereixi a cada moment degut a la falta de emmagatzemen d'energia. Això esdevé un problema quan necessitem que en cada moment el voltatge i la freqüència estiguin dintre de uns valors estables que en el cas d'Europa són per la freqüència 50 ± 0.5 Hz i una variació de la tensió de menys d'un 7%. La freqüència funciona de tal manera que qualsevol variació de la demanda en relació a la potència que està generant la planta, produeix una baixada si la demanda es major que la producció, o una pujada en cas contrari.

Degut a que els generadors no són suficientment ràpids per compensar aquestes variacions de manera perfecta s'han plantejat diferents mètodes de control de la freqüència, un d'ells és el que explorarem en aquest treball, el DDC (Control dinàmic de la demanda). El DDC s'encarrega de polir la freqüència apagant dispositius quan la freqüència baixa i encenent-los quan té una pujada per tal de mantenir-la el més possible en els límits. Aquest dispositiu pot ser implementat en dispositius recarregables com les bateries o de tipus tèrmic com els climatitzadors, bàsicament dispositius on una aturada temporal no perjudiqui la seva utilitat. Un problema que es presenta a l'hora d'usar el DDC és la sincronització de dispositius, és a dir, al tenir una freqüència alta, tots els dispositius rebran l'ordre d'encendre's, la qual cosa generarà una baixada en la freqüència, per tal de solucionar-ho s'introdueix un paràmetre aleatori que eviti la sincronització.

A conseqüència d'anar apagant i encenent dispositius, es generen tasques pendents que van acumulant-se al llarg del temps, per tal de mantenir el menor nombre d'elles s'han d'ajustar els paràmetres del DDC com s'ha encarregat [1].

Nosaltres seguirem un model genèric de DDC que treballi amb el sistema estocàstic acoblat a les equacions de la central per tal de reproduir de manera precisa la càrrega real que generarien 1000 dispositius aleatoris i comprovarem que ajuda a controlar la freqüència i reduir en gran part les fluctuacions del sistema.

III. MODEL I IMPLEMENTACIÓ DEL DDC:

Per tal de reproduir el funcionament d'una central considerarem dues parts diferenciades, el generador i el governador. El generador s'encarrega de produir l'electricitat mentre que el governador s'encarrega de que la potència produïda i la demanda siguin el més semblants possibles.

Hem volgut aproximar el nostre treball a un cas real, per tan hem usat les equacions de la central elèctrica, un conjunt d'equacions diferencials acoblades entre sí que reproduïxen el funcionament de la xarxa elèctrica [3], la primera de les quals s'encarrega de mirar com varia la freqüència del sistema en funció de la potència mecànica i la potència demandada,

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega}{2HP_G} (P_m - P_e), \quad (1)$$

on P_G i H son la capacitat nominal i la constant d'inèrcia del generador, mentre que P_m és la potència mecànica generada per la turbina i P_e és la potència elèctrica total que circula per la bobina. Per comprovar el funcionament del nostre sistema hem agafat com a referència el valor de $P_G=37320MW$ [2].

La càrrega total del sistema es pot dividir en dues parts, una sensible a la freqüència i una d'altre que no sigui sensible,

$$P_e(\omega, t) = \left(1 + D \frac{\omega - \omega_R}{\omega_R}\right) P(t), \quad (2)$$

on ω_R és la freqüència de referència, D la fracció sensible a la freqüència i $P(t)$ la potència total quan $\omega = \omega_R$.

Com es veu a l'equació (1) si $P_m > P_e$ la freqüència augmentarà mentre que si es dona el cas contrari $P_m < P_e$ i tenim un excés de demanda, la freqüència disminuirà.

El governador és l'encarregat d'equilibrar la freqüència al valor de referència, i té dos mecanismes un d'acció ràpida i un altre d'acció més lenta, si la central nota una variació en la freqüència la regulació primària s'encarregarà, en segons, d'augmentar o disminuir la potència produïda per la central augmentant o disminuint la velocitat de la turbina.

Després tenim un segon mecanisme que actuarà en un marge de minuts que augmenta la potència subministrada gràcies a la reserva activa acumulada, aquest segon mecanisme està lligat a la disponibilitat d'energia emmagatzemada.

Ambdós mecanismes venen descrits per un conjunt d'equacions diferencials,

$$\frac{dP_m}{dt} = \frac{1}{\tau_g} \left[P_s - P_m - \frac{P_G}{R\omega_R} (\omega - \omega_R) \right], \quad (3)$$

$$\frac{dP_s}{dt} = -\frac{K}{\omega_R} (\omega - \omega_R), \quad (4)$$

aquí R és la velocitat de regulació del governador, P_s la reserva activa, K és el guany del controlador secundari i τ_g la constant de temps de la turbina.

El primer resultat que vam reproduir amb el nostre codi que implementava les equacions de la central, va ser com afectava un increment en la demanda de potència al sistema i quan temps tardava en respondre (Fig. 1). En el nostre cas vam programar un increment a $t=100s$ de 1320 MW a una càrrega de 36000MW.

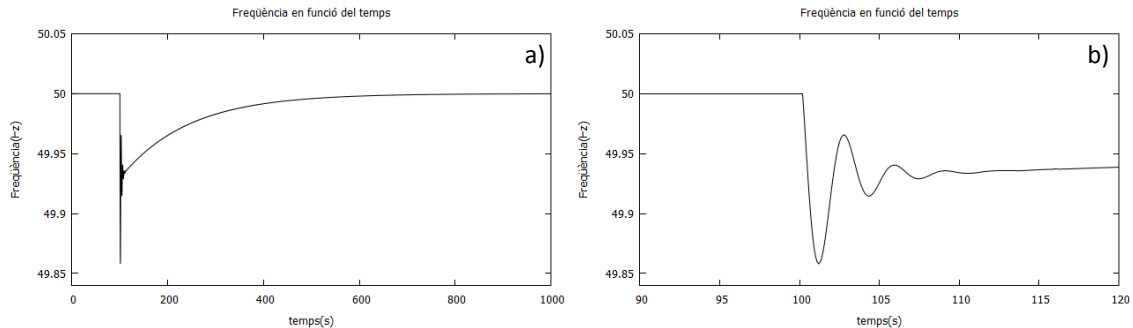


Fig.1: Resposta del sistema a un increment en la potència de 1320 MW a) Imatge general per un període de 15 minuts b) Imatge de la zona on el mecanisme primari actua de manera particular. En aquest cas particular $P_G = 37320MW$, $\tau_g = 0.78s$, $H = 4s$, $D = 0.026$, $R = 0.04$ i $K = 6600MW/s$

Com es pot observar el sistema va reaccionar ràpidament per controlar la fluctuació mitjançant el mecanisme primari (Fig. 1b) i va anar recuperant el valor de ω_R progressivament en un rang d'uns 10 minuts usant ja el secundari (Fig. 1a) [2].

