UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Mecànica

RECOLLIDA I APROFITAMENT D'AIGÜES PLUVIALS EN EDIFICIS URBANS MITJANÇANT LA INSTAL·LACIÓ DE ZONES ENJARDINADES

Volum II

Memòria

Autor: Aleix Jaén Suau
Director: Bàrbara Sureda Carbonell
Departament: EGE

Convocatòria: Gener 2017

RESUM

El present treball té com a objectiu estudiar la implantació d'una instal·lació de reaprofitament d'aigües pluvials per a cobrir el consum de les cisternes dels vàters d'un edifici en combinació amb la implantació d'una coberta enjardinada de tipus semi-intensiu. Contextualitzant aquests sistemes respecte les diverses iniciatives que es poden trobar en l'actualitat i realitzant el disseny corresponent.

Per al disseny de la coberta enjardinada es consideren tots els elements: varietats de vegetació, capa drenant, impermeabilització… Al igual que pel disseny i dimensionament de la instal·lació de reaprofitament d'aigua: dipòsit d'emmagatzematge, grup de pressió, filtres, dipòsit acumulador, distribució fins a punt de consum… que es dimensionaran seguint les indicacions del CTE.

S'analitza el comportament del sistema estudiant el rendiment que s'obtindria variant les condicions de precipitació anual, mida de l'edifici, nombre de veïns residents… i variant també el tipus de vegetació de la coberta, observant com es comporta la instal·lació davant aquests canvis.

S'estudia la viabilitat de la implantació del sistema en un seguit de ciutats d'Espanya representatives dels diversos climes presents. Considerant si la implantació és o no viable per a cada cas concret i proposant un seguit d'alternatives en cas que la implantació no fos factible.

Finalment, es consideren també tots els avantatges que suposa la implantació d'aquests tipus de sistemes en una gran ciutat i els beneficis que aporta en l'estalvi d'aigua i la millora del microclima urbà.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo estudiar la implantación de una instalación de reaprovechamiento de aguas pluviales para cubrir el consumo de las cisternas de los váteres de un edificio en combinación con la implantación de una cubierta verde de tipo semi-intensiva. Contextualizando estos sistemas en relación a las distintas iniciativas que se pueden encontrar en la actualidad y realizando el diseño correspondiente.

Para el diseño de la cubierta ajardinada se consideran todos los elementos: variedades de vegetación, capa drenante, impermeabilización… Del mismo modo que para el diseño y dimensionamiento de la instalación de reaprovechamiento de agua: depósito de almacenaje, grupo de presión, filtros, depósito acumulador, distribución hasta el punto de consumo… que se dimensionaran siguiendo las directrices del CTE.

Se analiza el comportamiento del sistema estudiando el rendimiento que se obtendría variando las condiciones de precipitación anual, tamaño del edificio, número de vecinos residentes… i variando también el tipo de vegetación de la cubierta, observando cómo se comporta la instalación frente a estos cambios.

Se estudia la viabilidad de la implantación del sistema en una serie de ciudades de España representativas de los distintos climas presentes. Considerando si la implantación es o no viable para cada caso concreto y proponiendo una serie de alternativas en el caso de que la implantación no fuera factible.

Finalmente, se consideran también todas las ventajas que supone la implantación de este tipo de sistemas en una gran ciudad y los beneficios que aporta en el ahorro de agua i la mejora del microclima urbano.

ABSTRACT

The objective of this project is to study the implementation of a rainwater harvesting system to cover the consumption of the toilet tanks of an entire building combining it with the installation of a semi-intensive green roof. Contextualizing these systems with the wide range of projects which currently can be found and designing the entire system.

On the design of the green roof all the elements have been considered: vegetation varieties, draining system, waterproofing… As well as for the design of the harvesting installation: rainwater storage tank, pump pressure group, filters, bladder accumulator, distribution until the toilet tanks… which is designed following the CTE (Código Técnico de la Edificación).

The behaviour of the system is analysed studying the efficiency obtained when the conditions of the system are changed, such as rainfall values, size of the building, quantity of neighbours… and changing the vegetation variety in the roof, analysing how the system reacts to these changes.

The implementation viability of the system is studied in a group of cities of Spain which represents the wide range of the existing weathers. Considering the viability of the implantation in each case and proposing alternatives in case of the implantation was not feasible.

Finally, all the advantages that supposes the implantation of these systems in a big city are considered, and besides, the benefits provided in the water saving and the improvement in the urban microclimate.

Índex

RESUM I
RESUMEN II
ABSTRACT III
1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS 1
1.1. Introducció 1
1.2. Objectius i contingut del treball 6
2. ESTAT DE L'ART 7
2.1. Instal·lacions de cobertes enjardinades 7
2.1.1. Introducció 7
2.1.2. Característiques 8
2.1.3. Implantació actual de terrats enjardinats 9
2.1.4. Mesures de Govern de l'Ajuntament de Barcelona 11
2.2. Sistemes de reaprofitament d'aigua de pluja 12
2.2.1. Usos de l'aigua de pluja 12
2.2.2. Implantació actual del reaprofitament d'aigua 13
2.2.3. Implantació actual a l'estat espanyol 14
2.3. Sistemes d'estalvi d'aigua a la llar 15
3. SOLUCIÓ ADOPTADA PER AL DISSENY DE LA INSTAL·LACIÓ 17
3.1. Justificació del sistema a implantar 17
3.2. Elements de la coberta enjardinada 18
3.2.1. Secció verda 18
3.2.2. Secció drenant 19
3.2.3. Tela impermeable 21
3.2.4. Col·lectors 22
3.3. Condicionants en l'ús de la coberta verda 23
3.4. Descripció del sistema de recollida i reaprofitament d'aigües pluvials 24
3.4.1. Baixants 24
3.4.2. Filtres 25
3.4.3. Dipòsit d'emmagatzematge 26

3.4.4. Grup de pressió 27
3.4.5. Acumulador hidropneumàtic 28
3.4.6. Alternador d'aigua de pluja i aigua potable 30
3.4.7. Conducció fins al subministrament 30
3.4.8. Vàlvules de retenció i antiretorn i claus de seccionament i buidat 31
3.5. Aplicació de la legislació referent a la Legionel·la 32
4. DIMENSIONAMENT I CÀLCUL DE LA INSTAL·LACIÓ 33
4.1. Descripció de la instal·lació a dimensionar 33
4.2. Dimensionat dels baixants 34
4.3. Dimensionat del dipòsit d'emmagatzematge 35
4.3.1. Rendiment del dipòsit 37
4.4. Dimensionat del grup de pressió 38
4.5. Dimensionat de l'acumulador hidropneumàtic 42
4.6. Dimensionat de les canonades 44
5. ANÀLISI DEL RENDIMENT ENERGÈTIC 47
5.1. Anàlisi segons els rangs pluviomètrics d'Espanya 47
5.1.1. Càlcul del rendiment 48
5.1.2. Estudi genèric per a tots els rangs pluviomètrics 50
5.1.3. Estudi estructural per a tots els rangs pluviomètrics 53
5.1.4. Estudi per al rang pluviomètric 2000 l/m^2 - 1400 l/m^2 57
5.1.5. Estudi per al rang pluviomètric 1400 l/m^2 – 800 l/m^2 59
5.1.6. Comportament de la instal·lació sota precipitacions inferiors a 800 l/m^2 63
5.2. Estudi del tipus de vegetació de la coberta 63
5.2.1. Varietat de gespa Bermuda (Cynodon Dactylon) 63
5.2.2. Varietat de gespa Zoysia sp 64
5.2.3. Varietat de gespa Grama catalana (Stenotaphrum secundatum) 64
5.2.4. Gespa artificial 65
5.2.5. Hort urbà 65
5.2.6. Comparació del rendiment per a diverses varietats de gespa 66
6. IMPLANTACIÓ A DIVERSES CIUTATS D'ESPANYA 68
6.1. Estudi de la implantació a Vigo 70
6.2. Estudi de la implantació a Olot 72
6.3. Estudi de la implantació a San Sebastià 74

6.4. Estudi de la implantació a Barcelona 76
6.5. Estudi de la implantació a Osca 79
6.6. Estudi de la implantació a Valladolid 81
7. IMPACTE AMBIENTAL 83
7.1. Impacte en el microclima urbà 83
7.2. Estalvi d'aigua 85
7.3. Impacte d'un mal funcionament 86
CONCLUSIONS 88
BIBLIOGRAFIA 91
Referències bibliogràfiques 91
Bibliografia complementària 93

1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS

1.1. Introducció

El present treball té com a objectiu analitzar la implantació d'una instal·lació que combina elements de reaprofitament d'aigües pluvials amb la instal·lació d'una coberta enjardinada en edificis urbans. Buscant un doble benefici: l'estalvi d'aigua i contribuir a la millora del clima de les grans ciutats.

A ple segle XXI la contaminació atmosfèrica és una problemàtica global a nivell mundial que afecta especialment a les grans concentracions urbanes. Si bé les ciutats més denses de països en vies de desenvolupament són les que pateixen les pitjors conseqüències, la majoria de ciutats de països desenvolupats també en pateixen els efectes.

A les grans ciutats es produeix un fenomen conegut com a boira fotoquímica, en anglès *smog* (que prové de les paraules *smoke* –fum– i *fog* –boira–). L'smog es produeix per l'oxidació dels contaminants primaris, els produïts per l'activitat de l'home, alhora aquesta oxidació es duu a terme gracies als radicals d'oxigen que apareixen a les reaccions fotoquímiques que tenen com a origen els òxids de nitrogen (NOx). Els NOx i els COVs (compostos orgànics volàtils) que s'originen principalment pel tràfic i processos industrials que cremen combustibles fòssils, en presencia de radiació solar formen ozó troposfèric i d'altres partícules secundaries que produeixen aquest fenomen[1].

Aquesta situació es veu agreujada en períodes anticiclònics, durant els quals les altes pressions impedeixen l'ascensió dels contaminants a les capes més altes de l'atmosfera i que aquests puguin dispersar-se.

Degut a les altes pressions les capes més baixes de l'atmosfera es refreden molt més que les superiors i degut a la falta de vent que afavoreixi la mescla de l'aire, la capa inferior queda atrapada mantenint tots els contaminants a la superfície.

Aquesta boira fotoquímica és molt perjudicial per a la salut de les persones, pot inflamar les vies respiratòries, provoca falta d'alè i dolor al inhalar, produeix irritació als ulls i nas i resseca les mucoses, fet que perjudica la capacitat de l'organisme per a lluitar contra les malalties.

Figura 1. *Ciutat de Barcelona sota període anticiclònic on es pot veure la formació de boira fotoquímica. Font: El Periódico*

Aquesta situació està estretament relacionada amb l'efecte d'illa de calor que pateixen també les grans concentracions urbanes. Consisteix en una acumulació de calor excessiva per part de les grans quantitats de formigó i asfalt que es troben a les ciutats. Aquests materials absorbeixen una gran quantitat de calor durant el dia i l'alliberen durant la nit, augmentant les temperatures mínimes nocturnes. D'altra banda, l'emissió dels contaminants per part de l'home esmentats anteriorment que generen els núvols de contaminació coneguts com a smog atrapen la radiació solar. Els materials com formigó i asfalt absorbeixen la radiació solar d'ona curta i l'emeten amb una longitud d'ona major, que alhora és una freqüència d'ona que queda retinguda per les partícules contaminants en suspensió. Cal tenir present també que els sistemes de refrigeració també contribueixen a aquest fenomen, ja que generen un calor extra i el seu ús es veu incrementat al augmentar les temperatures, fet que genera un cercle viciós.

A tots aquests causants directes de l'increment de la temperatura a les ciutats s'hi han d'afegir dues mancances bàsiques, la falta d'aigua i superfície vegetal. L'absència d'aigua superficial i grans zones verdes a les àrees urbanes implica que es consumeixi menys energia per a la evapotranspiració de les plantes i per tant, aquesta energia no consumida acaba escalfant les capes baixes de l'atmosfera[2].

Aquesta situació produeix grans diferencies en la temperatura de l'aire entre les zones urbanes i les àrees rurals més pròximes. Aquest diferencial de temperatura s'agreuja especialment durant la nit i també en els mesos d'hivern en comparació amb l'estiu, i també amb la falta de vents mínimament forts (més de 20 km/h). En contraposició, aquesta situació augmenta la pluviometria mensual de les ciutats en comparació a les zones rurals més pròximes[3].

Un bon exemple d'aquesta situació climàtica són les ciutats de Barcelona, Madrid i Milà. La precipitació anual a Barcelona[1] (Observatori Fabra) és de 621 mm, però a l'Aeroport del Prat és de tan sols 588 mm, un volum de precipitació un 5,6% inferior per dos punts situats només a 14 km l'un de l'altre. La precipitació mitjana a Madrid (Parque del Retiro) és de 421 mm però a l'Aeroport Madrid-Barajas baixa fins als 371 mm; es tracta d'una davallada del 13,5% per una distància de 12,5 km. I pel cas de Milà[2], la precipitació anual se situa en uns 1013 mm mentre que a Quintosole, una província situada a les rodalies i rodejada de camps de cultiu, té un volum de precipitació de 976 mm, un 4% inferior estant separats només per 7 km.

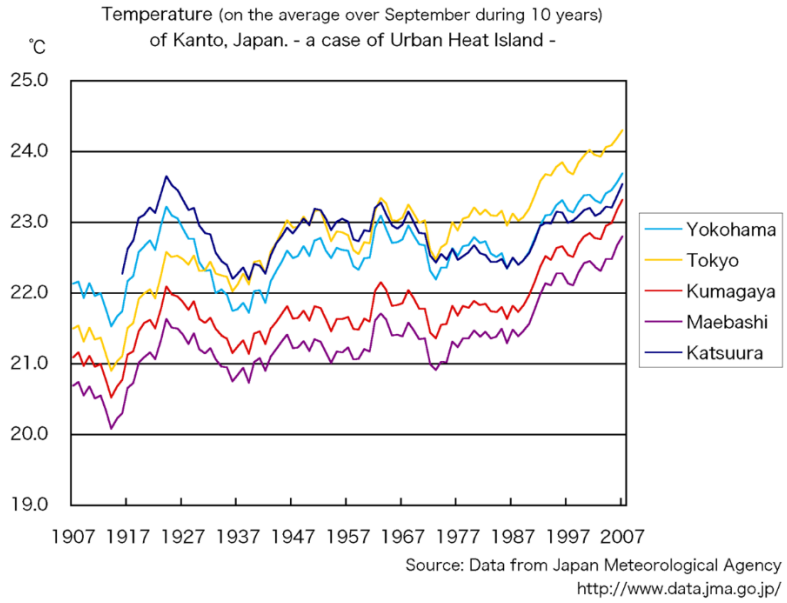

Figura 2. *Increment de temperatura del centre de Tokio respecte les àrees properes. Font: Japan Meteorological Agency www.data.jma.go.jp*

Com s'ha comentat prèviament, un dels objectius principals d'aquest treball és el de contribuir a la millora del clima de les grans ciutats; l'altre és el d'aconseguir un estalvi d'aigua significatiu per a generar consciencia ecològica.

Si bé en els països desenvolupats els ciutadans poden no veure de primera mà les conseqüències que provoca la sequera i la falta d'aigua en el seu dia a dia, aquesta és una problemàtica més greu del que pot arribar a copsar l'opinió pública. Espanya n'és un exemple clar, la sequera és una constant a gran part de la península Ibèrica.

[1] Els valors de precipitació de Barcelona i Madrid s'han extret de l'AEMET

[2] Els valors de precipitació de Milà s'han extret de climate-data.org

Segons un estudi publicat a la revista *International Journal of Biometeorology* liderat pel científic Ernesto Tejedor i investigadors de la Universitat de Zaragoza que radiografia les sequeres a Espanya els últims 318 anys (1694-2012), s'han produït 36 anys extremadament secs per a 28 de molt humits[4].

D'altra banda, Ernesto Rodríguez, cap de l'àrea *d'Avaluació i Modelització del Clima de l'AEMET* (*Agencia Estatal de Meteorologia*), en una entrevista a *EFEVerde* indica que la tendència dels hiverns a Espanya incrementarà la intensitat i duració de les sequeres ja que es preveu que siguin més suaus i amb una reducció del 30% de les precipitacions especialment al sud de la península Ibèrica[5].

A la ***Figura 3*** es mostra l'evolució de l'índex de precipitació normalitzat (SPI en anglès) pels últims tres anys a tota Espanya. Aquest mapa mostra la distribució del diferencial de precipitacions dels últims tres anys, en el qual es pot observar que la pràctica totalitat de la península pateix una reducció de precipitacions generalitzada.

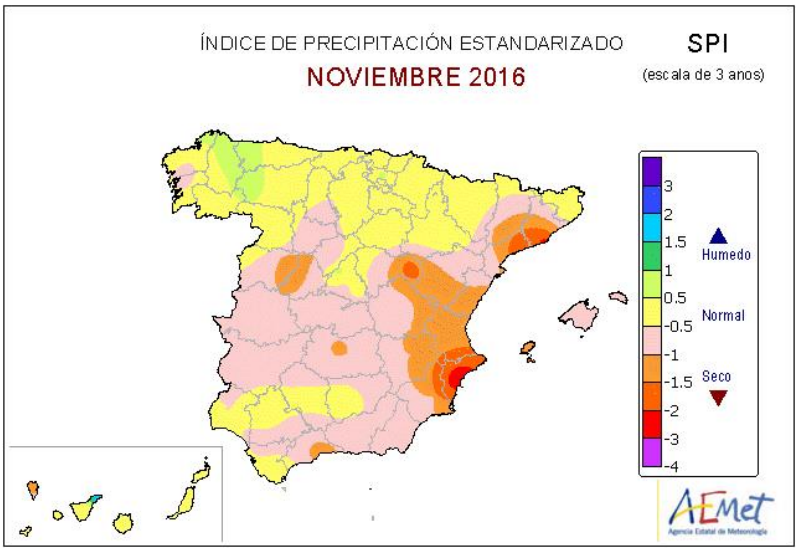

Figura 3. *Distribució de l'índex de precipitació normalitzat per un període de 3 anys a Espanya. Font: AEMET*

Observant la situació climàtica que viu Espanya i les projeccions futures sobre l'evolució de la seva climatologia queda clar que s'encamina cap a un futur proper en el que la mancança severa d'aigua serà una realitat punyent. Tenint present aquesta situació, fóra bo fer una ullada als nivells de consum d'aigua que es registren.

De la nota de premsa de l'INE (*Instituto Nacional de Estadística*) publicada el 4 d'Octubre de 2016 de l'enquesta sobre subministrament i sanejament d'aigua[6] (referida a l'any 2014) se'n pot extreure informació molt rellevant. El volum d'aigua distribuït a les llars fou de 2.238 hm^3 mentre que els sectors econòmics varen consumir 685 hm^3 i pels consums municipals es van usar 291 hm^3. Això representa que un 69,6% del volum d'aigua total distribuït va ser consumit a les llars. Si s'observa el consum mitjà d'aigua a les llars espanyoles l'any 2014 aquest se situa en els 132 litres d'aigua per habitant i dia. Però la dada alarmant és que aquest valor va augmentar un 1,5% respecte el consum registrat per habitant i dia el 2013, que fou de 130 litres.

Sens dubte el pitjor dels escenaris futurs és l'augment de la freqüència de les sequeres en combinació amb un consum unitari d'aigua en creixement. Al mateix temps però la solució a aquesta problemàtica resideix en el gran pes del consum de les llars respecte del volum total d'aigua distribuït. Ja que un lleuger estalvi generalitzat a les llars es traduiria en una lleugera reducció del consum a nivell general de tot el país.

La distribució del consum d'aigua a les llars és, però, molt irregular. En tipologies de llars plurifamiliars intensives –el cas d'un edifici urbà d'habitatges– el consum d'aigua corresponent a la higiene personal (dutxa, lavabo i vàter) suposa el 72% del consum total de la llar.

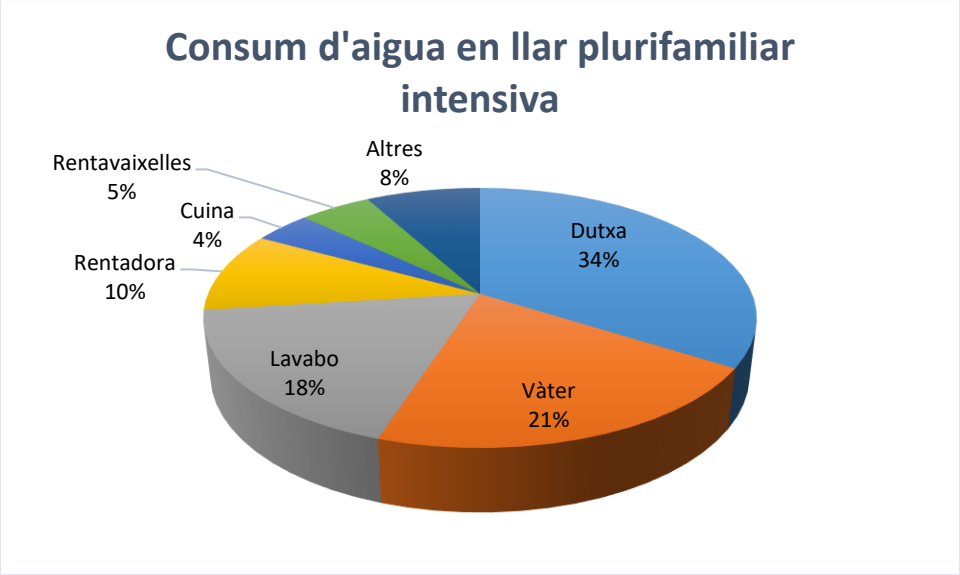

Figura 4. *Distribució del consum d'aigua en una llar plurifamiliar intensiva. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de VVAA [7]*

El consum d'aigua al bany representa més de dues terceres parts del consum total en una llar i, més concretament, només les descàrregues de la cisterna del vàter suposen un 21% del consum total.

Si mitjançant la instal·lació d'un sistema de reaprofitament d'aigües pluvials s'aconseguís cobrir tota la demanda d'aigua de la cisterna amb aigua de pluja, el consum d'aigua potable del vàter es reduiria a 0, fet que permetria aconseguir un estalvi d'aigua de fins al 21% del total.

1.2. Objectius i contingut del treball

El present treball té com a objectiu estudiar la implantació i el comportament d'una instal·lació que es caracteritzi per combinar un sistema de reaprofitament d'aigües pluvials i la instal·lació d'una coberta enjardinada. En la consecució del treball es busca:

- **Donar una visió general** de la situació actual **de la implantació de les cobertes verdes** a nivell europeu i més concretament a Espanya i Barcelona, exemplificant els sistemes emprats en l'actualitat i el suport de les administracions a favor d'aquestes iniciatives.
- Alhora **aportar la mateixa visió general** de la situació actual **en la implantació dels diferents sistemes de recollida i reaprofitament d'aigües pluvials** que s'usen a Europa i més en detall a Espanya i Barcelona, exemplificant també diversos sistemes que s'estan emprant en l'actualitat i les iniciatives per part de les administracions.
- **Donar a conèixer els avantatges i beneficis que genera la implantació de terrats verds** a les grans ciutats, així com els beneficis que pot aportar la instal·lació de sistemes de reaprofitament de l'aigua de pluja.
- **Dissenyar i dimensionar una coberta verda** que acompleixi les necessitats concretes de la instal·lació, justificant els elements seleccionats i donant a conèixer el funcionament d'aquestes cobertes.
- **Dissenyar i dimensionar un sistema de recollida i reaprofitament d'aigües pluvials** per al seu posterior ús en les descàrregues de la cisterna dels vàters de l'edifici. A partir de la selecció i justificació de tots els elements necessaris per a tal instal·lació, realitzant alhora tots els càlculs i dimensionament que s'escaiguin seguint les indicacions marcades pel CTE (Codi Tècnic de l'Edificació).
- **Analitzar el comportament energètic de la instal·lació** en contextos diferents variant el màxim nombre de paràmetres d'entrada possibles. Considerant varis rangs de precipitació, densitat de població, àrea de recol·lecció i estudiant també la implantació de diferents varietats de plantes a la coberta.
- **Estudiar la viabilitat de la instal·lació en diverses ciutats d'Espanya** en funció de les seves característiques climatològiques i aportar alternatives en cas que la implantació no es presenti viable.

La realització d'aquest projecte té, a més, una sèrie de finalitats extra diferenciades dels objectius purament tècnics. Té com a objectiu donar a conèixer els diferents tipus d'iniciatives ecològiques que es poden dur a terme dins d'una ciutat per aconseguir millores generals per a tots els habitants. Aconseguint incrementar la consciència ecològica d'aquests en vers l'estalvi d'aigua i el foment de projectes amb un marcat caràcter ecològic i sostenible. Així doncs, la consecució d'aquest treball busca incrementar la consciencia ecològica del ciutadà de la gran ciutat mitjançant la exemplificació de sistemes i instal·lacions que es podrien implantar per a la millora de l'aire i l'estalvi d'aigua.

2. ESTAT DE L'ART

2.1. Instal·lacions de cobertes enjardinades

2.1.1. Introducció

Una coberta verda o enjardinada es pot entendre com el sostre d'un edifici que està parcial o completament cobert de vegetació. Aquesta vegetació pot estar implantada sobre terra o en algun medi de cultiu apropiat. Necessàriament ha d'incloure algun tipus de membrana impermeable, tot i que també es pot completar la instal·lació amb elements de drenatge i blocatge d'arrels.

El terme coberta verda es refereix per tant, a tecnologies aplicades als sostres a fi de generar un estalvi energètic, és a dir tecnologies ecològiques. També es pot referir però a l'ús d'altres tecnologies verdes en les cobertes com la instal·lació de panells fotovoltaics. Per al nostre cas, el terme coberta verda farà referència únicament a la implantació de vegetació al terrat dels edificis.

Generalment se solen classificar en intensius i extensius, tot i que també es poden considerar els tipus semi-intensius. Aquesta classificació depèn del grau de manteniment del jardí i la profunditat del medi de cultiu emprat. Així doncs, es consideren terrats de tipus intensiu els jardins tradicionals que requereixen d'un gruix de terra considerable i impliquen un alt grau de manteniment en quant a irrigació o adob per exemple, solen ser també cobertes de fàcil accés. D'altra banda, un terrat extensiu requereix un manteniment mínim i les plantes instal·lades es poden conrear amb un gruix de sòl mínim. El cas tractat en aquesta instal·lació és el d'un terrat verd de tipus semi-intensiu ja que està dissenyat per a requerir el mínim manteniment possible al llarg de l'any, reduint al mínim el reg per exemple, però alhora està pensat per a que sigui transitable i de fàcil accés.

2.1.2. Característiques

La instal·lació de terrats verds aporta una sèrie d'avantatges molt significatius a l'edifici i també a la zona urbana en la que se situïn, així com també als habitants que hi visquin, que en seran els principals beneficiaris.

Per a l'edifici, els principals beneficis són:

- Funcionen com a aïllament tèrmic per a la coberta al llarg de tot l'any. Aquesta funció cobra bastanta importància a l'estiu, on la capa de vegetació protegeix dels rajos solars el terrat i disminueix la temperatura dels habitatges situats directament sota la coberta, reduint també el consum d'energia als mesos d'hivern.
- També ajuden en la insonorització com a aïllants acústics per als pisos que estiguin situats sota la coberta.
- Prolonguen la vida del terrat. Segons un informe del Ministeri Federal d'Ordenament d'Espais, Construcció i Urbanisme d'Alemanya[24], la majoria de terrats plans tradicionals presenten els primers danys a partir dels 5 anys de la seva construcció, mentre que un terrat verd pot arribar a presentar una vida útil quasi interminable en comparació a la vida útil de l'edifici. Les capes de vegetació i sòl amorteixen els danys mecànics que pot patir la coberta i redueixen la diferencia de temperatura que aquesta pateix al llarg de l'any. A més a més d'impermeabilitzar la coberta dels raigs UV i gasos provinents d'indústries que causen processos de degradació química.

D'altra banda, ajuden també a la zona urbana on s'implanten:

- Purificació de l'aire. La vegetació genera O_2 i consumeix CO_2, a més a més funciona com a filtre natural ja que filtra la pols i partícules en suspensió que poden ser nocives per a les persones. D'altra banda, també són capaços d'absorbir metalls pesants de l'aire i, per tant, reduir-ne la seva concentració en l'aire.
- Actua també com a filtre de l'aigua de pluja que arrastra les partícules nocives de l'aire i queden dissoltes en aquesta.
- Absorbeixen les pluges i això permet alleugerir els sistemes de clavegueram de les ciutats, reduint el risc d'inundacions.
- Redueix l'efecte d'illa de calor que es produeix a les grans ciutats, on la temperatura al centre d'aquestes pot ser fins a 3 graus superior que a la perifèria en ciutats d'1 milió d'habitants[25]. La radiació solar escalfa les cobertes dels edificis, el que produeix un moviment d'aire calent ascendent sobre els mateixos. Aquest moviment arrastra les partícules de pols dipositades als carrers i terrats i les impulsa cap a l'atmosfera on generen núvols de pol·lució sobre la ciutat. Al implantar terrats verds, les cobertes no augmenten la seva temperatura sota l'efecte de la radiació solar, ja que la vegetació aconsegueix mantenir una temperatura suau i constant i, per tant, s'evita aquest efecte de convecció de l'aire calent reduint-se la temperatura al centre de les ciutats i els núvols de pol·lució generats.
- La vegetació també ajuda a regular i reduir les diferencies de temperatura entre el dia i la nit i també les variacions d'humitat a l'aire.

- Redueixen la superfície pavimentada a les ciutats. Que són un dels principals causants de la mala qualitat de l'aire i el clima de les grans zones urbanes, tal com s'ha explicat anteriorment.
- Augmenten la biodiversitat. Ajuden a mantenir espècies de plantes i animals que d'altra manera no disposarien d'espai suficient per a sobreviure dins d'una gran ciutat.

Aquest tipus d'instal·lacions també tenen impacte directe en la qualitat de vida dels habitants de la zona, a part de les ja comentades millores en la qualitat de l'aire i el clima.

- S'augmenta la quantitat de zones verdes disponibles per a l'esbarjo dels habitants, estant aquestes molt més properes als veïns ja que se situarien en la majoria dels casos en els mateixos edificis.
- Les plantes instal·lades als terrats generarien aromes agradables per als veïns.
- A més a més són estèticament agradables, generen una imatge de natura en mig de la ciutat.
- I contribueixen al bon estat d'ànim i relaxació de les persones.

Cal tenir presents però, certes consideracions respecte alguns contres dels terrats verds:

- No es poden instal·lar a totes les cobertes d'edificis ja existents. Si bé no hi ha cap problema en la implantació d'aquest tipus de terrats en edificis de nova construcció, adaptant el disseny d'aquest a les necessitats de les cobertes enjardinades; en edificis ja existents pot aparèixer la problemàtica que estructuralment la coberta no estigui preparada per a suportar el pes d'un terrat verd. Aquest tipus d'instal·lació poden suposar una càrrega mínima d'uns 150 kg/m^2 extres a la coberta.
- Si bé ajuden a mantenir la biodiversitat, també comporten l'aparició d'insectes. Tot i no ser un inconvenient com a tal, per a certes persones pot no ser agradable i acabar sent molest.

2.1.3. Implantació actual de terrats enjardinats

El concepte de terrats verds no és una idea revolucionaria del segle XXI, si s'observa el passat, es pot descobrir que els habitants dels països escandinaus porten usant terrats de gespa en les seves cabanyes i granges des de fa segles[8].

Si bé la instal·lació d'aquesta vegetació en terrats de forma deliberada amb la finalitat de mantenir un cultiu és molt recent, aquesta tendència va donar els primers passos quan a Alemanya es van desenvolupar les primeres instal·lacions a la dècada de 1960 i ara s'han difós internacionalment. Avui en dia, es calcula que un 10% dels terrats a Alemanya són verds[9]. Alguns països europeus, especialment del nord d'Europa, estan creant iniciatives per fomentar l'ús dels terrats verds a partir de lleis o associacions.

Per exemple, recentment s'ha creat una federació europea anomenada *European Federation of Green Roof Associations* que promou la instal·lació d'aquest tipus d'instal·lacions a fi de reduir els efectes del canvi climàtic i pal·liar la falta d'espais verds a les grans ciutats. Els països membres d'aquesta federació són: Alemanya, Itàlia, Holanda, Àustria, Suïssa, Hongria, Regne Unit, França, Bèlgica, Polònia, República Txeca, Portugal, Dinamarca i Suècia[10].

Les iniciatives governamentals són clau per al desenvolupament i implantació d'aquests tipus de terrats, i un exemple n'és el govern francès. Recentment, el parlament gal ha aprovat una llei que obliga, d'ara en endavant, a que els terrats dels edificis que es construeixin en zones comercials estiguin coberts, parcial o completament, de plantes o arbres o, sinó, de panells solars. Es tracta del primer país del mon en crear una legislació d'aquest tipus.

Un bon exemple del que es pot arribar a aconseguir amb la instal·lació de terrats verds en edificis urbans es pot observar en l'edifici de l'Ajuntament de Chicago. On es va instal·lar un terrat verd de tipus sem-extensiu que aconsegueix reduir la temperatura de la coberta entre 14º i 44º els dies més calorosos en comparació amb altres edificis de la ciutat amb cobertes convencionals[11].

A Espanya però, la implantació i foment d'aquest tipus de terrats és molt incipient i quasi nul·la en comparació amb la resta d'Europa, tot i que a nivell particular es poden trobar alguns exemples aïllats d'implantació d'aquest tipus d'instal·lacions. Per exemple, el terrat del complex financer del Banc Santander a Madrid és el terrat verd més gran d'Europa, amb una superfície aproximada de 100.000 m^2 que combina instal·lacions intensives i extensives[12]. Com a mostra de la implantació d'aquests terrats en edificis públics trobem la Biblioteca municipal Zona Nord de Nou Barris a Barcelona.

Figura 5. *Terrat verd de la Biblioteca Municipal Zona Nord a Barcelona. Font: ajuntament.barcelona.cat/biblioteques/bibzonanord/ca/canal/qui-som*

2.1.4. Mesures de Govern de l'Ajuntament de Barcelona

L'Ajuntament de Barcelona a l'Octubre de 2014 va aprovar la *Mesura de Govern per a impulsar TERRATS VIUS I COBERTES VERDES a Barcelona*[13]. Que juntament amb la *Guia de terrats vius i cobertes verdes* publicada el Desembre de 2015, suposen un impuls en l'ús i implantació d'aquest tipus d'instal·lacions.

En aquesta mesura de govern es detalla que el 67% de les cobertes a la ciutat de Barcelona són terrats accessibles i, per tant, susceptibles de ser transformats en terrats verds. També indica que el 20% de les cobertes presenten característiques òptimes per a l'aprofitament solar. Sota aquesta mesura de govern, l'Ajuntament impulsa una sèrie d'actuacions per desenvolupar una millora ambiental i social de les cobertes verdes. Aquest objectiu es vol aconseguir facilitant ajuts econòmics per a la rehabilitació i la renaturalització de la coberta, oferint al ciutadà documentació i suport tècnic. Pretén promoure, a més, la revisió de les normatives actuals, mesures de finançament directe o indirecte, l'edició de material didàctic sobre cobertes i terrats, i l'habilitació d'un mapa interactiu online amb geolocalització de les cobertes existents, entre d'altres mesures. Al document de la Mesura de Govern es detalla com es poden promoure les cobertes verdes i quins beneficis aporten, a més a més d'indicar els tipus d'ajuts i subvencions relacionats amb la promoció d'aquestes instal·lacions.

