

Disseny conceptual d'un sistema d'estalvi d'aigua i d'energia per a l'Aigua Calenta Sanitària

Autor: David Perelló Astor

Grau en Tecnologies de la Telecomunicació - Menció de Telemàtica

Disseny de sistemes electrònics

Consultor: Carlos Gonzalo Moreno Soriano

Professor: Germán Cobo Rodríguez

06/2020



Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-
NoComercial-SinObraDerivada [3.0 España de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

Licencias alternativas (elegir alguna de las siguientes y sustituir la de la página anterior)

A) Creative Commons:



Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-
NoComercial-SinObraDerivada [3.0 España de Creative Commons](#)



Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-
NoComercial-CompartirIgual [3.0 España de Creative Commons](#)



Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-
NoComercial [3.0 España de Creative Commons](#)



Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-
SinObraDerivada [3.0 España de Creative Commons](#)



Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-
CompartirIgual [3.0 España de Creative Commons](#)



Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento
[3.0 España de Creative Commons](#)

B) GNU Free Documentation License (GNU FDL)

Copyright © 2020 DAVID PERELLÓ ASTOR.

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.3 or any later version published by the Free Software Foundation; with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts.

A copy of the license is included in the section entitled "GNU Free Documentation License".

C) Copyright

© (DAVID PERELLO ASTOR)

Reservados todos los derechos. Está prohibido la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la impresión, la reprografía, el microfilme, el tratamiento informático o cualquier otro sistema, así como la distribución de ejemplares mediante alquiler y préstamo, sin la autorización escrita del autor o de los límites que autorice la Ley de Propiedad Intelectual.

FITXA DEL TREBALL FINAL

Títol del treball :	Disseny conceptual d'un sistema d'estalvi d'aigua i d'energia per a l'Aigua Calenta Sanitària
Nom de l'autor :	David Perelló Astor
Nom del consultor :	Carlos Gonzalo Moreno Soriano
Nom del PRA :	Germán Cobo Rodríguez
Data de lliurament :	06/2020
Titulació o programa :	Grau en Tecnologies de Telecomunicació
Àrea del Treball Final :	TFG – Disseny de sistemes electrònics

Resum del Treball:

La finalitat d'aquest treball és el disseny a nivell conceptual d'un sistema prototip que permeti estalviar aigua i energia en el subministrament d'Aigua Calenta Sanitària. Aquest sistema es dissenyarà tenint en compte les necessitats d'Aigua Calenta Sanitària d'una unitat familiar de 4 individus en un habitatge de nova construcció on no existeixin impediments per a la seva implantació física i enfocat al seu ús per a la dutxa.

Es tria la dutxa perquè potencialment és el procés on es fa un consum –i un mal ús- de la major quantitat d'aigua i energia.

El disseny conceptual inclou una breu descripció dels elements físics dels sistemes tradicionals d'escalfament d'aigua sobre els que fonamentar les modificacions que permetran un control en llaç tancat de la temperatura i una optimització dels consums tant d'aigua com d'energia.

A continuació s'exposen els elements físics sobre els que definir les funcions de control i es defineixen els estats del sistema posant especial èmfasi a la seguretat dels usuaris.

S'especifica a nivell conceptual el sistema de comunicacions que permet l'enviament de senyals dins del sistema i amb l'exterior, facilitant així la integració de tecnologies mòbils i de geolocalització per a la configuració i control del sistema, tot aprofitant-se d'aquestes per a optimitzar els consums d'energia.

Finalment es proposa una interfície de l'aplicació mòbil per al control del sistema.

Abstract:

The aim of this work is the conceptual design of a prototype system that saves water and energy in the supply of domestic hot water. This system will be designed taking into account the needs of domestic hot water for a family unit of 4 individuals in a newly built home, where there are no impediments to its physical implementation and focused on its use for the shower.

The shower is chosen because it is potentially the process where the greatest amount of water and energy is consumed - and misused.

The conceptual design includes a brief description of the physical elements of traditional water heating systems on which to base the modifications that will allow a closed-loop control of temperature and an optimization of both water and energy consumption.

This work includes a description of the physical elements that will support the control functions and a definition of the states of the System, with special emphasis on the security of users.

The project continues with a specification at a conceptual level of the communications System, which allows the sending of signals within the system and with/from the outside. This facilitates the integration of mobile and geolocation technologies for the configuration and control of the system, taking advantage of these to optimize energy consumption.

Finally, a mobile application interface for system control is proposed.