La segona part de la nostra tasca és, havent programat les equacions de la central, crear un model estocàstic [4] que representi bé com funciona un sistema real per tal de poder estudiar quin comportament té la implantació del DDC sobre ell. Per tant considerarem un conjunt de N dispositius, tots aportant al mateixa contribució al sistema, essent la càrrega,

$$P(t) = \sum_{j=1}^N P_j(t), \quad (5)$$

on aquí $P_j(t)$ representa la potència de cada dispositiu en un temps t .

Per tenir el sistema el més senzill possible i que sigui fàcil d'estudiar hem suposat que $P_j(t)$, només pot agafar dos valors 0 (apagat) i P_0 (encès). Després hem programat que les taxes de probabilitat d'encès i d'apagada siguin iguals per tal motiu, el nostre sistema sempre oscil·larà al voltant de $\frac{N}{2}$ aparells encesos. Aquest model correspon a un procés aleatori Markov [4] per un conjunt de N partícules amb taxes de canvi iguals. En el nostre cas hem escollit les mateixes taxes que els autors de la [1] on la probabilitat d'encendre i apagar és $P = 6.55 \times 10^{-4} s^{-1}$.

En aquest apartat profunditzarem en les fluctuacions que sofreix la potència màxima del sistema, per períodes curts la potència mostrarà un clar comportament de "random walk" ja que la variància de les seves fluctuacions segueixen un perfil $\sigma_p(t) \propto \sqrt{t}$, mentre que a mesura que el temps augmenta les fluctuacions tendeixen a un valor estacionari de $\sigma_p(t) \propto \sqrt{N} \frac{P_0}{2}$ com podem veure al següent gràfic (Fig. 2a). Aquí destacarem que aquest efecte en la variància condueix a que el "random walk" que segueix la funció per temps més petits que $\tau = \frac{1}{2P}$ canviï progressivament cap un renou blanc gaussià.

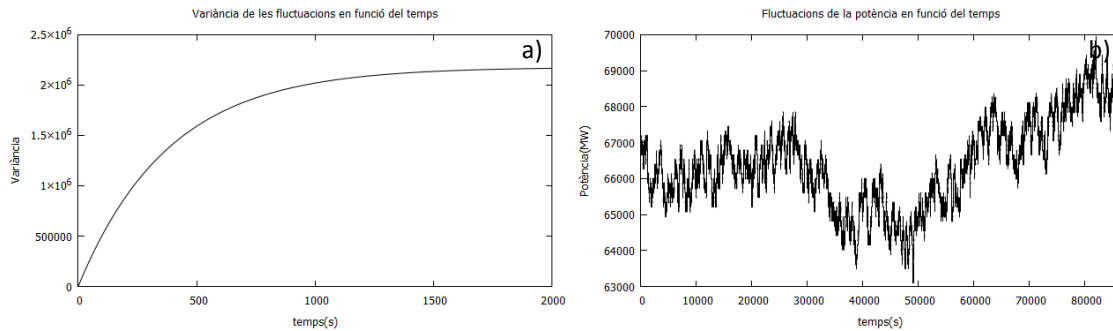


Fig. 2: a) Evolució de la variància en funció del temps. b)Evolució de les fluctuacions de la potència en funció del temps per un període de temps de 24 hores.

En els anteriors gràfics hem calculat els valors per un nombre de 1000 dispositius cada un amb una potència de 132MW. Com podem observar les fluctuacions segueixen per un curt període de temps un “random walk” i acaba per convertir-se en renou blanc quan es saturen les fluctuacions, al voltant dels 12 minuts.

Profunditzant com hem implementat el model per simular el DDC al nostre sistema, hem programat en Fortran un codi que primerament a cada pas de temps (en el nostre cas 0.1 s), si el dispositiu està encès té una probabilitat d’apagar-se P , i si està apagat una d’encendre’s Q , els valors de aquestes probabilitats són iguals en el nostre cas actual.

L’acció del DDC es fa aquí rellevant quan abans de canviar d’estat es mesura la freqüència de la xarxa i el canvi només es fa en funció del que la xarxa comuniquei, és a dir si la xarxa no té uns valors adequats de freqüència el DDC impedeix l’acció. En el nostre cas si un aparell vol encendre’s només ho farà si la freqüència té un valor superior a $\omega > \omega_R - \epsilon$, mentre que si vol apagar-se el lílndar que ha de superar es $\omega < \omega_R + \epsilon$.

Aplicant aquest model, hem de tenir en compte que aquest control està provocant que algunes tasques quedin pendents i per tant part de l’energia s’estigui acumulant. En el nostre cas una tasca pendent és el valor absolut de la suma de totes les tasques que s’han estalviat o consumit en excés. Per tal de mitigar aquest problema hem implementat un control extra que s’encarrega de preguntar al sistema com està la freqüència i en cas de que la freqüència sigui superior a $\omega > \omega_R + \epsilon_1$ i existeixin tasques a recuperar, el sistema amb una probabilitat γ encendrà aquest dispositiu. Paral·lelament si un dispositiu està recuperant tasques i la freqüència descendeix del lílndar $\omega < \omega_R - \epsilon_1$ aleshores deixarà de recuperar la tasca i s’apagarà també amb una probabilitat γ . La inclusió del paràmetre γ es deu a la necessitat d’evitar que totes les tasques s’activin o desactivin simultàniament i que per tant provoquin una gran fluctuació en la freqüència [2,3].