Aquesta mesura no només pretén promoure la implantació de cobertes verdes sinó també l'ús en general dels terrats a la ciutat. D'entre les accions que es detallen per a promoure'n l'ús, en destaca l'obligació per als nous edificis municipals que la coberta tingui un ús públic i aquesta sigui enjardinada o inclogui solucions per a l'eficiència energètica. Cal destacar també, que tots aquells edificis que rebin una subvenció per a la rehabilitació energètica o renaturalització del terrat disposaran d'una identificació en la façana que indiqui la contribució de l'edifici en la millora ambiental de la ciutat. Si bé aquesta última no és una acció que ajudi directament a la implantació d'aquests sistemes si que genera una consciencia social dins els veïns de la ciutat en relació als beneficis de les cobertes verdes.

Si bé aquesta mesura de govern està bastant enfocada en la implantació i promoció dels terrats verds en edificis de titularitat municipal, la *Guia de terrats vius i cobertes verdes* està pensada per apropar la implantació d'aquests sistemes a la iniciativa privada i especialment particular. Aquesta Guia ajuda a l'usuari a identificar quin tipus de terrat verd és el més indicat segons les seves necessitats dins de tot el ventall d'instal·lacions que es poden realitzar, així com quins passos hauria de seguir per a realitzar-se el projecte.

Les ajudes municipals per als projectes d'enjardinament de la coberta podran cobrir fins a un 50% del cost total del mateix, fins a un topall màxim de 60.000€.

Aquestes mesures, tot i suposar un gran impuls per a la promoció dels terrats verds a la ciutat, estan a anys llum de les iniciatives que s'estan duent a terme a altres ciutats del mon per part dels respectius governs municipals. I de simples recomanacions i indicacions a seguir haurien de transformar-se en requisits obligatoris per a qualsevol edifici sigui d'iniciativa pública o privada, com en les respectives legislacions de la ciutat de Paris o Suïssa, on ja és requisit indispensable en qualsevol obra nova que les cobertes disposin d'algun tipus de terrat verd.

2.2. Sistemes de reaprofitament d'aigua de pluja

2.2.1. Usos de l'aigua de pluja

Una instal·lació de reaprofitament d'aigües pluvials pot tenir finalitats molt diverses i la complexitat del sistema a implantar dependrà de les necessitats que es pretenguin cobrir amb la instal·lació.

A grans trets, l'ús que es pot donar a l'aigua pluvial es classifica segons on es reutilitzi:

- Exterior de l'edifici: Per aquesta aplicació l'aigua de pluja no sol requerir de cap tractament previ al seu ús. En aquesta categoria l'aigua es pot reaprofitar pel rentat de terres, de vehicles i pel rec de zones enjardinades. Solen ser les instal·lacions més senzilles ja que requereixen de menys elements i per tant, acaben sent les més accessibles econòmicament. L'estalvi que es pot aconseguir en aquestes instal·lacions pot ser molt significatiu, especialment en cases unifamiliars amb jardins relativament extensos o de grans necessitats hídriques.
- Interior de l'edifici: Per a la majoria dels usos que se li pot donar a l'aigua de pluja a l'interior de l'edifici, aquesta necessitarà ser tractada i filtrada especialment per al seu ús. Si bé per al rentat de terres o per a la descàrrega de cisternes del vàter no requeriria de cap tractament especial, per al seu ús en rentadores o rentavaixelles si que requeriria d'un major filtratge a fi d'evitar problemes d'obstruccions als aparells que l'utilitzessin i per assegurar que l'aigua emprada per aquesta neteja fos prou neta.
- Usos industrials: Els edificis industrials, degut a la seva naturalesa constructiva, solen disposar de grans àrees de recol·lecció d'aigua de pluja. En una industria, els usos generals pels quals es pot reaprofitar l'aigua pluvial solen ser el rec de les zones enjardinades, la neteja de superfícies i vehicles industrials i per al dipòsit d'emmagatzematge d'aigua contra incendis. Si bé també es pot reutilitzar per a les necessitats d'aigua concretes de cada industria, tenint en compte però que depenent de la finalitat d'aquesta aigua, aquesta s'haurà de tractar a consciència.

Cal tenir present que el reaprofitament de l'aigua de pluja es una forma de reciclatge d'aigua, però que n'hi ha d'altres. El reciclatge d'aigües grises, provinents de dutxes i lavabos, i el d'aigües negres, que provenen de la cuina i clavegueram són les altres opcions per al reciclatge d'aigua. Ara bé, el tractament de totes aquestes aigües no genera aigua potable, fet que requeriria tractaments molt complexos i cars; per aquest motiu es recomana sempre que sigui reaprofitada per a la neteja i el rec, ja que requeriria d'un tractament més senzill.

Independentment del tipus d'aigua que es pretengui reciclar, aquest sistema d'aigua requerirà sempre d'un circuit hidràulic separat al de l'aigua potable per motius de salubritat. Per tant, la implantació d'aquest tipus d'instal·lacions es recomanable en edificis de nova construcció degut a les obres que requeriria la instal·lació dels diferents circuits hidràulics.

2.2.2. Implantació actual del reaprofitament d'aigua

Hi ha indicis que la recollida i reaprofitament d'aigües pluvials dels terrats es remunta fins a més de 3.000 anys enrere. A dia d'avui arreu del planeta, i especialment en zones rurals, es practica la recollida d'aigües pluvials com a font d'aigua potable i per a ús domèstic. Impulsat també com a mesura d'estalvi degut a la cada cop més creixent falta d'aquest recurs hídric.

Actualment, les iniciatives per al reaprofitament d'aigua de pluja arreu d'Europa es deuen bàsicament a l'alt preu d'aquest recurs i a la consciencia ecològica que s'ha generat en la societat al llarg dels últims anys. Al igual que en el cas de la implantació de terrats verds, els països del nord d'Europa són els abanderats en la promoció d'instal·lacions per al reaprofitament d'aigües pluvials. El país referent en la implantació d'aquesta tecnologia a Europa és Alemanya.

Gràcies a l'estricta normativa referent a l'aigua potable a Alemanya[23], la pluja s'utilitza per a la descàrrega de vàters, el rec de jardins i el rentat de la roba. Totes aquelles persones que a la seva llar utilitzin aquests sistemes de reaprofitament queden exemptes de pagar certes taxes anuals referents a descarregar l'aigua de pluja als drenatges de la ciutat. A més a més, les institucions ajuden econòmicament a tothom qui decideixi instal·lar aquest sistemes. A totes aquelles propietats que enviïn l'escorrentia directament al drenatge local del municipi se'ls hi cobra un impost especial[14]. Amb aquestes mesures s'impulsa la recol·lecció d'aigua per evitar que aquesta es descarregui als sistemes de desguàs locals, alleugerint la càrrega d'aigua que aquests han d'afrontar. Aconseguint doncs, una rebaixa en els impostos al convertir les zones impermeables de l'edifici en zones de recol·lecció.

D'altra banda, també s'ha impulsat des de fa anys el reaprofitament d'aquest recurs de forma col·lectiva. Dins del pla de re desenvolupament urbanístic a Berlín de l'any 1998, a Potsdammer Platz[23] es van instal·lar sistemes de captació d'aigua de pluja que recullen l'aigua que cau dels terrats i s'emmagatzema en un gran dipòsit soterrat de 3.500m^3. Aquest volum d'aigua és reaprofitat posteriorment per al rec de jardins (incloent cobertes verdes), la descàrrega de vàters i el subministrament a estancs artificials. Aquest sistema permet controlar les inundacions urbanes que es poden produir en episodis de pluges torrencials, a més de reduir l'abocament d'aigües contaminades als rius i contribuir a millorar el microclima de la ciutat.

En altres països, especialment d'Europa de l'Est, s'està incrementant l'interès en l'aprofitament de les aigües pluvials. És el cas de República Txeca, Eslovàquia, Polònia i Hongria. On els sistemes de recol·lecció per a les llars no són gaire comuns degut al baix preu de l'aigua, tot i així, les ajudes dels respectius governs en la implantació està contribuint a que s'aprofiti la tecnologia que es desenvolupa a Alemanya. Ja que el nivell tecnològic i mediambiental d'aquests països no és el mateix que el de la resta d'Europa.

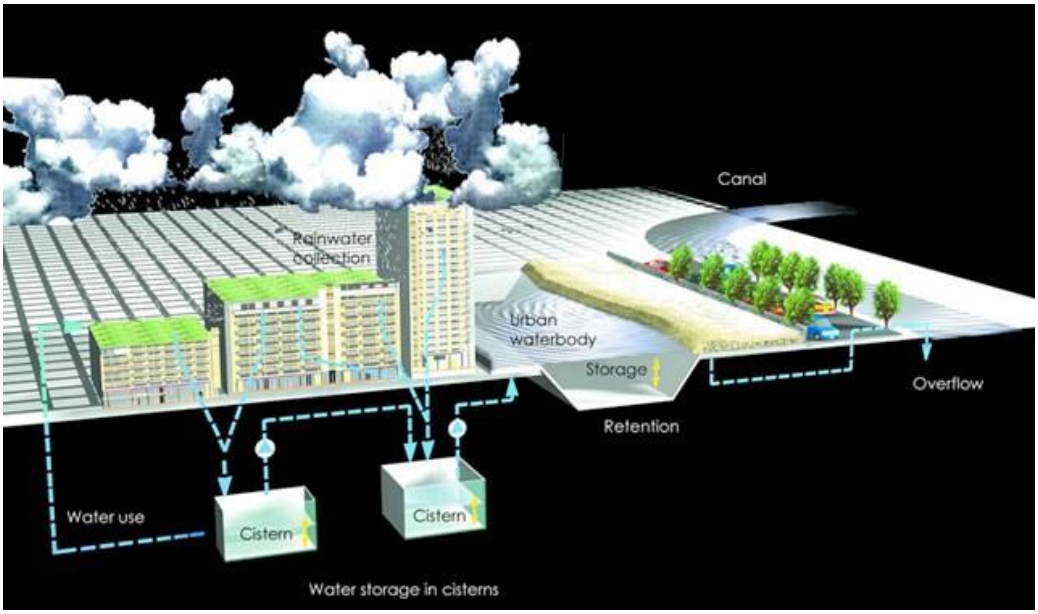

Figura 6. *Sistema de recol·lecció de Potsdammer Platz a Berlín. Font: www.dac.dk/en/dac-cities/sustainable-cities/all-cases/water/berlin-water-creates-a-vibrant-cityscape*

2.2.3. Implantació actual a l'estat espanyol

Al igual que en el cas de les cobertes verdes, al territori espanyol no existeix una clara política de promoció dels sistemes de reaprofitament de l'aigua de pluja per part de les diverses administracions públiques.

Si bé hi ha una manca clara d'iniciativa i foment públics, hi ha certes iniciatives privades. L'any 2016 s'ha editat la revisió de la *Guía técnica de aprovechamiento de aguas pluviales en edificios[15]*. Editada per *Aqua España*, la Asociación Española de Empresas de Tratamiento y Control de Aguas. Es tracta d'una guia que facilita la informació tècnica sobre la gestió i reutilització d'aigües pluvials provinents de cobertes i terrasses, a més d'aportar criteris de disseny, dimensionat i elecció dels diversos components de la instal·lació.

La implantació de sistemes de recol·lecció i reaprofitament d'aigües pluvials a Espanya es redueixen únicament a iniciatives privades, degut precisament a la falta d'una legislació referent a la promoció d'aquests sistemes. S'ha de tenir present a més a més, que aquesta implantació no és gens present a les grans ciutats, limitant-se la instal·lació d'aquests sistemes en cases unifamiliars o de tipologia constructiva similar.

Tot i que pot semblar una contradicció, les iniciatives de recol·lecció d'aigües pluvials a les grans ciutats són essencialment d'iniciativa pública (sobretot municipal). Aquestes sistemes que s'implanten a les grans ciutats però, no tenen com a objectiu el reaprofitament de l'aigua a nivell individual a les llars dels habitants. Aquestes iniciatives es redueixen a la instal·lació de dipòsits d'aigües pluvials sota els carrers per amortir el volum d'escorrentia en cas de precipitacions torrencials. Aquest volum d'aigua acumulat als aljubs pluvials en la majoria dels casos no es reutilitza i es deixa anar pausadament cap al sistema de clavegueram amb l'objectiu de netejar-lo.

Un exemple d'aquest tipus d'instal·lacions és el Dipòsit de regulació d'aigües pluvials i residuals situat al subsòl del carret Taulat, a la ciutat de Barcelona. És el primer d'aquests dipòsits construït a Barcelona, que complementa la protecció urbana davant inundacions degudes a grans aiguats amb la millora mediambiental de la qualitat de l'aigua de les platges del litoral barceloní. Té un volum de 51.000 m^3 però l'aigua aquí emmagatzemada en cap cas es reaprofitarà ni se li donarà cap segon ús que no sigui el de regular el cabal d'escorrentia i evitar l'abocament de residus al mar[16].

Figura 7. *Interior del dipòsit pluvial del carrer Taulat. Font: www.clabsa.es*

2.3. Sistemes d'estalvi d'aigua a la llar

A més dels sistemes de reaprofitament d'aigües pluvials que es poden implantar als edificis i que proporcionen un estalvi d'aigua en substituir l'aigua potable per aigua pluvial, també es pot aconseguir un estalvi en el consum d'aigua a partir d'implantar sistemes i elements que directament redueixin el consum. Es tracta dels dispositius economitzadors d'aigua.

D'aquests dispositius n'hi ha varis tipus que compleixen funcions lleugerament diferents en funció d'on s'instal·lin, però els principals serien[17]:

- Perlitzadors o difusors: S'instal·len a la sortida d'aixetes de lavabos, bidets, cuines i dutxes; redueixen el cabal d'aigua que entrega l'aixeta i alhora compensa aquesta disminució afegint aire al flux d'aigua. Generalment estan dissenyats per a treballar a baixes, mitges i altres pressions i alguns models aporten un estalvi de fins a un 60% d'aigua. Hi ha models específics depenent de si es tracta d'aixetes de lavabo, dutxa, cuina, etc. I poden arribar a estalviar quasi 20 litres d'aigua per minut (en el cas d'aixetes de dutxa).
- Reductors de cabal: Si bé els perlitzadors es poden considerar elements reductors de cabal ja que aquesta és una de les seves funcions, els dispositius purament reductors de caudal tenen la funció de disminuir el cabal entregat per l'aixeta. Se solen instal·lar entre la clau de pas i l'aixeta i permeten obtenir estalvis de fins a un 60% d'aigua al igual que els perlitzadors. Hi ha models diferents segons el tipus d'aixeta en la qual es vulguin instal·lar.

- Limitadors de descàrrega i emplenament de cisternes: Els limitador d'emplenament és un dispositiu de descàrrega que disposa d'un tub de sobreeixidor regulable. Podent-se regular així el volum d'aigua que es vol que entri a la cisterna. Els limitadors de descàrrega són elements propis de les cisternes economitzadores, en les quals depenent del temps que es prem el botó de descàrrega, la cisterna entregarà més o menys volum d'aigua.

En general són elements que es poden implantar en instal·lacions hidràuliques ja existents sense la necessitat de la substitució de les aixetes o cisternes per unes de noves. Ara bé, al mercat també es troben aixetes, cisternes i dutxes considerades economitzadores de base, sense la necessitat d'instal·lar-los-hi cap element dels anteriorment mencionats. Es tracta per exemple de les cisternes de vàters de baix volum (de 4,5 a 6 litres) i que a més solen disposar de doble polsador de descàrrega que entrega parcial o totalment el volum d'aigua de la cisterna.

S'ha de destacar que a la legislació catalana es classifica tota l'aixeteria ecològica disponible al mercat. El Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya sota la Resolució MAH/1603/2004 del 21 de Maig (actualitzada a Setembre 2016)[22] estableix els criteris mediambientals que es posen com a requisits per a que qualsevol producte disposi del distintiu de garantia de qualitat ambiental, que per aquest cas, es tractaria dels productes i sistemes que afavoreixin l'estalvi d'aigua. Concretament els productes que poden rebre aquest distintiu es classifiquen en: aixetes i elements de dutxa, limitadors de cabal, vàters, dispositius que estalvien aigua al vàter i altres sistemes que afavoreixen l'estalvi d'aigua.

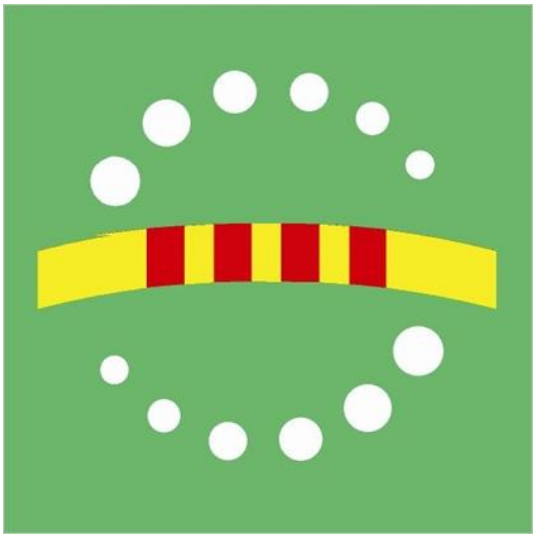

Figura 8. *Distintiu de garantia de qualitat ambiental. Font: Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya*

3. SOLUCIÓ ADOPTADA PER AL DISSENY DE LA INSTAL·LACIÓ

3.1. Justificació del sistema a implantar

El sistema que es vol implantar és una combinació dels sistemes de recol·lecció i aprofitament d'aigües pluvials i de cobertes verdes. Combinant així els avantatges de cadascuna d'aquestes instal·lacions i generant un sistema més ecològicament sostenible.

La inclusió d'una coberta verda en la instal·lació redueix considerablement el volum d'aigua de pluja que es pot recol·lectar però a canvi genera un impacte molt positiu per a la ciutat. Si bé redueix l'eficàcia del sistema i, per tant, es podria considerar que produeix un impacte negatiu en l'aprofitament d'aigua de l'edifici, genera més beneficis per al conjunt de la societat ajudant a mitigar l'efecte d'illa de calor i contribuint a millorar el microclima de la ciutat. En resum, té un cert impacte negatiu en l'edifici però un impacte molt més positiu per a la resta de la ciutat.

Per a no perdre la possibilitat de gaudir de la coberta al instal·lar el terrat verd, s'opta per una coberta de tipus semi-intensiva, que permet el trànsit sobre ella però que combina les varietats de plantes que requereixen menys necessitats de rec, podat i sembrat i, per tant, se'n redueix el manteniment a nivells propers als d'una coberta extensiva. Tenint a més, unes necessitats hídriques molt baixes, fet que permetrà reaprofitar al màxim possible l'aigua de pluja. Combinant així els avantatges de les dues varietats de coberta verda.

D'altra banda, es dimensiona la instal·lació per a que cobreixi la demanda de les cisternes dels vàters de tot l'edifici degut al volum d'aigua disponible. Implantant el terrat enjardinat, el volum de precipitació que es pot recol·lectar és equivalent al consum d'aigua per part de les descàrregues de les cisternes dels vàters. Intentar dimensionar el sistema per a que cobrís la demanda de, per exemple, altres electrodomèstics com la rentadora generaria una manca de volum d'aigua que el sistema no podria aportar amb la recol·lecció pluvial.

També es podrien integrar a la instal·lació sistemes per al reaprofitament i tractament d'aigües grises o negres, per així aconseguir un estalvi d'aigua molt més significatiu. Però això suposaria la implantació de sistemes de tractament d'aigües bastant complexos que encaririen significativament el cost total de la instal·lació. Cal tenir present a més, que la inclusió d'aquests sistemes trencarien el concepte essencial d'aquest projecte, que és el de generar un estalvi d'aigua a partir del reaprofitament únicament de l'aigua de pluja.

Finalment, per a contribuir a l'estalvi d'aigua i fer el sistema el més eficient possible també s'inclouran dins de l'execució del projecte, la instal·lació de cisternes de baix consum (de 4,5L) que ajudin a reduir la demanda d'aigua de tot l'edifici.

És important remarcar que, degut a la naturalesa del projecte, aquest pot englobar-se dins el pla per a impulsar els terrats verds a la ciutat de Barcelona, ja que disposa d'una coberta enjardinada que compleix els requisits especificats per les autoritats municipals. Si bé no requereix del finançament i ajuts que atorga l'Ajuntament perquè no es tracta d'una reforma, és un projecte que comparteix les línies a seguir per al impuls d'aquest tipus de cobertes i que, per tant, no desentona sinó que acompanya als projectes que s'estan desenvolupant a la ciutat de Barcelona.

3.2. Elements de la coberta enjardinada

El terrat enjardinat és l'element bàsic diferenciador d'aquesta instal·lació. Si bé la instal·lació d'acumulació d'aigua és indispensable per a un correcte desenvolupament de les seves funcions, el sistema d'enjardinat és l'element més visual i el que afegeix un concepte extra a la recol·lecció d'aigua tradicional. Per aquest motiu s'ha tingut especial cura alhora del disseny d'aquesta part de la instal·lació, posant especial èmfasi en la part visual.

Per a la instal·lació d'una zona enjardinada al terrat d'un edifici urbà que sigui capaç de recol·lectar aigua s'ha optat per una solució híbrida entre elements naturals i artificials. El disseny està dividit en diverses capes, algunes d'elles de materials completament naturals i d'altres d'industrials. Aquest sistema per capes permet sumar les capacitats i beneficis de cada element, eliminant les mancances individuals de cada un d'ells.

Cada element de la instal·lació compleix una funció específica i ben diferenciada dels demès materials, podent-se agrupar en[18]:

3.2.1. Secció verda

La primera és la secció verda, formada pel sòl o medi de creixement i la gespa o vegetació adient. La capa de terra té un espessor de 15 cm i la seva funció essencial és la d'actuar com a medi de creixement per a la vegetació que s'implantarà en tota la superfície del terrat. Aquest espessor permet retenir una quantitat suficient d'aigua per a la vegetació i absorbir la força de les petjades de qui hi camini per sobre sense comprimir-se en excés. Cal tenir en compte que aquest espessor va lligat a la membrana geotèxtil que s'utilitzi, en aquest cas el model utilitzat limita el gruix màxim en 20 cm.

La selecció del tipus de vegetació és essencial per a un bon funcionament de tota la instal·lació. La vegetació a plantar s'ha d'escollir en funció de la zona geogràfica on s'implanti la instal·lació i les seves condicions climàtiques. Si es vol realitzar la instal·lació en una regió prou humida i plujosa, es pot usar vegetació que necessiti més aigua per a sobreviure i créixer. En canvi, si es vol instal·lar a una regió molt més seca i calorosa, caldrà fer una acurada selecció de la vegetació que es vol usar i decantar-se per aquella que requereixi de baixes quantitats d'aigua per a sobreviure i poder créixer. Així doncs, es recomana sempre usar vegetació pròpia del territori, que sempre estarà més adaptada al medi que no pas les espècies foranies.

Cal tenir en compte però un detall important alhora d'escollir el tipus de vegetació: la profunditat de les seves arrels. Si bé la membrana geotèxtil limita el gruix màxim de terra que es pot col·locar, la vegetació en limita el gruix mínim. Així doncs s'ha de tenir en compte quina profunditat tenen les arrels de la vegetació que escollim per a que la capa de terra no sigui insuficient. Ja que es podrien produir problemes de creixement d'arrels en zones no desitjades que podrien generar perforacions a les diverses capes aïllants de la coberta.

Fer una mala elecció de la vegetació pot encarir enormement la instal·lació i fer-la molt menys eficient. Si s'escull una varietat de plantes que es caracteritzin per un arrelat profund, es necessitarà més gruix de terra que obligarà a usar una membrana geotèxtil més resistent i per tant més cara i alhora reforçar tota l'estructura de la coberta per a que pugui suportar l'increment en el pes. D'altra banda, la capa de terra retindrà més aigua de la desitjada i aquesta no podrà ser drenada i reaprofitada per a us personal.

3.2.2. Secció drenant

La secció verda està instal·lada sobre la secció drenant. Aquesta fa la funció de recol·lectar un mínim d'aigua per a donar-la progressivament a la vegetació quan aquesta la necessiti i alhora drenar l'aigua sobrant per al seu reaprofitament posterior. Per a aquesta tasca s'ha escollit el sistema *DRENTEX IMPACT GARDEN*. L'element bàsic que realitzarà la funció de drenatge és la membrana geotèxtil. És un sistema drenant que es comercialitza en forma de membrana de nòduls de poliestirè perforat (HIPS) en combinació amb dues cobertes de geotèxtil de propilè. Primer s'instal·la la capa protectora (una de les dues cobertes geotèxtils de propilè) que exerceix de base per a la membrana drenant i alhora la protegeix, actuant a més com a capa anti-arrels, impedint així el creixement no desitjat d'aquestes cap a les membranes aïllants. Sobre aquesta s'instal·la la membrana de nòduls de poliestirè, els nòduls s'encarreguen de conduir i evacuar l'aigua sobrant. I per sobre d'aquesta membrana es col·loca la coberta de propilè que actua com a filtre d'aigua i impedeix que la terra pugui arribar als nòduls i taponar-los. Aquest sistema té una gran resistència a la compressió i està adaptat per al seu ús en cobertes d'ús intensiu. No patirà doncs, cap deformació al transitar-hi persones per sobre.

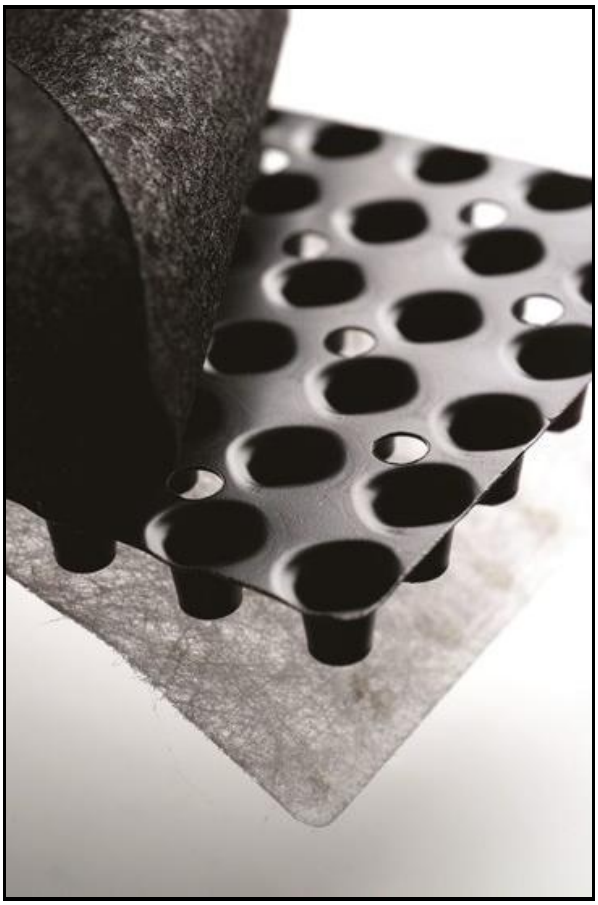

Figura 9. *Sistema drenant DRENTEX IMPACT GARDEN. Font: www.texsa.es*

S'escull aquest sistema de drenatge de l'empresa *TEXSA* ja que aporta les següents característiques:

- Està fabricat amb materials reciclats, fet que ajuda a cuidar el medi ambient i manté tota la línia ecològica del projecte.
- Es tracta d'una solució combinada que es comercialitza com un conjunt de tres lamines diferents (filtrant, drenant i protectora) que en millora el rendiment ja que estan dissenyades per treballar en conjunt, facilita la instal·lació i redueix costos tant de muntatge com de preu de venta. A diferencia d'altres alternatives del mercat que es comercialitzen per separat i afegeixen complexitat en la instal·lació, incrementant-se el cost final.
- Pot instal·lar-se en cobertes enjardinades extensives tan com intensives ja que suporta grans esforços de compressió que es podrien generar pel trànsit sobre ella o la instal·lació d'espècies vegetals relativament pesades com arbres o arbusts. Té una resistència a la compressió a un 10% de deformació de 700 kPa.
- La seva capacitat de reserva d'aigua és molt similar a les necessitats hídriques de les varietats de plantes autòctones que s'instal·larien. Això permetria que s'acumulés únicament el volum d'aigua necessari per alimentar la vegetació, evitant tenir volums d'aigua retinguts molt superiors als demandats per les plantes i que reduiria el reaprofitament d'aigua posterior de la instal·lació.

Al mercat es poden trobar diverses alternatives al sistema seleccionat. Una d'elles és el sistema integral *Urbanscape* de l'empresa *Knaufinsulation*, aquest sistema però presenta dos inconvenients pels quals s'ha descartat la seva selecció: Es tracta d'un solució integral en la qual es comercialitza la membrana anti-arrels, el drenatge, el medi de creixement i la vegetació en forma de gleva tot en conjunt, sense possibilitat de variar la vegetació. L'altre gran inconvenient és la capacitat de retenció d'aigua, que entre la capa de drenatge i el medi de creixement pot arribar a ser de 40 l/m^2. Aquest sistema retindria massa aigua de pluja i no hi hauria volum disponible per al seu reaprofitament.
La major part de la resta d'alternatives es basen únicament en sistemes de drenatge sostenible per a cobertes NO enjardinades o sistemes varis que es limiten a la impermeabilització.

3.2.3. Tela impermeable

Sota aquest sistema cal instal·lar una làmina impermeable que aïlli tot el sistema de drenatge de la resta de la coberta. Aquesta tela s'estén per tota la coberta i pels elements verticals que la delimiten fins a una altura superior a la terra que es col·loca a la part superior de la instal·lació. Prèviament a la instal·lació de la làmina impermeable, cal aplicar una capa d'imprimació a tota la superfície sobre la qual s'estengui la làmina a fi de millorar la l'adherència d'aquesta. Tan la membrana impermeabilitzant com la imprimació s'obtindran del mateix proveïdor per evitar incompatibilitats.

Com a acabat purament visual i per a que la tela impermeable no quedi a la vista, es pot emmarcar tota la vegetació amb una petita zona de grava que perfili tots els elements verticals que delimiten la coberta.

La inclinació que ha de tenir la coberta per a poder evacuar l'aigua cap als col·lectors és la mateixa que si es tractés d'una coberta transitable tradicional.

Cal tenir en consideració que el sistema en conjunt no requereix canviar en gran mesura el disseny d'una coberta transitable tradicional. Així doncs, els demés elements de la coberta són els tradicionals i el seu disseny no és l'objecte d'aquest projecte.

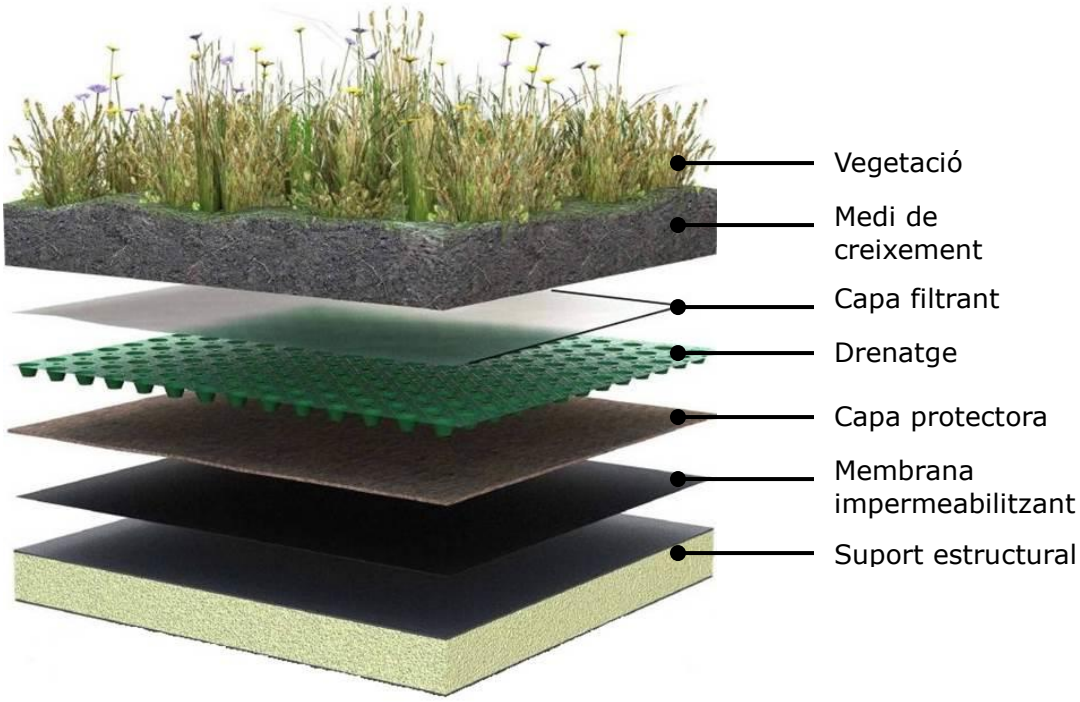

Figura 10. *Composició de la coberta verda. Font: www.pinterest.com i elaboració pròpia*

3.2.4. Col·lectors

Finalment, cal disposar per tota la coberta un sistema de col·lectors d'aigua de la pluja (desaigües) que siguin capaços d'absorbir tot el cabal de pluja que es pugui generar en les pitjors situacions, tals com aiguats torrencials relativament freqüents al nostre clima.

S'optarà per la disposició de desaigües que estaran situats sota tota la instal·lació prèvia, és a dir, quedaran completament coberts per les diferents capes drenants i de terra, i per tant, no estaran accessibles. Per aquest motiu caldrà protegir-los de possibles obstruccions emprant reixes que evitin la obstrucció i el pas de qualsevol tipus d'element no desitjat. És un detall molt important ja que cal evitar que partícules de terra puguin dipositar-se al dipòsit d'aigua pluvial provocant contaminació o obstrucció dels seus filtres.

Les cassoletes que s'empraran per protegir els desaigües s'instal·laran solapant-se sobre la membrana impermeabilitzant i fixant-les a les mateixes, per assegurar la estanqueïtat del conjunt.

Figura 11. *Cassoleta amb para gravetes. Font: www.texsa.es*

3.3. Condicionants en l'ús de la coberta verda

- Per a la vegetació:
  - Usar varietats pròpies del territori que s'adaptin millor a les condicions climàtiques de la regió on es realitzi la instal·lació, posant especial èmfasis en les necessitats hídriques.
  - Seleccionar varietats que tinguin arrels no molt profundes. En cas contrari caldria incrementar el gruix de sòl emprat, usar membranes geotèxtils més resistents a la compressió i reforçar l'estructura de la coberta, fet que incrementaria el cost de la instal·lació.

- Per a la terra:
  - Seleccionar terres que no siguin excessivament fines ni, pel contrari, excessivament gruixudes. Un medi de creixement massa fi no retindria prou aigua per a la vegetació i aquesta podria quedar afectada durant les èpoques més seques. D'altra banda, escollir una terra massa gruixuda provocaria que aquesta retingués molta més quantitat d'aigua en la superfície i aquesta no es pogués emmagatzemar per al seu ús personal. Es perdria eficiència del conjunt.
  - Cal tenir molta cura alhora d'usar compostos químics per al creixement de la vegetació. L'aigua de la pluja se'ls emportaria fins al tanc d'emmagatzematge i podria afectar als filtres i fer l'aigua inservible per al seu ús. Els compostos químics de creixement poden contaminar l'aigua.