Índex

Índex.....	2
Introducció	4
Objectius i competències	6
Competències	6
Competències específiques	6
Objectius Generals.....	6
Objectius específics	6
Coneixements previs	7
Descripció de les tasques	8
Planificació del treball	9
Incidències i riscos.....	10
Generalitats dels sistemes d'escalfament elèctric d'aigua	13
Dimensionament dels consums d'aigua d'una unitat familiar de 4 individus.....	13
Tipologia al mercat i elecció d'un model d'escalfador d'ACS com a base pel projecte	18
Disseny conceptual del sistema	21
Proposta de disseny físic conceptual.....	21
Proposta d'escalfador exemple	23
Diagrames d'estat dels elements físics del sistema	25
Elements actius del sistema físic	25
Estats definits dels elements actius del sistema físic	26
Elements i funcions de control.....	32
Elements de control.....	32
Funcions de control	35
Elements i funcions de comunicació	38
Elements de comunicació.....	38
Funcions de comunicació	40
Interfície amb l'usuari: aplicació per a smartpone	42
Funcionalitats de l'aplicació	42
Proposta d'interfície	42
Desenvolupament dels continguts de l'aplicació	43
Conclusions	45
Reflexió sobre els objectius del projecte.....	45
Problemes sorgits i lliçons apreses.....	45
Potencials ampliacions futures.....	45
Bibliografia	46

Índex de taules

Taula 1: Planificació cronològica del projecte.....	11
Taula 2: Comparativa dels tipus d'escalfadors d'aigua	21
Taula 3: Descripció dels estats de les resistències d'escalfament	28
Taula 4: Descripció dels estats de la vàlvula de regulació de l'entrada	30
Taula 5: Descripció dels estats de la vàlvula de regulació del retorn	31
Taula 6: Descripció dels estats de la bomba de recirculació	33
Taula 7: Comparativa dels models d'Arduino	34

Índex de Figures

Figura 1: Plànol esquemàtic d'un escalfador elèctric típic	2iError! Marcador no definido.
Figura 2: Comparativa dels tipus d'escalfadors d'aigua.....	23
Figura 3: Fotografia del model proposat com exemple	25
Figura 4: Esquema de la disposició dels elements físics actius del sistema.....	27
Figura 5: Diagrama d'estats de les resistències d'escalfament.....	29
Figura 6: Diagrama d'estats de la vàlvula de regulació de l'entrada	31
Figura 7: Diagrama d'estats de la vàlvula de regulació del retorn	32
Figura 8: Diagrama d'estats de la bomba de recirculació	33
Figura 9: Ubicació dels sensors i origen dels senyals d'estat del sistema	35
Figura 10: Relació d'entrades/sortides dels senyals que intervenen en el control del sistema .	36
Figura 11: Seqüència lògica de funcionament esperat del sistema.....	37
Figura 12: Esquema de solució de control d'una vàlvula solenoide amb Arduino i BJT	37
Figura 13: Esquema d'exemple per al cablejat del display	40
Figura 14: Esquema d'exemple per al cablejat del mòdul Wi-Fi.....	41
Figura 15: Exemple de muntatge per a un mòdul Bluetooth.....	41
Figura 16: Diagrama de relació dels elements i canals de comunicació	42
Figura 17: Proposta de disseny de la interfície de l'aplicació	43

Introducció

Arribem a casa després d'un dia força enfeinat. O després d'una sessió de *running* esgotadora. O tot just ens aixequem del llit. En qualsevol cas, anem a la dutxa. Hi entrem, o no, i obrim l'aixeta. Si tenim una aixeta amb control de temperatura, esperem que surti prou calenta i, aleshores sí, ens posem sota el raig d'aigua. Si l'aixeta no té control de temperatura, sovint obrim l'aixeta d'aigua calenta *a tope* i després ja la compensem amb aigua freda.

El resultat d'aquesta rutina és sempre el mateix: fins que comencem a dutxar-nos efectivament, estem llençant aigua i fent-ne un mal ús. Això s'agreuja si ens dutxem diversos cops o si es tracta d'una família on cada membre repeteix *el ritual*.

Segons el INE (Insituto Nacional de Estadística), a Espanya es gasten de mitja 136 l (Ref.1) per persona i dia d'aigua, amb dades de 2016 . D'aquest consum, un 34% correspon a la dutxa. Segons la OMS, una dutxa hauria de durar no més de 6 minuts efectius. A la dutxa, en 5s es consumeix de mitjana fins a 1 litre d'aigua potable. Una dutxa de cinc minuts equival a l'aigua que beu una persona en 2 mesos.

L'aigua potable és un bé escàs al que no tothom té un accés garantit i del qual sovint es fa un ús irresponsable.

Addicionalment, des del punt de vista de l'energia, els sistemes més estesos d'escalfament d'aigua sanitària tenen molt marge de millora. La majoria dels escalfadors-acumuladors elèctrics, per exemple, estan funcionant mantenint l'aigua calenta en continu. Quan fem un ús de l'aixeta de l'aigua calenta fins que surt prou calenta a la dutxa, gastem una quantitat d'aigua prèviament escalfada que fa que el volum d'aigua nou a l'escalfador hagi de ser escalfat en la seva totalitat.

Aquests actes que realitzem de forma inconscient van completament en contra de l'estalvi d'aigua i energia, i, en definitiva, no són mediambientalment respectuosos.