Per reproduir aquest treball nosaltres hem agafat com a referència els paràmetres que per un cas estacionari millors resultats representen [1], essent $\epsilon = 0.05$, $\epsilon_1 = 0.06$ i $\gamma = 0.01$.

Ara mirarem quin efecte té la inclusió del sistema de recuperació de tasques del DDC en la freqüència, la potència i les tasques pendents que anem acumulant en comparació amb casos on no l’apliquem (Fig. 3). Presentarem dos casos, un cas on la $\epsilon_1 = 0.1$ i per tant no hi ha recuperació de tasques, és a dir, mai es recuperen, mentre que a l’altre cas on la $\epsilon_1 = 0.06$ sí, i per tant sí notarem el control.

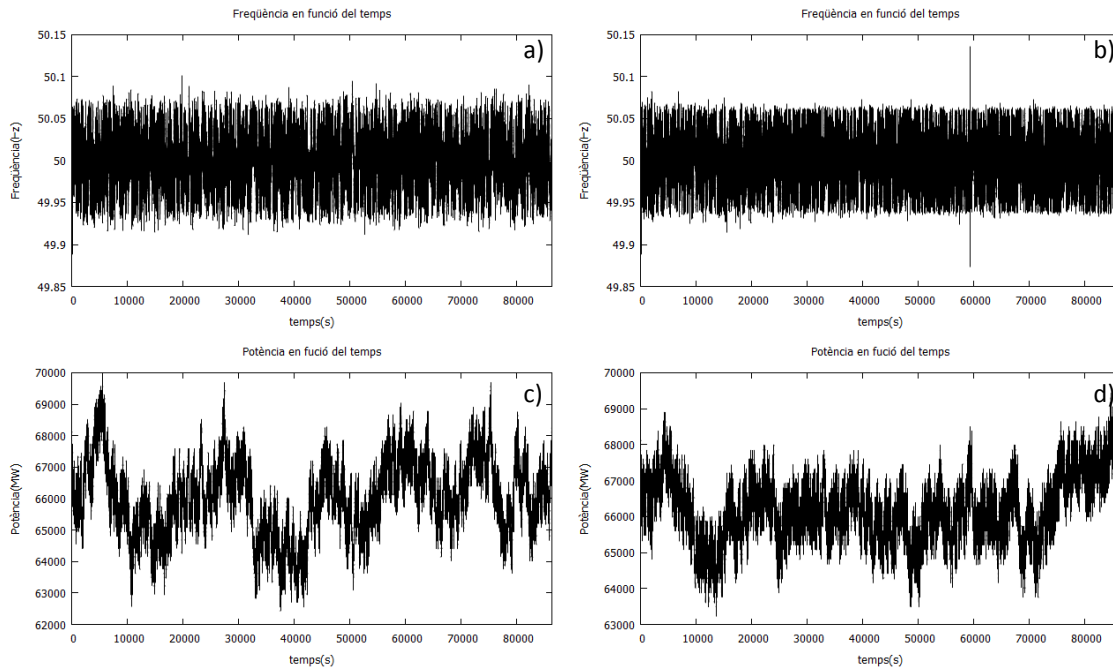


Fig. 3: A la esquerra es presenten a) la freqüència i c) la potència sense aplicar control. A la dreta b) i d) el mateix cas aplicant el control de la recuperació de tasques. Les simulacions tenen un període d'un dia (86400s).

Es pot observar que comparant ambdós casos on la $\epsilon_1 = 0.06$ la freqüència està perfectament acotada exceptuant un pic de freqüència derivat de la necessitat de recuperar tasques pendents. Aquets pics són comuns en simulacions on hi ha el control activat.

En quant a la potència es pot observar que a limitar els dispositius encesos dibuixa un perfil més compacte que el cas on no hi ha control.

Hem vist que el control ajuda a la freqüència a mantenir un valor molt suau i que la potència no sofreixi sotracs, però que ocorre amb les tasques pendents? Sabem que si no implementem control les tasques pendents acumulades són nul·les però a l'hora de implementar el control hem de vigilar que no es disparin. Per aquest motiu els autors de l'article [1] van escollir aquets registres de ϵ i ϵ_1 . Nosaltres aprofitant els seus paràmetres hem simulat el valor absolut de les tasques pendents acumulades en el nostre sistema fent un promig de 100 simulacions diferents (Fig. 4).

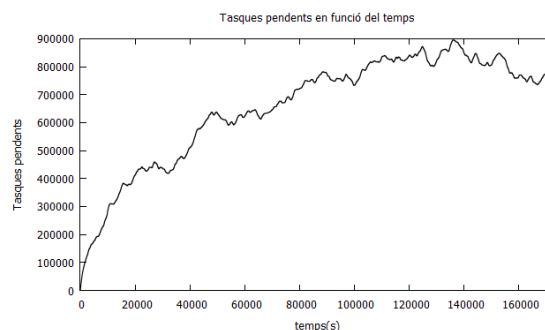


Fig. 4: Evolució del valor absolut de les tasques pendents en funció del temps sobre 100 simulacions Cada 86400 segons equivalen a 1hora de simulació.

Com es pot veure les tasques pendents tendeixen a establir-se a un valor constant de 800000 tasques situat a les 24 hores d'inici de la simulació.

Al següent apartat profunditzarem una mica més en el problema introduint modificacions a la probabilitat d'encès variant el valor de P i modificant de manera particular la ϵ_1 .

IV. RESULTATS I DISCUSSIÓ:

Arribats a aquest apartat discutirem com afecta la modificació de la probabilitat d'encès i després veurem quina conseqüència pot tenir la variació de ϵ_1 als nostres càlculs.

En aquest apartat treballarem un cas específic on modifiquem la probabilitat d'encès dels aparells per simular com seria la càrrega un dia qualsevol on té una pujada de consum al matí i una disminució l'horabaixa. Per això hem elegit que la probabilitat d'encès segueixi mig període d'una funció sinus (període 1 dia), i sigui constant per la resta de temps. Amb això es descriu una pujada i baixada les primeres 12 hores i un valor de la probabilitat d'encès constant l'horabaixa. La probabilitat d'apagada s'ha mantingut constant al llarg de totes les simulacions. Al gràfic següent (Fig. 5) es pot observar el comportament de P i Q (P és la probabilitat d'encès i Q la d'apagada).