- Per a la membrana drenant:
  - La primera capa geotèxtil ha de ser permeable per a permetre el pas de l'aigua fins a les capes inferiors però alhora ha de ser capaç de retenir la terra evitant que aquesta pugui obstruir la membrana drenant o els desaigües.
  - La membrana drenant ha de tenir una gran resistència a la compressió. Podent suportar el pes de la terra i el trànsit de persones.
  - Cal que el gruix màxim de terra que pugui suportar sigui major a la longitud de les arrels de la vegetació. En cas contrari, si la profunditat del sòl fos insuficient, les arrels podrien perforar greument les membranes i/o no tenir prou espai per al seu creixement, fet que afectaria negativament a la vegetació.
  - L'última capa ha de ser capaç de parar l'avanç de les arrels a zones més profundes però sent permeable al mateix temps.
- Per a la tela impermeable:
  - Aquesta s'ha d'instal·lar també per a tots els elements verticals que delimitin la zona enjardinada fins a una altura superior al nivell del medi de creixement.
- Per als desaigües:
  - Aquests cal que disposin de reixetes per a evitar un possible pas de graves provinents del medi de creixement.

3.4. Descripció del sistema de recollida i reaprofitament d'aigües pluvials

De les dues instal·lacions en les que està dividit el projecte, aquesta segona és la més complexa. Les seves funcions consisteixen en emmagatzemar l'aigua de la pluja per al seu posterior reaprofitament i distribuir-la fins als aparells de consum. En aquest cas concret, el sistema s'ha dissenyat i dimensionat per a que cobreixi la demanda de les cisternes dels vàters de tot un edifici.

Ha d'assegurar unes condicions sanitàries de l'aigua que roman emmagatzemada i d'altra banda ha de complir unes condicions de distribució (pressió, caudal) concretes per al òptim funcionament del sistema. A continuació es defineixen tots els elements del sistema d'emmagatzematge i distribució d'aigua[15].

3.4.1. Baixants

Un cop l'aigua de la pluja és absorbida per la capa de vegetació i drenada per les capes geotèxtils, aquesta discorre fins els col·lectors que, a la seva vegada, la dirigeixen als baixants.

Els baixants canalitzen l'aigua de la pluja des de la coberta de l'edifici fins a desembocar al dipòsit d'emmagatzematge. Es tracta de baixants pluvials, és a dir, són baixants completament separats dels residuals ja que no recullen cap tipus de cabal més que el de la pluja. Això implica que les aigües residuals de l'edifici mai es barrejaran amb les aigües pluvials als conductes dels baixants.

Per a aquesta instal·lació es farà ús de canonades per a evacuació sèrie "B" de PVC. Aquest tipus de canonades està dissenyat per a la evacuació d'aigües residuals a l'interior de l'estructura dels edificis, essent insonoritzada i, en el cas concret seleccionat, és resistent també al foc.

3.4.2. Filtres

Si bé la capa de vegetació ajudarà parcialment a filtrar l'aigua de la pluja de les impureses que pugui contenir, cal un filtre que pugui filtrar correctament l'aigua. Aquest element s'encarregarà d'eliminar les impureses pròpies que pugui tenir l'aigua de pluja i també tots els sediments o restes de terra que hagi pogut arrossegar la pluja al infiltrar-se a través de la capa de vegetació.

Tot i que aquesta aigua de pluja que s'emmagatzemarà no és apte per a consum humà cal que sigui filtrada ja que les seves impureses poden fer malbé els diferents elements de la instal·lació i produir problemes de funcionament com bloquejar vàlvules o augmentar la corrosió, d'entre d'altres.

El filtre s'instal·larà al final de la conducció del baixant, just abans d'entrar al dipòsit d'emmagatzematge, en una zona on quedi fàcilment accessible. Es tracta d'un filtre auto-netejant que acumula els residus en una cambra inferior i posteriorment els elimina sense interrompre el flux d'aigua. Per aquest motiu és necessari que disposi d'una connexió de desguàs pròpia. Està dissenyat per suportar a una pressió màxima de treball 16 bar i fins un cabal de fins a 12 m^3/h.

Figura 12. *Filtre Cillit - Claropur RF 2". Font: www.cilit.com*

3.4.3. Dipòsit d'emmagatzematge

El dipòsit és l'element de la instal·lació on s'emmagatzemarà l'aigua de la pluja recollida. Cal usar un dipòsit de característiques tècniques em consonància amb el fluid que acumularà, seleccionant-ne un específic per a aigua (de pluja). En el nostre cas es tracta d'un dipòsit de poliestirè que no patirà els efectes de la corrosió que podria patir si fos metàl·lic i que resistirà les pressió que pugui generar el volum d'aigua quan estigui ple. Es tracta d'un dipòsit de superfície horitzontal (si manqués espai es podria enterrar) d'una capacitat de 20.000 litres. Al tractar-se d'un dipòsit de tanta capacitat, és aconsellable que sigui horitzontal i no vertical, ja que un dipòsit vertical de tal capacitat hauria de tenir una altura molt considerable que produiria una altura (pressió) d'aigua excessiva. El volum del dipòsit s'ha calculat en relació a la demanda d'aigua i la quantitat de pluja recollida segons la pluviometria. El càlcul i dimensionat pertinent es troba detallat a l'**apartat 4**.

L'aljub se situarà al soterrani de l'edifici per no generar problemes d'espai, i junt amb la resta d'elements de la instal·lació estaran confinats en un habitacle separat. El dipòsit disposarà d'una entrada d'aigua anti-turbulències situada a una cota lo més baixa possible. Entrant al dipòsit horitzontalment i baixant verticalment per tal de no remoure l'aigua emmagatzemada.

L'interior estarà dividit en dues seccions per una paret amb una altura equivalent a la meitat del dipòsit aproximadament. Aquesta divisió permet generar dues cambres: a la primera és on se situa l'entrada d'aigua i on es produirà la sedimentació, i la segona des d'on el sistema d'impulsió succionarà l'aigua. Aquesta divisió permet eliminar moviments interns del fluid que poden generar cops de pressió elevada al tanc i facilita el seu manteniment i neteja ja que concentra els sediments a la meitat del dipòsit.

A la segona cambra s'instal·larà una sortida sobreeixidor amb sifó per on s'evacuarà l'excés d'aigua cap al desguàs. El sifó evitarà que puguin entrar gasos del clavegueram dins el dipòsit. A més a més, just abans de la connexió de la canonada de sortida amb el desguàs, i fora del compartiment del dipòsit, se situarà una vàlvula antiretorn d'aigües freàtiques que impedirà el retorn d'aigües no desitjades, olors del desguàs general, així com l'entrada de petits rosegadors a la instal·lació.

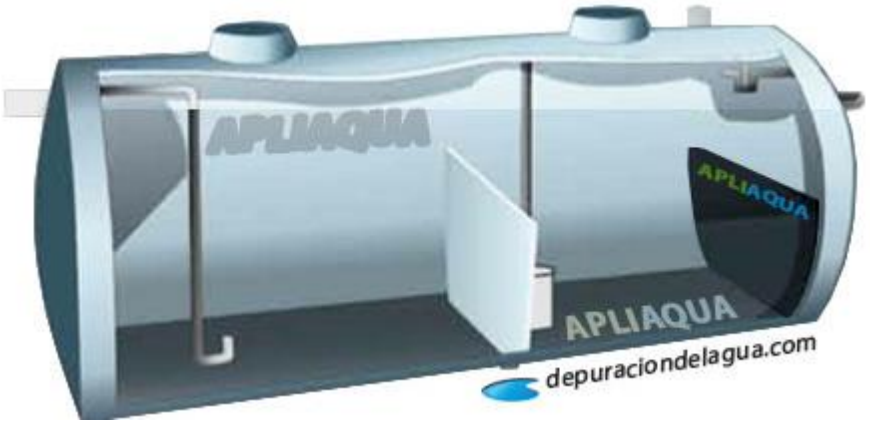

Figura 13. *Dipòsit d'aigües pluvials amb separació interna. Font: depuraciondelagua.com*

3.4.4. Grup de pressió

Degut a que el dipòsit d'emmagatzematge està situat al soterrani de l'edifici, l'aigua no tindrà pressió per arribar fins als punts de subministrament per si sola. Per aquest motiu, caldrà instal·lar un grup de pressió que generi la pressió suficient que asseguri una correcta distribució de l'aigua fins als punts de consum.

El grup de pressió consistirà en dues bombes de prestacions idèntiques que estaran muntades en paral·lel i treballaran de forma alterna. A més d'una tercera, també amb les mateixes prestacions, però que romandrà aturada i només s'activarà en cas de fallada d'alguna de les altres dues.

El *Código Técnico de la Edificación (CTE)* defineix dos tipus de grups de pressió:

"El grupo de presión debe ser de alguno de los dos tipos siguientes:

a) convencional, que contará con:
   i. depósito auxiliar de alimentación, que evite la toma de agua directa por el equipo de bombeo;
   ii. equipo de bombeo, compuesto, como mínimo, de dos bombas de iguales prestaciones y funcionamiento alterno, montadas en paralelo;
   iii. depósitos de presión con membrana, conectados a dispositivos suficientes de valoración de los parámetros de presión de la instalación, para su puesta en marcha y parada automáticas;

b) de accionamiento regulable, también llamados de caudal variable, que podrá prescindir del depósito auxiliar de alimentación y contará con un variador de frecuencia que accionará las bombas manteniendo constante la presión de salida, independientemente del caudal solicitado o disponible. Una de las bombas mantendrá la parte de caudal necesario para el mantenimiento de la presión adecuada." (CTE DB-HS4, 2006)

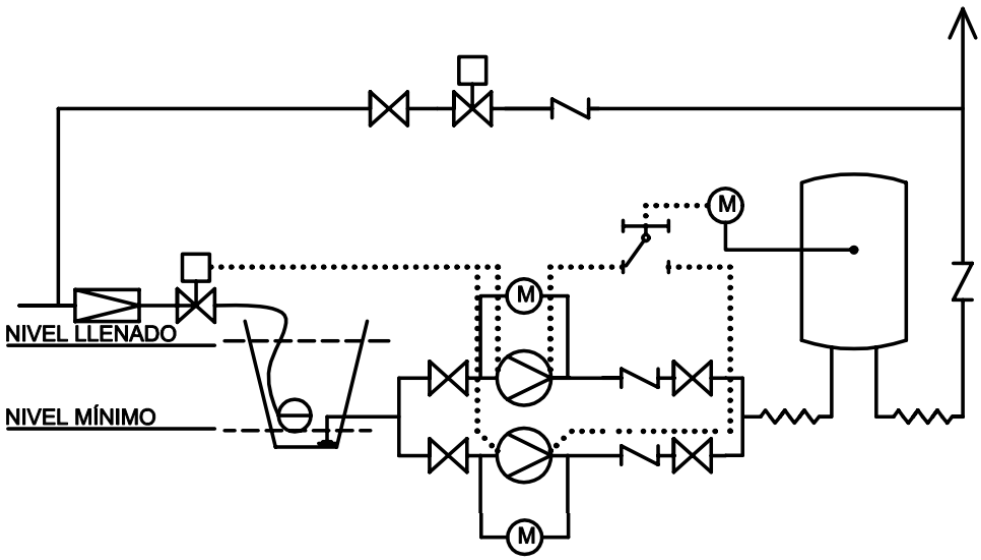

Figura 14. *Esquema hidràulic general d'un grup de pressió convencional segons el CTE BS-HS4. Font: CTE BS-HS4*

Per a aquesta instal·lació s'ha escollit un grup de pressió convencional, també anomenat de velocitat fixa, per la seva simplicitat en front dels grups de pressió de cabal variable. Aquests grups de cabal variable estan recomanats per a instal·lacions on és essencial mantenir sempre una pressió constant i fan ús de variadors de freqüència per diferenciar la velocitat d'una bomba respecte de l'altre. Una de les bombes s'encarrega d'assegurar el cabal requerit i l'altre de mantenir la pressió. Com aquesta instal·lació no requereix mantenir la pressió dins unes toleràncies molt reduïdes, sinó que permet lleugeres variacions, s'opta per a la instal·lació d'un grup de velocitat fixa que a més de ser més assequible, castiga menys les bombes.

En aquest cas, el dipòsit d'emmagatzematge d'aigua de pluja fa la funció de dipòsit auxiliar d'alimentació, d'on el grup de bombes aspirarà l'aigua. El sistema que s'emprarà per a captar l'aigua de la cisterna serà un captador de succió flotant que es connectarà a la boca d'aspiració del grup de pressió.

El dispositiu de succió flotant consisteix en una boia unida a una vàlvula antiretorn. Per la seva banda, aquesta vàlvula s'ha de connectar al tub d'aspiració del grup de bombes. Així s'aconsegueix que l'aigua s'aspiri des de la part superior del dipòsit, evitant que s'aspirin partícules sedimentades al fons de l'aljub.

Figura 15. *Grup de pressió de dues bombes sèrie NOVAPRESS. Font: www.ebara.es*

3.4.5. Acumulador hidropneumàtic

Per tal d'evitar que el grup de pressió s'activi contínuament i per tant les bombes estiguin funcionant sense interrupció, s'instal·la un acumulador hidropneumàtic. Es tracta d'un dipòsit situat a la canonada d'impulsió del grup de bombes que actua com a dipòsit de pressió.

Figura 16. *Acumulador hidropneumàtic 220 AMR-PLUS. Font: www.ibaiondo.es*

Aquest dipòsit esta separat en dues parts per una membrana, en una d'elles s'introdueix aire a pressió i en l'altre la bomba del grup de pressió injecta l'aigua. Quan la pressió arriba a la cota de treball designada, el sistema para la bomba i la pressió a l'interior de l'acumulador es manté constant. Quan hi ha demanda d'aigua a l'edifici, la pressió interior empeny aquesta cap als punts de consum.

Al mateix moment, la pressió de l'aire empeny la membrana que, alhora, impulsa l'aigua cap a les zones de consum. Quan la pressió de l'aigua de l'acumulador baixa per sota d'uns nivells preestablerts, el pressòstat torna a activar la bomba i el cicle es repeteix. Usant aquest sistema, les bombes es castiguen molt menys, ja que acumulen menys hores de treball i això beneficia directament el manteniment i durada del grup de pressió.

El volum de l'acumulador hidropneumàtic estarà sobredimensionat per assegurar el subministrament d'aigua en cas d'emergència, per exemple, una fallada elèctrica a tot l'edifici.

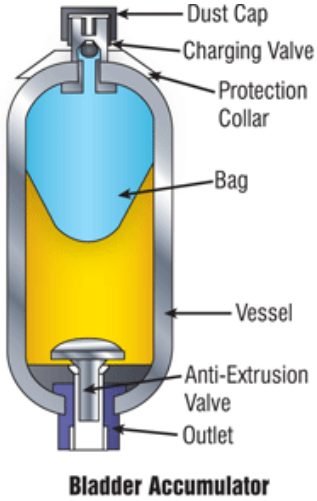

Figura 17. *Elements de l'acumulador hidropneumàtic. En blau, bossa d'aire; en groc, cambra d'aigua. Font: www.machinerylubrication.com*

3.4.6. Alternador d'aigua de pluja i aigua potable

En el cas que el sistema no sigui capaç de cobrir tota la demanda d'aigua a la qual està destinat, en aquest cas les cisternes dels vàters, caldrà complimentar la distribució d'aigua amb una entrada d'aigua potable de la xarxa. Per aquesta finalitat, s'instal·larà una electrovàlvula de 3 vies just després de la sortida de l'acumulador hidropneumàtic i prèviament a les canonades de distribució.

Aquesta vàlvula tindrà dues entrades: una d'aigua de pluja, provinent de l'aljub acumulador; i una altre entrada de l'aigua potable de la xarxa. I una sortida que estarà connectada a la canonada principal de distribució. La vàlvula sempre estarà en la posició d'entrada d'aigua provinent del dipòsit acumulador ja que l'objectiu d'aquesta instal·lació és aconseguir un estalvi d'aquesta a partir del reaprofitament de l'aigua de pluja. No obstant, si el nivell d'aigua del dipòsit d'emmagatzematge disminueix per sota del nivell mínim, la vàlvula commutarà a la posició de pas de l'aigua de la xarxa per assegurar el subministrament a tots els habitatges.

3.4.7. Conducció fins al subministrament

Aquesta és la part final de la instal·lació, i és l'encarregada de distribuir l'aigua per al consum des de la vàlvula selectora fins als punts de consum a cada habitatge. Cada habitatge disposarà d'un muntant individual d'aigua potable i un de comú per a l'aigua de pluja, a fi de reduir la longitud total de la instal·lació i alhora el valor de les pèrdues que es produirien. Tant uns com els altres discorreran per la mateixa secció vertical de l'edifici a fi de facilitar-ne l'accés i el manteniment. Un cop a l'interior de l'habitatge, el recorregut de la canonada d'aigua de pluja serà paral·lel al de l'aigua potable fins arribar a les cambres humides, on la canonada amb aigua de pluja connectarà amb la cisterna del vàter.

Per als muntants i les derivacions individuals s'han seleccionat canonades multicapa. S'ha escollit aquest tipus perquè combina els avantatges de les canonades de coure i les de plàstic tradicional, alguns d'aquests avantatges són:

- Són més barates que les canonades de coure.
- Són d'instal·lació senzilla ja que tenen una gran capacitat de curvatura en fred i a més mantenen la forma que se'ls hi hagi donat sense haver de fixar-les amb reforços.
- Resisteixen altes pressions de fins a 10 kg/cm^2 a 95ºC.
- Tenen una dilatació longitudinal pràcticament igual que les canonades de coure, a diferencia de la resta de canonades de plàstic.
- No requereixen d'una cambra de aire per a dilatar-se.

Figura 18. *Canonades multicapa. Font: www.pipex.es*

3.4.8. Vàlvules de retenció i antiretorn i claus de seccionament i buidat

Per tal d'evitar el retrocés del l'aigua per la instal·lació en el sentit oposat al qual hauria de fluir, es col·locaran vàlvules de retenció i antiretorn per tota la instal·lació, més concretament en aquestes seccions:

- A la connexió de desguàs del filtre previ al dipòsit.
- Al desguàs del dipòsit d'aigües pluvials, abans de la connexió amb la canonada d'aigües freàtiques.
- A la canonada d'aspiració de les bombes, en el dispositiu de succió flotant del dipòsit.
- A la canonada d'impulsió individual de les mateixes.
- A la sortida de l'acumulador hidropneumàtic, just abans de la connexió amb la vàlvula selectora.
- A la presa d'aigua potable just abans de la connexió amb la vàlvula selectora.
- A la canonada principal de distribució, just després de la vàlvula selectora.
- A l'inici de cada muntant individual.

D'altra banda, s'instal·laran vàlvules de tall i seccionament als següents punts:

- Vàlvules de seccionament abans i després del filtre per tal d'aïllar-lo en cas de reparació o substitució.
- Vàlvules de tall a la canonada d'aspiració de cada bomba.
- Vàlvules de tall i buidat a la canonada d'impulsió de cada bomba.
- Vàlvules de tall i buidat a l'inici de cada muntant.
- Claus de tall a l'inici de cada derivació individual dels habitatges.

Cal tenir present que en el cas que coincideixin en una mateixa secció una vàlvula antiretorn i una de tall, la vàlvula antiretorn sempre es posicionarà abans que la vàlvula de tall (en la direcció de circulació del fluid).

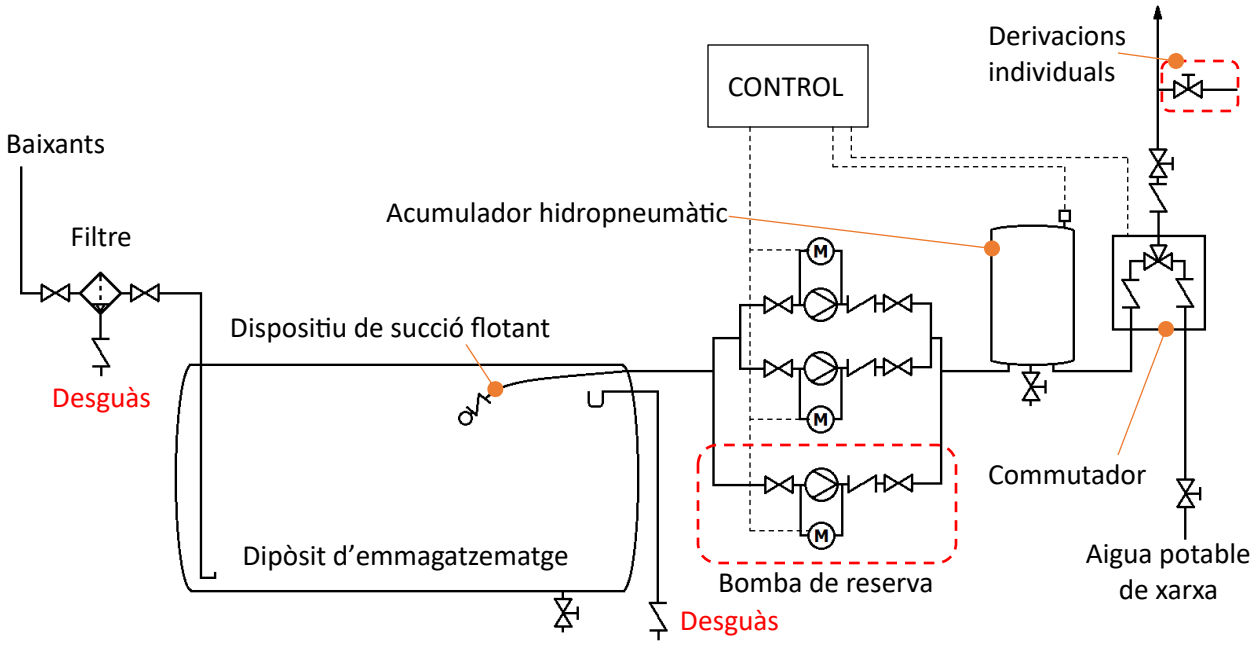

Figura 19. *Esquema de la instal·lació. Font: elaboració pròpia*

3.5. Aplicació de la legislació referent a la Legionel·la

El DECRET 352/2044, de 27 de juliol, estableix les condicions higienicosanitàries per a la prevenció i control de la legionel·losi, que s'indiquen a la publicació del DOGC 4185 de 29 de juliol de 2004.

"*Article 2:*
Àmbit d'aplicació
Les mesures previstes en aquest Decret són d'aplicació a les instal·lacions que poden estar associades a l'aparició de legionel·losi i que utilitzin aigua en el seu funcionament, que produeixin aerosols i es trobin ubicades a l'interior o a l'exterior d'edificis d'ús col·lectiu, instal·lacions industrials o mitjans de transport que puguin ser susceptibles de convertir-se en focus per a la propagació d'aquesta malaltia …
2.5 Queden excloses de l'àmbit d'aplicació d'aquest Decret les instal·lacions que estiguin ubicades en immobles dedicats a l'ús exclusiu d'habitatge, exceptuant aquelles que afectin l'ambient exterior d'aquests edificis. Això no obstant i davant l'aparició d'un brot de legionel·losi, les autoritats sanitàries poden adoptar les mesures de control que es considerin adients" (DOGC 4185, juliol 2004)

En el qual s'indica l'àmbit d'aplicació d'aquesta normativa i específicament indica que les instal·lacions d'immobles dedicats a l'ús exclusiu d'habitatge queden excloses de l'àmbit d'aplicació d'aquest decret.

Així doncs, la instal·lació considerada en el present projecte no està subjecte a la normativa vigent sobre prevenció i control de la legionel·losi.

4. DIMENSIONAMENT I CÀLCUL DE LA INSTAL·LACIÓ

4.1. Descripció de la instal·lació a dimensionar

A continuació es realitza el dimensionat i càlcul de la instal·lació a fi de mostrar la seva viabilitat i implantació. Cal recordar que l'objectiu d'aquesta instal·lació és cobrir únicament la demanda de les cisternes dels vàters de tot l'edifici, com a projecte a implantar en la construcció de nous edificis. Per a realitzar aquest dimensionament, es considerarà, a mode d'exemple, el cas d'un edifici urbà d'habitatges amb les següents característiques:

- Zona pluviomètrica de San Sebastià amb una precipitació de 1507[3] l/m^2 anuals
- Una coberta de 200 m^2
- Edifici urbà de 5 plantes
- 2 habitatges per planta
- Mitjana de 3 habitants per apartament
- 2 lavabos per habitatge, que implica dues cisternes per apartament
- Cisternes amb una capacitat de 4,5 litres

[3] Font: AEMET (Agencia Estatal de Meteorologia)

4.2. Dimensionat dels baixants

Per al dimensionament dels baixants cal seguir l'apartat del CTE referit al dimensionament de la xarxa d'evacuació d'aigües pluvials.

Segons el CTE:

"El diámetro correspondiente a la superficie, en proyección horizontal, servida por cada bajante de aguas pluviales se obtiene en la tabla 4.8:

Tabla 4.8 Diámetro de las bajantes de *aguas pluviales* para un régimen pluviométrico de 100 mm/h

Superficie en proyección horizontal servida (m^2)	*Diámetro nominal* de la *bajante* (mm)
65	50
113	63
177	75
318	90
580	110
805	125
1.544	160
2.700	200

Análogamente al caso de los canalones, para intensidades distintas de 100m/h, debe aplicarse el factor f correspondiente.

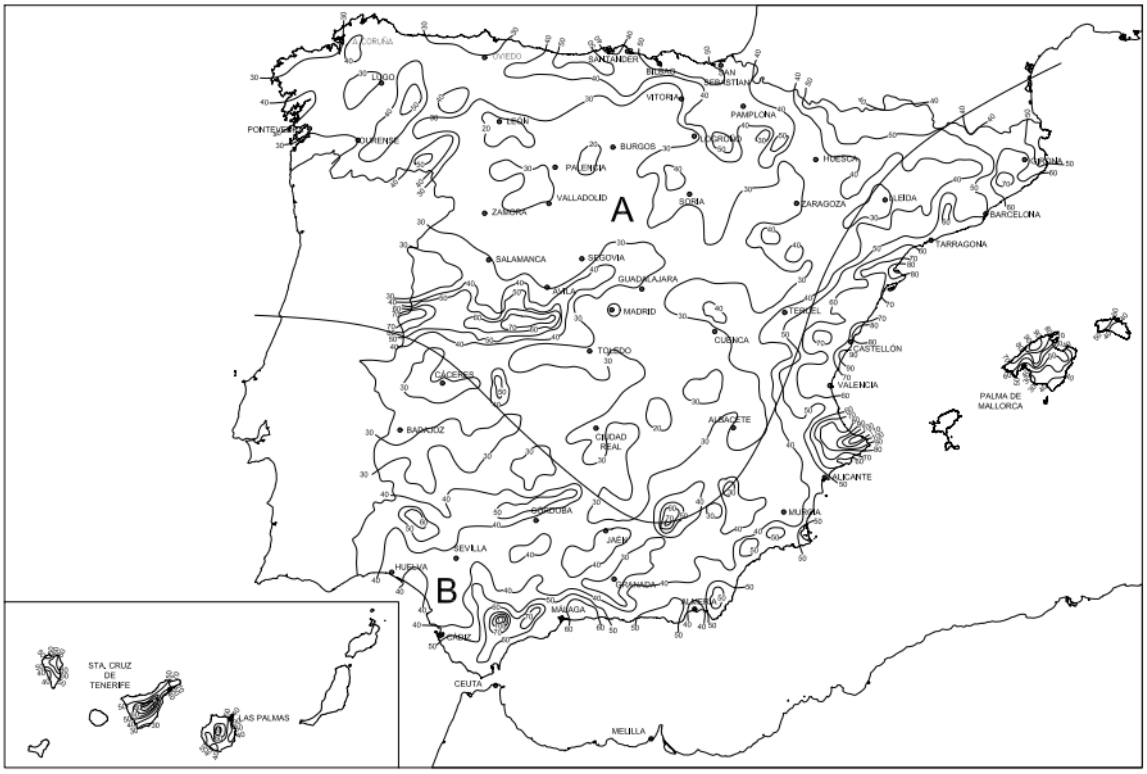

Figura B.1 Mapa de isoyetas y zonas pluviométricas

Tabla B.1
Intensidad Pluviométrica i (mm/h)

Isoyeta	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Zona A	30	65	90	125	155	180	210	240	275	300	330	365
Zona B	30	50	70	90	110	135	150	170	195	220	240	265

"

(CTE DB-HS4, 2006)

La regió de San Sebastià correspon a la zona climàtica A sobre una isohieta 50, que equival a una intensitat pluviomètrica i de 155 mm/h.

El mètode de càlcul del factor f segons el CTE és:

"Para un régimen con intensidad pluviométrica diferente de 100 mm/h, debe aplicarse un factor f de corrección a la superficie servida tal que:

f=i/100

siendo i la intensidad pluviométrica que se quiere considerar." (CTE DB-HS4, 2006)

S'obté doncs un factor corrector de:

$$f = 155/100 = 1{,}55 \quad (1)$$

Que aplicat a la superfície de captació servida:

$$Superfície\ servida = 200\ m^2 \cdot 1{,}55 = 310\ m^2 \quad (2)$$

Per aquest valor de superfície servida, el CTE indica un diàmetre nominal mínim del baixant de 90 mm. Cal ara, seleccionar un tub de diàmetre comercial igual o superior a aquest valor. S'escull un tub per a baixants de D_N=90 mm i espessor 3 mm.

4.3. Dimensionat del dipòsit d'emmagatzematge

Per al dimensionament del dipòsit, prèviament s'han de calcular dos factors: l'aigua que es podrà recollir anualment i el consum de la nostra instal·lació. Les fórmules que ajudaran al càlcul d'aquests punts es poden trobar a la Guia Tècnica d'Aprofitament d'Aigües Pluvials en Edificis.

Per a l'aigua que podem recollir anualment:

$$A = F \cdot M \cdot P = Aigua\ que\ podem\ recollir\ anualment \quad (3)$$

On

F és el factor de la superfície de recollida, que per a cobertes verdes és de 0,5.

M és la superfície de captació de l'aigua de pluja en m^2.

P és la pluviometria anual mitjana de la regió.

$$A = 0{,}5 \cdot 200\ m^2 \cdot 1600\ {}^{l}/_{m^2} = 160.000\ litres\ anuals \quad (4)$$

Un cop obtingut el valor d'aigua recollida anualment, passem a calcular el consum anual per a tota la instal·lació.

El consum seguirà la següent relació:

$$Consum = Volum\ cisterna \cdot 3\ activacions\ diaries \cdot nº\ cisternes \cdot nº\ persones/pis \cdot nº\ pisos/planta \cdot nº\ plantes \quad (5)$$

$$Consum = 4.5\ l \cdot 3\ act. \cdot\ 2\ cisternes \cdot 3\ p./pis \cdot 2\ pisos/planta \cdot 5\ plantes \quad (6)$$

$$Consum = 405\ litres/dia \quad (7)$$

Per tant, s'obté un consum anual de:

$$Consum\ anual = Consum\ diari \cdot 365 = 405\ l \cdot 365 = 147.825\ litres \quad (8)$$

Si comparem el volum de recol·lecció d'aigua amb el consum anual observem que, en aquesta zona geogràfica, l'aigua de pluja recollida cobreix la demanda de les cisternes:

$$A > Consum\ \rightarrow 160.000\ litres > 147.825\ litres \quad (9)$$

A partir del consum d'aigua demandat es dimensiona el dipòsit segons l'expressió següent:

$$Volum = Consum\ anual \cdot E/365\ dies \quad (10)$$

On

E és el període entre pluges (30-45 dies) i depèn de la climatologia de la regió, per al nostre cas seran 30 dies.

$$Volum = 147.825\ litres \cdot 30/365 = 12{,}15\ m^3 \quad (11)$$

A aquest volum cal aplicar-li un marge d'entre un 15-20% degut a la sedimentació que es pot produir al seu interior. Així doncs:

$$Volum_{nominal} = 12{,}15 m^3 \cdot 0{,}2 = 14{,}58\ m^3 \quad (12)$$

Caldrà escollir un dipòsit de volum comercial superior a aquest valor. El que s'ha seleccionat és un dipòsit de 15 m^3.

4.3.1. Rendiment del dipòsit

Un cop obtingut el volum nominal del dipòsit d'emmagatzematge es pot procedir a analitzar l'evolució anual del seu aprofitament.

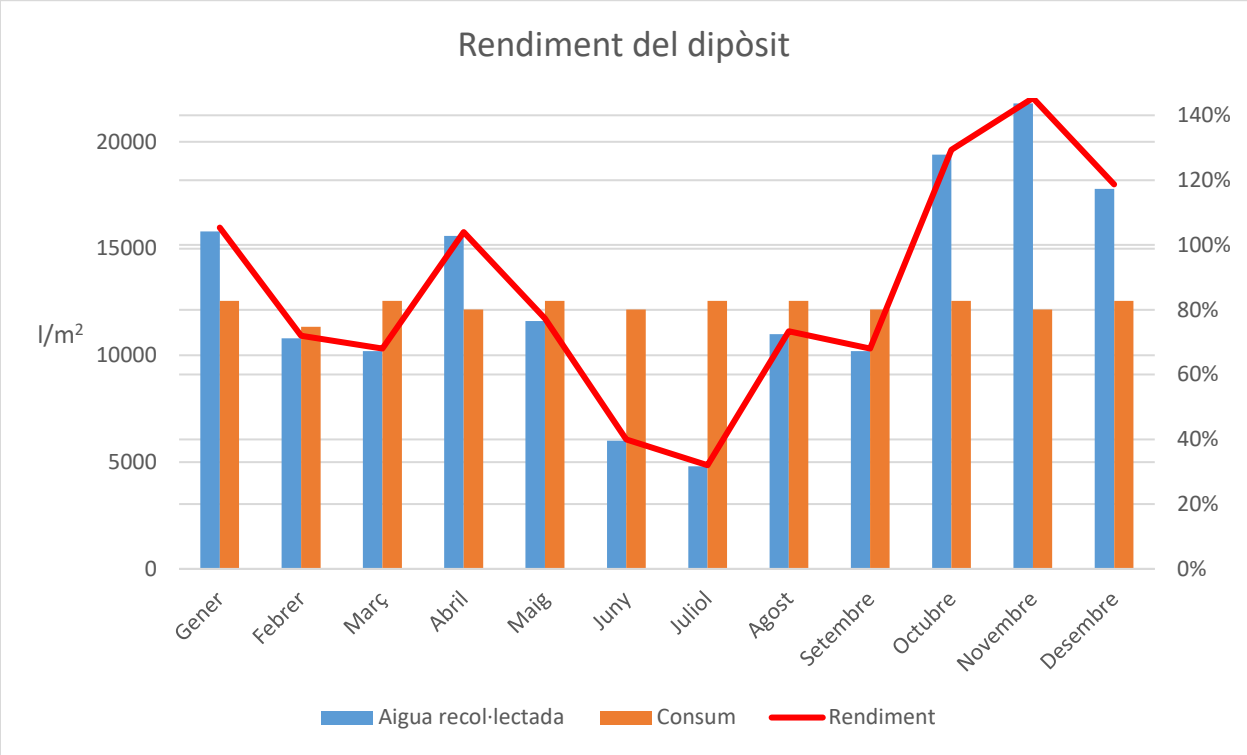

Figura 20. *Evolució del rendiment del dipòsit durant l'any. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de precipitació anuals a San Sebastià extretes de l'AEMET.*

Tot i que el volum anual de recol·lecció d'aigua cobreix el consum anual de les cisternes, s'observa que no és així per a tots els mesos de l'any. Hi ha certs mesos en que la precipitació és inferior i, per tant, la recol·lecció d'aigua de pluja no arriba a cobrir la demanda requerida. Això implica que en els mesos de major precipitació es quan s'aprofitarà al màxim el volum del dipòsit però que en les èpoques més seques, a l'estiu, el dipòsit quedarà més infrautilitzat.

Al següent gràfic es pot veure més clarament el diferencial del consum del sistema. On en certs mesos hi haurà una falta de precipitació que produirà una manca d'aigua disponible per a la instal·lació. Visualitzant-ho percentualment, el pitjor més de l'any seria juliol, on només s'arribaria a cobrir un 40% del consum. I d'altra banda, al novembre hi hauria un excedent d'aigua equivalent a un 180%.