Aquest projecte, anomenat Sistema Automàtic d'Estalvi d'Aigua i Energia amb Control Continu de Temperatura permet reduir el volum d'aigua desaprovechada al mínim i fer un ús més adient de l'energia.

Quant a l'estalvi d'aigua, fa servir tecnologies de control en llaç tancat i elements de comunicacions per a garantir que l'aigua que arriba a la dutxa té la temperatura el més proper possible al valor desitjat. L'estalvi depèn del cas però pot arribar als 30 litres per dutxa. En una casa amb 4 persones, podria suposar un estalvi de més de 40m³ d'aigua a l'any.

Quant a l'estalvi energètic, fa ús de tecnologies de comunicacions, com ara elements de geolocalització, connectivitat amb el smartphone i programadors d'horaris per a minimitzar el temps i potència consumits.

Els elements del sistema es poden separar en diversos grups:

- Elements físics del circuit hidràulic d'aigua calenta: vàlvules, dipòsit, resistències d'escalfament, aixetes...
- Elements electrònics per al control de la temperatura en llaç tancat: sensors, unitat de processament, display, etc.
- Elements electrònics per a la comunicació entre els elements de control i amb l'aplicació mòbil, etc.
- Elements de software: funcions de seguretat, funcions de control dels elements, funcions de personalització, aplicació mòbil, etc.

Per a poder arribar a dissenyar el sistema, haureu d'investigar, en primer lloc, els rangs de funcionament, capacitats, consums i cabals d'aportació de diversos escalfadors elèctrics i triar-ne un com a base, adient per una família exemple de 4 individus.

A continuació, haureu de realitzar un disseny conceptual de la part física del sistema abstraient-vos dels elements de comunicació, però tenint en compte les necessitats de control. Aquestes necessitats de control es detallaran més endavant.

En tercer lloc, haureu de definir els estats del sistema mitjançant els diferents estats dels seus components actius. Un d'aquests estats serà necessàriament l'estat d'errada del sistema. El més important és que el sistema sigui segur, així que haureu de tenir en compte què pot anar malament i definir l'estat del sistema per a assegurar la integritat física dels usuaris.

El següent que haureu de fer és definir les funcions de control i inventariar els elements que realitzaran el control, determinant sobre quins altres elements físics actuen.

A continuació, haureu de definir les funcionalitats de comunicació, inventariant els elements necessaris per a aquestes tasques, determinant sobre quins elements del sistema actuen.

Finalment, haureu de definir conceptualment i a baix nivell les funcionalitats i les pantalles més rellevants de l'aplicació per a smartphone del sistema.

Objectius i competències

Competències

Comunicació escrita: Comunicar-se amb facilitat per escrit, estructurant el contingut del text i els suports gràfics per facilitar la comprensió i interès del lector en escrits d'extensió mitjana.

Competències específiques

- Identificar els objectius generals associats a un projecte en l'àmbit de les TIC així com els objectius tècnics específics que hauran de ser plantejats per a la resolució d'una problemàtica concreta.
- Integrar diferents disciplines associades a una Enginyeria de Telecomunicació de forma òptima i nova per a la resolució d'uns objectius generals i específics plantejats en un projecte.
- Conèixer l'estructura i el procés de disseny d'un sistema de control en llaç tancat.
- Dissenyar conceptualment un disseny físic que permeti assolir la resta d'objectius.
- Dissenyar un sistema que realitzi funcions de control de variables en llaç tancat.
- Fer servir les eines de les TIC per a optimitzar el funcionament del sistema de control anteriorment citat respecte una o diverses variables.

Objectius Generals

Aplicar i integrar els coneixements adquirits en les diferents matèries de la titulació.

Objectius específics

- Dissenyar un conjunt funcional d'elements físics que permeti l'aport d'aigua calenta sanitària i aigua freda.
- Dissenyar un sistema que realitzi funcions de control de temperatura d'aigua sanitària en llaç tancat.
- Dissenyar un mode de fallada segura i un control que prioritzant la seguretat de l'usuari.
- Dissenyar un sistema que optimitzi els consums elèctrics mitjançant mecanismes de comunicació, programació horària i geolocalització.

Coneixements previs

Alguns materials editats per la UOC que us poden ser útils per al desenvolupament del projecte són els següents:

- Gestió de projectes (11.519): Materials de l'assignatura on es presenta un mètode general i introductori per als professionals de gestió de projectes
- Teoria de circuits (11.512): Materials de l'assignatura on es treballa la fonamentació de la teoria de circuits electrònics.
- Circuits electrònics (11.617): Materials de l'assignatura on es treballa l'àmbit de l'electrònica analògica.
- Electrònica digital (11.516): Materials de l'assignatura on es treballa l'àmbit de l'electrònica digital.
- Electrònica de comunicacions (11.515): Materials de l'assignatura on es treballa l'àmbit de l'electrònica aplicada als sistemes de comunicacions.
- Comunicacions mòbils (11.530): Materials de l'assignatura on es treballen les característiques dels sistemes de comunicacions sense fils, presentant els sistemes de comunicacions sense fils disponibles actualment i els serveis que ofereixen.
- Aplicacions i serveis multimèdia (11.541): Materials de l'assignatura on es treballen, entre d'altres, conceptes de geotelemàtica i smart energy.