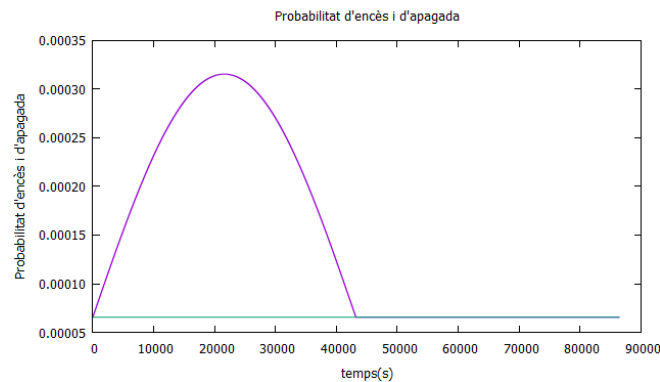


Fig. 5: Aquí es representa la probabilitat d'encès (en color lila) i la d'apagada (en color verd) dels aparells en funció del temps durant un període d'un dia.

Usant aquestes dades hem observat quatre paràmetres clau: 1) els dispositius encesos en un cas no controlat (purament aleatori), 2) els dispositius amb DDC aplicat, 3) la freqüència, i 4) les tasques pendents acumulades i els seu valor absolut promig, on el comportament que segueixen es la peça clau del nostre estudi.

Anem a tractar ara que ocorre amb els dispositius encesos. Centrats en el cas aleatori veiem que els aparells segueixen el renou d'abans però ara dibuixat sobre un sinus com era d'esperar, situant un màxim de dispositius encesos al voltant dels 750. A mesura que el període augmenta, veurem que més definit està el renou sobre el sinus ja que s'aproxima a un cas estacionari (on la P seria constant) (Fig. 6).

Ara presentarem quatre simulacions on es mostra com evolucionen els aparells encesos a mesura que augmentem el període d'oscil·lació d'un a quatre dies (Fig. 6). Hem escollit aquesta mesura de quatre oscil·lacions per veure com varien les fluctuacions del sistema en funció del període P i per tant descobrir quan el sistema té suficient temps per reaccionar als canvis ja que com veurem per una oscil·lació molt ràpida tenim una anormalitat.

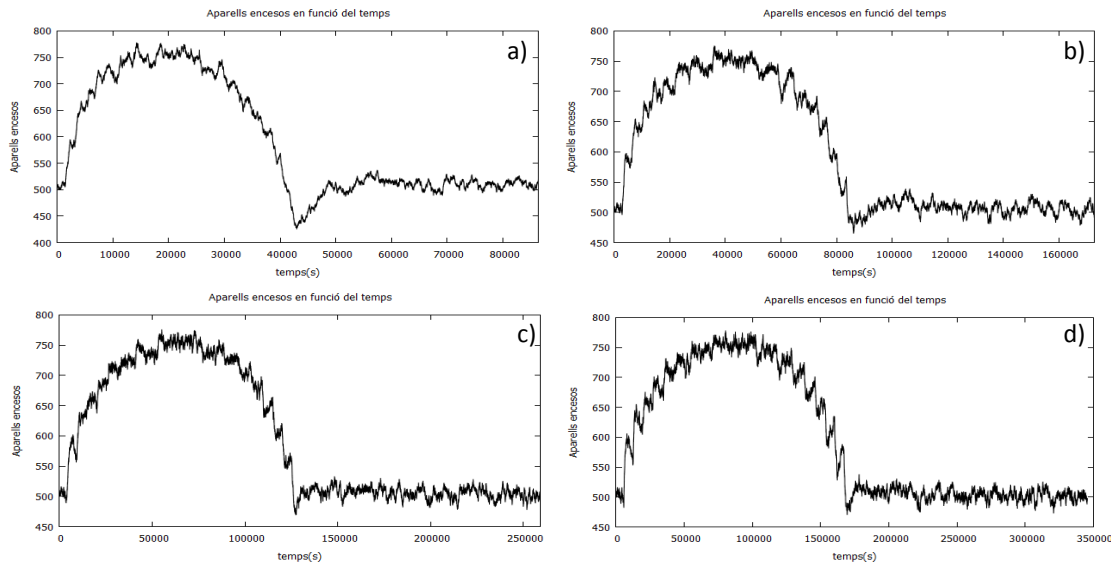


Fig. 6: Aparells encesos en funció del seu període, a) 1 dia, b) 2 dies, c) 3 dies, d) 4 dies. A la primera part de simulació s'observa clarament un sinus i un valor constant a la segona part.

Aquí un efecte estudiar és la baixada sobtada al final de la oscil·lació de P que com podem observar és molt forta a la primera simulació (Fig. 6a) i disminueix progressivament essent a la simulació de quatre dies ja quasi imperceptible (Fig. 6d). Aquest efecte obtingut pot ser atribuït al fet que per períodes curts, el valor de la pendent de P és tan gran que la potència no s'estabilitza suficientment ràpid (recordem que l'escala de temps a la que s'adapta la potència de la central es al voltant del 12 minuts) i provoca l'apagada de molts més dispositius dels que esperaríem al entrar a la zona estacionaria (Fig.6a).

Pel cas controlat observem que els aparells encesos segueixen una funció sinus amb un màxim al voltant dels 800 aparells encesos. Aquí podem observar que la funció dibuixa una corba molt suau sense pics importants gràcies a l'acció del DDC que com hem vist, és l'encarregat de en funció de la freqüència autoritzar l'encès o l'apagada de certs dispositius. A continuació presentaré un seguit de gràfics (Fig. 7) que il·lustrin el comportament en funció del període d'oscil·lació de la demanda.