Observant l'evolució del dipòsit, s'observa que manté un cert equilibri. Si bé hi ha mesos on no plou gaire i queda infrautilitzat, alhora hi ha mesos on plou més quantitat d'aigua que volum té el dipòsit. Aquesta situació podria fer pensar, per una banda, que és més rentable reduir el volum del dipòsit perquè no quedés tant desaprofitat els mesos de menys pluja. O, d'altra banda, instal·lar-ne un de major volum per poder aprofitar tota la precipitació els mesos més plujosos.

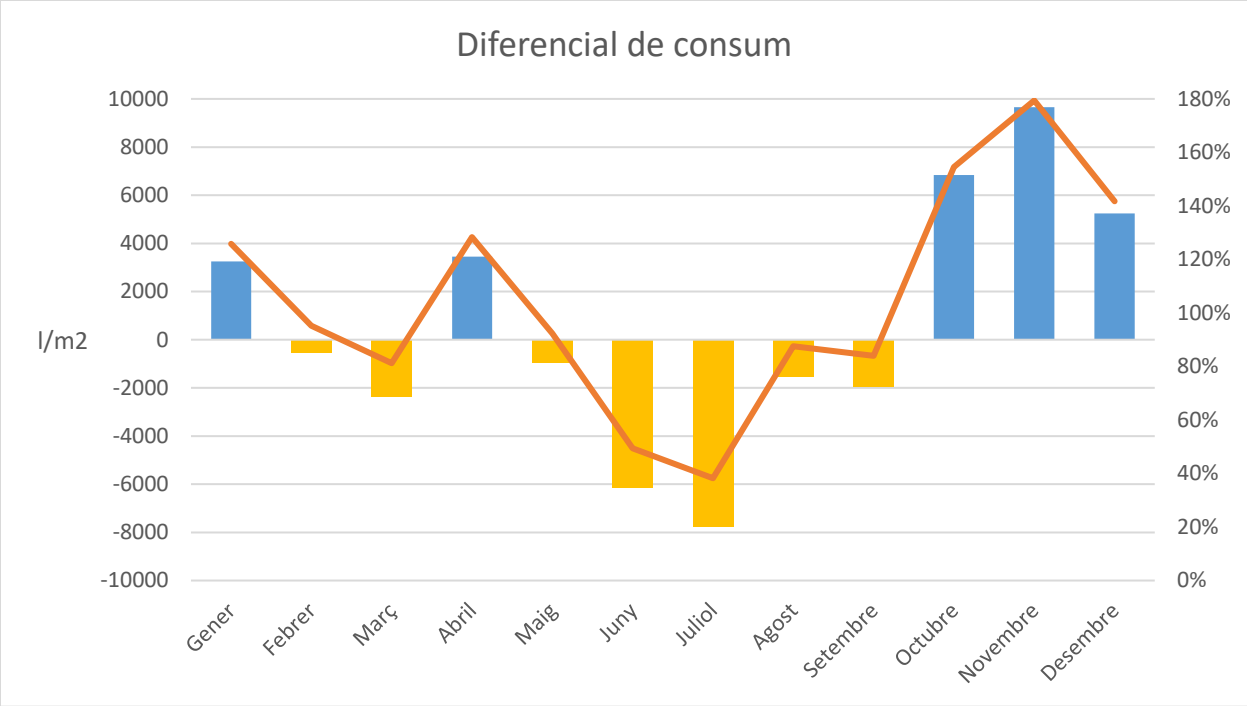

Figura 21. *Diferencial de volum entre aigua recol·lectada i consum. Font: Elaboració pròpia a partir dades de precipitació anuals a San Sebastià extretes de l'AEMET.*

La realitat, però, és més complexa. Cal tenir en consideració que, per exemple, si un mes cau més precipitació d'aigua que capacitat té el dipòsit, això no implica que aquesta aigua es perdi i s'hagi de llençar. Al contrari, durant aquell més els habitants de l'edifici seguiran fent ús de les cisternes dels vàters i, per tant, aquest excés d'aigua de pluja s'acabarà convertint en un volum romanent apte per al seu ús el mes o mesos posteriors.

4.4. Dimensionat del grup de pressió

El CTE indica els elements que s'han de tenir en compte a l'hora del càlcul del grup de pressió:

"El cálculo de las bombas se hará en función del caudal y de las presiones de arranque y parada de la/s bomba/s (mínima y máxima respectivamente), siempre que no se instalen bombas de caudal variable. En este segundo caso la presión será función del caudal solicitado en cada momento y siempre constante.

El número de bombas a instalar en el caso de un grupo de tipo convencional, excluyendo las de reserva, se determinará en función del caudal total del grupo. Se dispondrán dos bombas para caudales de hasta 10 dm^3/s, tres para caudales de hasta 30 dm^3/s y 4 para más de 30 dm^3/s.

El caudal de las bombas será el máximo simultáneo de la instalación o caudal punta y vendrá fijado por el uso y necesidades de la instalación.

La presión mínima o de arranque (Pb) será el resultado de sumar la altura geométrica de aspiración (Ha), la altura geométrica (Hg), la pérdida de carga del circuito (Pc) y la presión residual en el grifo, llave o fluxor (Pr).” (CTE DB-HS4, 2006)

Caldrà calcular primer el cabal de la instal·lació i la pressió de treball. Un cop obtingut el cabal es podrà seleccionar el nombre de bombes per al grup de pressió. I sabent el nombre de bombes, amb cabal i pressió de treball es podrà seleccionar el model de bomba que millor compleixi les necessitats de la instal·lació.

Per a calcular el cabal, primerament s'haurà d'identificar el cabal de subministrament que fixa el CTE:

Tabla 2.1 Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría [dm^3/s]	Caudal instantáneo mínimo de ACS [dm^3/s]
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo	0,10	0,065
Ducha	0,20	0,10
Bañera de 1,40 m o más	0,30	0,20
Bañera de menos de 1,40 m	0,20	0,15
Bidé	0,10	0,065
Inodoro con cisterna	0,10	-
Inodoro con fluxor	1,25	-
Urinarios con grifo temporizado	0,15	-
Urinarios con cisterna (c/u)	0,04	-
Fregadero doméstico	0,20	0,10
Fregadero no doméstico	0,30	0,20
Lavavajillas doméstico	0,15	0,10
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,20
Lavadero	0,20	0,10
Lavadora doméstica	0,20	0,15
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	0,40
Grifo aislado	0,15	0,10
Grifo garaje	0,20	-
Vertedero	0,20	-

Per un vàter, fixa un cabal instantani mínim d'aigua freda de 0,1 l/s. Cal veure però, com indica el càlcul exacte per al cabal:

“El dimensionado de los tramos se hará de acuerdo al procedimiento siguiente:

a) el caudal máximo de cada tramo será igual a la suma de los caudales de los puntos de consumo alimentados por el mismo de acuerdo con la tabla 2.1.

b) establecimiento de los coeficientes de simultaneidad de cada tramo de acuerdo con un criterio adecuado.

c) determinación del caudal de cálculo en cada tramo como producto del caudal máximo por el coeficiente de simultaneidad correspondiente.” (CTE DB-HS4, 2006)

Si bé el CTE indica que s'han d'establir els coeficients de simultaneïtat per a cada tram, no especifica cap mètode de càlcul per als mateixos. Ara bé, el Col·legi d'Arquitectes de Catalunya va publicar el Maig del 2007 una guia, la *GUIA DB-HS4 Subministrament d'aigua – Procediment per al dimensionament d'una instal·lació de fontaneria* per al document que ens afecta (DB-HS4), on mostra un mètode de càlcul per als coeficients de simultaneïtat.

El coeficient de simultaneïtat considera la probabilitat de coincidència entre el cabal màxim instal·lat i el cabal màxim previsible que poden demandar els punts de consum. És a dir, la probabilitat que els punts de consum de la instal·lació s'estiguin usant al mateix moment.

Per a una agrupació de punts de consum:

$$K_V = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \tag{13}$$

Per al nostre cas, n serà el nombre de cisternes d'un habitatge, així doncs:

$$K_V = \frac{1}{\sqrt{2-1}} \rightarrow K_V = 1 \tag{14}$$

I per a un conjunt d'agrupacions de punts de consum, que en el nostre cas, representen els diferents habitatges:

$$K_V = \frac{19+N}{10 \cdot (N+1)} \tag{15}$$

On N serà el nombre d'habitatges de la nostra instal·lació.

$$K_V = \frac{19+10}{10 \cdot (10+1)} \rightarrow K_V = 0{,}26 \tag{16}$$

El cabal simultani de l'habitatge serà doncs:

$$Q_{simultani} = K_V \cdot Q_{instal \cdot lat} \tag{17}$$

Considerant que cada habitatge disposa de dues cisternes:

$$Q_{simultani} = 1 \cdot 2 \cdot 0{,}1\ l/s \rightarrow Q_{simultani} = 0{,}2\ l/s \tag{18}$$

Seguint el mateix procediment, el cabal simultani de l'edifici serà:

$$Q_{simultani\ habitatge} = 0{,}26 \cdot 10 \cdot 0{,}2\ l/s \rightarrow Q_{simultani\ habitatge} = 0{,}53\ l/s \tag{19}$$

Per als càlculs posteriors considerarem un cabal de 0,60 l/s. Que equival a 2,16 m^3/h.

Un cop definit el cabal simultani de la instal·lació, s'ha de calcular la pressió de treball de la mateixa.

Com s'ha mencionat prèviament citant el CTE, la pressió mínima serà la suma de l'altura manomètrica d'aspiració (Ha), l'altura geomètrica(Hg), la pèrdua de càrrega del circuit(Pc) i la pressió residual al punt de consum(Pr).

L'altura manomètrica d'aspiració (Ha) es considerarà zero ja que l'aspiració de la bomba estarà a la mateixa cota que el dipòsit d'emmagatzematge.

L'altura geomètrica (Hg) fa referencia a l'altura màxima a la qual haurà d'arribar la instal·lació, és a dir, la cota màxima fins on s'haurà de subministrar aigua a la pressió requerida. Aquest valor es pot considerar equivalent a l'alçada de l'edifici i en el nostre cas, al tractar-se d'un edifici de 5 plantes amb el grup de pressió situat al soterrani, serà de 18 metres, que equivalen a 18 m.c.a.

Per calcular les pèrdues de càrrega del circuit, segons el CTE:

"Las pérdidas de carga localizadas podrán estimarse en un 20% al 30% de la producida sobre la longitud real del tramo o evaluarse a partir de los elementos de la instalación."

(CTE DB-HS4, 2006)

S'opta per calcular les pèrdues de carrega a partir de la longitud total de la instal·lació. Aquesta longitud serà la suma de la llargària de les canonades de tota la instal·lació (18 metres dels muntants i 15 metres de canonades per a cada habitatge).

$$L_{instal\cdot lació} = 18\,m\ + (15\,m \cdot 2\ habitatges/planta\ \cdot 5\ plantes) = 168\,m \tag{20}$$

Les pèrdues de càrrega seran doncs:

$$P_C = 0{,}20 \cdot 168\,m = 33{,}6\,m.c.a \tag{21}$$

Per a la pressió residual al punt de consum es consulten les indicacions del CTE:

"En los puntos de consumo la presión mínima debe ser:

a) 100 kPa para grifos comunes;

b) 150 kPa para fluxores y calentadores.

La presión en cualquier punto de consumo no debe superar 500 kPa" (CTE DB-HS4, 2006)

Per al cas que ens ocupa, les cisternes dels vàters són aixetes comunes; així que hem d'assegurar una pressió mínima de consum de 100 kPa, que equival a una pressió de 10 m.c.a.

Així doncs, la pressió d'arrencada de les bombes serà de:

$$Pb = Ha + Hg + Pc + Pr \tag{22}$$

$$Pb = 0 + 18\,m.c.a. + 33{,}6\,m.c.a. + 10\,m.c.a. \rightarrow Pb = 61{,}6\,m.c.a. \tag{23}$$

Un cop definits els valors de cabal que haurà d'assegurar la instal·lació i la pressió d'arrencada, es pot seleccionar el grup de pressió més adient per aquestes necessitats.

S'escull un grup de pressió format per dues bombes del fabricant EBARA, amb una potència de 2 C.V. per bomba, que treballen a velocitat fixe i que per a un cabal màxim de 4 m^3/h poden donar fins a 73 m.c.a de pressió. A més d'una tercera bomba d'iguals característiques que aquestes dues però que farà la funció de bomba de reserva.

4.5. Dimensionat de l'acumulador hidropneumàtic

L'acumulador hidropneumàtic, com és lògic, s'escollirà del catàleg del mateix distribuïdor que subministra el grup de pressió, a fi d'evitar incompatibilitats o futurs problemes alhora de realitzar el muntatge de la instal·lació.

El mateix distribuïdor, al seu catàleg, indica el mètode de càlcul per al dimensionat del dipòsit. En diferencia el mètode segons es tracti d'un acumulador sense membrana, amb membrana i amb membrana hidropneumàtic. Per al nostre cas, com escollim un acumulador hidropneumàtic amb membrana (ja que en facilita la seva reparació i substitució en cas d'avaries), el volum nominal del dipòsit es calcularà seguint la següent expressió:

$$V_{nominal} = 16{,}5 \cdot \frac{Q_{bomba}}{Z_{màx}} \cdot \frac{(P_{parada} + 1) \cdot (P_{encesa} + 1)}{\Delta P \cdot (P_{preinflat} + 1)} \quad (24)$$

On,

P_{parada} i P_{encesa} són els valors de pressió en els quals el grup de pressió s'activarà o desactivarà. La pressió de parada és el valor de pressió a l'acumulador hidropneumàtic per la qual, quan aquest hi arribi, la bomba s'aturarà. I d'altra banda, la pressió d'encesa serà el valor de pressió mínim de l'acumulador que farà activar les bombes quan aquest hi arribi. Per a aquesta instal·lació:

$$P_{parada} = 6\ bar\ P_{encesa} = 4\ bar \quad (25)$$

La $P_{preinflat}$ es defineix com la pressió de precàrrega:

$$P_{precàrrega} = P_{encesa} - 0{,}2 \quad (26)$$

El diferencial de pressió serà la diferencia entre pressió d'encesa i parada:

$$\Delta P = P_{parada} - P_{encesa} \tag{27}$$

El cabal de la nostra bomba és Q=36 l/min

I la $Z_{màx}$ representa la freqüència màxima d'enceses de la bomba en una hora. El mateix fabricant indica que per a una bomba de fins a 4 kW de potència (la usada en la instal·lació és de 1,5 kW), el nombre màxim d'enceses en una hora serà de 30, així doncs $Z_{màx}$=30.

$$V_{nominal} = 16{,}5 \cdot \frac{36\ l/min}{30\ min^{-1}} \cdot \frac{(6\ bar + 1) \cdot (4\ bar + 1)}{2\ bar \cdot (3{,}8\ bar + 1)} \tag{28}$$

$$V_{nominal} = 72{,}2\ litres \tag{29}$$

El mateix fabricant indica, però, que s'estableix un volum mínim d'acumulador de 200 litres. Per tant, s'escull un acumulador hidropneumàtic de membrana $V_{nominal}$=200 litres. Amb aquest valor, podrem calcular també el volum útil del que es disposarà a l'interior del dipòsit exclusivament per a l'aigua:

$$V_{útil} = V_{nominal} \cdot \frac{P_{parada} - P_{encesa}}{(P_{parada} + 1)} \tag{30}$$

$$V_{útil} = 200\ litres \cdot \frac{6 - 4}{(6 + 1)} \rightarrow V_{útil} = 57{,}14\ litres \tag{31}$$

Resumint, doncs, s'instal·larà un acumulador hidropneumàtic de membrana intercanviable capaç d'aguantar una pressió màxima de treball de 10 bar i d'una capacitat de 200 litres, que útils es reduiran a 57 litres. I que treballarà entre unes pressions de 4 i 6 bars.

4.6. Dimensionat de les canonades

Al igual que per a la resta d'elements de la instal·lació, el CTE marca les línies a seguir per al dimensionament de les canonades.

Partint de la velocitat del fluid, es calcularan els diàmetres de la instal·lació. A continuació s'indiquen les velocitats de càlcul límits segons el CTE:

"El dimensionado de los tramos se hará de acuerdo al procedimiento siguiente:

…

Elección de una velocidad de cálculo comprendida dentro de los intervalos siguientes:

i) tuberías metálicas: entre 0,50 y 2,00 m/s

ii) tuberías termoplásticas y multicapas: entre 0,50 y 3,50 m/s

Obtención del diámetro correspondiente a cada tramo en función del caudal y de la velocidad." (CTE DB-HS4, 2006)

Com en la nostra instal·lació s'usaran canonades multicapa, els valors límit per a la velocitat de càlcul estarien entre 0,5 i 3,5 m/s. Ara bé, aquest rang de velocitat és molt ample i hi haurà diferencies molt significatives entre valors pròxims al mínim o al màxim. Per aquest motiu acotarem més aquest rang:

- Mantenint el valor mínim en 0,5 m/s ja en velocitats inferiors s'augmenta la probabilitat de sedimentació en la instal·lació i no és gens desitjable.
- En funció de les zones per on circulin les canonades, els valors màxims podran variar. En el nostre cas, com considerem que la instal·lació discorre essencialment per l'interior dels habitatges, fixem un valor màxim d'1,5 m/s.

A partir del cabal i la velocitat de càlcul estipulada, es pot extreure el diàmetre mínim per a aquest valor de velocitat.

Comencem el càlcul per al diàmetre dels muntants, que transportaran el cabal màxim de la instal·lació.

$$Q = v \cdot A = v \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \tag{32}$$

On A és la secció de pas de la canonada i d, per tant, el diàmetre interior d'aquesta.

$$0{,}6 \cdot 10^{-3}\ m^3/s = 1{,}5\ m^3/s \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \rightarrow d = 22{,}6\ mm \tag{33}$$

A partir d'aquest valor s'escull un diàmetre comercial igual o superior a aquest. Comprovant prèviament que el diàmetre obtingut sigui major que el valor estipulat pel CTE, en cas contrari s'hauria de buscar un diàmetre comercial a partir del valor fixat a la normativa.

Tabla 4.3 Diámetros mínimos de alimentación

Tramo considerado		*Diámetro nominal* del tubo de alimentación	
		Acero	Cobre o plástico (mm)
Alimentación a cuarto húmedo privado: baño, aseo, cocina.		¾	20
Alimentación a derivación particular: vivienda, apartamento, local comercial		¾	20
Columna (montante o descendente)		¾	20
Distribuidor principal		1	25
Alimentación equipos de climatización	< 50 kW	½	12
	50 - 250 kW	¾	20
	250 - 500 kW	1	25
	> 500 kW	1 ¼	32

Com marca un diàmetre de 20 mm i aquest és inferior al valor obtingut al càlcul, aquest últim preval alhora d'escollir un diàmetre comercial superior, que serà de:

$$D_N = 32\ mm \qquad D_i = 26\ mm$$

Ara cal re-calcular la velocitat a la qual circularà l'aigua per l'interior dels muntants:

$$0{,}6 \cdot 10^{-3}\ m^3/s = v \cdot \pi \cdot \left(\frac{26 \cdot 10^{-3}\ m}{2}\right)^2 \rightarrow v = 1{,}13\ m/s \tag{34}$$

Es comprova que amb el diàmetre comercial de la canonada escollida la velocitat és inferior al valor màxim que s'havia imposat.

Per a la derivació individual als lavabos cal re-calcular el diàmetre, tot i que saben que el cabal serà inferior, la velocitat també disminuirà:

$$0{,}2 \cdot 10^{-3}\ m^3/s = 1{,}5\ m^3/s \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \rightarrow d = 13{,}03\ mm \tag{35}$$

Com en aquest cas el diàmetre mínim estipulat és major que l'obtingut en el càlcul, prevaldrà el marcat per la normativa. Així doncs, se seleccionarà una canonada amb diàmetre comercial superior als 20 mm:

$$D_N = 20\ mm \qquad D_i = 16\ mm$$

I es torna a calcular la velocitat del fluid sota aquest diàmetre per assegurar que es mantingui dins els marges preestablerts:

$$0{,}2 \cdot 10^{-3}\ m^3/s = v \cdot \pi \cdot \left(\frac{16 \cdot 10^{-3}\ m}{2}\right)^2 \rightarrow v = 0{,}99\ m/s \tag{36}$$

Per a la derivació als aparells també cal dimensionar-ne el diàmetre. Com s'observa amb els càlculs anteriors, al disminuir el cabal, la velocitat també disminueix i ja que el CTE marca per a les derivacions als aparells uns diàmetres inferiors, caldrà assegurar que la velocitat del fluid no baixa per sota de 0,5 m/s:

Tabla 4.2 Diámetros mínimos de derivaciones a los aparatos

Aparato o punto de consumo	*Diámetro nominal* del ramal de enlace	
	Tubo de acero	Tubo de cobre o plástico (mm)
Lavamanos	½	12
Lavabo, bidé	½	12
Ducha	½	12
Bañera <1,40 m	¾	20
Bañera >1,40 m	¾	20
Inodoro con cisterna	½	12
Inodoro con fluxor	1- 1 ½	25-40
Urinario con grifo temporizado	½	12
Urinario con cisterna	½	12
Fregadero doméstico	½	12
Fregadero industrial	¾	20
Lavavajillas doméstico	½ (rosca a ¾)	12
Lavavajillas industrial	¾	20

Es calcula el diàmetre mínim i es compara amb el valor estipulat a sobre:

$$0{,}1 \cdot 10^{-3}\ m^3/s = 1{,}5\ m^3/s \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \rightarrow d = 9{,}21\ mm \tag{37}$$

S'agafa doncs el diàmetre marcat pel CTE al ser major. I es comprova la velocitat:

$$0{,}1 \cdot 10^{-3}\ m^3/s = v \cdot \pi \cdot \left(\frac{16 \cdot 10^{-3}\ m}{2}\right)^2 \rightarrow v = 0{,}88\ m/s \tag{38}$$

I s'escull una canonada de diàmetre nominal igual al mínim marcat:

D_N= 16 mm D_i= 12 mm

5. ANÀLISI DEL RENDIMENT ENERGÈTIC

Per a poder realitzar un anàlisi acurat de l'eficiència energètica de tot el sistema, cal modelitzar-ne les seves característiques. Ja que és essencial estudiar el rendiment de la instal·lació en relació a totes les variables que influeixen en el seu funcionament.

L'anàlisi de l'eficiència del sistema es durà a terme a partir de:

- Les característiques estructurals de l'edifici, considerant nombre de plantes, habitants, consum individual...
- La climatologia de la regió en la qual s'implanti, és a dir, la precipitació anual mitjana i com es distribueix aquesta precipitació al llarg de l'any.
- Tipus de coberta verda, considerant diferents varietats de plantes en la seva instal·lació.

5.1. Anàlisi segons els rangs pluviomètrics d'Espanya

Una de les variables essencials alhora d'estudiar la instal·lació és la precipitació, ja que aquesta mostrarà un comportament diferent en funció de la pluviometria de la regió. Sent probable l'obtenció d'un major rendiment en regions amb major precipitació.

Per a poder analitzar aquesta relació, cal fixar la resta de valors necessaris per als càlculs. Com ara s'estudiarà el comportament en funció dels valors pluviomètrics, es fixaran tots els valors que depenen de les característiques de l'edifici, tant estructurals com de consum individual.

Per al següent anàlisi es fixaran les mateixes característiques de l'edifici que les usades a l'apartat 3 sobre el dimensionat i càlcul de la instal·lació:

- 5 plantes d'altura
- Dos habitatges per planta
- 3 persones per habitatge
- Consum de 4,5L per cisterna
- Ús aproximat de 3 cisternes diàries per persona
- Coberta de recol·lecció de 200 m^2

5.1.1. Càlcul del rendiment

Primerament s'estudiarà la recol·lecció d'aigua en relació als valors de consum total per persona i dia, és a dir, el que representa el volum d'aigua recol·lectat en comparació a tot el consum d'aigua d'una persona.

El consum mitja d'aigua per persona i dia a Espanya se situa en 130 l/persona/dia[4]. Considerant, com s'ha comentat prèviament, un edifici de 5 plantes, amb dos habitatges per planta i tres habitants per apartament, s'obté un consum diari d'aigua a l'edifici de:

$$Consum\ diari = 5\ plantes * 2\frac{habitatges}{planta} *\ 3\frac{persones}{habitatge} * 130\frac{litres}{persona * dia}$$
$$Consum\ diari = 3900\ l/dia \quad (39)$$

Que equival a un consum anual de:

$$Consum\ anual = 3900\ l/dia *\ 365\ dies = 1.423.500\ l/any \quad (40)$$

Com a exemple, considerem una precipitació anual de 1000 l/m^2, que multiplicada per la superfície de captació (que representa la superfície de la coberta), s'obté la captació anual d'aigua de pluja:

$$Captació\ anual = 1000\ l/m^2 * 200\ m^2 = 200.000\ l/any \quad (41)$$

Un cop obtinguts el consum anual i la captació anual d'aigua de pluja, es pot obtenir el rendiment del sistema al dividir la captació anual entre el consum:

$$\eta = \frac{captació\ anual}{consum\ anual} * 100 = \frac{200.000\ litres}{1.423.500\ litres} * 100 =\ 14{,}05\ \% \quad (42)$$

[4] Dades obtingudes de l'INE, Instituto Nacional de Estadística.

D'altra banda, cal obtenir el rendiment de la instal·lació en relació al consum real d'aigua que hi haurà. És a dir, el volum d'aigua de pluja recol·lectat en relació al consum d'aigua per al qual està dissenyada la instal·lació, que serà el d'abastir les cisternes dels vàters de tot l'edifici.

La captació anual seguirà essent la mateixa, però el consum s'haurà de calcular a partir de les cisternes:

$$Consum\ diari =$$

$$5\ plantes * 2\frac{habitatges}{planta} *\ 3\frac{persones}{habitatge} * 3\ usos\ cisterna * 4{,}5\ L\ cisterna \tag{43}$$

$$Consum\ diari = 405\ l/dia$$

$$Consum\ anual = 405\ l/dia *\ 365\ dies = 147.825\ l/any \tag{44}$$

I el rendiment s'obtindrà mitjançant la mateixa expressió que abans:

$$\eta = \frac{captació\ anual}{consum\ anual} * 100 = \frac{200.000\ litres}{147.825\ litres} * 100 =\ 135\ \% \tag{45}$$

Aquests rendiments però, s'han obtingut sense preveure el consum d'aigua que necessitarà la coberta enjardinada.

Si s'observen varies normatives, per a càlculs de dimensionat dels baixants de les cobertes quan es parla de cobertes verdes (enjardinades) es recomana usar un factor 0,5 alhora de considerar el volum d'aigua que transporten aquests en comparació amb la precipitació real. Per tant, es podria usar aquest factor per obtenir el volum d'aigua restant aprofitable després que la coberta enjardinada absorbís tota l'aigua que necessita. Aquest factor s'empra per a simplificar càlculs i no complicar el dimensionament de les canonades, però per a la nostra instal·lació suposa una aproximació bastant pobre. Bàsicament no té en consideració les necessitats específiques de les varietats de plantes que s'hagin emprat. Per exemple, usant aquest mètode, per una precipitació de 600 l/m^2, les plantes se'n quedarien 300 l/m^2, i en canvi, per una precipitació de 1500 l/m^2 n'absorbirien fins a 750 l/m^2. Òbviament és un mètode molt imprecís, ja que supedita les necessitats hídriques de les plantes a la precipitació de la regió; quan realment cada varietat de vegetació té unes necessitats hídriques pròpies. Les plantes sempre absorbiran tota l'aigua que necessitin, que sempre serà la mateixa quantitat, i la restant serà la que es pugui aprofitar pel sistema.

Per aquest motiu caldrà usar un altre mètode, s'estudiarà el consum de la zona enjardinada a partir de les seves necessitats hídriques concretes. Per al cas estudiat, s'implantarà una coberta enjardinada amb varietats de plantes autòctones, típiques de la regió i que resisteixin millor les condicions climàtiques que es donin. El consum d'una plantació de varietats de plantes autòctones s'estima en uns 2 l/m^2 diaris d'aigua[20].

La nostra instal·lació no disposarà de sistema de rec per a la zona enjardinada, ja que part de l'aigua de la pluja quedarà retinguda en la membrana drenant geotèxtil per a que la vegetació l'aprofiti. Per aquest motiu, de tota la precipitació anual en la superfície de captació disponible caldrà restar les necessitats d'aigua de les plantes.

Així doncs, la captació real passa a ser:

$$Captació_{real} = (Precipitació * àrea\ coberta) - (Consum\ diari * 365) \quad (46)$$

$$Captació_{real} = (1000\ l/m^2 * 200\ m^2) - (2\ l/m^2/dia * 365\ dies)$$
$$Captació_{real} = 270\ l/m^2 \quad (47)$$

5.1.2. Estudi genèric per a tots els rangs pluviomètrics

Primerament, cal analitzar el rendiment de la instal·lació en quant al consum d'aigua total al implantar la coberta enjardinada.

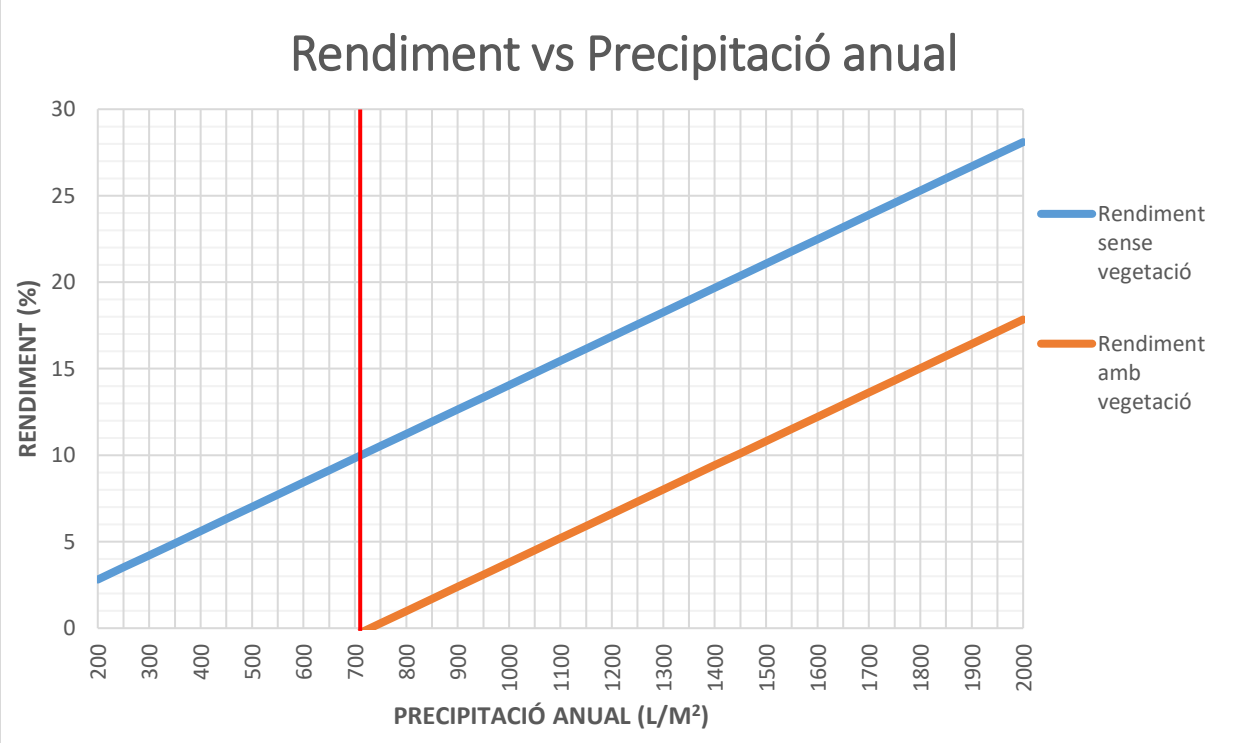

Figura 22. *Rendiment del sistema amb i sense coberta enjardinada. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de consum d'aigua anual extretes de l'INE.*

Com es pot observar, no es fins a una precipitació anual de poc més de 700 l/m^2 que el sistema es capaç de recol·lectar aigua un cop cobertes les necessitats hídriques de la capa de vegetació. Per sota d'aquest valor, en zones amb una pluviometria anual inferior a 700 l/m^2, aquesta precipitació amb prou feines cobriria per al rec de les plantes i, per tant, no hi hauria cabal disponible per al seu posterior reaprofitament.

Si ens fixem ara en l'evolució del rendiment segons la pluviometria de la regió es pot observar que, dins el rang pluviomètric de tota Espanya (que va des dels 200 l/m^2 fins als 2000 l/m^2), en el millor dels casos la instal·lació arribaria a cobrir quasi un 18% del consum total anual d'aigua per persona. I sense instal·lar la coberta enjardinada s'arribaria a cobrir un 28% d'aquest consum.

Analitzant el canvi de comportament al instal·lar la vegetació, es pot extreure una gràfica que mostri la variació del rendiment quan s'instal·la aquesta en funció de la pluviometria.

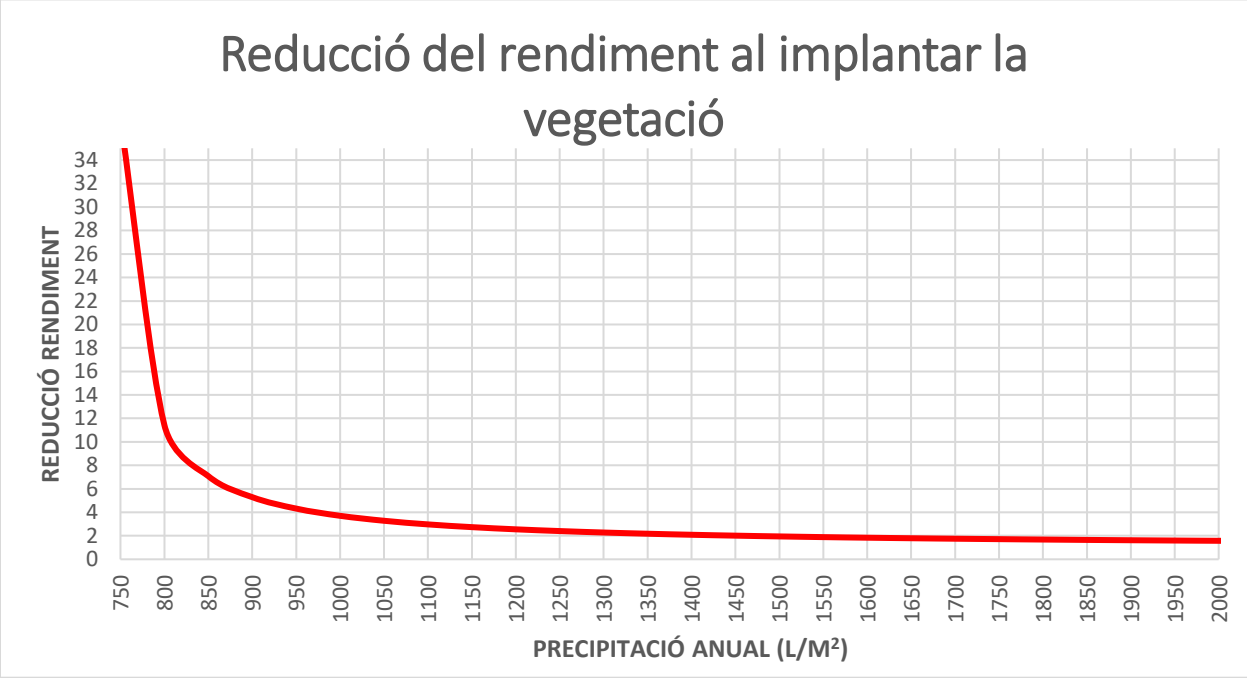

Figura 23. *Reducció del rendiment al implantar la vegetació. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de consum d'aigua anual extretes de l'INE.*

Al gràfic anterior es pot veure com el rendiment pateix una gran disminució al implantar-se la vegetació en zones amb una precipitació més aviat baixa. Concretament, per a una pluviometria de 750 l/m^2 el rendiment serà 35 vegades menor que sense instal·lar la coberta enjardinada. A mesura que la precipitació augmenta, la reducció en el rendiment és molt menor. Per exemple en una zona amb una precipitació anual de 950 l/m^2 el rendiment es veu reduït fins a 4 vegades, però per a valors de precipitació majors la reducció del rendiment tendeix a estabilitzar-se reduint-se només a la meitat, com en el cas d'una precipitació de 1500 l/m^2 on es reduiria només dues vegades.