Descripció de les tasques

Tasca 1:

Estudi de les generalitats dels sistemes d'escalfament elèctric amb acumulador d'aigua sanitària: els rangs de funcionament, capacitats, consums i cabals d'aportació de diversos escalfadors elèctrics i triar-ne un com a base, adient per una família exemple de 4 individus.

Tasca 2:

Realitzar un disseny conceptual de la part física del sistema abstraient-se dels elements de comunicació, però tenint en compte les necessitats de control. Esbós i generació del plànol aproximat del disseny físic.

Tasca 3:

Diagrama d'estats dels elements físics del sistema. Especial atenció a l'estat de fallada.

Tasca 4:

Esbós i generació del plànol conceptual d'interaccions funcionals dels elements de control. Definició de les funcions de control.

Tasca 5:

Esbós i generació del plànol conceptual d'interaccions funcionals dels elements de comunicació. Definició de les funcions de comunicació.

Tasca 6:

Definir conceptualment i a baix nivell les funcionalitats i les pantalles més rellevants de l'aplicació per a smartphone del sistema.

Tasca 7:

Realitzar reflexió sobre els objectius del projecte, problemes sorgits, lliçons apreses i solucions aportades. Discussió de potencials ampliacions futures.

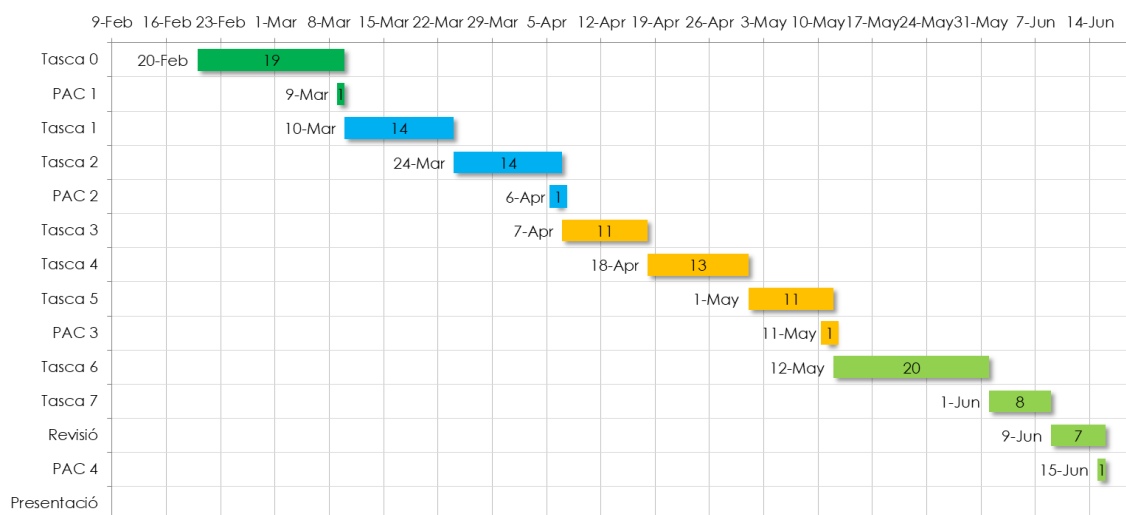
Planificació del treball

Les tasques anteriorment descrites es realitzaran seguint un ordre lògic i resultat acumulatiu en el què amb determinat nivell d'abstracció i escalabilitat les peces aniran encaixant confirmant el projecte final.

Per a una completitud conceptual del procés, a la taula següent s'ha afegit la Tasca 0, o la preparació del projecte, corresponent a la PAC1. Aquesta taula s'anirà actualitzant a mida que el projecte avanci en el temps.

TASQUES	Requisits previs	INICI	FINALITZACIÓ	DIES	ESTAT
Tasca 0	-	20-Feb	9-Mar	19	Completat
PAC 1	Tasca 0	9-Mar	9-Mar	1	Completat
Tasca 1	Tasca 0	10-Mar	23-Mar	14	Completat
Tasca 2	Tasca 1	24-Mar	6-Apr	14	Completat
PAC 2	Tasca 2	6-Apr	6-Apr	1	Completat
Tasca 3	Tasca 2	7-Apr	17-Apr	11	Completat
Tasca 4	Tasca 3	18-Apr	30-Apr	13	Completat
Tasca 5	Tasca 3	1-May	11-May	11	Completat
PAC 3	Tasques 3,4,5	11-May	11-May	1	Completat
Tasca 6	Tasques 3,4,5	12-May	31-May	20	Completat
Tasca 7	Tasques 3,4,5	1-Jun	8-Jun	8	Completat
Revisió	Tasques 1-7	9-Jun	15-Jun	7	Completat
PAC 4	Tasques 6,7	15-Jun	15-Jun	1	Completat

Taula 1: Planificació cronològica del projecte



Gràfica 1: Diagrama de Gantt del projecte

Incidències i riscos

A continuació s'identifiquen una sèrie de riscos que poden tenir lloc durant la concepció i desenvolupament del projecte i que podrien afectar el seu resultat final. Es farà una estimació en base a sentit comú i experiència quant a la seva probabilitat i impacte. Per a cada risc, es dissenyarà una o diverses mesures compensatòries o contingències.