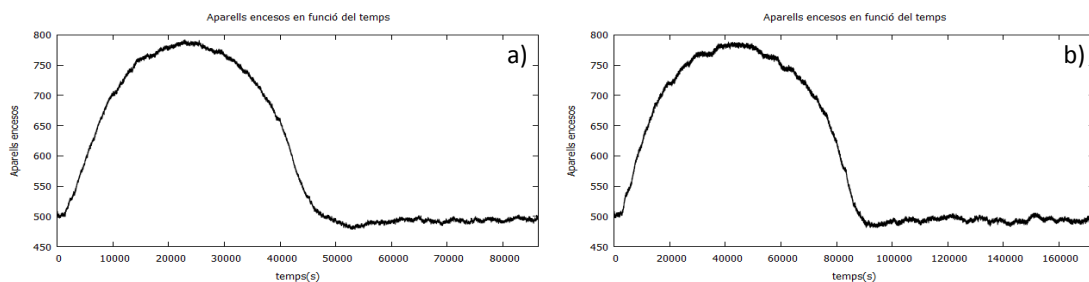


Fig. 7: Representats els aparells encesos amb a) 1 dia i b) 2 dies de període.

Com es pot observar els dispositius en tots els casos segueixen la funció sinus amb la que hem descrit la probabilitat d'encès d'un aparell sense tenir l'augment de període un efecte remarcable. Si comparem la (Fig. 6a) amb la (Fig. 7a) veiem que la baixada que teníem en les tasques queda compensada per l'acció del DDC.

Per la freqüència hem estudiat com es comporten les gràfiques en els casos on el període d'oscil·lació varia d'un a quatre dies per entendre i poder explicar el seu comportament i veure quina tendència segueix a mesura que el període augmenta.

En general s'observa (Fig. 8) que quan canvia la pendent i comença a augmentar P té una disminució en la freqüència com era d'esperar ja que més aparells s'estan encenent que apagant i per tant cada cop és més alta la demanda de potència. Un cop arribat al màxim del sinus la freqüència s'estabilitza durant una estona fins que la pendent torna a canviar abruptament i comencen a disminuir els aparells encesos, és aquí on sofrem un augment en la freqüència degut a la quantitat d'aparells que s'apaguen i la alta potència que tenim. Aquest pic es repeteix a cada oscil·lació com podem veure a (Fig. 9).

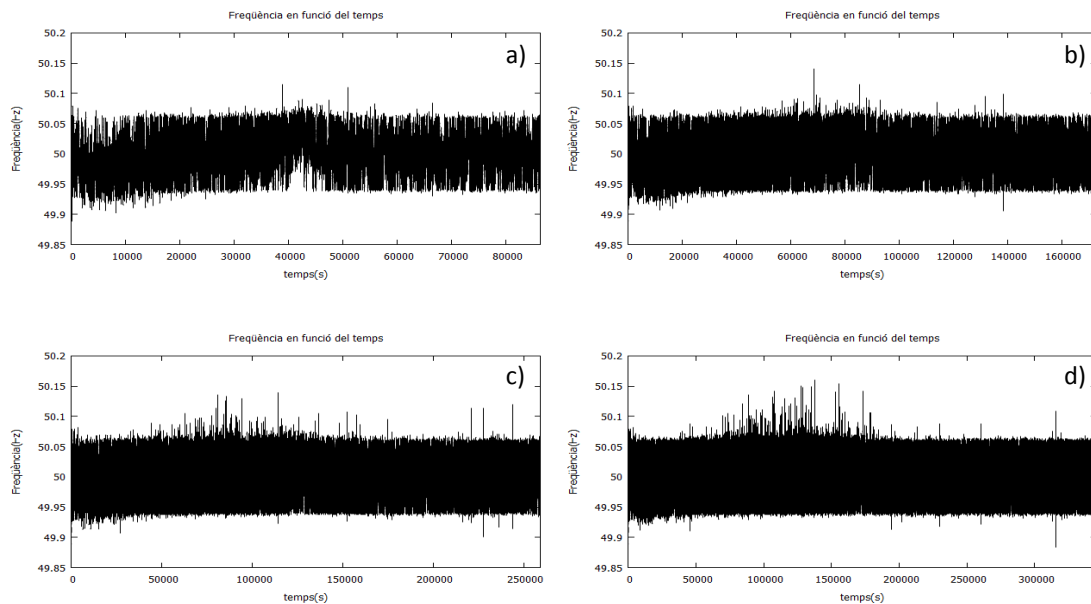


Fig. 8: Freqüència per quatre períodes diferents d'oscil·lació a) 1 dia, b) 2 dies, c) 3 dies, d) 4 dies.

Els esdeveniments puntuals de pics de freqüència (que hem explicat al apartat anterior) s'incrementen a mesura que augmentem el període d'oscil·lació de P arribant a tenir un gran nombre d'esdeveniments per l'oscil·lació de quatre dies (Fig. 8d).

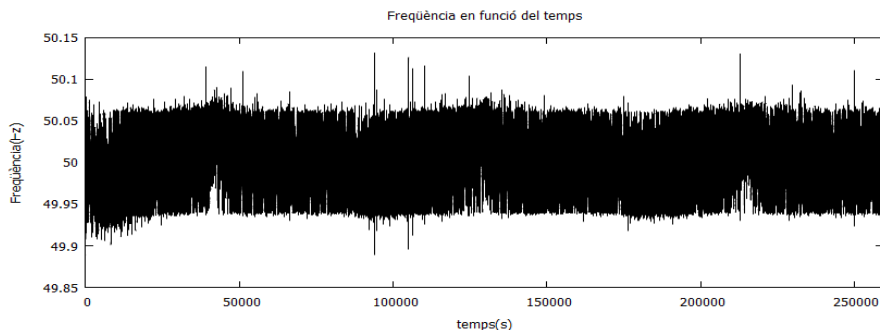


Fig. 9: Freqüència en funció del temps avaluada per a 3 dies amb període d'oscil·lació d'un dia.

Aquest increment es situa on P està al voltant del seu màxim i a la zona on va disminuint cap al valor estacionari de P . Tal augment pot ser degut a que P per grans oscil·lacions canvia

tant poc a poc que sumat al fet de que no hi hagin tasques pendents a recuperar en aquest interval de temps, provoqui que la potència no tingui temps d'adaptar-se i la freqüència del sistema puntualment es dispari quan s'apaguen un grup d'aparells. Aquest segon resultat obtingut ens pot conduir a modificar el paràmetre de ϵ_1 per tal de evitar aquest problema.