Però per a resultats més precisos, cal analitzar l'evolució del volum recol·lectat amb el consum real al qual haurà de fer front la instal·lació.

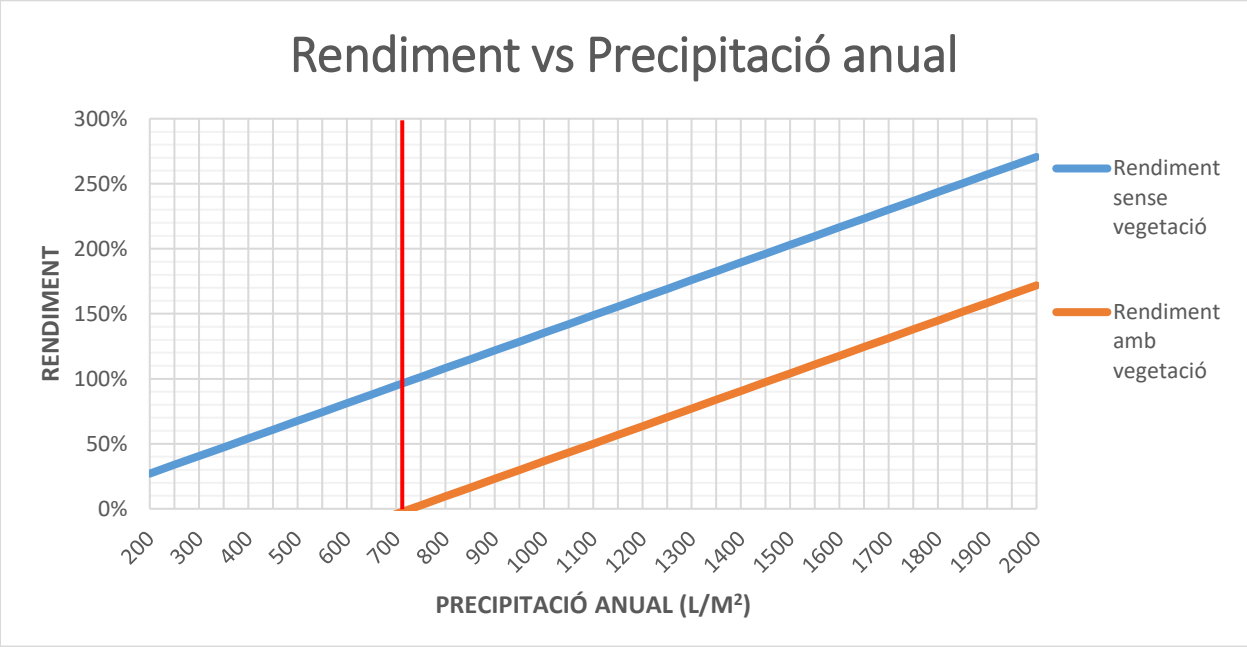

Figura 24. *Rendiment del sistema amb i sense coberta per al consum real. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de consum d'aigua anual extretes de l'INE.*

La reducció del rendiment al implantar la coberta enjardinada seguirà sent exactament la mateixa, ja que el consum no afecta a les necessitats hídriques de les plantes. Ara bé, el rendiment si que variarà significativament en relació al consum real de la instal·lació. Dins dels rangs pluviomètrics d'Espanya, en el millor dels casos (precipitació de 2000 l/m^2) la recol·lecció d'aigua de pluja equivaldria a un 170% del consum per al qual estarà pensada la instal·lació. És a dir, es cobriria tot el consum de les cisternes i seguiria sobrant agua que es podria emprar en altres usos.

El valor mínim de precipitació segueix essent el mateix, com ja hem dit, el canvi en el consum no afecta a les necessitats hídriques de la capa de vegetació. Però ara ja es pot obtenir un valor de pluviometria mínim per a cobrir les necessitats de la instal·lació. Per a una precipitació de 1500 l/m^2 aproximadament el rendiment se situa en el 100%, aquest valor indica que tota la pluja que cau en un any, a part d'abastir la vegetació, cobreix completament el consum d'aigua de les cisternes de tot l'edifici.

Es pot considerar llavors que per a les característiques de l'edifici definides prèviament, la precipitació mínima ideal per a cobrir el consum és de 1500 l/m^2. No implica, però, que la instal·lació no es pugui implantar en regions amb una precipitació menor a aquest valor. El sistema pot seguir implantant-se en qualsevol regió amb una precipitació inferior ja que disposa d'una entrada d'aigua potable pensada per a cobrir les necessitats de consum quan el volum de recol·lecció no sigui suficient en certs moments puntuals.

A continuació es mostra una taula resum de cada rang pluviomètric i el volum d'aigua restant, essent una forma senzilla per a comprovar si per a un valor de precipitació concret, es podria cobrir tota la demanda del sistema.

Taula 1. *Volum d'aigua restant aprofitable segons nivell pluviomètric. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de consum d'aigua anual extretes de l'INE.*

PRECIPITACIÓ [l/m2]	RESTANT APROFITABLE [L]	PRECIPITACIÓ [l/m2]	RESTANT APROFITABLE [L]
2000	1270	1000	270
1900	1170	900	170
1800	1070	800	70
1700	970	700	-30
1600	870	600	-130
1500	770	500	-230
1400	670	400	-330
1300	570	300	-430
1200	470	200	-530
1100	370	100	-630

A partir d'aquesta taula es poden obtenir valors més precisos que amb les gràfiques anteriors. Es pot observar que per a una precipitació de 700 l/m^2 realment no s'arriba a cobrir la demanda de la vegetació per molt poc. Dins el rang pluviomètric de 0 a 700 l/m^2, el volum de precipitació no arriba a cobrir ni les necessitats hídriques de la vegetació. No és fins a partir dels 800 l/m^2 que es cobreixen per complet aquestes necessitats i es podria començar a reutilitzar l'aigua sobrant, tot i que s'ha de dir que per a valors tan limítrofs al mínim per abastir les plantes, el restant aprofitable seria menyspreable. Per a observar els valors del rendiment i veure a partir de quina precipitació el volum d'aigua reaprofitat comença a ser significatiu veure ***Figura 24***.

5.1.3. Estudi estructural per a tots els rangs pluviomètrics

Un cop analitzat el comportament de la instal·lació segons la precipitació de la regió on es volgués instal·lar, cal ara estudiar-ne el seu comportament al variar les característiques estructurals de l'edifici fixades durant l'anàlisi anterior.

Primerament, s'estudiarà com varia el rendiment de la instal·lació en edificis de diferent altura, és a dir, augmentant o disminuint el nombre de plantes.

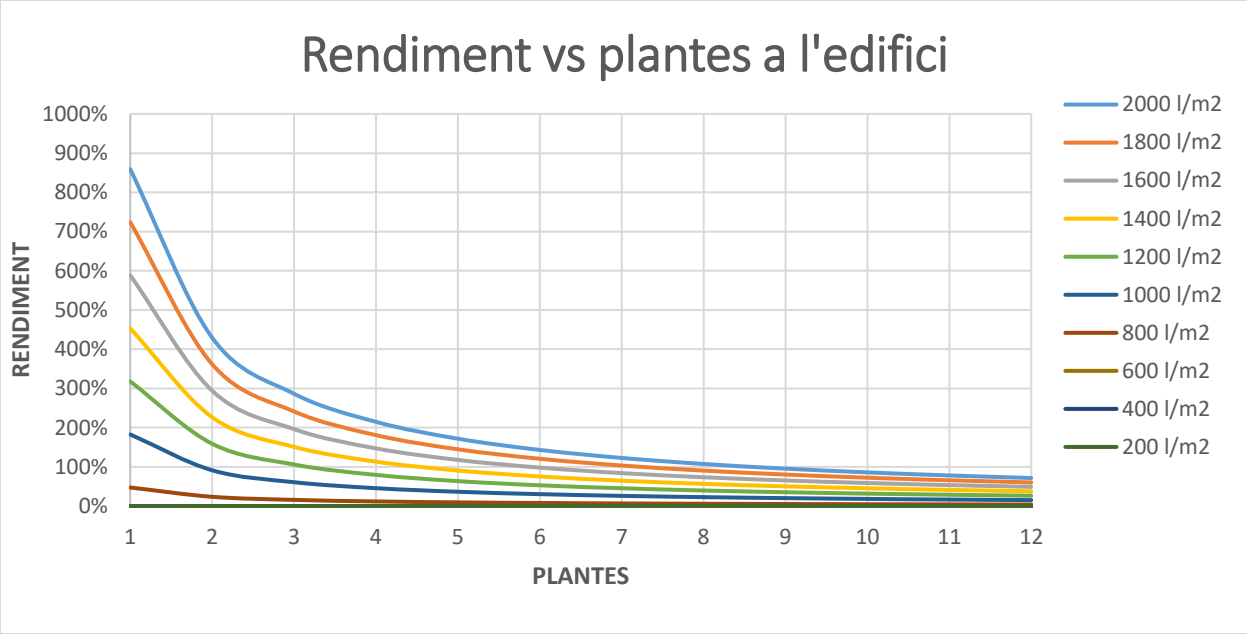

Figura 25. *Rendiment vs. nombre de plantes. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de consum d'aigua anual extretes de l'INE.*

Prèviament a analitzar la gràfica cal tenir present el que representen les plantes de l'edifici. Són una forma d'expressar la quantitat de veïns als quals se'ls hi ha de donar servei amb un fet diferenciador: s'augmenta el nombre de veïns augmentant la mida de l'edifici verticalment, no horitzontalment. Si s'augmentés horitzontalment, s'incrementaria l'àrea de recol·lecció de pluja i, per tant, augmentaria el volum d'aigua recollit. En aquest cas però, s'encabeixen més veïns a l'edifici incrementant-ne l'altura, el que implica que no s'augmenti l'àrea de recol·lecció però si el consum al qual haurà de fer front la instal·lació.

Per aquest motiu, i com és lògic, a mesura que l'edifici augmenta en nombre de plantes el rendiment decreix. Si bé per a casos en els que hi hagi poques plantes a abastir les diferencies de rendiment entre valors de precipitació alts i baixos són molt significatives, a mesura que s'incrementen les plantes, els rendiments tendeixen a igualar-se. Es pot comprovar que per a un hipotètic edifici en el que s'haurien d'abastir només dues plantes d'altura, els rendiments van des del 400% per a precipitacions de 2000 l/m^2 fins a només un 20% per valors de 800 l/m^2 en quant a precipitació. En canvi, si s'analitza el cas d'un edifici amb 10 plantes de consum es pot observar com, independentment del rang pluviomètric en el que se situï l'edifici, el rendiment no superarà en cap cas el 100%.

Analitzar el comportament de la instal·lació segons el nombre de plantes que tingui l'edifici és un mètode per a veure com respon el sistema al augmentar el nombre de veïns als quals ha d'abastir. Però cal tenir present que en aquest anàlisi s'està fixant el nombre d'habitants per apartament, concretament en 3 persones per habitatge. I que tot i ser una mitjana bastant propera a la realitat, en certs casos pot no assimilar-se a aquesta realitat si al mateix edifici hi conviuen una quantitat significativa de famílies amb més de tres membres.

Per aquest motiu, també es recomanable analitzar l'evolució del rendiment de la instal·lació en relació directa al nombre de veïns residents a l'edifici.

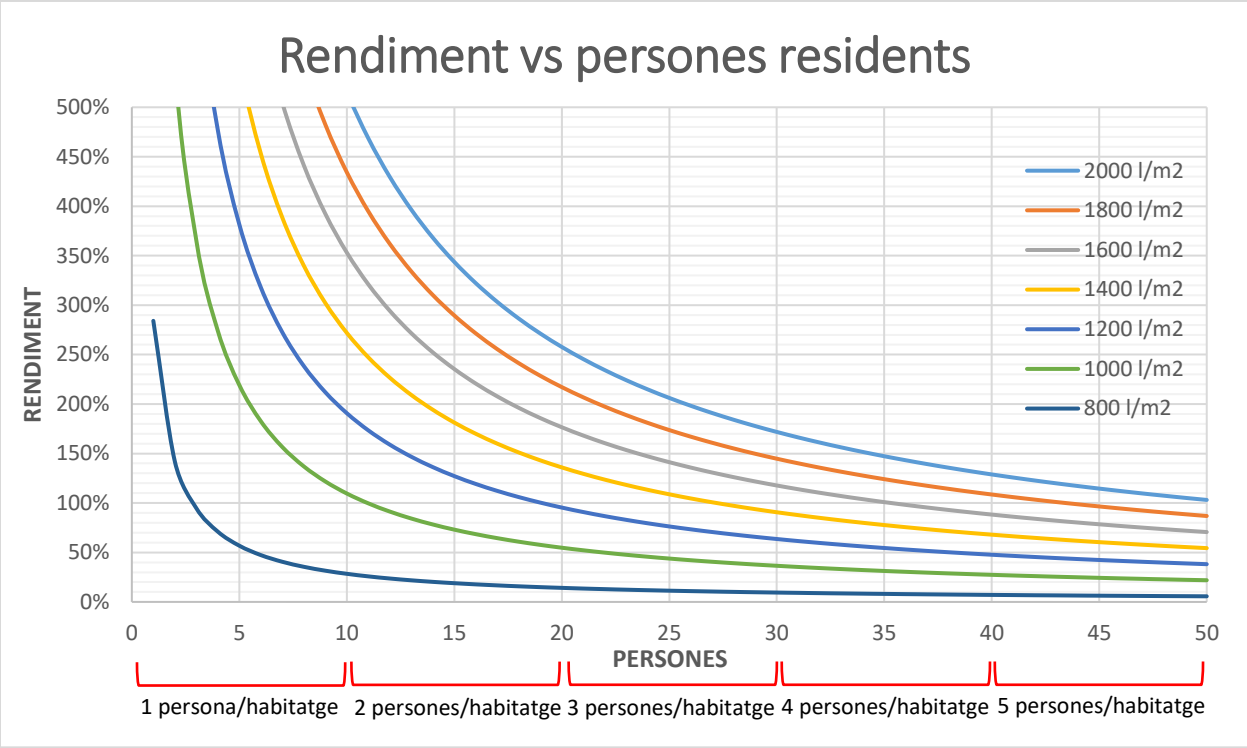

Figura 26. *Rendiment vs. nombre de veïns residents. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de consum d'aigua anual extretes de l'INE.*

En aquesta comparativa cal tenir present que no s'està considerant l'altura (en pisos) de l'habitatge ni el nombre d'habitatges per planta, però si que queda fixada l'àrea de recol·lecció de la precipitació ja que la coberta es manté en uns 200 m^2. El que representa, per tant, és l'evolució del rendiment en front de la densitat de veïns de l'edifici. Si bé l'eix horitzontal abasta de 0 a 50 veïns a l'interior de l'habitatge, aquest rang de veïns es pot englobar en la densitat de persones per habitatge, partint d'una persona per habitatge fins als 5 habitants per apartament.

Com és d'esperar, el rendiment decreix al augmentar la densitat de veïns independentment dels valors pluviomètrics. Per a una densitat de veïns molt baixa, el volum d'aigua recollit és tan gran en comparació al consum que hi ha a l'edifici, que quasi per a qualsevol nivell de precipitació hi hauria un excedent d'aigua molt significatiu. De fet, l'excedent és tant gran que no hi ha diferencies significatives del rendiment per als valors de precipitació més elevats. D'altra banda, per a densitats de veïns molt altes, al igual que en l'anàlisi en front del nombre de plantes, els rendiments tendeixen a equiparar-se i no superar, quasi en cap cas, el 100%.

També s'observa que la relació entre els rendiments per a altes precipitacions i per a baixes no és proporcional. Per a un nivell de precipitació de 1000 l/m^2, amb 30 persones residents s'obté un rendiment al voltant del 37%, mentre que per al doble

de precipitació, 2000 l/m^2, s'obté un 172% de rendiment quasi 5 vegades superior. Aquest comportament tendeix a equiparar-se (reduir-se la diferencia del rendiment) a mesura que augmenta la densitat de veïns.

Finalment, també cal estudiar el comportament de la instal·lació en relació als m^2 de coberta disponibles per persona. És a dir, l'àrea de recol·lecció d'aigua de pluja disponible per habitant de l'edifici.

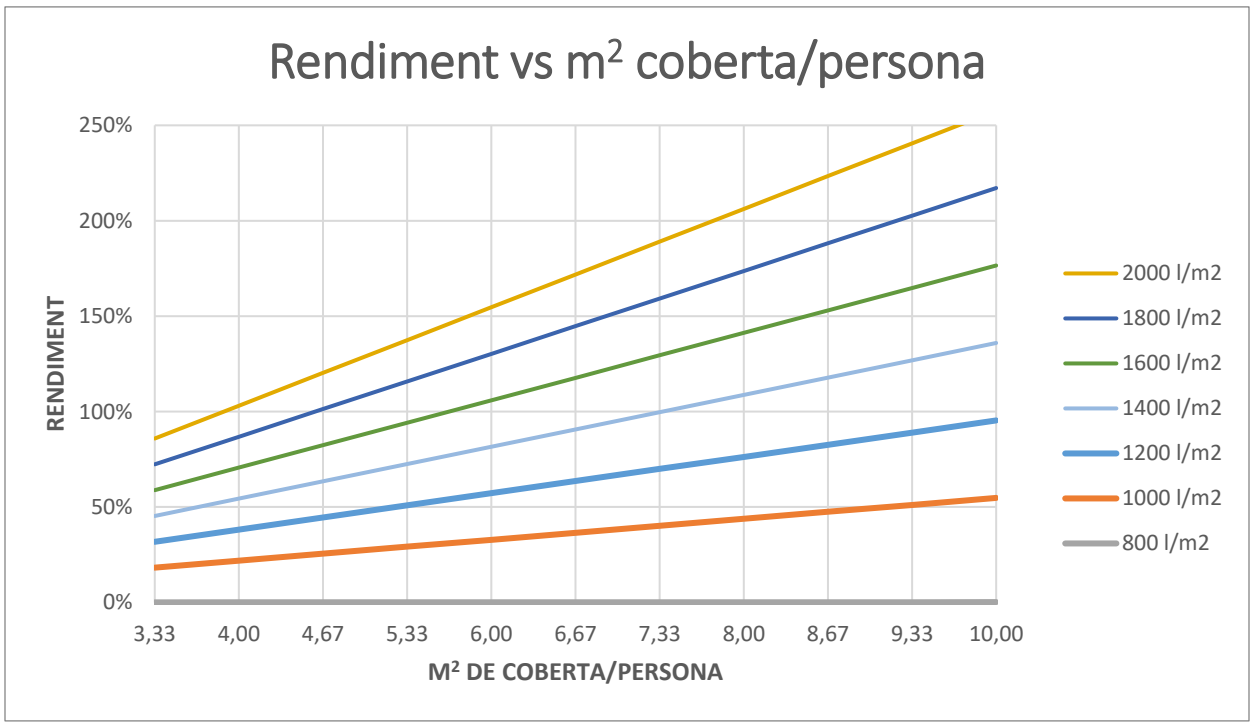

Figura 27. *Rendiment vs. àrea de recol·lecció per persona. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de consum d'aigua anual extretes de l'INE.*

Com és d'esperar el rendiment augmentarà quan hi hagi una major superfície de captació per persona. Fet que serà conseqüència d'una major superfície de la coberta i/o d'una menor quantitat de veïns a l'edifici.

Per situar-nos en l'anàlisi, 200 m^2 de coberta per a 3 veïns per habitatge correspon a 6,67 m^2 coberta/persona, que són els valors amb els quals s'ha estudiat el comportament de la instal·lació a l'apartat 5.1.2. L'evolució del rendiment és la mateixa que per als casos estudiats anteriorment. Al disminuir l'àrea de recol·lecció disponible per persona, el rendiment decreix fins a ser inferior al 100% per a qualsevol valor de precipitació, el que implica que el sistema no seria capaç de cobrir tota la demanda de l'edifici. Mentre que si augmenten els metres quadrats de coberta disponible per a recol·lectar aigua per persona, com és d'esperar, amb valors de precipitació més baixos es podrà arribar a cobrir tota la demanda del sistema.

5.1.4. Estudi per al rang pluviomètric 2000 l/m² - 1400 l/m²

A fi de poder analitzar amb més precisió els resultats obtinguts en els estudis previs, s'estudiarà l'evolució del rendiment per a rangs pluviomètrics més acotats.

Començant pels valors de precipitació més elevats que es poden trobar a la Península Ibèrica, que aniran des dels 2000 l/m² fins als 1400 l/m².

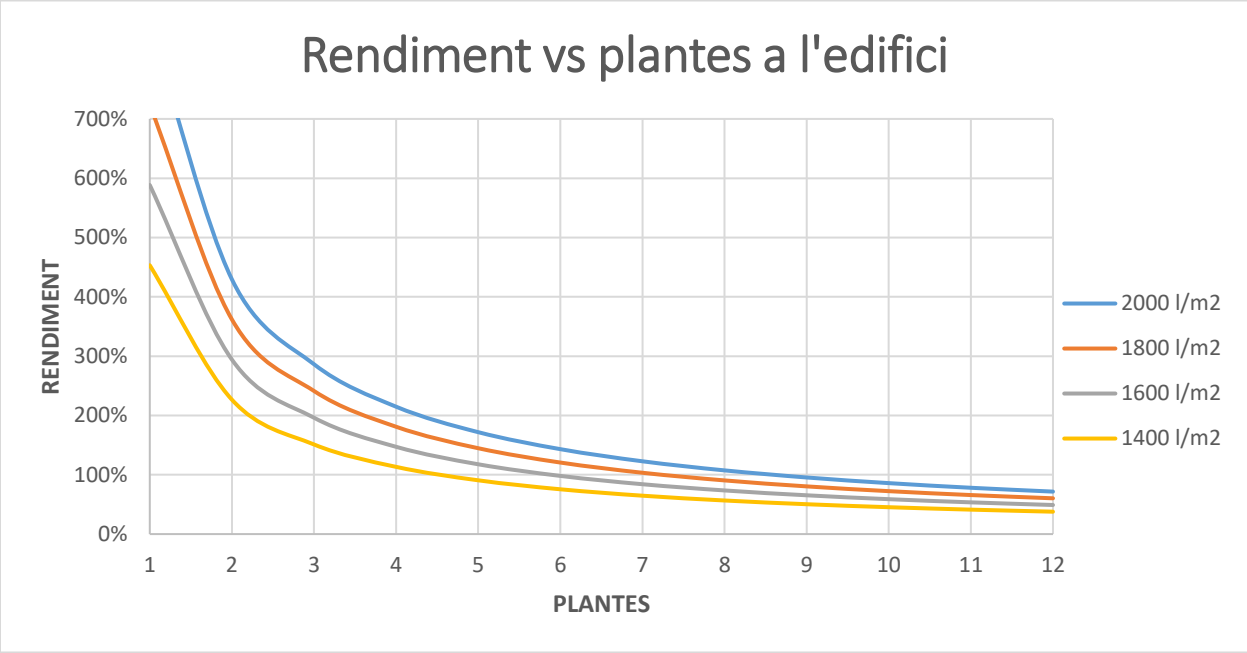

Figura 28. *Rendiment vs. nombre de plantes per a un rang de 2000-1400 l/m². Font: Elaboració pròpia a partir de dades de consum d'aigua anual extretes de l'INE.*

Si s'analitza el comportament de la instal·lació per a aquest rang de precipitacions es pot observar que s'arriba a cobrir el consum d'edificis de fins a 8 plantes d'altura en el millor dels casos. En el cas d'edificis de poca altura: una, dues o tres plantes, per a aquest rang de precipitació sempre s'assegura cobrir-ne el consum fins i tot en el pitjor dels casos.

Al observar però els edificis d'una o dues plantes salta a la vista que el rendiment està molt per sobre de les seves necessitats, i és que es poden arribar a aconseguir rendiments superiors al 700%. Aquest fet es dona per la naturalesa de la instal·lació, ja que cal recordar que està pensada per abastir d'aigua les cisternes dels vàters de tot un edifici urbà. I generalment, un edifici d'aquestes característiques tindrà varis pisos d'altura i no només un o dos. Un edifici d'una o dues plantes d'altura s'assimila més a una casa unifamiliar, tipus d'habitatge no gaire comú a l'interior de les grans ciutats. Per aquest motiu, els valors de rendiment per a tan poques plantes no són representatius de la realitat de treball en la qual es pot trobar la instal·lació. S'hauria de pensar llavors, en augmentar la demanda a la qual hauria de fer front la instal·lació, per exemple, que també cobris el consum d'aigua de rentavaixelles, rentadora, etc. Això implicaria, però, redissenyar i redimensionar pràcticament tota la instal·lació.

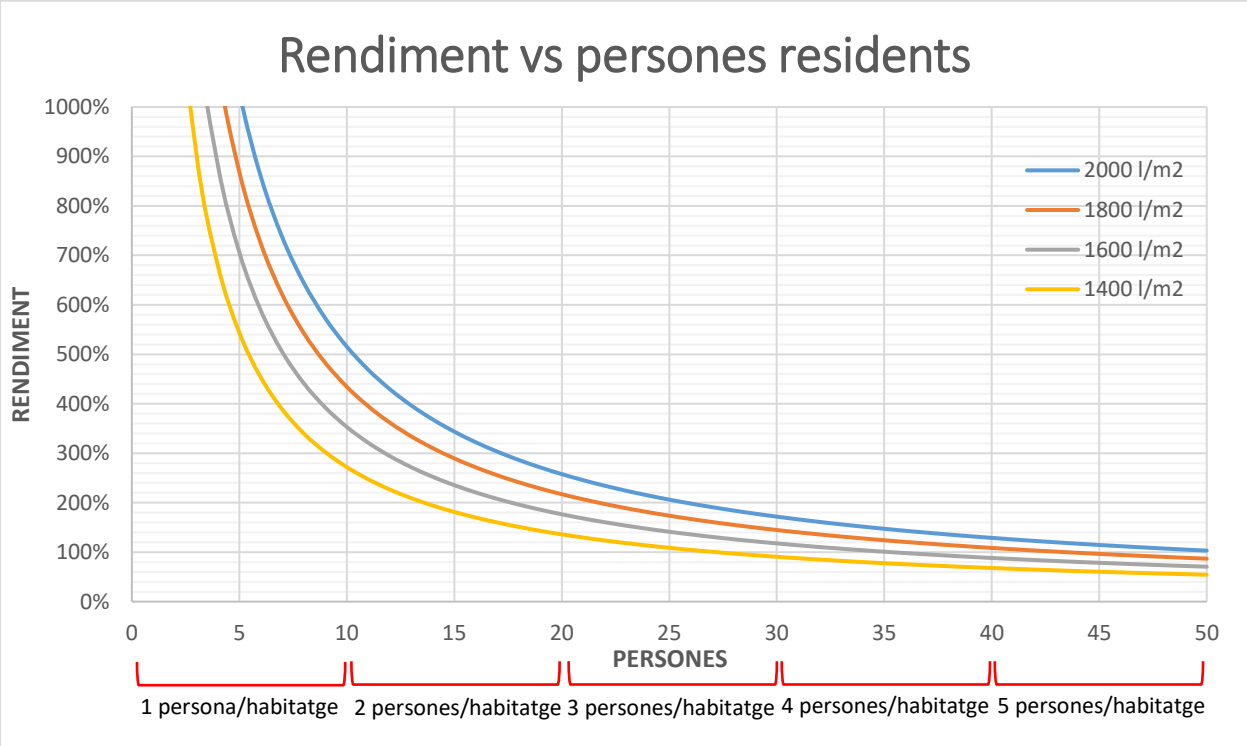

Figura 29. *Rendiment vs. nombre de veïns residents per a un rang de 2000-1400 l/m^2. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de consum d'aigua anual extretes de l'INE.*

Al analitzar amb més detall el rendiment en relació a la densitat de veïns residents a l'edifici, es pot observar que per a una hipotètica densitat de veïns molt baixa, de només una persona per habitatge, el rendiment quasi tendeix a infinit. El motiu és el mateix que per al cas anterior quan es parlava d'un edifici de només una o dues plantes. La instal·lació està dissenyada per abastir l'ús que farien de les cisternes unes 30 persones; per tant, si la quantitat de veïns es redueix dràsticament, hi haurà un excedent d'aigua desmesurat. Òbviament no és un cas real i un edifici no estarà compost únicament de pisos de 70-80 m^2 on només hi visqui una persona. Però en el cas que així fos, s'hauria de redissenyar tot el sistema per usar aquest excedent d'aigua per abastir altres necessitats dels veïns.

D'altra banda, estudiant el comportament per a densitats de veïns molt més elevades, el sistema només seria capaç de cobrir les necessitats de fins a 50 veïns si l'edifici estigues situat en una regió amb una precipitació de 2000 l/m^2, fet bastant poc probable a Espanya. Pot semblar un cas poc probable però cal pensar que en barris amb un poder adquisitiu molt baix, on imperi la pobresa, la densitat de població sol ser molt elevada i poden arribar a viure moltes persones d'un mateix nucli familiar en un mateix habitatge.

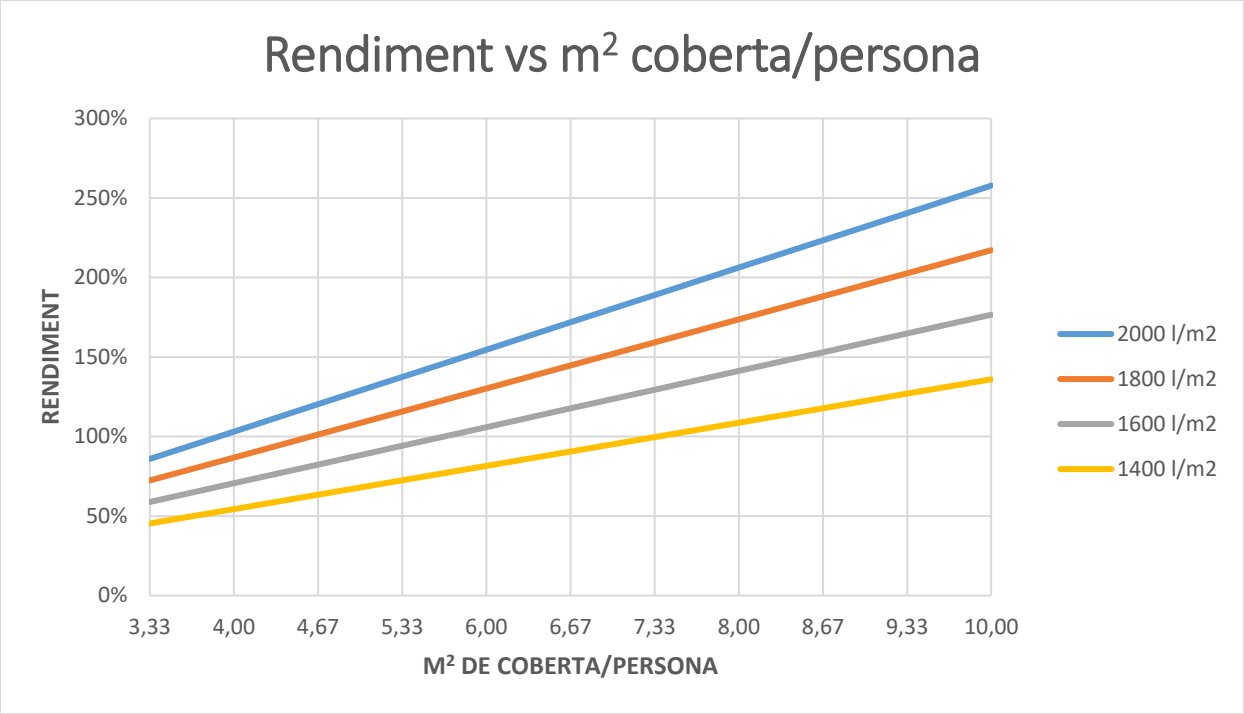

Figura 30. *Rendiment vs. àrea de recol·lecció per persona per a un rang de 2000-1400 l/m². Font: Elaboració pròpia a partir de dades de consum d'aigua anual extretes de l'INE.*

Per al rang de precipitació que s'està estudiant, es pot veure que a partir d'una proporció de 7,33 m² de coberta per veí, la instal·lació sempre serà capaç de cobrir la demanda total de l'edifici. Si es redueix aquesta proporció, una precipitació de 1400 l/m² no seria suficient per a cobrir la demanda. Aquesta proporció equivaldria a augmentar només en 20 m² la superfície de captació d'aigua de pluja si a l'edifici hi habitessin 30 persones. Cal tenir en compte que en aquest cas, la relació entre l'augment de la mida de la coberta i el rendiment si que és proporcional. Si es duplica l'àrea de recol·lecció, el rendiment també es duplicarà.

5.1.5. Estudi per al rang pluviomètric 1400 l/m² – 800 l/m²

Cal analitzar també un rang de precipitacions inferior, on els rendiments estaran més ajustats i la instal·lació no sigui capaç d'abastir al 100% el consum per la qual ha estat dissenyada. Per aquest cas s'hauran d'ajustar molt bé les condicions de l'edifici perquè la implantació del sistema segueixi sent viable en zones amb menor volum de precipitació mitjana.

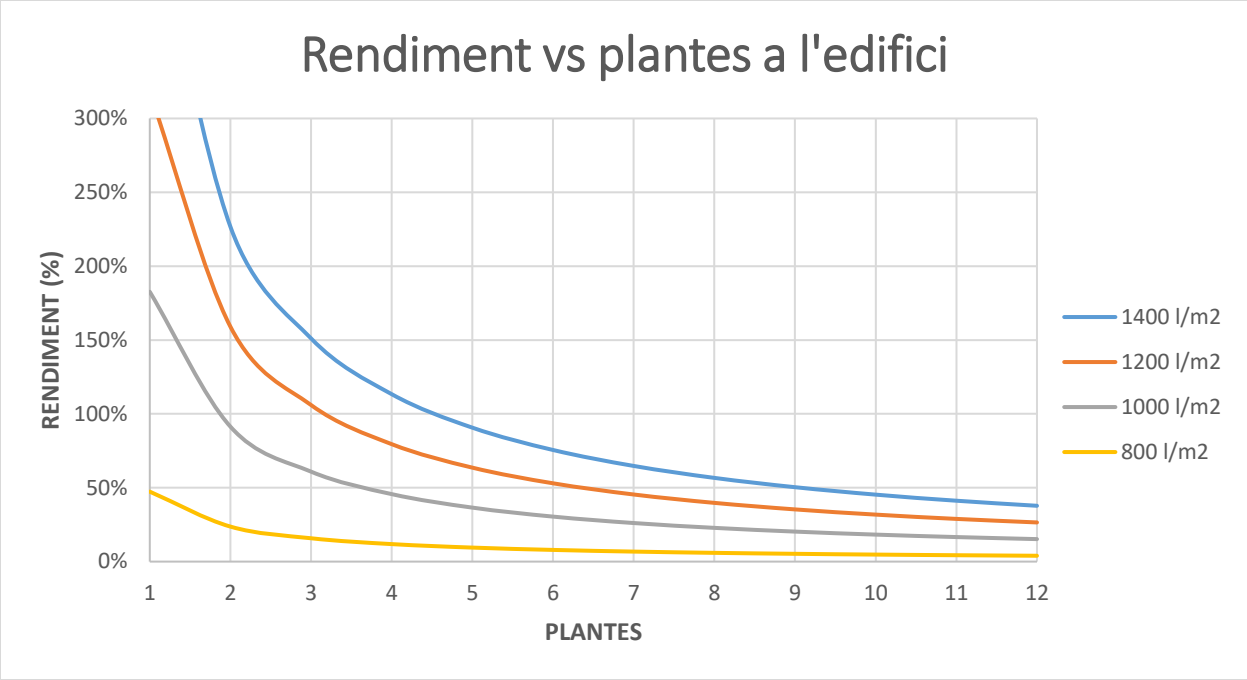

Figura 31. *Rendiment vs. nombre de plantes per a un rang de 1400-800 l/m². Font: Elaboració pròpia a partir de dades de consum d'aigua anual extretes de l'INE.*

Amb un primer anàlisi salta a la vista la disparitat de rendiments entre els valors de pluviometria. Això es deu principalment a que a mesura que els valors de precipitació s'acosten al llindar mínim per poder abastir la capa de vegetació (700 l/m²), el volum d'aigua restant aprofitable és molt menor i fa disminuir dràsticament el rendiment de la instal·lació. Es pot observar clarament al comparar el rendiment obtingut sota una precipitació de 800 l/m² i una de 1000 l/m². Si bé la segona és capaç d'assegurar un 50% del subministrament fins quasi les 4 plantes d'altura, amb la primera la instal·lació no pot arribar a cobrir el 50% de la demanda encara que hagués d'abastir només una planta.