Risc 1: Indisponibilitat del projectista per causa major

- Definició: el projectista és incapaç de continuar amb l'avanç del projecte per motius de salut propis o de familiars propers, imponderables de la seva labor professional que no poden ser previstos o situacions d'emergència. Es considera de baixa probabilitat.
- Potencials conseqüències: retards en els plaços
- Pla de contingència: segons incidència. Per una incidència de salut, no es contemplen. Per una incidència de treball, estudiar demanar vacances uns dies per recuperar hores perdudes.
- Mesures compensatòries: no es contemplen.

Risc 2: Indisponibilitat del tutor

- Definició: el tutor no pot realitzar seguiment del projecte. Es considera de baixa probabilitat.
- Potencials conseqüències: retards en correccions i comentaris. Potencial afectació a la qualitat final.
- Pla de contingència: comunicació amb la UOC.
- Mesures compensatòries: suplència temporal de tutoria.

Risc 3: Dificultats logístiques del projectista - Hardware

- Definició: tots els equips informàtics del projectista no estan disponibles. Es considera de molt baixa probabilitat.
- Potencials conseqüències: incapacitat total d'avançar el projecte.
- Pla de contingència: emprar altres equips temporalment o adquirir nous equips.
- Mesures compensatòries: disposar de redundàncies.

Risc 4: Dificultats logístiques del projectista - Software

- Definició: el projectista no disposa del software necessari per abordar les tasques associades al projecte. Es considera de nul·la probabilitat per si sol, seria necessari incórrer en una incidència de tipus risc 3 prèviament.
- Potencials conseqüències: incapacitat parcial d'avançar en el projecte. Retards en els plaços.
- Pla de contingència: adquirir noves llicències de software.
- Mesures compensatòries: no es contemplen.

Risc 5: Dificultats logístiques del projectista - Comunicacions

- Definició: el projectista no disposa d'accés a internet. Es considera de nul·la probabilitat tret de donar-se un escenari de caiguda total de les comunicacions tant per fil com sense fils.
- Potencials conseqüències: incapacitat de realitzar consultes, comunicar-se amb el tutor, enviar les tasques completades, etc. De donar-se aquest *worst scenario*, es postula de màxim 48h.
- Pla de contingència: emprar dades mòbils (tret del pitjor escenari descrit anteriorment).
- Mesures compensatòries: disposar de diverses línies mòbils.

Risc 6: Errors en la definició de l'abast del projecte

- Definició: l'abast del projecte es resulta ser massa ambiciós o ambigu, i la seva qualitat o completitud es posen en perill. Es considera de baixa probabilitat.
- Potencials conseqüències: afectacions a la qualitat o completitud del projecte.
- Pla de contingència: correcció conservadora de l'abast, consensuada amb el tutor.
- Mesures compensatòries: comunicació fluïda amb el tutor.

Risc 7: Errors en les condicions inicials i concepció del projecte

- Definició: es descobreix que les condicions inicials postulades no són exactes o vàlides. Es considera de molt baixa probabilitat.
- Potencials conseqüències: errors en la concepció del projecte, manca de validesa dels resultats.
- Pla de contingència: reformular les condicions inicials i dedicar hores home addicionals per corregir els errors.
- Mesures compensatòries: formular condicions inicials conservadores que permetin una expectativa raonable de resultats vàlids.

Risc 8: Errors en el disseny – Part física

- Definició: es descobreix que existeixen errors en la concepció física del sistema projectat. Es considera de probabilitat mitjana.
- Potencials conseqüències: errors en la concepció del projecte, manca de validesa dels resultats.
- Pla de contingència: replantejar el disseny físic del sistema i dedicar hores home addicionals per corregir els errors.
- Mesures compensatòries: emprar un disseny conceptual de amb un elevat nivell d'abstracció, escalable i amb unitats funcionals estandarditzades i provades en les condicions postulades.

Risc 9: Errors en el disseny – Part de control

- Definició: es descobreix que existeixen errors en la concepció del control del sistema projectat. Es considera de probabilitat mitjana.
- Potencials conseqüències: posada en risc dels usuaris (inacceptable), errors en la concepció del projecte, manca de validesa dels resultats.
- Pla de contingència: redefinir les funcions/relacions dels elements que intervenen en el control del sistema projectat i dedicar hores home addicionals per corregir els errors.
- Mesures compensatòries: emprar disseny del control que prioritzi la seguretat dels usuaris, que sigui robust en la fallada i inclogui el concepte de fallada en posició segura, i que consti d'elements i funcionalitats estandarditzades, intercanviables i provades (a poder ser, de codi obert).