Quan mirem les gràfiques en promig (Fig. 10) resulta que a mesura que augmentem el període d'oscil·lació del sistema, la gràfica es situa en els valors que desitgem, valors de la freqüència propers a 50.6 Hz (el nostre límit imposat). Això es deu a que el nostre sistema com mes gran tingui el període d'oscil·lació més pròxim a un cas estacionari es troba.

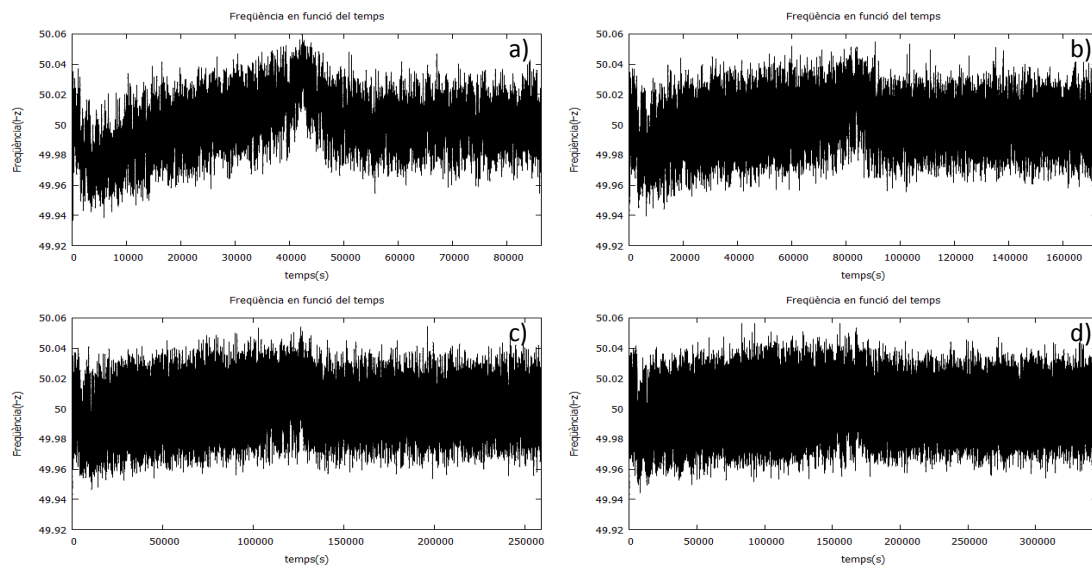


Fig. 10: Representació del promig de 10 mesures de la freqüència per a quatre períodes d'oscil·lació a) 1 dia, b) 2 dies, c) 3 dies, d) 4 dies.

Si poguéssim fer moltes més simulacions de la freqüència veuríem que es dibuixaria una corba amb un mínim de freqüència a la zona on P creix abruptament i un màxim on P està disminuint amb pendent més elevada.

L'últim punt a estudiar són les tasques pendents que emmagatzema el sistema, tan encarregades de gastar energia extra quan hi ha una alta freqüència com d'aturar-se per estalviar quan tenim dèficit.

El primer que hem de mirar és quina tendència segueixen les tasques a mesura que passen els dies per veure quin comportament seguirà. Com es pot veure a la (Fig. 11) avaluat per 20 dies les tasques fluctuen de manera igual cada dia i no sembla que tendixin a acumular-se més del compte a mesura que creix el temps.

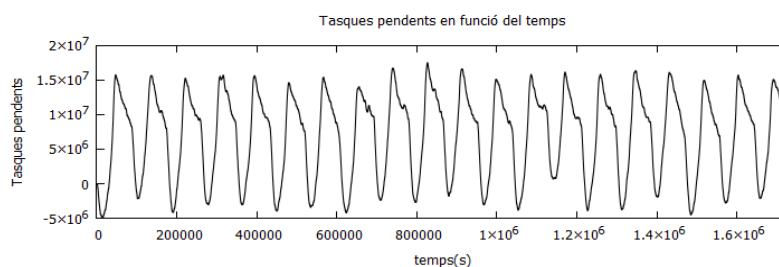


Fig. 11: Tasques pendents en funció del temps per un mapa de 20 dies.

A continuació observarem les tasques pendents per quatre períodes d'oscil·lació que van d'un a quatre dies per veure quin efecte té el període d'oscil·lació a l'hora de les tasques acumulades (Fig. 12).

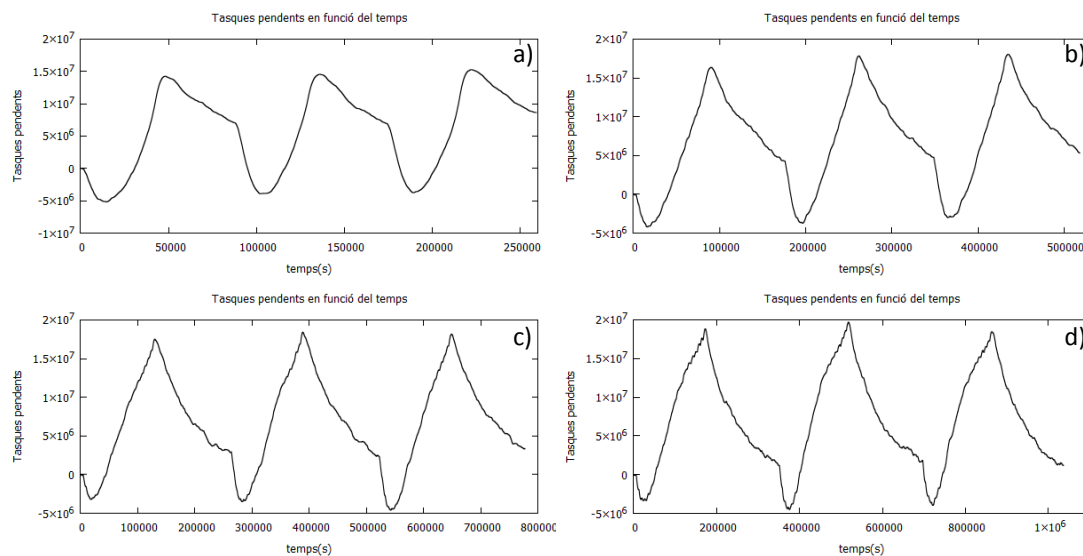


Fig. 12: Evolució de les tasques pendents per simulacions d'un a quatre dies de període a) 1 dia, b) 2 dies, c) 3 dies, d) 4 dies.