També s'observa que per a volums de precipitació iguals o inferiors a 1400 l/m² els rendiments baixen dràsticament al augmentar el nombre de plantes i això provoca que, per exemple, en un edifici de 4 plantes, per sota de 1400 l/m² de volum de precipitació ja sigui impossible cobrir completament la demanda. Seguint en la mateixa línia, aquests valors de precipitació només asseguren cobrir la demanda en edificis de poca altura (3 plantes). La qual cosa no implica que es desaconselli la seva instal·lació, ja que sempre es pot combinar l'aigua recollida de la pluja amb l'aigua potable de xarxa quan la primera no arribi a abastir tot el consum. Cal tenir en compte però, que no seria gaire sensat implantar aquest sistema en una regió on degut al seu volum de precipitació, més de la meitat del consum de les cisternes es cobris amb aigua potable. Com a norma general, es recomana la implantació del sistema sempre i quan aquest sigui capaç d'abastir el 50% del consum. És a dir, per valors del rendiment inferiors al 50% no se'n recomana la instal·lació. Per exemple, a partir de les 9 plantes d'altura, sota aquests volums de precipitació, es desaconsella fermament la implantació del sistema, ja que en cap cas la instal·lació seria capaç de cobrir el 50% de la demanda.

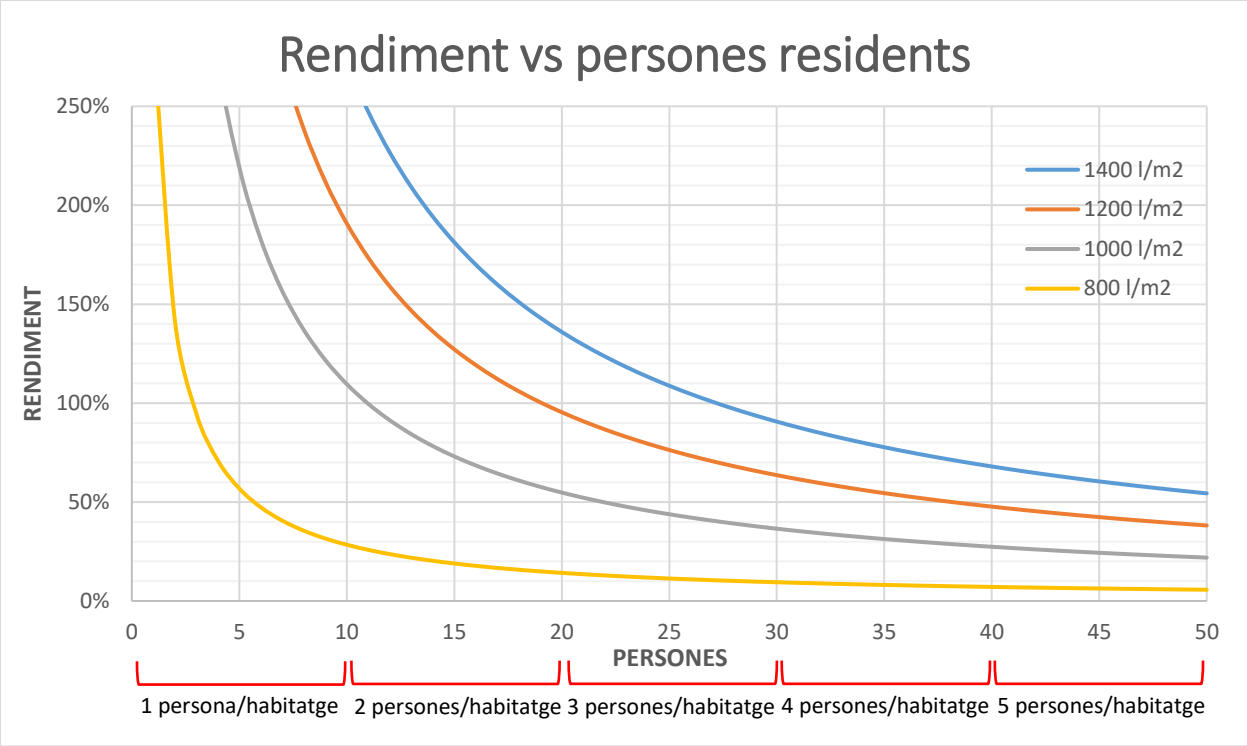

Figura 32. *Rendiment vs. nombre de veïns residents per a un rang de 1400-800 l/m².*
Font: Elaboració pròpia a partir de dades de consum d'aigua anual extretes de l'INE.

Basant-nos ara en el nombre de persones residents es pot observar que per aquest rang de precipitació, si s'encabeixen una mitjana de 3 persones per habitatge, la instal·lació no podrà cobrir la totalitat del consum. Si com s'ha comentat prèviament, es decidís implantar la instal·lació en un barri amb una densitat de població molt elevada on hi podrien arribar a viure fins a 5 persones per habitatge, el sistema no seria capaç de cobrir ni la meitat de la demanda d'aigua fruit de l'ús de les cisternes.

Per al cas que s'ha estudiat prèviament, que és el d'una densitat de 3 persones per habitatge, per a precipitacions inferiors a 1000 l/m^2 no se'n recomana la instal·lació ja que no arribaria a cobrir ni la meitat de la demanda. D'altra banda, per sobre d'aquest volum de precipitació el sistema arribaria a cobrir, com a mínim, la meitat de la demanda. I per tant ja es consideraria raonable la seva instal·lació.

En l'altre extrem trobem el cas d'un edifici infraocupat on la densitat sigui molt menor i equivalgui a un habitant per apartament. En aquest cas, si bé per a precipitacions iguals o superiors a 1000 l/m^2 el sistema arriba a cobrir la demanda, per a volums de precipitació inferiors (800 l/m^2) la instal·lació no podrà arribar a cobrir ni la meitat del consum.

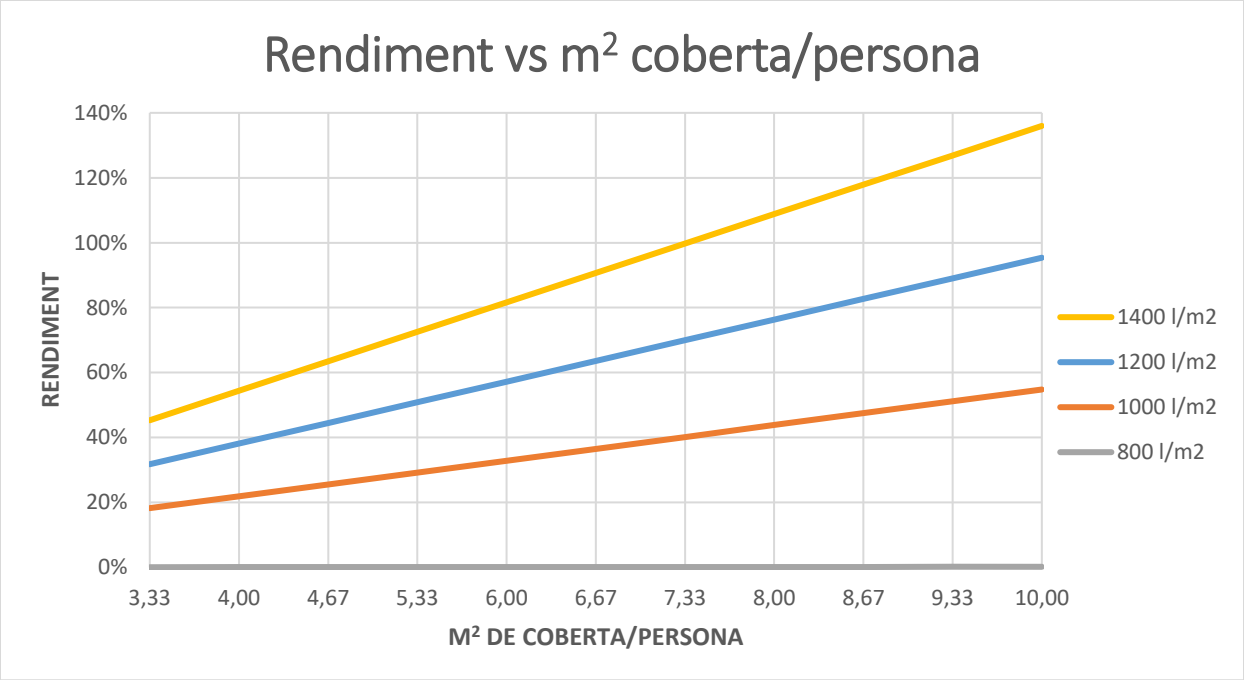

Figura 33. *Rendiment vs. àrea de recol·lecció per persona per a un rang de 1400-800 l/m^2. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de consum d'aigua anual extretes de l'INE.*

Finalment, en l'evolució del rendiment en relació als metres quadrats de coberta per habitant és confirma la tendència mostrada en els anteriors anàlisis. Potser aquest gràfic és on queda més clar la disparitat de comportament del rendiment quan els volum de precipitació s'acosta al límit mínim. Si bé per al volums de precipitació de 1400 a 1000 l/m^2 el rendiment tendeix a augmentar significativament al augmentar l'àrea de coberta disponible per habitant; per a una precipitació de 800 l/m^2, al ser aquesta tan propera al mínim, no es dedueix cap augment mínimament significatiu. El rendiment per m^2/persona és nul i es manté en un valor 0 encara que la mida de la coberta s'arribi a duplicar. Això es deu, bàsicament, a que el volum d'aigua restant aprofitable per a una precipitació tan baixa és pràcticament nul (de només 70 l/m^2 anuals com es pot veure a la ***Taula 1***) i per molt que s'augmenti la superfície de captació, el volum que se'n podrà aprofitar per metre quadrat és tan baix que no representa cap millora.

Així doncs, un cop analitzades totes les variables de les quals depèn el rendiment de la instal·lació, es desaconsella fermament implantar el sistema en regions amb una precipitació mitjana inferior a 1000 l/m^2 independentment de la resta de característiques de l'edifici o densitat de veïns.

5.1.6. Comportament de la instal·lació sota precipitacions inferiors a 800 l/m^2

En les gràfiques anteriors no s'ha mostrat en cap moment el comportament de la instal·lació per a volums de precipitació inferiors a 800 l/m^2 ja que per sota d'aquests nivells el volum de pluja no arriba ni a cobrir les necessitats hídriques de les plantes, tal com es mostra a la ***Taula 1***. Al no obtenir, per tant, un volum restant aprofitable positiu, el càlcul del rendiment manca de sentit.

Així doncs, no cal realitzar cap anàlisi sobre el comportament de la instal·lació sota volums de precipitació inferiors a 800 l/m^2. I es que com s'ha comentat prèviament, aquest sistema no es pot implantar en regions amb règims pluviomètrics inferiors al nivell esmentat prèviament, ja manca completament de sentit.

5.2. Estudi del tipus de vegetació de la coberta

Per a crear un sistema el més eficient possible i que presenti el menor consum d'aigua per part de la capa de vegetació, s'ha escollit instal·lar varietats de vegetació autòctona ja que són les que presenten un menor consum d'aigua per metre quadrat i s'adapten molt millor a les condicions climàtiques que ens podem trobar a la península.

Seria bo, però, estudiar el comportament de la instal·lació en quant a aprofitament d'aigua si en comptes d'usar-se plantes autòctones s'empressin altres varietats de vegetació.

Cal tenir present que un dels motius principals pels qual s'ha escollit una varietat de plantes autòctones es pel rec a les èpoques més seques. Aquestes varietats estan molt més adaptades al nostre clima i, de forma general, poden sobreviure als estius poc plujosos que ens podem trobar a la península ibèrica sense que necessitin ser regades de forma continua. Tot i que molt puntualment i en zones molt concretes podrien requerir d'un rec mínim en certs dies d'estiu. S'ha de ser conscient que, si s'opta per instal·lar qualsevol altre varietat de plantes, aquesta requerirà durant l'estiu d'un cert rec periòdic perquè no s'assequi.

5.2.1. Varietat de gespa Bermuda (Cynodon Dactylon)

Aquesta varietat de gespa és pròpia de les zones tropicals i subtropicals. El seu punt òptim de desenvolupament s'observa a temperatures altes i amb hiverns suaus. Sembla doncs, una bona opció per a implantar-la en les regions més seques. Per les seves característiques, aquesta varietat es pot mantenir amb pluviometries mitjanes de 600 l/m^2 i com resisteix força bé l'escassetat d'aigua, podria subsistir l'estiu sense necessitat de ser regada. Tot i que per volums de precipitació inferiors als 500 l/m^2 requereix de certes aportacions d'aigua durant els mesos més secs. A més a més es tracta d'una varietat bastant resistent al trepitjat, fet que la fa idònia per a la seva implantació en la nostra instal·lació.

El principal inconvenient d'aquesta varietat és la profunditat del seu sistema radicular. Al ser una planta adaptada a climes secs, les seves arrels solen ser més profundes

per obtenir més quantitat d'aigua. De forma general, les arrels arriben als 90 cm de profunditat[20]. Això no implica però, que si s'optés per plantar aquesta varietat s'hagués d'augmentar l'espessor de la capa de terra fins a quasi un metre de gruix. Les membranes geotèxtils mantenen més aigua retinguda a la terra i les capes anti-arrels evitarien l'avanç d'aquestes i les perforacions que podrien generar. Tot i així, s'hauria de considerar seriosament augmentar el gruix de la capa de terra.

5.2.2. Varietat de gespa Zoysia sp

Al igual que la Bermuda, la veritat de gespa Zoysia està considera una varietat molt resistent a la falta d'aigua. Així com tampoc és gaire resistent a les baixes temperatures. A més a més és una de les varietats més resistents a la salinitat, fet que la fa molt recomanable en zones costeres. En contrapartida a la varietat anterior, aquest tipus de gespa si bé és prou resistent a l'ús, no respon tan bé a un trepitjat intensiu. Aquest fet s'ha de tenir en compte depenent de l'ús que se li vulgui donar a la coberta de l'edifici.

Les necessitats hídriques de la Zoysia són molt pròximes als 600 l/m^2 de la Cynodon Dactylon, ara bé, no es tan resistent als períodes de sequera. Durant l'estiu requereix d'una aportació mínima d'uns 10 mm d'aigua per setmana per mantenir un aspecte mínimament decent, el que es tradueix en un mínim de 40 mm al mes[20]. Aquestes necessitats no la fan aconsellable en regions amb precipitacions estiuenques quasi nul·les, ja que requeriria d'un regat artificial.

5.2.3. Varietat de gespa Grama catalana (Stenotaphrum secundatum)

Es tracta d'una de les varietats de gespa més usades al litoral mediterrani ja que, al igual que les anteriors, s'adapta força bé als climes càlids. Resisteix bastant bé altes temperatures dels mesos d'estiu i alhora aguanta temperatures més fredes que la resta de varietats de climes càlids. Fet que la fa una bona candidata a implantar-se en zones amb gran amplitud tèrmica al llarg de l'any.

Si bé sota un volum de precipitació d'uns 600 l/m^2 la planta pot sobreviure, per mantenir-la en unes condicions acceptables es requereixen un mínim de 800 l/m^2[20]. Aquestes necessitats hídriques són superiors a la pluviometria de moltes zones d'Espanya, el que implica que si es volgués instal·lar aquesta varietat s'hauria d'implantar un sistema de rec a la instal·lació. Fet que incrementaria el preu i la complexitat de l'obra i aniria en contra del concepte bàsic del projecte que és el de l'estalvi d'aigua.

5.2.4. Gespa artificial

Pels casos en els quals la instal·lació no es pogués realitzar al complert i es renunciés a la implantació de la capa de vegetació, aquesta es podria substituir per gespa artificial.

No seria la millor de les solucions però si una opció que visualment complementaria la instal·lació. Cal tenir present però, que usant gespa artificial s'elimina tota l'aportació sostenible que generava el terrat enjardinat. La gespa artificial no contribueix a reduir l'efecte d'illa de calor de les ciutats, no filtra l'aire de contaminants i la sensació de zona verda que es crea no és real. Tot i compleix en l'efecte d'augmentar les zones verdes de la ciutat i si que pot contribuir, a partir de la imatge que es projecta, en incrementar la consciència ecològica.

Usant aquesta alternativa, s'elimina tot el consum d'aigua de la capa de vegetació. Ara bé, si s'opta per aquesta opció s'haurien d'eliminar totes les membranes drenants geotèxtils de la instal·lació de la coberta i això implicaria modificar completament el disseny d'aquesta.

No obstant, cal tenir present que amb aquesta alternativa tampoc es podrà recol·lectar el 100% del volum de precipitació. Una mínima part sempre quedarà retinguda en l'estructura de la gespa artificial i aquesta aigua acabarà per evaporar-se. Aquesta situació es donarà més acusadament durant els mesos d'estiu, on la pluges són bastant escasses però intenses i les temperatures molt més elevades. Aquesta combinació de factors produirà que la gespa artificial es saturi en el drenatge d'aquest volum d'aigua i les altes temperatures acabin evaporant aquesta volum retingut en la seva estructura. Es poden estimar aquestes pèrdues en un 5% de la precipitació anual.

5.2.5. Hort urbà

Com a última opció també es podria considerar la viabilitat d'implantar un hort urbà en comptes d'una coberta enjardinada.

Cal tenir present que aquesta alternativa suposaria una instal·lació molt més complexa que la del terrat enjardinat estàndard. I dependrà en gran mesura, del tipus de cultiu que es vulgui realitzar. Per a aquest cas considerarem dos tipus de cultius diferents:

- Plantes de fruit carnós com el tomàquet
- Plantes de fulla prima com per exemple cebes o alls

També es podrien realitzar cultius d'hortalisses o de fulla gran, com l'espinac, o fins i tot cultius mixtes que combinessin diverses varietats de verdures[21]; però a fi de simplificar l'anàlisi s'estudiaran només les dues varietats comentades anteriorment.

Les plantes de fruit carnós requereixen d'un rec irregular al llarg de l'any. Si bé demanden un volum d'aigua moderat durant la floració, després de la recol·lecció requereixen un rec abundant. Això suposa un gran inconvenient, les necessitats de rec del cultiu s'haurien d'adaptar a la precipitació de cada temporada.

Suposaria la instal·lació d'un sistema de rec automatitzat (per aspersió o degoteig) a tota la coberta de l'edifici ja que el més probable seria que el volum de precipitació no cobris la demanda d'aigua de les plantes. I, en el millor dels casos, l'aigua emprada per aquest rec s'obtindria de la que s'hagués pogut recol·lectar en altres temporades. Tot i que el més probable és que ni tan sols es pogués recol·lectar ni un mínim volum de precipitació.

Cal tenir present també, que per a disposar d'un bon medi de cultiu d'aquestes plantes, l'espessor de terra instal·lat hauria de ser molt més ample degut al tipus d'arrels que creixerien, fossin tomàquets, carbassons, albergínies... Un gruix molt més gran de terra significaria un volum d'aigua retinguda en ella molt major.

Les mateixes problemàtiques apareixerien si s'optés per realitzar un cultiu de plantes de fulla prima, que si bé demanden un menor volum de d'aigua i més regular al llarg de l'any; les característiques necessàries per crear un bon medi de cultiu impossibilitarien la recol·lecció d'aigua per al sistema.

Considerant tots els elements que requeriria la instal·lació d'un hort urbà a la coberta de l'edifici, es conclou que seria completament incompatible amb la idea de recol·lectar aigua de pluja per al seu reaprofitament posterior. Es podria instal·lar un hort urbà però s'hauria de renunciar a implantar una instal·lació de reaprofitament d'aigua.

5.2.6. Comparació del rendiment per a diverses varietats de gespa

La millor manera per a poder veure com es comporta la instal·lació al seleccionar una varietat de gespa concreta és comparant el rendiment que mostra en front del comportament estàndard del sistema usant plantes de varietats autòctones.

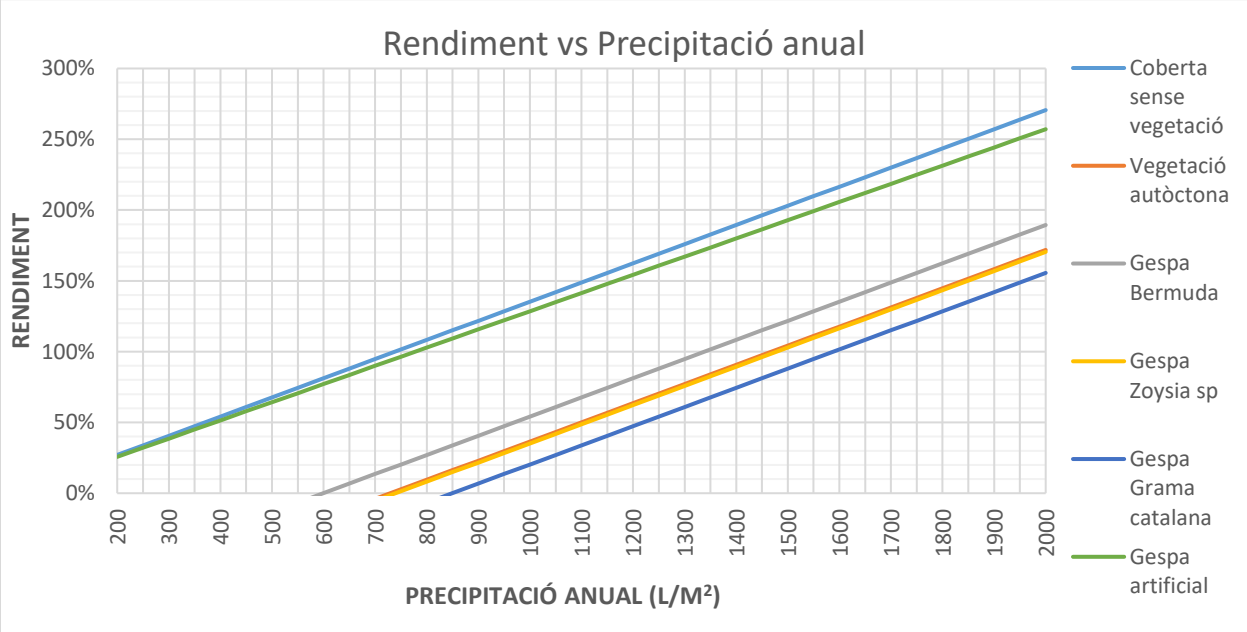

Figura 34. *Comparació entre varietats de gespa. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de consum d'aigua extretes de l'INE.*

Les opcions que mostren un major rendiment són la no instal·lació de la capa de vegetació i la implantació de gespa artificial, ja que per a la primera el consum d'aigua és nul i en el segon cas el volum d'aigua que s'arriba a perdre no supera el 5% de la precipitació.

L'opció de la gespa Bermuda dona, sobre el paper, un 18% més de rendiment que les varietats autòctones. Ara bé, el comportament a la realitat serà pràcticament igual o fins i tot, de menor rendiment que les varietats autòctones. Al realitzar l'estudi sobre el comportament d'aquesta varietat s'ha considerat que es pot abastir amb un volum de precipitació de 600 l/m^2, i si bé és cert, quan la precipitació sigui superior, la planta seguirà absorbint part d'aquest volum. Això es deu a que aquest volum d'aigua assegura unes condicions mínimes per a la gespa, però si se la rega més (s'incrementa la precipitació), la planta absorbirà aquesta aigua extra i presentarà un millor aspecte. Així doncs, tot i que a primera vista pugui semblar que la implantació de la varietat de gespa Bermuda és més eficient que les varietats autòctones, en realitat les varietats autòctones seran més eficients en el consum de l'aigua.

Per sota dels nivells de la vegetació autòctona trobem les varietats Zoysia sp i Grama catalana. La primera mostra un comportament quasi idèntic a l'autòcton, però cal recordar que requereix d'un rec mínim a l'estiu per a sobreviure. Per aquest motiu aquesta varietat només s'aconsella en regions on es presenti un mínim de precipitació als mesos més càlids. Desaconsellant-ne l'elecció si es vol implantar el sistema en ciutats com Barcelona. D'altra banda, la varietat Grama catalana demanda unes necessitats hídriques mínimes superiors a les varietats autòctones, essent menys eficient que aquestes últimes.

6. IMPLANTACIÓ A DIVERSES CIUTATS D'ESPANYA

Prèviament s'ha realitzat un anàlisi de tots els factors que intervenen en el rendiment de la instal·lació basant-se en els règims pluviomètrics que es poden trobar a Espanya, que van des dels 200 l/m^2 fins als 2000 l/m^2, sense, però, analitzant-ho sobre regions concretes del país.

A continuació, es realitzarà un anàlisi del comportament general de la instal·lació al ser implantada en diverses regions d'Espanya. Es tindrà en consideració no només la pluviometria, sinó també la distribució de les pluges al llarg de l'any i com afectaran a l'aprofitament del dipòsit d'aigües pluvials. Les diverses regions s'han escollit específicament per tenir models de tots els climes presents al territori espanyol.

Segons la classificació climàtica de Köppen a la península ibèrica es poden trobar, essencialment, els següents tipus de climes[19]:

- Cfb: És el clima oceànic, propi de la franja costera del nord de la península i caracteritzat per un volum constant de precipitacions al llarg de l'any, amb temperatures al estiu molt suaus.
- Cfa: Es tracta del clima subtropical humit, també caracteritzat per unes precipitacions constants durant tot l'any. Si bé es diferencia del Cfb per uns estius més calorosos.
- Csa: Clima mediterrani d'estiu calorós, amb pluges irregulars i propi de la costa mediterrània.
- Csb: Clima mediterrani d'estiu fresc, es diferencia de l'anterior per tenir uns estius més suaus però manté la irregularitat en les precipitacions al llarg de l'any i és propi de l'altiplà nord.

Aquests són els climes principals, però a més a més a la península es poden trobar el clima de muntanya i els climes àrids o semi-àrids, però donat que no són predominants i les característiques meteorològiques que presenten són extremes, no seran part de l'estudi.

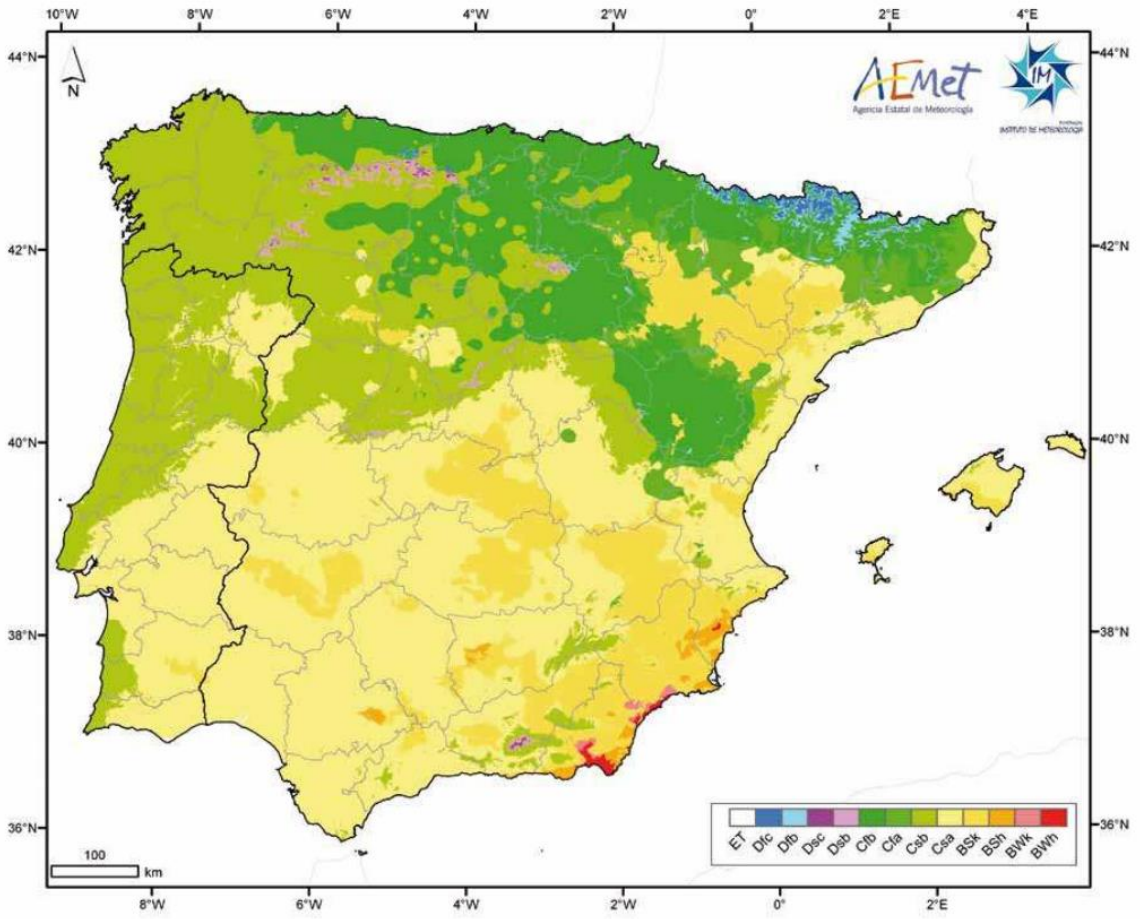

Figura 35. *Classificació climàtica de Köppen per a la península ibèrica. Font: AEMET*

- Com a model d'estudi per al clima Cfb s'han escollit tres ciutats per la seva varietat en quant a nivell pluviomètric:
    - Vigo, ciutat situada a la província de Pontevedra i una de les ciutats amb major precipitació d'Espanya, concretament 1791[5] l/m^2
    - Olot, capital de la Garrotxa i amb una precipitació anual de 998[6] l/m^2
    - San Sebastià, capital de Guipúscoa i amb una precipitació anual de 1507[7] l/m^2, de les tres ciutats és la que té una precipitació més repartida al llarg de l'any
- Per al tipus de clima Cfa s'ha escollit com a ciutat d'estudi Osca, amb una precipitació anual de 480[8] l/m^2

[5] Dades extretes de l'AEMET (Agencia Estatal de Meteorologia)
[6] Dades extretes de l'IDESCAT (Institut d'Estadística de Catalunya)
[7] Dades extretes de l'AEMET (Agencia Estatal de Meteorologia)
[8] Dades extretes de l'AEMET (Agencia Estatal de Meteorologia)

- Per al clima Csa, s'ha escollit com a model d'estudi la ciutat de Barcelona, amb una precipitació anual de 621[9] l/m^2
- I finalment, com a model per al clima Csb s'ha optat per la ciutat de Valladolid, a Castella i Lleó, amb una precipitació anual de 433[10] l/m^2

6.1. Estudi de la implantació a Vigo

Si ens fixem en el gràfic que representa el rendiment en comparació a la precipitació anual, a la pàgina 52, podem veure que per a un volum de precipitació com el de Vigo, el rendiment és proper al 150%. Concretament, al realitzar un càlcul més precís s'obté un valor de 143%. Si bé sobre el paper aquest rendiment indica que el sistema cobreix de sobres la demanda, la realitat pot ser lleugerament diferent.

Per analitzar en profunditat la viabilitat de la implantació del sistema en una regió, cal basar-se en la distribució del volum de les pluges i no únicament en la precipitació.

Considerant un dipòsit de recol·lecció de volum nominal 20m^3, s'obté la següent evolució del sistema al llarg de l'any:

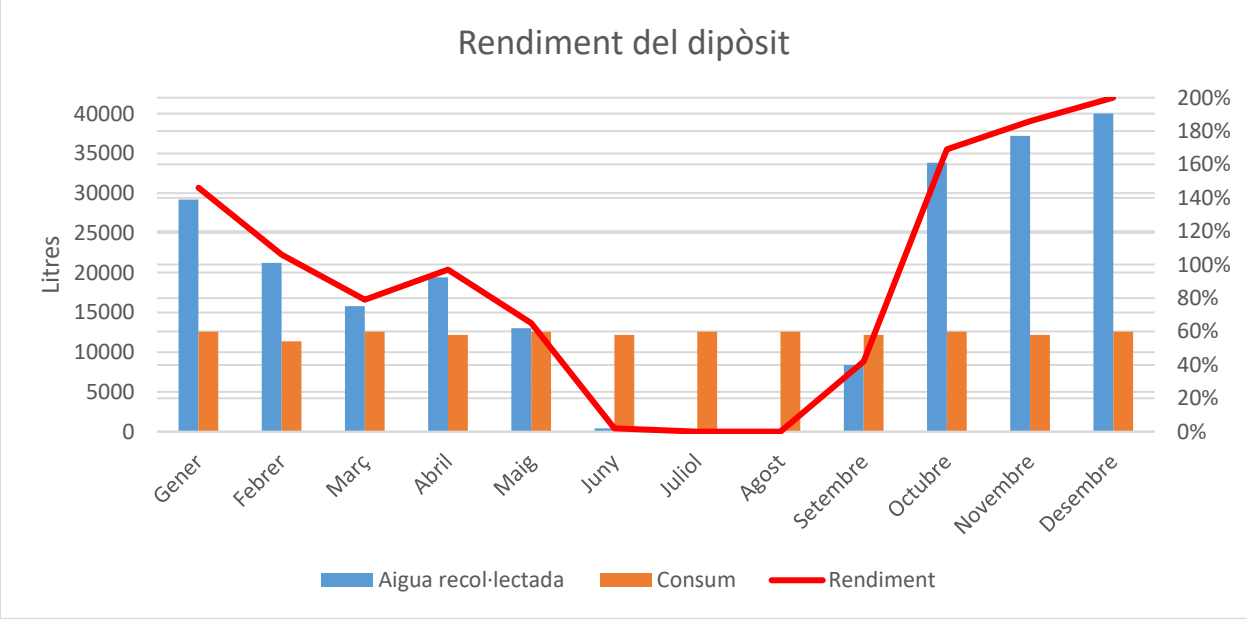

Figura 36. *Rendiment del dipòsit a la ciutat de Vigo. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de precipitació a Vigo extretes de l'AEMET.*

Com es pot observar, durant la major part dels mesos de l'any el volum d'aigua recol·lectada és àmpliament superior al consum al qual ha de fer front la instal·lació.