Risc 10: Errors en el disseny – Part de comunicacions

- Definició: es descobreix que existeixen errors en la concepció dels elements i funcions de comunicacions del sistema projectat. Es considera de probabilitat mitjana.
- Potencials conseqüències: errors en la concepció del projecte, manca de validesa dels resultats.
- Pla de contingència: redefinir les funcions/relacions dels elements que intervenen en les comunicacions sistema projectat i dedicar hores home addicionals per corregir els errors.
- Mesures compensatòries: emprar elements estandarditzats i, de ser possible, plataformes de codi obert.

Generalitats dels sistemes d'escalfament elèctric d'aigua

Estudi de les generalitats dels sistemes d'escalfament elèctric amb acumulador d'aigua sanitària: els rangs de funcionament, capacitats, consums i cabals d'aportació de diversos escalfadors elèctrics i triar-ne un com a base, adient per una família exemple de 4 individus.

Dimensionament dels consums d'aigua d'una unitat familiar de 4 individus

Condicions inicials i generalitats:

Durant el 2016, i segons el Instituto Nacional de Estadística (Ref.1), a Espanya es van gastar de mitjana 136 l per persona i dia d'aigua. D'aquest consum, un 34% correspon a la dutxa. Per tant, podem afirmar que el total d'aigua útil per una unitat familiar de 4 persones, que es fa servir en un dia de dutxes i computant tant aigua freda com aigua calenta sanitària és de:

$$V_{\text{útil}} = 136 \frac{l}{\text{persona}} \cdot 4 \text{ persones} \cdot 0,34$$

Equació 1: Càlcul del volum útil del dipòsit

$$V_{\text{útil}} = 184,96 l \approx 185 l$$

Aquesta estimació ja està calculada a partir d'una mitjana, de manera que no s'entrarà a valorar variacions sobre l'estadística com ara estacionalitats o variacions puntuals del nombre de dutxes que pugui patir un membre de la unitat sota estudi. Així doncs, per al dimensionament de consums es tindran en compte aquests 185 litres diaris per unitat.

Com s'esmenta anteriorment, aquest volum correspon al volum útil. La diferència entre el volum consumit i el volum útil es pot expressar en termes de la següent igualtat:

$$V_{\text{consumit}} = V_{\text{útil}} + V_{\text{no aprofitat}}$$

Equació 2: Càlcul del volum consumit d'Aigua Calenta Sanitària

Dins del volum útil, es considerarà el volum d'aigua consumit des de que l'individu efectivament es comença a dutxar –es mulla- fins que tanca l'aixeta. No s'entrarà en consideracions sobre el bon ús de l'aigua o bones pràctiques, com ara tancar l'aixeta mentre aquest individu no fa un ús actiu de l'aigua. Òbviament, i encara que queda fora de l'abast d'aquest projecte, fer un ús òptim de l'aigua durant la dutxa pot reduir significativament el seu consum i contribuir a tenir cura del medi ambient. Tornant a l'aigua que no s'aprofita, podem afirmar:

$$V_{\text{no aprofitat}} = V_{\text{espera_aigua_calenta}} + V_{\text{pèrdues}}$$

Equació 3: Càlcul del volum no aprofitat d'Aigua Calenta Sanitària

Per a la realització d'aquest projecte, es menystindran les pèrdues. Tot i això, no s'ha de menysprear la contribució al consum d'un simple degoteig i un bon manteniment del sistema, incloent juntes i aixetes, ajudarà a estalviar aigua. El terme $V_{\text{espera_aigua_calenta}}$ és la pedra angular d'aquest projecte.

Definim el terme $V_{\text{espera_aigua_calenta}}$ com el volum d'aigua no aprofitada a priori ja que l'usuari no la troba a la temperatura desitjada i no en fa ús. Existeixen sistemes de recollida d'aigua de la dutxa per a aprofitar-la per a d'altres utilitats, com ara omplir les cisternes del vàter o per rec, que queden fora de l'abast d'aquest projecte.