Com podem veure quan P creix amb una pendent moderada les tasques pendents tendeixen a acumular-se fins que arribem a la zona on la pendent de P comença a disminuir i estabilitzar-se, en aquest punt es comencen a incrementar fins a un màxim que correspon al punt més baix d'aparells encesos situat a la zona on acaba l'oscil·lació, aquest efecte és ocasionat pel fet que cada cop anem apagant més aparells que encenen-ne i com hem vist, al tenir una bona freqüència el sistema té molts casos on per conveniència no apaga el dispositiu. Després a la zona on P és estacionaria les tasques disminueixen progressivament com passa al cas sense variació de P fins que torna a repetir-se el patró.

L'efecte que esperaríem en les tasques pendents es un augment i disminució simètric, és curiós que s'acumulen moltes més tasques consumint energia que tasques estalviant-ne, en part perquè a la zona on la P s'estabilitza mentre creix ja comencem a gastar energia.

Aquí seria interessant observar el nombre de tasques pendents en valor absolut promig que tenim per veure si al introduir una demanda variable s'ha incrementat l'efecte acumulant més tasques o per contra no hi ha cap variació respecte al cas descrit al apartat anterior.

Per tenir una idea més clara hem representat (Fig. 13) el valor absolut de les tasques pendents promitjades sobre 100 simulacions com a l'apartat anterior. Per motius de falta de potència computacional només he pogut estendre la mesura a dos dies. El valor que obtindrem ens donarà una idea de quantes tasques acumulem respecte al cas estacionari.

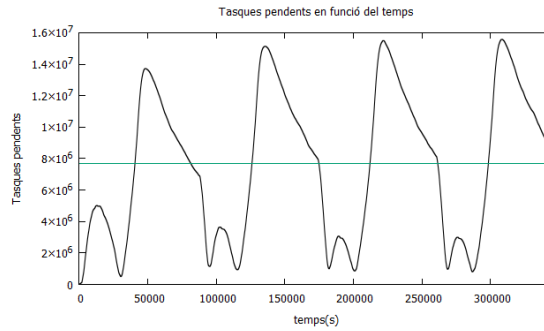


Fig. 13: En negre es mostra l'evolució del valor absolut de les tasques pendents durant quatre dies i en verd es pot observar el valor promig de les tasques pendents acumulades.

Com es pot observar el nombre de tasques pendents està pròxim als 8 milions que suposa unes deu vegades més que al cas estacionari. Per tal d'evitar tanta acumulació a la zona on P canvia podríem provar d'augmentar o disminuir ϵ_1 en aquesta regió per aconseguir-ho controlar millor el gran nombre de tasques que s'acumulen.

Ara estudiarem breument aquests punts anteriors però considerant una modificació de la ϵ_1 a un valor de 0.055 i 0.0525 per la zona on P sofreix variacions. En aquest apartat només mirarem la freqüència i les tasques pendents ja que els dispositius encesos són pràcticament idèntics al cas anterior (Fig.6),(Fig.7) per tant tampoc hi ha molta discussió.

Primerament anem a valorar les simulacions obtingudes per la freqüència per ambdós casos, tant per $\epsilon_1 = 0.055$ com per $\epsilon_1 = 0.0525$ (Fig. 14)

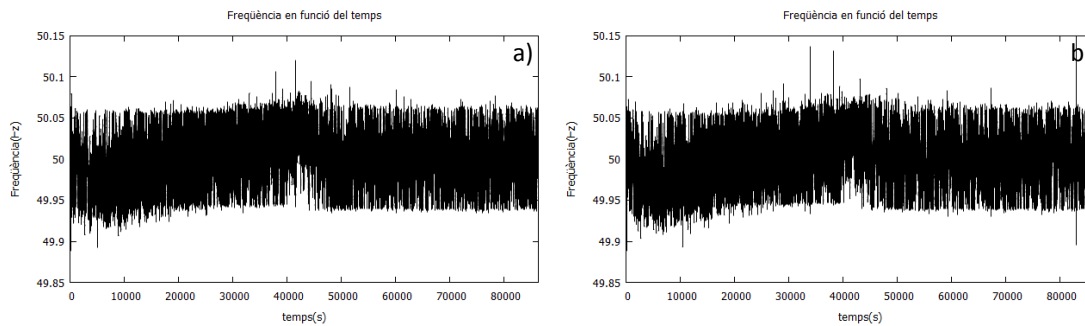


Fig. 14: Freqüència avaluada per a) $\epsilon_1 = 0.055$ i b) $\epsilon_1 = 0.0525$.

Com podem observar a (Fig.14) i comparant amb la (Fig.9a) la freqüència no es veu afectada per una modificació de ϵ_1 ja que en línies generals segueix el mateix patró per aquest valor d'oscil·lació d'un dia.

Al següent apartat mirarem per aquets dos casos de ϵ_1 (Fig. 15) com es modifiquen les tasques pendents i a quin valor tendeix en promig el valor absolut d'elles.