[9] Dades extretes de l'AEMET (Agencia Estatal de Meteorologia)
[10] Dades extretes de l'AEMET (Agencia Estatal de Meteorologia)

El problema, però, apareix durant els mesos d'estiu, on la quantitat de precipitació és tan baixa que només arriba a cobrir les necessitats hídriques de la capa de vegetació.

Aquesta situació es tradueix en un volum pràcticament zero d'aigua recol·lectada per als mesos d'estiu (Juny, Juliol i Agost). El que implica que durant aquests mesos, la instal·lació s'abastirà de l'aigua sobrant que s'hagi recol·lectat els mesos anteriors o, si el volum d'aquesta no és suficient, de l'entrada d'aigua de la xarxa. Aquesta fet queda palès en l'evolució del rendiment del dipòsit, que representa fins a quin tant per cent en volum estarà ocupat aquest per aigua. Si bé als mesos més plujosos supera amb facilitat el 80% d'ocupació, arribant a pics de fins al 190%, durant els mesos d'estius es redueix a 0%.

Si prèviament s'ha comentat que la instal·lació tindria un rendiment del 143%, aquest es veurà reduït pel fet que no tota l'aigua de pluja podrà ser recol·lectada durant els mesos més plujosos. Ja que per a poder recol·lectar tot el volum d'aigua de, per exemple, desembre, s'hauria de disposar d'un dipòsit de 35 m^3; volum totalment desmesurat per a la resta de mesos de l'any. Això suposarà que part de la precipitació dels mesos més plujosos no es pugui recol·lectar i es perdi. Reduint-se el rendiment real de la instal·lació.

D'altra banda, també s'ha observar des del balanç de volum d'aigua consumida i recol·lectada.

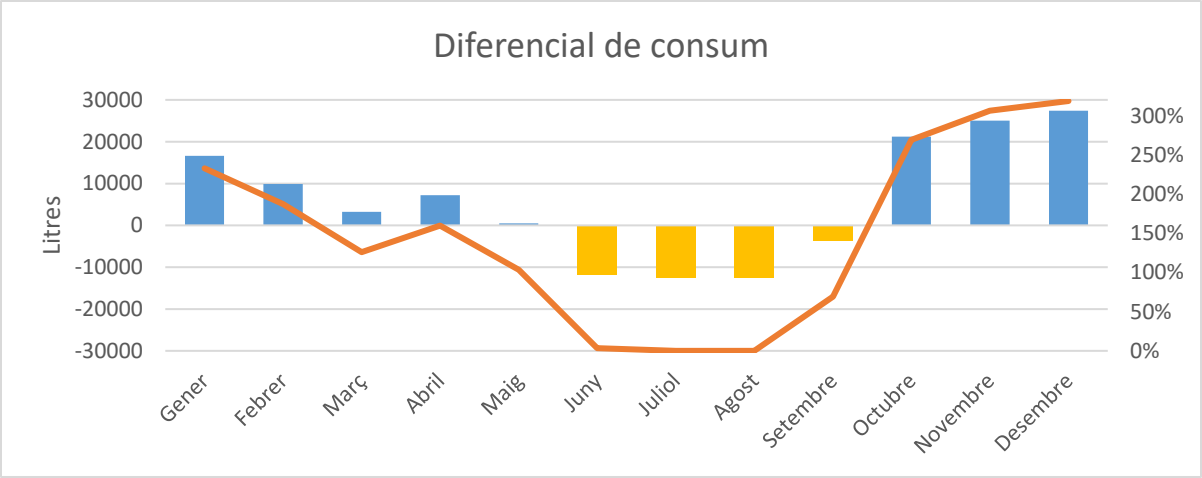

Figura 37. *Diferencial de consum a la ciutat de Vigo. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de precipitació a Vigo extretes de l'AEMET.*

En aquesta representació es pot veure més clarament la diferencia en litres entre el consum que es produeix a la instal·lació i l'aigua que es recol·lecta. Com ja s'ha comentat, durant els mesos d'estiu el sistema haurà de fer front a un balanç negatiu on només hi haurà consum. Durant la resta de mesos de l'any el sistema mostrarà un balanç positiu en el que anirà acumulant aigua mes rere mes fins arribar de nou als mesos d'estiu on farà ús de les reserves per abastir les necessitats de l'edifici. Si s'analitza amb més detall aquesta evolució, es lògic pensar que el dipòsit arribarà a l'època estival al 100% de volum ja que durant els 8 mesos anteriors haurà entrat més volum d'aigua que no pas el volum consumit (rendiment>100%).

Si el dipòsit té un volum de 20 m^3, el sistema podrà cobrir el consum de juny i juliol sense problemes però al arribar al agost, el dipòsit ja s'haurà buidat i caldrà abastir el sistema amb aigua potable de xarxa.

Viabilitat

Un cop analitzat el funcionament de la instal·lació, es demostra que la implantació d'aquest sistema a la ciutat de Vigo **SÍ** és factible ja que el volum de precipitacions assegura cobrir el consum durant la major part de l'any. Tot i que es podria valorar la opció d'augmentar el volum del dipòsit per reduir al mínim la necessitat de consumir aigua de la xarxa als mesos d'estiu.

6.2. Estudi de la implantació a Olot

Si bé el clima que es dona a Olot és de la mateixa naturalesa que el de Vigo, la viabilitat de la implantació del sistema podrà no ser la mateixa.

Amb una precipitació anual de 998 l/m^2, el rendiment general de la instal·lació es situa en el 37%, molt per sota de cobrir les necessitats de consum ja que ni tan sols arriba a cobrir la meitat de la demanda. A aquest valor ja se li ha descomptat el volum d'aigua requerit per la capa de vegetació. Amb un rendiment tan baix no és factible implantar el sistema.

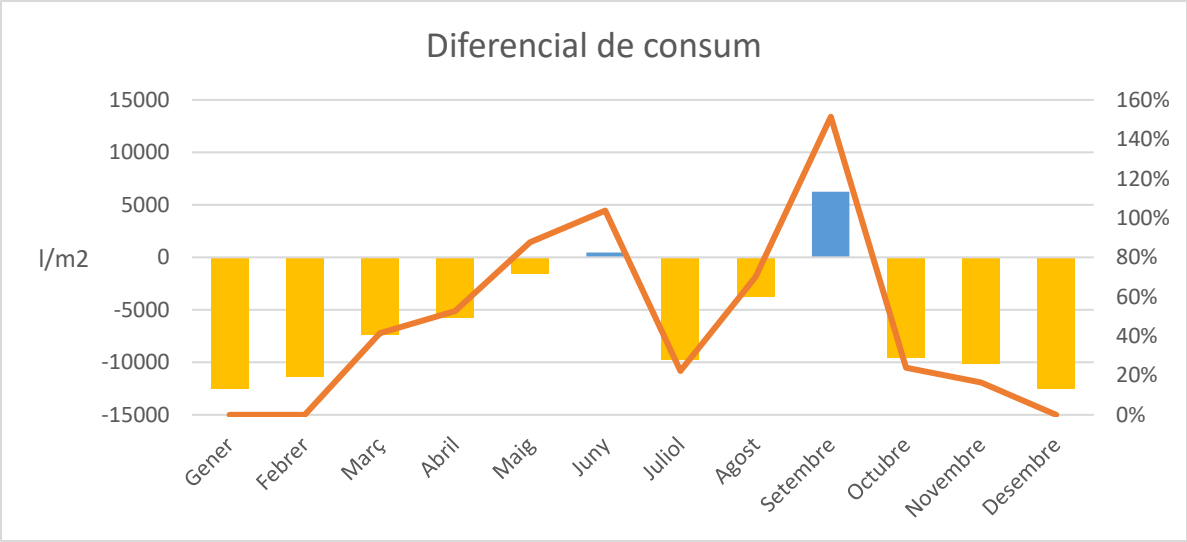

Figura 38. *Diferencial de consum desfavorable a Olot**.** Font: Elaboració pròpia a partir de dades de precipitació a Olot extretes de l'IDESCAT.*

Tal i com queda palès a la representació, el sistema haurà de fer front durant la major part de l'any a consums molt superiors a l'entrada d'aigua de la que disposarà. Això implicarà que s'hagi de recórrer contínuament, i durant tot l'any, a abastir el consum mitjançant agua potable.

Alternativa

Al tenir un rendiment tan pobre, no és viable implantar el sistema en aquesta ciutat. Però ja que les precipitacions són prou elevades, es pot estudiar alguna alternativa que faci el sistema viable.

El problema en aquest cas no és realment la baixa precipitació, sinó la proximitat del volum de precipitació a la quantitat d'aigua que necessiten les plantes de la coberta.

Com la precipitació no es pot augmentar i per la seva banda, el consum per metre quadrat de zona enjardinada tampoc es pot reduir, es podria optar per reduir el consum general de la zona enjardinada reduint la mida d'aquesta.

Per aquest cas s'optarà per combinar a la coberta una part de zona enjardinada i una altre de terrat normal. Al estudiar el consum que haurà de cobrir la instal·lació i el rendiment que aporta una unitat de terrat normal en front d'una d'enjardinada; es recomana usar una proporció, en m^2, de 60% de terrat normal i 40% de zona enjardinada.

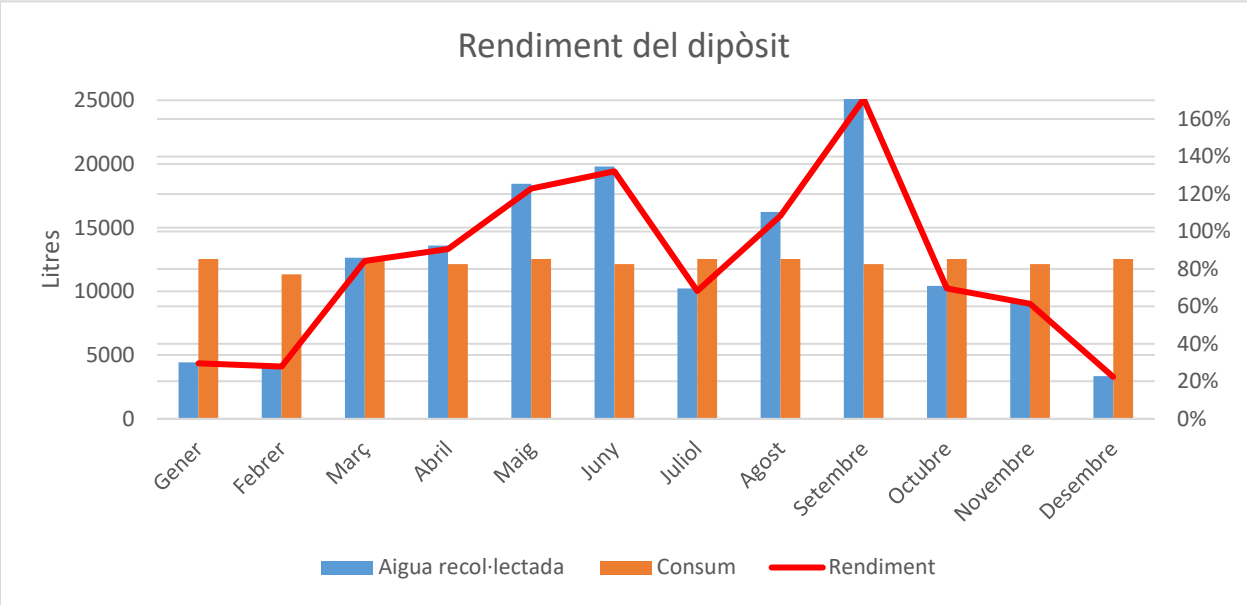

Figura 39. *Rendiment del dipòsit a Olot implantant l'alternativa. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de precipitació a Olot extretes de l'IDESCAT.*

A primera vista es pot observar que durant uns quants mesos de l'any la instal·lació no arriba a cobrir el 100% de la demanda i de fet, durant els mesos d'hivern el volum de recol·lecció que s'aconsegueix està bastant per sota de poder cobrir el consum. Però la precipitació que es pot recol·lectar durant els mesos més plujosos (que paradoxalment és a l'estiu) arriba a cobrir pràcticament en la seva totalitat el consum dels demes mesos de l'any.

Per aquest cas cal tenir en compte un factor molt important: el volum de precipitació "sobrant" dels mesos més plujosos no es perd ja que aquesta precipitació es reparteix equitativament durant tots aquests mesos i no apareixen puntes extremes de precipitació que s'acabarien deixant perdre.

Aquest volum extra acumulat fins al Setembre podria cobrir el diferencial de consum amb seguretat fins al Gener, i al Febrer, depenent de com es distribuïssin les precipitacions, caldria acabar de cobrir la demanda amb l'ús d'aigua potable.

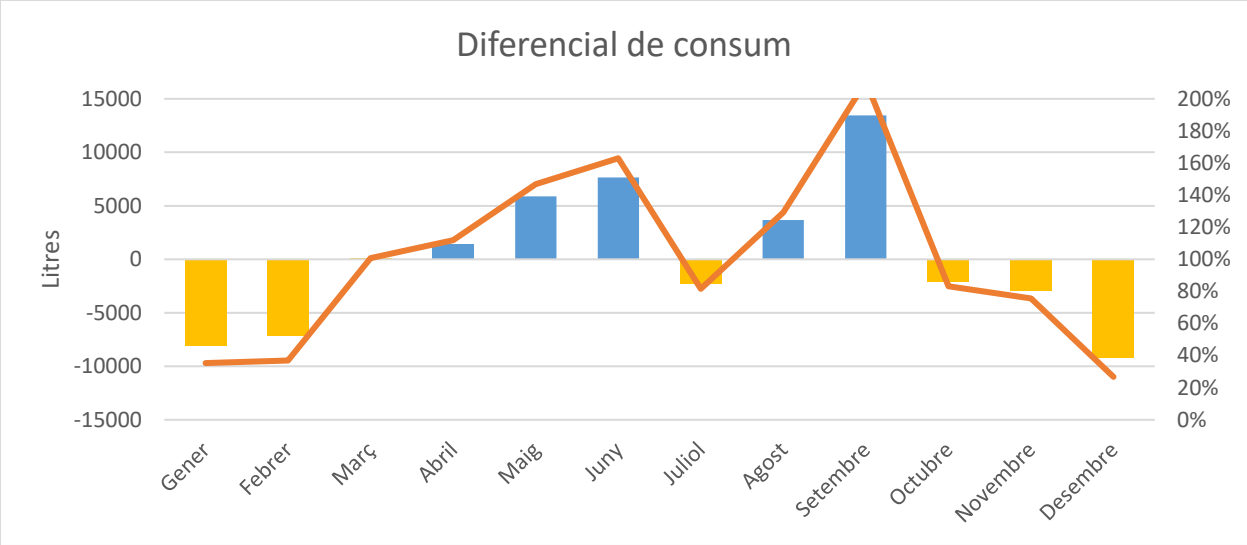

Figura 40. *Diferencial de consum a Olot al implantar l'alternativa. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de precipitació a Olot extretes de l'IDESCAT.*

Per aquest cas cal tenir en compte un factor molt important: el volum de precipitació "sobrant" dels mesos més plujosos no es perd ja que aquesta precipitació es reparteix equitativament durant tots aquests mesos i no apareixen puntes extremes de precipitació que s'acabarien deixant perdre. Aquest volum extra acumulat fins al Setembre podria cobrir el diferencial de consum amb seguretat fins al gener, i al febrer, depenent de com es distribuïssin les precipitacions, caldria acabar de cobrir la demanda amb l'ús d'aigua potable.

Viabilitat de l'alternativa

Un cop analitzat el comportament de l'alternativa proposada, els valors obtinguts indiquen que sacrificant una part de la zona enjardinada, la instal·lació del sistema **SÍ** seria viable a la ciutat d'Olot, sempre i quan es realitzes aquesta modificació del sistema.

6.3. Estudi de la implantació a San Sebastià

Els valors climatològics de San Sebastià són els que s'han usat com a model per al càlcul i dimensionament de la instal·lació.

Amb una pluviometria de 1507 l/m^2, el sistema aconsegueix un rendiment del 105%. Tot i que a primera vista sembla un valor bastant just, cal analitzar la distribució d'aquestes precipitacions per descobrir com es comportarà la instal·lació en la realitat.

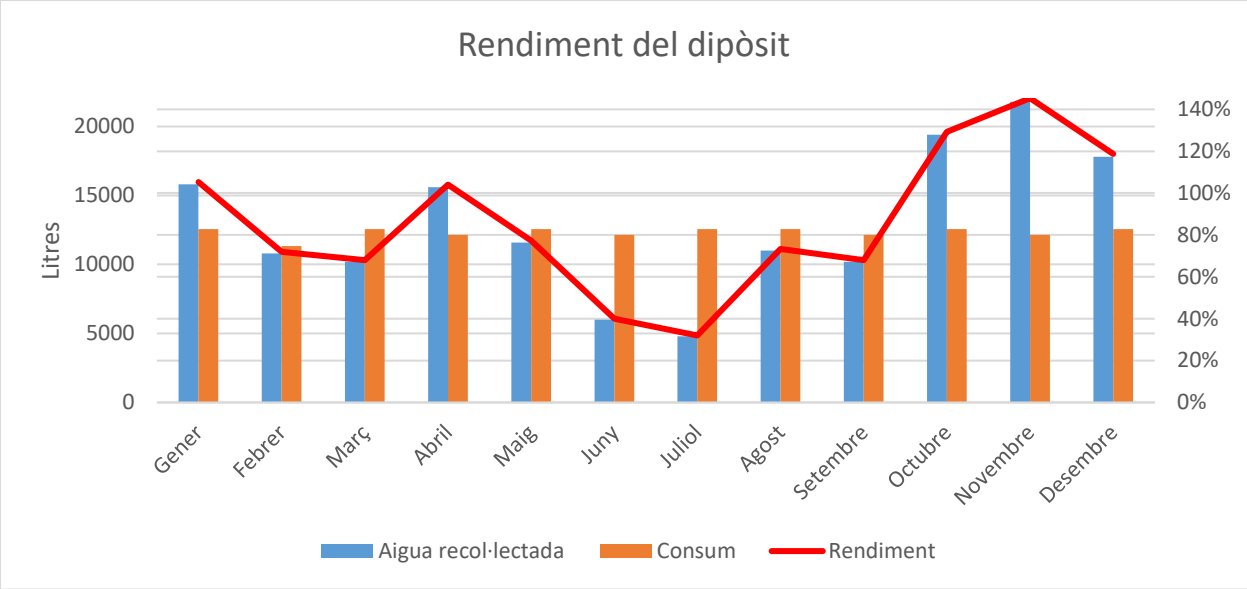

Figura 41. *Rendiment del dipòsit a la ciutat de San Sebastià. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de precipitació a San Sebastià extretes de l'AEMET.*

Observant l'evolució de les precipitacions al llarg de l'any es pot veure que el motiu pel qual el rendiment es tan proper al 100% és degut a que durant gran part de l'any el rendiment és inferior a aquest valor. És a dir, en la majoria de mesos el consum de la instal·lació és lleugerament superior al volum d'aigua que es pot recol·lectar. A diferencia dels casos estudiats anteriorment, a San Sebastià la precipitació es tan regular al llarg de l'any que en cap mes el volum de pluja és inferior a les necessitats hídriques de les plantes i per tant sempre s'assegura una mínima recol·lecció al llarg de tot l'any, fins i tot als mesos d'estiu.

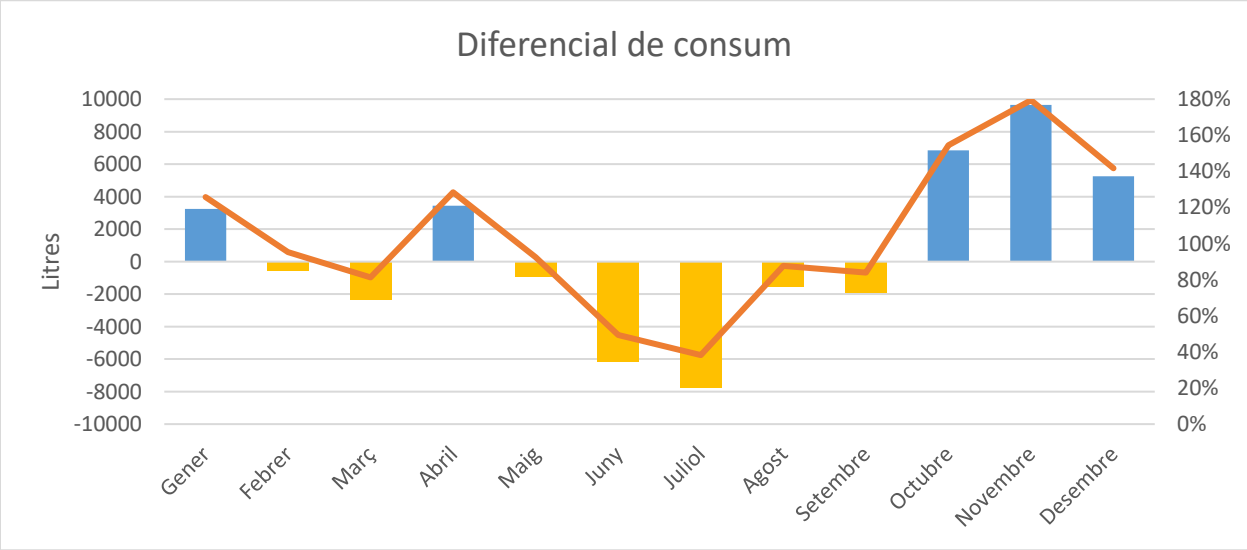

Figura 42. *Diferencial de consum a San Sebastià. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de precipitació a San Sebastià extretes de l'AEMET.*

Aquesta pluviometria més repartida al llarg de l'any evita que es generin tant els pics de precipitació que la nostra instal·lació no podria recol·lectar, com els pics negatius de consum que acabarien amb les existències d'aigua sobrant d'altres estacions menys seques.

Per poder esbrinar si el volum d'aigua recollit durant els mesos mes plujosos cobreix al complet la demanda dels que tenen un major consum en relació a la seva precipitació cal iniciar l'estudi just després de l'estiu. Després de cinc mesos de balanç negatiu és molt probable que el dipòsit estigui pràcticament buit. D'octubre a gener s'encadenen quatre mesos de balanç positiu en els quals el dipòsit s'omplirà fins al màxim. febrer i març redueixen lleugerament les reserves d'aigua però a l'abril aquestes es recuperen i el dipòsit tornarà al seu nivell màxim. Posteriorment segueixen cinc mesos exclusivament de balanç negatiu que minvaran fins al mínim les reserves d'aigua. El volum restant que quedarà serà:

$$Restant = V_{dipòsit} - \Delta Consum(Maig - Setembre) \tag{48}$$

$$Restant = 20.000\ l - 955\ l - 6150\ l - 7755\ l - 1555\ l - 1950\ l \tag{49}$$

El resultat de l'operació anterior són +1.635 litres disponibles que queden al dipòsit a finals de Setembre.

Segons aquestes estimacions, en cap moment de l'any caldria fer ús de l'aigua potable de xarxa per abastir el consum de la instal·lació. Ara bé, cal recordar que aquest és un anàlisi basat en dades de precipitació mitjanes i que, per tant, la realitat de cada any pot diferir. Per aquest motiu segueix essent essencial la instal·lació d'una entrada d'aigua de xarxa a la instal·lació encara que aquesta s'implanti a San Sebastià.

Viabilitat

Després d'haver analitzat el comportament de la instal·lació sota les condicions climàtiques de San Sebastià, es conclou que la implantació del sistema **SÍ** seria viable sense la necessitat d'adaptar-la a cap circumstància concreta.

6.4. Estudi de la implantació a Barcelona

Barcelona no és una ciutat precisament plujosa, sinó més aviat seca i amb una precipitació bastant irregular al llarg de l'any, que es tradueix en una pluviometria de 621 l/m^2 anuals.

A primer cop d'ull, ja es veu que aquest volum de precipitació és inferior a la quantitat d'aigua necessària per abastir les necessitats hídriques de les plantes i que sobrés cert volum per a la seva recol·lecció. Per sota de valors de 800 l/m^2 la recol·lecció d'aigua de pluja és nul·la. Veient aquesta situació, la implantació del sistema en aquestes condicions sense cap modificació **NO** és viable.

Alternatives

Tot i que la implantació del sistema no sigui viable a Barcelona, el concepte del sistema es pot arribar a modificar per aconseguir que la seva implantació acabi sent viable.

Es presenten bàsicament dues alternatives:

En la primera es considera únicament l'ús d'un terrat enjardinat. Ja que el volum de precipitació si que arribaria a cobrir com a mínim les necessitats hídriques de les plantes, es pot optar per realitzar la instal·lació de terrats enjardinats. Deixant de banda la instal·lació del sistema de reaprofitament d'aigües pluvials. Si bé a l'època estival la zona de vegetació podria patir més la falta de pluges, les capes de membrana geotèxtil s'encarregarien de retenir l'aigua que alimentaria a les plantes.

No s'aconseguiria cap estalvi d'aigua, que és un dels objectius del projecte, però si mantindria les característiques ecològiques de la instal·lació en quant a reduir l'efecte d'illa de calor de les ciutats, netejar l'aire i aïllar tèrmica i acústicament l'edifici; ajudant també en l'intangible d'augmentar les zones verdes a la ciutat i crear més consciencia ecològica.

La segona és, bàsicament, tot el contrari a la primera. Per aquesta alternativa es considera l'opció d'eliminar la zona enjardinada del terrat i mantenir la instal·lació recol·lectora d'aigua de pluja. Així doncs, tot el volum de precipitació seria reaprofitat pel sistema.

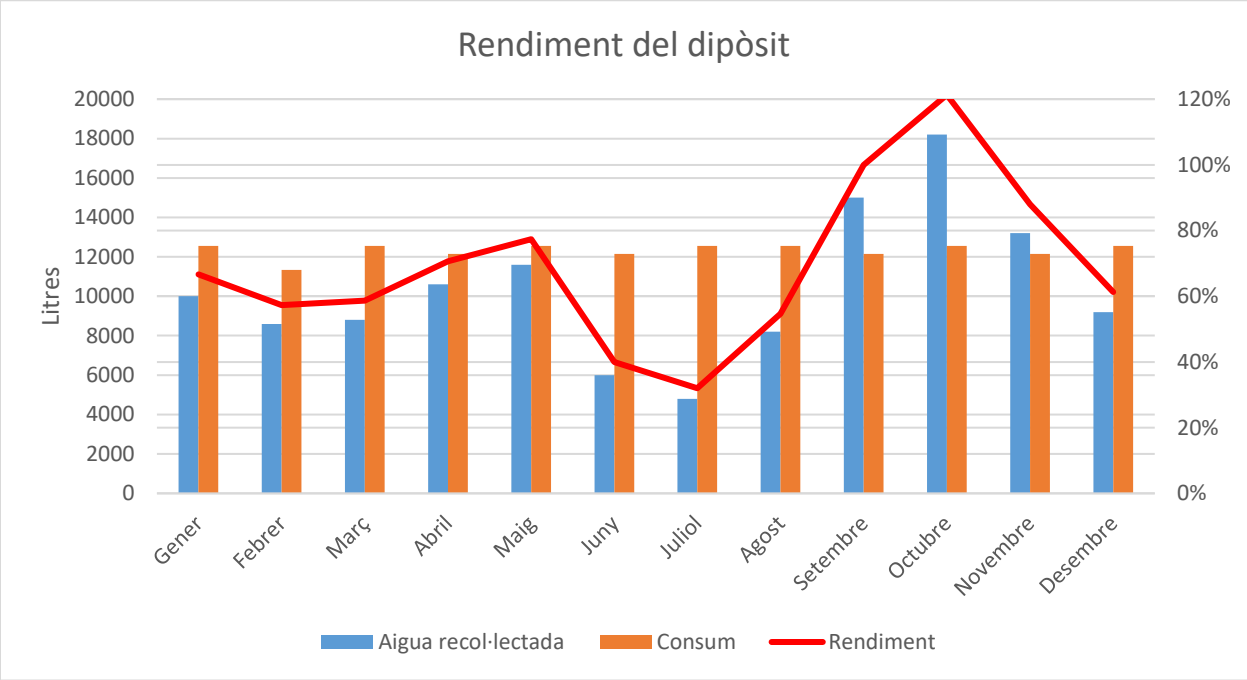

Figura 43. *Rendiment del dipòsit a Barcelona implantant l'alternativa. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de precipitació a Barcelona extretes de l'AEMET.*

Un detall important a tenir en compte en aquesta variant de la instal·lació és la falta de pre-filtratge de l'aigua de pluja al mancar la capa de vegetació. El terrat enjardinat actuava com a primer filtre de l'aigua de pluja que es recol·lectava i si aquest s'elimina de la instal·lació, la precipitació es captarà a traves de l'asfalt del terrat, que contindrà partícules nocives i de pol·lució. Això farà necessària la instal·lació d'un sistema de rebuig automatitzat de les primeres pluges, que consisteix a desaiguar les primeres pluges de la temporada (quan el sistema detecta que durant un cert període de temps no ha entrat aigua al dipòsit, el primer volum d'entrada el rebutja) ja que aquestes hauran netejat tota la coberta i contindran una gran quantitat de partícules nocives.

Per aquest segon cas, s'aconseguiria un rendiment de la instal·lació del 84%; que si bé no arribaria a cobrir tota la demanda de l'edifici, si que en cobriria una gran part.

Tot i tenir un règim de precipitacions irregulars al llarg de l'any, al no instal·lar-se el terrat enjardinat, s'elimina la possibilitat que la recol·lecció sigui nul·la durant certs mesos de l'any.

Com és d'esperar, els mesos d'estiu és l'època on es registrarà una menor recol·lecció d'aigua i el sistema quedarà més infrautilitzat. Si bé als mesos de tardor la recol·lecció d'aigua superarà la demanda, el volum extra acumulat no serà suficient per fer front a la demanda restant dels demés mesos de l'any.

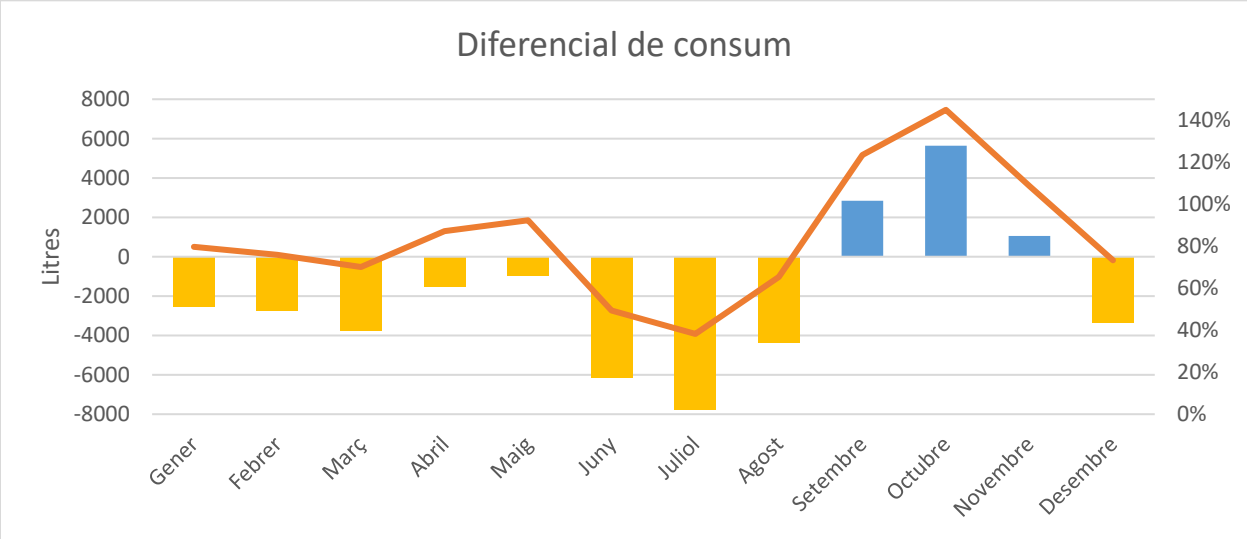

Figura 44. *Diferencial de consum a Barcelona implantant l'alternativa. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de precipitació a Barcelona extretes de l'AEMET.*

Es pot veure amb més detall al diferencial de consum. El volum d'aigua sobrant de la tardor, no cobreix ni de bon tros el consum per a la resta de l'any. El rendiment es manté bastant constant durant més de la meitat de l'any, en uns valors propers al 80%, arribant a un mínim del 40% al juliol. Aquest comportament més constant farà que es necessiti l'entrada d'aigua potable al sistema durant la major part de l'any per cobrir la demanda. El consum d'aigua potable variarà depenent de l'època, però normalment s'haurà de cobrir la demanda de la instal·lació amb un 20% d'aigua de la xarxa, disparant-se aquest valor a l'estiu.

Viabilitat de les alternatives

Havent considerat totes les opcions, les millors alternatives per aconseguir implantar el projecte a Barcelona passen per prescindir o del terrat enjardinat o de la instal·lació de reaprofitament d'aigua.

Implantar el terrat enjardinat sense el sistema de reaprofitament d'aigües pluvials **SÍ** és viable, ja que es tracta d'una instal·lació relativament senzilla i poc costosa que té grans beneficis ecològics per a la ciutat.

Implantar la instal·lació de reaprofitament d'aigües pluvials sense el terrat enjardinat és mitjanament viable. Si bé la primera recomanació és que per aquest rendiment (80%), el volum d'aigua potable a la qual s'haurà de recórrer és bastant baix i, per tant, seria viable la seva implantació; d'altra banda seria una instal·lació molt complexa i de manteniment alt, en contrapartida als beneficis que pot acabar aportant.

6.5. Estudi de la implantació a Osca

Primerament ens hem de fixar en el volum de precipitació anual, que és de 480 l/m^2. Aquest nivell pluviomètric està molt per sota del nivell mínim fixat per a poder recol·lectar aigua. Queda clar que el sistema no es podrà implantar amb aquesta precipitació tan baixa a no ser que s'introdueixin modificacions a la instal·lació.

Alternatives

A partir de les alternatives proposades per a realitzar la instal·lació a Barcelona, s'intentaran adaptar per a aquest cas.

Una opció seria renunciar al sistema de reaprofitament d'aigües pluvials i implantar únicament el terrat enjardinat. Però en aquest cas apareix un gran inconvenient: la quantitat de precipitació no arriba a cobrir les necessitats hídriques de les plantes. Això implica que si s'optés per instal·lar aquest tipus de terrat a Osca, el volum de pluja no podria alimentar la capa de vegetació i aquesta acabaria morint. Si bé possiblement, aquesta pogués subsistir durant els mesos freds, a l'època més seca no disposaria d'aigua suficient per al seu propi abastiment. L'única solució possible a aquesta problemàtica consistiria en regar la coberta enjardinada per evitar la mort de la vegetació. Aquesta solució però, manca completament de sentit; ja que l'objectiu del projecte és crear un sistema caire ecològic que permeti estalviar aigua i creï consciencia ecològica en la societat. L'únic que s'obtindria amb aquesta alternativa seria incrementar el consum d'aigua de l'edifici per alimentar un jardí.

L'altre opció, com també s'ha estudiat per a Barcelona, seria eliminar el terrat enjardinat i realitzar la instal·lació de només el sistema de reaprofitament d'aigües pluvials. En aquest cas caldria estudiar el rendiment de la instal·lació al recol·lectar tota la precipitació disponible. Aquest rendiment se situaria en el 65%.