Aquest $V_{\text{espera_aigua_calenta}}$ depèn de diversos factors:

- $T_{\text{desitjada}}$: és la temperatura de l'aigua a la sortida de l'aixeta de la dutxa que l'usuari ha triat. Es considera constant. Es suposarà sempre inferior o igual a la T_{termo} .
- T_{termo} : és la temperatura de l'aigua a la sortida de l'escalfador d'aigua. Per aquesta primera aproximació, la suposarem constant fent servir la hipòtesi que tota l'aigua que es troba a l'interior del termo es troba a la mateixa temperatura i surt del termo a aquesta mateixa temperatura sense variacions (degudes, per exemple, a aportacions d'aigua freda al dipòsit, etc.)
- $T_{\text{aigua_calenta}_0}$: és la temperatura a la que es troba l'aigua de la línia d'aigua calenta passada 1h des de l'últim ús del termo per a la dutxa.
- $T_{\text{aigua_freda}}$: és la temperatura a la que es troba l'aigua que no passa pel termo i arriba a la dutxa, que es barreja amb l'aigua calenta al mesclador de la dutxa. La considerarem constant a efectes d'aquesta primera aproximació.
- $L_{\text{aigua_calenta}}$: és la longitud de la línia d'aigua calenta en metres lineals de línia que va des de l'escalfador fins l'aixeta de la dutxa.
- $P_{\text{aigua_freda}}$ i $P_{\text{aigua_calenta}}$: pressió de treball de les línies d'aigua freda i calenta. A major pressió, major cabal màxim que es pot arribar a emprar a la dutxa.
- Recorregut de la línia d'aigua calenta: tot i assumir que la canonada serà una estàndard de plàstic (polietilè reciclat o multicapa, de 16mm de diàmetre), a banda de la longitud de la línia, és rellevant per on passa en relació amb les propietats físiques dels materials que té al voltant i la seva temperatura.

En un sistema estàndard, l'aigua calenta que surt de l'escalfador circula per una canonada fins arribar a la dutxa, on es barreja en un mesclador amb l'aigua freda. Per a que aquesta aigua calenta pugui arribar a la dutxa, primer ha de circular tota l'aigua continguda a la línia, que es troba a $T_{\text{aigua_calenta}_0}$ i que és inferior a $T_{\text{desitjada}}$.

En un cas hipotètic en el que l'aigua que surt de l'escalfador fos més calenta que la desitjada per l'usuari, i no existissin pèrdues de calor a la línia d'aigua calenta, el volum contingut a aquesta línia des del termo fins la dutxa seria el mínim $V_{\text{espera_aigua_calenta}}$.

En realitat, sabem que sí que es produeixen pèrdues de calor al llarg de la línia. Aquest balanç és força més complex que aquesta estimació, però es pot considerar que com més gran sigui $L_{\text{aigua_calenta}}$ i menys favorables les condicions de recorregut de la línia d'aigua calenta, majors seran les pèrdues de calor. Com més grans siguin aquestes pèrdues, més gran serà el decrement de temperatura de l'aigua calenta que hi circula.

En un sistema estàndard, la temperatura de l'aigua calenta pateix un decrement no menystenible fins que arriba a la dutxa, a una $T_{\text{aigua_calenta_final}}$.

Les $P_{\text{aigua_freda}}$ i $P_{\text{aigua_calenta}}$ tenen una incidència directa en el cabal de cadascuna d'aquestes línies. Concretament, i segons l'equació de Bernoulli (Ref.3), per a un fluid ideal, en una línia sense variacions de diàmetre i a temperatura (i densitat) constant, un augment de la pressió de la línia es reflectirà de forma proporcional en un augment de cabal.

A l'hora de plantejar el balanç al mesclador de l'aixeta de la dutxa, podem suposar un rendiment de mescla del 100% i aleshores obtenim un balanç de temperatures on senzillament s'ha de ponderar cabal i temperatura per a obtenir el resultat final, segons les següents igualtats:

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{aigua_calenta}} + Q_{\text{aigua_freda}}$$

Equació 4: Càlcul del cabal total

$$T_{\text{dutxa}} = \frac{Q_{\text{aigua_calenta}}}{Q_{\text{total}}} T_{\text{aigua_calenta_final}} + \frac{Q_{\text{aigua_freda}}}{Q_{\text{total}}} T_{\text{aigua_freda}}$$

Equació 5: Càlcul de la temperatura final de l'aigua després del mesclador

Per tant, podem comprovar com hi ha un rang de condicions que poden fer que la temperatura de l'aigua calenta a l'arribada a la dutxa, o $T_{\text{aigua_calenta_final}}$, tingui un valor inferior a $T_{\text{desitjada}}$. En aquestes circumstàncies el volum d'aigua no aprofitat $V_{\text{espera_aigua_calenta}}$ s'incrementa fins que la línia s'ha escalfat suficient i la nova $T_{\text{aigua_calenta_final}}$ es troba per damunt de $T_{\text{desitjada}}$ i la part útil de la dutxa pot començar.

Hipòtesis per a una unitat familiar de 4 individus

Suposarem per a l'aproximació que la unitat familiar viu en un pis d'obra de 10 anys d'antiguitat, de 3 habitacions i 80m². En aquestes condicions, es pot estimar que entre l'escalfador i la dutxa hi hagi una distància de 10m equivalent a una longitud de línia aproximada de 15m.