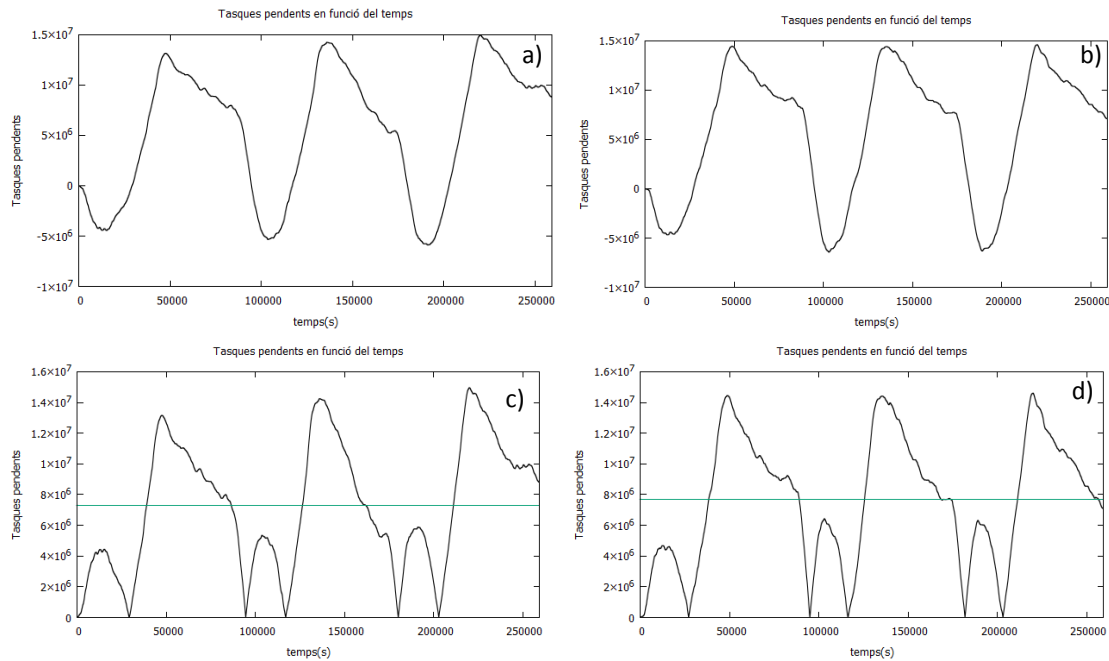


Fig. 15: Perfil de les tasques pendents per casos on a) $\epsilon_1 = 0.055$ b) $\epsilon_1 = 0.0525$ i valor absolut de les tasques c) $\epsilon_1 = 0.055$ i d) $\epsilon_1 = 0.0525$ amb la línia del promig representada en verd per ambdós casos.

Com podem veure a (Fig. 15a,15b) el perfil que segueixen les tasques pendents és similar al cas on la $\epsilon_1 = 0.06$, com també el perfil i la mitjana del valor absolut (Fig. 15c,15d) per tant és possible que haguem de buscar un factor que sigui més decisiu a l'hora de disminuir les tasques.

V. CONCLUSIONS I TREBALL FUTUR:

Hem completat amb èxit la implementació d'un codi Fortran que descriu el comportament de la xarxa elèctrica [3], acoblat amb un model estocàstic [4] que genera un procés aleatori per 1000 dispositius que poden apagar-se i encendre's en qualsevol moment, i hem pogut recuperar la majoria dels resultats publicats a l'article en el qual ens hem basat [1].

Primerament hem comparat els dispositius encesos en ambdós casos (el controlat (Fig. 7) i l'aleatori (Fig. 6) i hem vist els beneficis d'usar el DDC i com redueix les fluctuacions pròpies del renou gaussià, en aquest cas (Fig.6a) s'ha discutit per quin motiu hi ha un descens tan fort en els dispositius encesos, on hem deduït que es deu a la falta de temps del sistema a establir-se per períodes curts d'oscil·lació.

També hem profunditzat en que ocorre quan es modifica la probabilitat d'encès i hem vist que té efectes en la freqüència provocant-li oscil·lacions (tot i el DDC) mentre la pendent tingui un valor alt (Fig.10). Més concretament la freqüència es veu alterada en gran mesura a la zona on P te pendent negativa sobretot per grans períodes, generant molts esdeveniments on la freqüència té pics molt per damunt dels valors acceptats degut a la incapacitat de gastar energia recuperant tasques.

Aquesta modificació té també un efecte en les tasques pendents que sofreixen una oscil·lació i on el seu valor promig és 10 vegades més gran que al trobat al tercer apartat (Fig. 4), (Fig.11). És curiós però el gran increment de potència que sofreix el sistema permet gràcies a tenir una bona freqüència, mentre P disminueix, a gastar molta energia i acumular tasques pendents que després disminueixen progressivament a la zona on P és constant i a la forta pujada que sofreix al principi de la oscil·lació (Fig.12).

Quan hem modificat el valor de ϵ_1 s'ha observat que la freqüència en aquest cas seguia el mateix patró que en el cas anterior i no obteníem una gran millora. Seria interessant treballar amb més profunditat quin és el valor òptim de ϵ_1 .

Hem mirat també com evolucionen les tasques pendents (Fig. 13a,13b) i hem comprovat que el seu perfil és semblant i que no existeix una gran diferència amb el cas on $\epsilon_1 = 0.06$, per assegurar-nos hem fet el promig del valor absolut de les tasques i ens ha donat un resultat molt similar a (Fig. 13c,13d).

Aquests dos apartats que hem treballat són la punta del iceberg de la quantitat de proves i modificacions que podem realitzar al nostre codi. Nosaltres hem escollit dos modificacions per observar com responia el sistema, ara caldria anar provant diferents valors de ϵ_1 fins trobar el valor més adient i que donés les menors fluctuacions a la freqüència i que generés el menor nombre de tasques pendents.

Un possible treball futur es intentar assimilar la nostre funció P a una corba més realista usant els paràmetres de Red Eléctrica Nacional, per tal de poder experimentar amb un cas molt pràctic que pot tenir una gran rellevància i a partir d'aquest perfil anar buscant els paràmetres més indicats.

El principal problema que ens hem trobat a l'hora de realitzar aquest treball ha sigut el temps en que els càlculs tardaven en córrer, així com el temps representant gràficament els resultats degut a la falta de potència.

REFERÈNCIES.

- [1] E.B. Tchawou Tchuisseu, D. Gomila, D. Brunner, P. Colet Effects of dynamic-demand-control appliances on the power grid frequency. Phys. Rev. E 96, 022302 (2017)
- [2] J.A.Short, D.G. Infield, and L.L. Freris, IEEE Trans. Power Syst. 22,1984 (2007)
- [3] H.Saadat Power System Analysis. The Second Edition McGraw-Hill, (2002)
- [4] R.Toral and P.Colet, Stochastic Numerical Methods (Willey-VCH,Weinheim, 2014)
- [5] Juan Carlos Paniagua, Introducció a la programació per a químics, Universitat de Barcelona (1995)
- [6] Numerical recipes in Fortran.