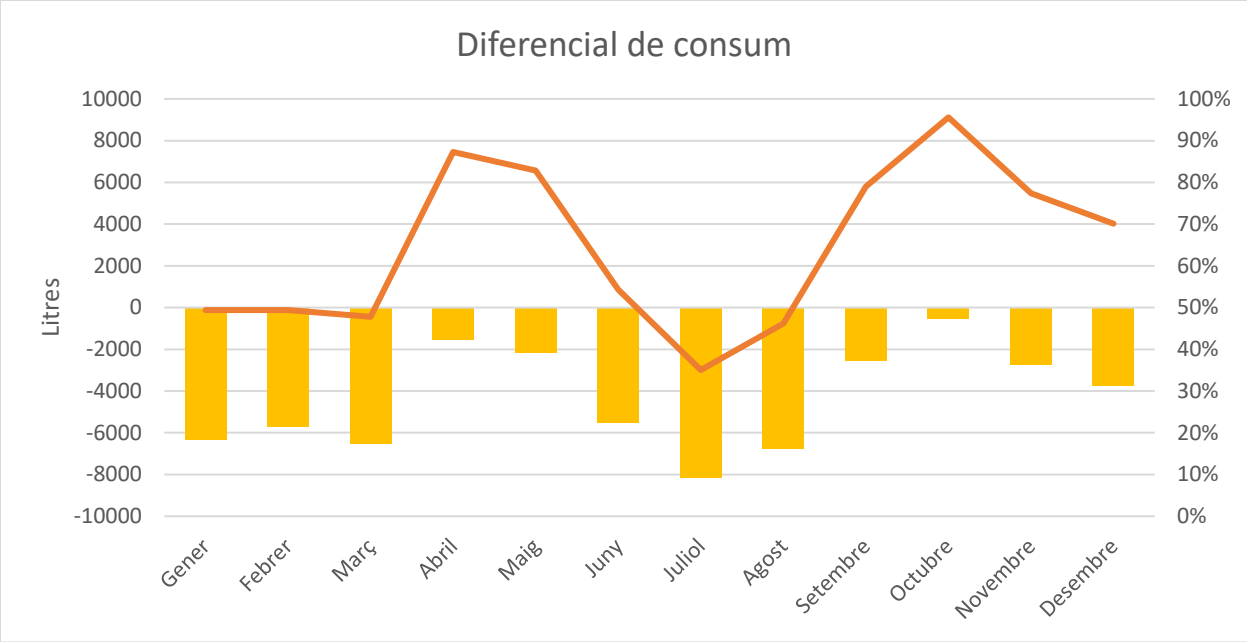

Figura 45. *Diferencial de consum a Osca implantant l'alternativa. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de precipitació a Osca extretes de l'AEMET.*

Si bé durant la majoria de mesos s'arriba a cobrir la meitat de la demanda (rendiment>50%), no hi ha cap mes de l'any en el qual es presenti un diferencial de consum positiu. Sempre plourà menys volum d'aigua que la quantitat necessària per cobrir la demanda, el que suposaria dependre contínuament de l'entrada d'aigua potable per poder abastir la demanda insatisfeta.

Viabilitat de les alternatives

Al analitzar les alternatives que es presenten per a Osca s'arriba a la conclusió que **NO** és viable la implantació de la instal·lació com a tal ni amb les modificacions proposades.

Per una banda, si s'implanta només el terrat enjardinat, el més probable es que aquest s'assequi per la falta de pluges i les plantes acabin morint.

D'altra banda, si s'opta per implantar únicament el sistema de reaprofitament d'aigües pluvials, el rendiment serà molt baix, de només el 65%, i s'haurà de dependre contínuament de l'aigua potable per arribar a cobrir la demanda. Es tracta d'una instal·lació bastant complexa i de cost elevat que quedaria infrautilitzada de forma permanent.

6.6. Estudi de la implantació a Valladolid

Si bé Valladolid no comparteix el mateix tipus de clima que Osca, ambdues tenen un volum de precipitació anual bastant similar. En el cas de Valladolid és encara inferior, situant-se en els 433 l/m^2.

Precisament per compartir característiques pluviomètriques amb Osca, les úniques alternatives que es podrien plantejar serien l'eliminació, o bé del sistema de reaprofitament d'aigua, o bé del terrat enjardinat.

Alternatives

Per a la implantació únicament del terrat enjardinat ja se sap quin seria el resultat. El nivell pluviomètric és massa baix per abastir d'aigua la capa de vegetació i, per tant, aquesta acabaria morint tard o d'hora. Regar el terrat no es considera una opció perquè aniria completament en contra de la idea que es vol explotar amb aquest projecte, que és el d'un sistema ecològicament sostenible.

D'altra banda, si s'optés per instal·lar el sistema de reaprofitament d'aigües pluvials, ens trobaríem amb el mateix problema que en l'estudi de la ciutat anterior. La precipitació ni tan sols arriba al 60% (59% realment) i al igual que per al cas de Osca, no es pot trobar cap mes de l'any en el qual el volum de precipitació sigui superior a la demanda requerida i per tant pogués cobrir el consum de l'edifici. De fet, en certes èpoques de l'any el rendiment es pot arribar a reduir fins a un escàs 30%.

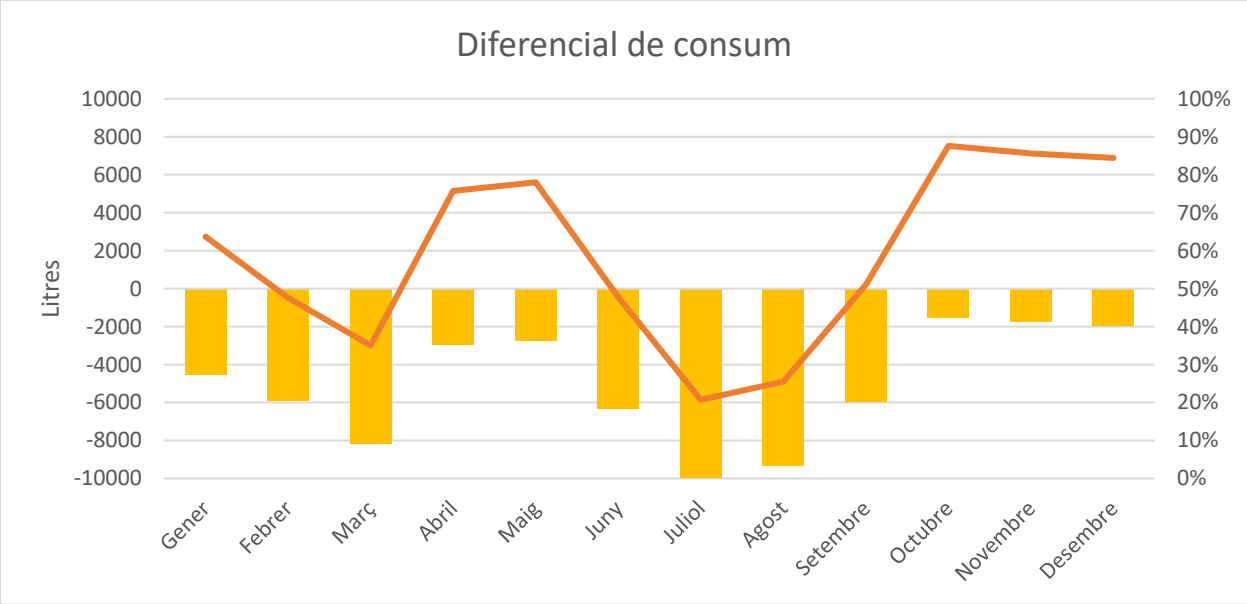

Figura 46. *Diferencial de consum a Valladolid implantant l'alternativa. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de precipitació a Valladolid extretes de l'AEMET.*

Viabilitat de les alternatives

Les conclusions de l'estudi per a la implantació del sistema a Valladolid són les mateixes que per a Osca. **NO** és viable instal·lar el sistema original ni cap de les seves alternatives.

Si s'opta per implantar únicament el sistema de reaprofitament d'aigües pluvials, el rendiment de la instal·lació serà de només un 60% i el sistema estarà infrautilitzat, afegit al cost i complexitat de la instal·lació, no es recomana la seva instal·lació.

D'altra banda, si es prefereix instal·lar una zona enjardinada prescindint del sistema de reaprofitament de la pluja, els resultats no seran més esperançadors. El baix nivell pluviomètric no podrà cobrir les demandes hídriques de la capa de vegetació i aquesta s'acabarà assecant i morint.

7. IMPACTE AMBIENTAL

Aquest projecte combina la instal·lació d'una coberta verda amb un sistema de recollida i reaprofitament d'aigües pluvials amb l'objectiu de fusionar els avantatges que aporten cadascuna d'aquestes instal·lacions. D'una banda, la coberta verda o enjardinada genera un impacte positiu en el microclima urbà i contribueix a millorar la qualitat de l'aire. D'altre banda, la implantació d'un sistema de reaprofitament de l'aigua de pluja permet generar un estalvi d'aigua potable a les llars.

7.1. Impacte en el microclima urbà

Instal·lar una coberta verda té un seguit de beneficis directes per al mateix edifici on se situï, ja que actuarà com a aïllant per als habitatges que estiguin situats sota coberta. Els avantatges d'aïllament que aporta són:

- **Actua com a aïllant acústic**. Les diverses capes de la coberta verda i especialment la capa vegetal i de sòl actuen com a aïllants acústics, evitant el pas de sorolls des del carrer cap a l'interior de les llars a través de la coberta.
- **Actua com a aïllant tèrmic**. La vegetació i especialment la capa de sòl actuen com a barreres tèrmiques i aïllen els habitatges sota coberta. A l'hivern aïllen millor del fred i gràcies a això es redueix el consum energètic de les llars, ja que aquestes no requereixen de tanta energia per a la calefacció. D'altra banda, a l'estiu la vegetació manté una temperatura més suau a la superfície de la coberta ja que la protegeix dels efectes de la radiació solar; actuant dons com a aïllant tèrmic i reduint l'ús dels sistemes de climatització als habitatges situats sota coberta.

Els principals avantatges que es generen en la instal·lació d'aquest tipus de coberta però, no són exclusius de l'edifici on se situïn, sinó que es veuen reflectits a tota la zona urbana ja que contribueixen a millorar la qualitat de l'aire i del microclima propis de la ciutat[18].

- **Redueix el volum d'escorrentia i, per tant, les probabilitats d'inundacions**. Les cobertes enjardinades funcionen com a reguladors del volum d'escorrentia en episodis de grans aiguats. La vegetació i el sòl absorbeixen i retenen una part important del volum de pluja quan aquesta cau de forma intensa, fet que regula el volum de pluja que es desaigua al clavegueram, reduint així el risc d'inundacions degut a la saturació de les canalitzacions.

- **Filtren l'aigua de pluja de contaminants**. L'aigua de pluja porta dissolts contaminants i pols en suspensió que es troben a l'atmosfera de les grans ciutats i al caure sobre la vegetació, aquesta l'absorbeix i la filtra de contaminants.
- **Filtren l'aire de contaminants**. La vegetació és capaç de filtrar la pols i les partícules de brutícia en suspensió, que queden adherides a la superfície de les fulles i amb la posterior pluja, són transportades fins al sòl. A més a més, les plantes també poden absorbir partícules contaminants en suspensió que poden ser nocives per a l'esser humà, i fins i tot absorbeixen metalls pesants.
- **Produeixen O_2 i consumeixen CO_2**. La vegetació present a les cobertes verdes consumeix el CO_2 present a l'aire i allibera O_2 en el transcurs de la fotosíntesi. Si bé el procés de respiració és a la inversa i es produeix CO_2 consumint-se O_2, només es consumeix d'un cinquè a un terç del volum d'Oxigen que s'ha generat prèviament en la fotosíntesi; obtenint-se un balanç de generació d'O_2 positiu.
- **Disminueix i regula la temperatura de l'aire**. A través de l'evaporació de l'aigua, la fotosíntesi i la capacitat per emmagatzemar calor de la pròpia agua a l'interior de la planta, aquesta extreu el calor de l'ambient. Fet que permet reduir les oscil·lacions tèrmiques, alleugerint la temperatura durant el dia i incrementant-la lleugerament durant la nit; aquest refredament de la temperatura durant el dia és més perceptible durant els dies més càlids a l'estiu.
- **Regula la humitat**. La vegetació de la coberta contribueix a reduir les variacions d'humitat en l'aire. Quan aquest és més sec, les plantes evaporen una major quantitat d'aigua incrementant-se la humitat relativa. D'altra banda, també poden reduir la humitat de l'aire al formar rosada, el que permet condensar l'aigua en suspensió sobre les fulles i posteriorment aquesta arriba al sòl en forma de gotes d'aigua.
- **Redueix l'efecte d'illa de calor**. Quan la radiació solar escalfa les cobertes tradicionals dels edificis, aquestes poden arribar a temperatures extremadament altes, i alhora aquestes cobertes escalfen l'aire situat just a sobre. Això produeix un moviment ascendent d'aire calent cap a l'atmosfera. Amb la implantació d'una coberta verda, la vegetació regula la temperatura de l'aire i de les capes inferiors de la coberta que són susceptibles d'escalfar-se més, evitant així la creació dels corrents d'aire ascendent que contribueixen a incrementar la temperatura de la ciutat.
- **Redueixen els núvols de pol·lució o boira fotoquímica**. Del mateix mode que contribueixen a reduir l'efecte d'illa de calor, també redueixen la creació dels núvols de pol·lució o boira fotoquímica. Les corrents d'aire ascendent porten associades pols i partícules contaminants que queden en suspensió a l'atmosfera, al reduir-se la creació d'aquestes corrents, s'evita la creació d'aquests núvols tòxics. També cal tenir present que no només contribueixen a la reducció de la boira fotoquímica reduint els corrents d'aire ascendent i la temperatura de la ciutat, sinó que també hi contribueixen al filtrar l'aire de

contaminants a través de la vegetació. Tots aquests elements en conjunt contribueixen enormement a reduir la pol·lució a les grans ciutats.

- **Redueixen la quantitat de superfícies pavimentades**. Com és lògic, si s'augmenten les cobertes amb superfícies enjardinades, es redueixen al mateix temps les pavimentades, que són un dels contribuïdors principals als microclimes específics de les grans ciutats.
- **Augmenten la biodiversitat**. Ajuden a preservar la biodiversitat de les zones urbanes, on per animals, especialment insectes, i plantes és molt difícil sobreviure.

7.2. Estalvi d'aigua

Implantar aquest sistema de reaprofitament d'aigües pluvials mitjançant el qual es cobreix el consum de les cisternes dels vàters de tot un edifici comporta un estalvi significatiu d'aigua potable per a les llars.

Suposant que la instal·lació treballés en el seu punt òptim i pogués cobrir la totalitat de la demanda d'aigua per a la descàrrega de les cisternes, s'arribaria a aconseguir un estalvi del 21% d'aigua potable respecte el consum estàndard d'una llar plurifamiliar intensiva tradicional. Considerant un consum mitjà diari de 132 l/persona/dia i en una llar amb 3 habitants (com s'ha considerat pel dimensionament de la instal·lació), l'estalvi se situaria en:

$$132\ l/persona\ * 3\ persones * 0{,}21 = \mathbf{83{,}2\ litres} \quad (50)$$

Així doncs, es podrien arribar a estalviar diàriament 83 litres d'aigua potable a cada llar.

Si s'observa ara el volum d'estalvi que es generaria per a tot l'edifici considerant que en aquest hi ha 10 habitatges (com s'ha considerat pel dimensionament de la instal·lació):

$$83{,}2\ litres * 10\ habitatges = \mathbf{832\ litres} \quad (51)$$

S'obtindria un estalvi diari a tot l'edifici de 832 litres d'aigua potable.

Per obtenir un valor d'estalvi significatiu caldria fixar-se en l'estalvi que s'apreciaria en el rebut de l'aigua. Els rebuts de pagament d'aigua potable es realitzen de forma bimensual, així doncs, l'estalvi per a un període de dos mesos se situaria en:

$$83{,}2\ litres * 61\ dies = 5{,}075\ litres = \mathbf{5\ metres\ cúbics} \quad (52)$$

I, per tant, per a la totalitat de l'edifici, es generaria un estalvi de:

$$5\ metres\ cúbics * 10\ habitatges = \mathbf{50\ metres\ cúbics} \quad (53)$$

Segons l'INE [6], el cost mitjà unitari de l'aigua a Espanya es va situar en 1,89 €/m^3. El que suposaria un estalvi econòmic de:

$$5\ m^3 * 1{,}89\ €/m^3 = 9{,}45€ \tag{54}$$

La implantació d'aquesta instal·lació generaria un estalvi econòmic a cada llar aproximadament de 9,45€ a la factura bimensual de l'aigua. Com es pot comprovar, el 21% d'estalvi en volum no es correspon amb l'estalvi que es generaria a la factura de l'aigua, que és molt inferior, ja que en aquesta hi ha tot un seguit de conceptes aliens al volum consumit que encareixen el preu final.

Anualment l'estalvi econòmic se situaria en:

$$9{,}45\ € * 6\ factures = 56{,}7\ € \tag{55}$$

L'estalvi per a una llar amb tres persones se situaria anualment en prop de 57€. I en volum d'aigua consumida seria:

$$5\ m^3\ bimensuals * 6\ factures = \mathbf{30\ m^3} \tag{56}$$

Una llar estalviaria anualment 30 metres cúbics d'aigua potable amb la implantació d'aquesta instal·lació. I per la seva banda, a la totalitat de l'edifici s'arribarien a estalviar anualment **300 metres cúbics** d'aigua potable. Sens dubte es tracta d'un volum d'aigua estalviat molt significatiu, i cal recordar que s'aconsegueix únicament eliminant el consum d'aigua potable de les cisternes dels vàters.

7.3. Impacte d'un mal funcionament

Cal considerar i preveure les avaries que podria patir la instal·lació, tant el terrat enjardinat com el sistema de reaprofitament d'aigües pluvials.

De forma general, la coberta verda no és susceptible de patir avaries durant el transcurs de la seva vida útil. Els majors problemes que es podrien presentar en aquesta part de la instal·lació podrien succeir únicament en el moment del muntatge de la mateixa degut bàsicament a una mala instal·lació d'algun dels elements. El que podria provocar filtracions d'aigua als habitatges situats sota coberta i un mal aïllament tant tèrmic com acústic. Un cop realitzada la instal·lació de forma adient, aquests problemes no s'haurien de presentar de cap de les maneres ja que la instal·lació romandria sense alteracions i l'única acció que rebria seria l'esporàdic trànsit dels veïns i el creixement de les arrels de la vegetació.

Per a la primera situació la coberta ha estat dissenyada per a poder suportar les carregues que suposaria aquest trànsit humà, i per a la segona, la coberta ha estat protegida amb una membrana anti-arrels que frenaria l'avanç d'aquestes cap a les capes aïllants.

Per tant, aquestes situacions no haurien de produir avaries en la instal·lació.

D'altra banda, en l'hipotètic cas de pluges torrencials, és molt probable que sota un episodi de forts aiguats el sòl i la membrana drenant se saturessin i no poguessin evacuar cap als baixants la totalitat del volum d'aigua; caldrà doncs que l'estructura de la coberta sigui capaç de suportar la càrrega que es generaria per un sòl completament saturat d'aigua i entollat. Que com s'ha comentat prèviament en aquest projecte, podria arribar a suposar una càrrega de 150 kg/m^2 per a l'estructura de la coberta.

L'avaria amb una major probabilitat d'ocurrència en la instal·lació de recollida i reaprofitament d'aigües pluvials és l'obstrucció i/o contaminació de l'aigua per sediments provinents de la coberta enjardinada. A fi d'evitar aquest problema, sobre la membrana drenant de la coberta s'instal·la una capa filtrant que impedeix el pas de nòduls de terra cap a les capes inferiors i les cassoletes dels baixants disposen de para-gravetes per a evitar que cap rastre de sòl o elements no desitjats s'escolin cap al tanc d'emmagatzematge. Tot i així, els sediments podrien quedar dipositats al filtre situat just abans de l'entrada a l'aljub, i tot i que aquest disposa d'un sistema de rentat automàtic per eliminar els sediments, aquests podrien obstruir-lo o danyar-lo. En el darrer cas, caldria canviar o reparar el filtre i si fos necessari, netejar el tanc dels sediments que s'haguessin dipositat. Encara que aquests sediments no haurien d'afectar a la qualitat de l'aigua ja que les bombes aspiren aquesta des d'un dispositiu de succió flotant situat, sempre, a la superfície de l'aigua.

Si pels problemes ocasionats per la sedimentació de partícules no desitjades o per qualsevol altre problema no relacionat amb aquestes, la instal·lació patís una avaria i s'hagués d'aturar el seu funcionament; la distribució d'aigua no es veuria compromesa i es podria cobrir totalment la demanda d'aigua potable a les cisternes a través de la connexió amb l'aigua de la xarxa de la que disposa el sistema.

CONCLUSIONS

Tal com s'ha indicat als primers punts del present treball, la contaminació atmosfèrica i la manca d'aigua que es presenta en forma de sequeres són una greu problemàtica ben globalitzada. Tots els països pateixen en major o menor mesura els efectes d'aquests canvis, independentment del seu nivell de desenvolupament. I Espanya no és una excepció, tot al contrari, és un exemple ben clar de país que pateix alhora les conseqüències de les sequeres i de la pol·lució atmosfèrica a les grans ciutats.

Arreu del món fa molts d'anys que s'estan implantant sistemes de reaprofitament d'aigües pluvials de tipologia molt diversa, però no ha estat fins als darrers anys que, pel cas d'Europa, s'ha començat a incentivar el seu ús fruit d'iniciatives de les diverses administracions públiques. Un cas idèntic és de les cobertes verdes o enjardinades, que es venen emprant des de fa segles per a la protecció de cases rurals en certs indrets del planeta però que no han disposat de recolzament legislatiu que n'incentivi la implantació fins fa pocs anys. Tant per a la promoció de sistemes de reaprofitament d'aigües pluvials com de cobertes verdes, Espanya està a la cua d'Europa. Hi ha una manca evident en la promoció de l'ús d'aquestes instal·lacions així com d'una regulació que fomenti la seva acceptació i implantació.

Si bé la instal·lació d'aquest tipus de sistemes està patint un increment significatiu al llarg dels últims anys, no és gaire comú trobar algun tipus de sistema que combini els dos elements: el reaprofitament d'aigua de pluja per a l'ús personal i una coberta verda. De forma general, es tracta de sistemes que s'implanten per separat. Tot i així, s'ha volgut estudiar la viabilitat de la implantació d'un sistema que combini ambdós elements.

Alhora de dissenyar i dimensionar la coberta verda, s'ha de tenir molt present la posterior reutilització de l'aigua que es vol realitzar. Per aquest motiu s'han de seleccionar tots els elements de la instal·lació amb l'objectiu que emmagatzemin el menor volum d'aigua de pluja possible, únicament el mínim necessari per a alimentar la capa de vegetació present a la coberta. Alhora també s'han d'escollir les varietats de plantes seguint un criteri de menor consum hídric possible, a fi de reduir el consum d'aigua de pluja per part de la coberta i assegurar la supervivència de la vegetació. Degut a aquestes condicions s'han presentat problemes alhora de seleccionar una solució drenant compatible amb les necessitats d'aquesta instal·lació, bàsicament perquè requereix d'un volum de retenció d'aigua molt menor al que solen proporcionar els fabricants. Tot i així, seleccionant un drenatge que retingui un volum d'aigua molt similar a les necessitats hídriques diàries de les varietats de plantes escollides, i ajustant l'espessor de la capa de sòl; es pot obtenir una coberta verda amb les característiques desitjades.

Alhora de realitzar el disseny de la instal·lació d'emmagatzematge i redistribució de l'aigua de pluja cal seguir estrictament les indicacions del Codi Tècnic de l'Edificació. Degut a que la nostra instal·lació disposa d'un dipòsit d'emmagatzematge al soterrani de l'edifici, i l'aigua es distribuirà a partir d'aquest aljub, cal instal·lar un grup de pressió per a que asseguri el subministrament d'aigua a totes les llars.

Degut al volum d'aigua que es pot recol·lectar amb aquest sistema, s'opta per reaprofitar l'aigua exclusivament per a la descàrrega de les cisternes dels vàters. D'una banda la coberta verda impedeix recol·lectar un major volum d'aigua i, de l'altre, en cas que es pogués recol·lectar un volum significativament major, per a usar aquesta aigua de pluja per al consum humà, caldria tractar-la amb sistemes molt més complexos que encaririen excessivament la instal·lació.

Per a realitzar un dimensionament complert de la instal·lació i poder estudiar posteriorment el seu comportament sota diferents condicions, s'imposen una sèrie de valors que equivalen a la implantació del sistema en un edifici de tipologia constructiva concreta a la ciutat de San Sebastià, ja que aquesta reuneix les condicions òptimes per a la viabilitat del sistema.

Un cop realitzat l'anàlisi del rendiment de la instal·lació queda palès que aquesta aconsegueix treballar al 100% de rendiment cobrint la totalitat de la demanda amb valors de precipitació anuals propers o superiors als 1500 l/m^2, sempre i quant l'edifici respongui a les característiques estructurals fixades des de l'inici. Per assegurar però un anàlisi més acurat, cal variar totes aquestes condicions estructurals. Però al canviar aquestes característiques, el rendiment de la instal·lació varia en gran mesura i la viabilitat de la instal·lació no dependrà únicament dels valors de precipitació que es donin a la regió, ja que també influirà el nombre de plantes de l'edifici, l'àrea de recol·lecció i la densitat de veïns. Tot i així, independentment de les condicions estructurals de l'edifici i del nombre de veïns residents, per a nivells de precipitació inferiors a 1000 l/m^2 no es recomana la implantació d'aquesta instal·lació ja que els rendiments de la mateixa no superarien el 50%.

Cal tenir present que un rendiment inferior al 50% indica que més de la meitat de la demanda d'aigua per part de les cisternes s'hauria de cobrir amb l'entrada d'aigua potable de xarxa, i és per aquest motiu, que se'n desaconsella la instal·lació.

El millor mètode per comprovar la viabilitat de la instal·lació és analitzar la implantació d'aquesta en ciutats diverses d'arreu d'Espanya. On no només influirà el volum de precipitació sinó també com aquesta pluviometria es reparteix al llarg dels mesos de l'any. Així doncs, l'anàlisi mostra que la implantació complerta de la instal·lació es desaconsella en la major part de les ciutats degut al clima i la precipitació que presenten. Només s'aconsella la implantació total en ciutats que presentin un clima oceànic, i més concretament, en les regions de la costa atlàntica i cantàbrica.

Per aquestes regions més plujoses, al disposar d'un cert excedent de volum de precipitació, es podria arribar a fer modificacions al terrat enjardinat a fi de canviar les varietats de plantes per d'altres més grans com arbustos o petits arbres que tindrien una major demanda hídrica però que, alhora, incrementarien en gran mesura la imatge ecològica i sostenible de la instal·lació i l'edifici.

D'altra banda, per a totes aquelles regions (o ciutats) on es desaconsella la implantació total de la instal·lació cal realitzar un anàlisi individualitzat sobre les característiques concretes del clima i del rendiment que aconseguiria la instal·lació; i a partir d'aquestes dades, optar per realitzar canvis i variacions en la instal·lació.

Aquestes alternatives a la implantació complerta de la instal·lació són:

- **Reducció de la zona enjardinada.** Mantenint la coberta verda però reduint-ne la seva superfície i combinant-la amb una coberta tradicional. S'aconseguiria captar més aigua de pluja, ja que s'eliminaria una part de la vegetació, però alhora es mantindria la coberta verda amb tots els beneficis que comporta. S'aconsellaria en el cas concret de rendiments propers al 50%, on el canvi augmentes significativament aquest valor i la instal·lació d'un sistema de reaprofitament d'aigües pluvials passés a ser rendible. S'entén per a rendible que la instal·lació no quedes infrautilitzada durant gran part de l'any.
- **Implantar només la coberta verda.** En el cas que el volum de precipitació fos completament insuficient per a cobrir la demanda de la vegetació i les cisternes dels vàters, s'hauria de prescindir d'alguna de les dues instal·lacions. I, si la pluviometria de la regió assegurés la supervivència de la capa de vegetació, una bona alternativa seria la supressió del sistema referent al reaprofitament d'aigües pluvials (que també és el més car i complex) i la instal·lació únicament de la coberta enjardinada. Es perdrien tots els avantatges referents a l'estalvi d'aigua però es mantindria la vessant ecològica de la instal·lació i tots els avantatges que aporta una coberta verda a la ciutat on s'implanta. A més a més de mantenir-se la imatge d'edifici sostenible de cara als veïns.
- **Implantar únicament el sistema de reaprofitament d'aigua.** Sota les mateixes condicions que l'alternativa anterior, si la precipitació no cobris la demanda hídrica de les plantes i el consum de les cisternes, caldria prescindir d'algun dels dos elements de la instal·lació. Així doncs, si en aquest cas el volum de precipitació no arribes a assegurar la supervivència de la coberta verda, l'única alternativa passaria per suprimir aquesta última i mantenir el sistema de reaprofitament d'aigües pluvials. Cal dir però, que aquesta opció també es pot dur a terme encara que la precipitació si que assegures la supervivència de les plantes, però en aquest cas es recomanaria únicament l'alternativa anterior. Duent a terme aquesta variant, es seguiria disposant d'una instal·lació que podria arribar a estalviar un 21% d'aigua respecte el consum total per persona; però al mateix temps es perdria l'impacte positiu que genera en una ciutat la instal·lació d'una coberta enjardinada. A més a més, cal tenir present que l'edifici perdria la imatge de sostenible de cara als veïns que si que aporta a simple vista una coberta verda.

Alhora de seleccionar l'alternativa més viable per a cada cas, s'hauria d'estudiar amb profunditat els avantatges i inconvenients de cadascuna de les opcions. Però cal tenir molt present que, a ulls dels veïns d'una ciutat, una coberta verda transmet molta més imatge d'edifici sostenible i eficient que una instal·lació de reaprofitament d'aigües pluvials que queda amagada al soterrani de l'edifici. I un dels objectius principals d'aquest projecte és el d'incrementar la consciencia ecològica i sostenible a les grans ciutats.

BIBLIOGRAFIA

Referències bibliogràfiques

[1] Torres López, Antonio Luis. *Medi ambient i tecnologia: Guia ambiental de la UPC*, Barcelona: Edicions UPC, 1998.

[2] Arnfield, J.A.. *Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island*. International Journal of Climatology, 2003, 23: p. 1 – 26.

[3] Dixon, P.G., Mote, T.L. *Patterns and causes of Atlanta´s heat island - initiated precipitation.* Journal of Applied Meteorology, 2003, 42(9): p. 1273-1284.

[4] Tejedor, E., de Luis, M., Cuadrat, J.M. et al. Int J Biometeorol (2016) 60: 361.

[5] *España afrontará sequias más intensas y duraderas* – Entrevista a Ernesto Rodríguez www.efeverde.com/noticias/espana-afrontara-sequias-mas-intensas-y-duraderas

[6] *Encuesta sobre el suministro y saneamiento del agua - Año 2014*, INE, Octubre 2016

[7] Domene, E., Saurí, D., Martí, X. et al. *Tipologías de vivienda y consumo de agua en la región metropolitana de Barcelona*, 2009.

[8] AMUSING PLANET. *The Grass Roofs of Norway*, 2010. [http://www.amusingplanet.com/2010/09/grass-roofs-of-norway.html, Desembre 2016]

[9] PENNSTATE. CENTER FOR GREEN ROOF RESEARCH. *About green roofs*, 2008. [hortweb.cas.psu.edu/research/greenroofcenter/history, Desembre 2016]

[10] EUROPEAN FEDERATION OF GREEN ROOF ASSOCIATIONS. *Informació general*, 2016. [www.efb-greenroof.eu, Desembre 2016]

[11] NATIONAL GEOGRAPHIC. *Plant-covered roofs ease urban heat*, 2002. [http://news.nationalgeographic.com/news/2002/11/1115_021115_GreenRoofs.html, Desembre 2016]

[12] López, Sandra. *Ponga un jardín en su tejado*. El País, 2016. [http://economia.elpais.com/economia/2016/05/13/actualidad/1463130135_775938.html, Desembre 2016]

[13] AJUNTAMENT DE BARCELONA. CONSELL MUNICIPAL. *Mesura de Govern pe a impulsar TERRATS VIUS I COBERTES VERDES a Barcelona*, Barcelona, Tercera Tinència d'Alcaldia d'Hàbitat Urbà, 2014. [http://hdl.handle.net/11703/84720, Novembre 2016]

[14] RAINWATER HARVESTING ORG. *Rainwater harvesting in Germany*. [http://www.rainwaterharvesting.org/international/germany.htm, Novembre 2016]

[15] AQUA ESPAÑA. *Guía técnica de aprovechamiento de aguas pluviales en edificios*, 2016. [http://aquaespana.org/repositori/documents/actualitat/es/2016.Guia.tecnica.pluviales.pdf, Setembre 2016]

[16] HÀBITAT URBÀ BLOG. *Dipòsits subterranis per a evitar inundacions*, 2015. [http://habitaturba.bcn.cat/blog/diposits-subterranis-per-a-evitar-inundacions, Novembre 2016]

[17] CONSTRUMÁTICA. *Sistemas de ahorro de agua*. [http://www.construmatica.com/construpedia/Sistemas_de_Ahorro_de_Agua, Octubre 2016]

[18] Minke, Gernot. *Techos Verdes: Planificación, ejecución, consejos prácticos*, EcoHabitar, 2010.

[19] Critchfield, H.J. *Criteria for classification of major climatic types in modified Köppen system*. University of Idaho, General Climatology, Prentice Hall, 1983.

[20] Rafael J. Monje Jiménez *Manejo de céspedes con bajo consumo de agua*, Sevilla: Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca, 2006.

[21] AGROMÁTICA. *Necesidades de riego del pimiento, tomate, berenjena y calabacín*, 2012. [http://www.agromatica.es/riego-del-pimiento, Novembre 2016]

[22] DOGC. *Resolució MAH/1603/2004*, Maig 2004. [http://www.apabcn.cat/Documentacio/areatecnica/legislacio/0909004.pdf, Desembre 2016]

[23] ABCMAC, *Rainwater harvesting in Germany*, 3º Simpósio Brasileiro de captaçao de água de chuva no semi-árido. [http://www.abcmac.org.br/files/simposio/3simp_rainwaterharvestingingermany.pdf, Desembre 2016]

[24] Puig, J. LL., *La Quinta Fachada Verde (Cubiertas Ecológicas)*, 2010. [http://arquitecturaplusingenio.blogspot.com.es/2010/11/de-la-oscuridad-la-quinta-fachada-5.html, Desembre 2016]

[25] Wypych, S., Bokwa, A. *Efecto isla de calor urbano.* Jagiellonian University, Cracòvia: 2004 [www.atmosphere.mpg.de/enid/2__Clima_Urbano/-_Efecto_isla_de_calor_3x6.html, Novembre 2016]

Bibliografia complementària

[1] EMASESA. *Instrucciones técnicas para redes de abastecimiento*, 2013.

[2] EBARA. *Grupos de presión automáticos*. [http://ebara.es//wp-content/uploads/2015/03/cat_presion.pdf, Setembre 2016]

[3] Consejo superior de los Colegios de Arquitectos de España. *Código técnico de la edificación – Consultas*, 2008.

[4] Col·legi d'Arquitectes de Catalunya. *GUIA: Procediment per al dimensionament d'una instal·lació de fontaneria. Aplicació pràctica a un edifici d'habitatges*. Oficina Consultora Tècnica, 2007. [http://arquitectes.cat/ca/system/files/guia_HS_4_4.pdf, Octubre 2016]

[5] AEMET. *Atlas climático ibérico*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. [http://www.aemet.es/ca/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas_climatico, Octubre 2016]

[6] Ajuntament de Barcelona. *Guia de terrats vius i cobertes verdes*, Àrea d'Ecologia Urbana, 2015.