Realitzant un càlcul de volums, obtenim:

$$V_{\text{espera_aigua_calenta}} \geq L_{\text{aigua_calenta}} \cdot A_{\text{secció_línia}}$$

Equació 6.1: Càlcul del volum d'aigua que es perd durant l'espera

$$V_{\text{espera_aigua_calenta}} \geq 15m \cdot \left(\frac{0,016m}{2}\right)^2 \cdot \pi$$

Equació 6.2: Càlcul del volum d'aigua que es perd durant l'espera

$$V_{espera_aigua_calenta} \geq 12 \text{ l}$$

En el millor escenari i per a les condicions donades, si suposem que les 4 dutxes diàries es produeixen seguides i només existís $V_{espera_aigua_calenta}$ en la primera d'elles, es perdrien d'aquesta forma 4380 litres a l'any per una unitat familiar de 4 membres.

Ara suposem que les dutxes no es produeixen de forma consecutiva i que el valor perdut s'ha de multiplicar per 4: es perdrien com a mínim 17520 litres d'aigua calenta.

Els cabals nominals de les llars es troben entorn dels 0.2l/s en funció de la pressió de les línies. Emprant aquesta aproximació, per a renovar el volum d'aigua contingut a la línia d'aigua calenta i que arribi l'aigua provinent de l'escalfador calen:

$$t_{aigua_no_util} = \frac{12l}{0,2 \text{ l/s}} = 60s$$

Equació 7: Càlcul del temps d'espera fins consum útil

Prova empírica

Cabal: amb l'aixeta oberta al màxim i en un pis de tercera alçada, s'ha trigat 22,5s a omplir a vessar un recipient de 5 litres de capacitat. Això suposa un cabal màxim de 0.22 l/s.

Longitud de la línia: en el cas de l'experiment, la distància és mesurable i l'escalfador es troba a 7m de distància de la dutxa, i es proposa aproximar la longitud de la línia a 9m computant els recorreguts verticals, colzes i curvatures de les canalitzacions.

Temperatura de la línia d'aigua calenta inicial: el pis on s'ha realitzat l'experiment es troba a una temperatura estacionària durant hores de 19°C. S'estimarà que l'aigua de la línia d'aigua calenta es troba a aquesta temperatura.

Temperatura desitjada: amb el cabal esmentat, i una temperatura de l'escalfador acumulador de 48°C, s'ha trigat 36s a què la temperatura de l'aigua comencés a augmentar sensiblement, i 39s a que sortís a una temperatura equivalent a la d'una dutxa normal.

Es pot interpretar que el volum de la línia s'ha renovat als 36 segons. Sabent que el cabal és de 0,22 l/s, es pot desfer el càlcul anterior coneixent la distància i la secció de la línia. Per tant, la longitud de la línia és de:

$$V_{linia_aigua_calenta} = Q_{aigua_calenta} \cdot t_{renovació}$$

Equació 8.1: Validació del càlcul del volum de línia d'Aigua Calenta Sanitària

$$V_{linia_aigua_calenta} = L_{aigua_calenta} \cdot A_{secció_linia}$$

Equació 8.2: Validació del càlcul del volum de línia d'Aigua Calenta Sanitària

D'aquestes igualtats es pot deduir que la longitud real de la línia no són 9m, si no aproximadament 8m. Es considera que la hipòtesi és vàlida amb les incerteses i condicions postulades.

De l'evolució temporal de les temperatures s'extreu la conclusió que el mecanisme físic descrit representa efectivament el comportament del sistema:

- L'aigua calenta que surt de l'escalfador desplaça el volum d'aigua contingut a la línia;
- Quan aquest volum s'ha renovat, l'aigua procedent de l'escalfador comença a sortir per l'aixeta de la dutxa a una temperatura inferior a la de l'escalfador degut a les pèrdues de calor al llarg de la línia;
- Quant el calor cedit per l'aigua a la línia permet que aquesta augmenti la seva temperatura fins a un determinat llindar, les noves pèrdues de calor passen a ser menyspreables i les temperatures de sortida de l'escalfador i d'arribada a la dutxa són molt semblants;
- Pot començar la part útil de la dutxa a l'haver-se assolit, com a mínim, $T_{desitjada}$.

Conclusions del dimensionament

Una unitat familiar de 4 individus farà servir, de mitjana, 185 l d'aigua útils per dutxar-se cada dia. Aquesta quantitat d'aigua serà, majoritàriament, aigua provinent de l'escalfador. La resta de l'aigua serà provinent del circuit d'aigua freda.

En un sistema convencional, es farà un ús inadequat de l'aigua esperant a què aquesta surti prou calenta, de mínim 12 l d'aigua cada dia, podent arribar aquesta xifra a 48 l. Aquesta aigua és aigua que en algun moment anterior s'haurà escalfat, amb el corresponent ús poc eficient de l'energia necessària per a fer-ho.

Les xifres de cabal corresponents a 0,2 l/s i consideracions dels mecanismes físics del sistema són acceptables.

En aquestes condicions, es pot considerar que l'aigua calenta està rajant entre 40s i 60s abans de començar la part útil de la dutxa.

Per tant, de cara al disseny d'un sistema millorat, es proposen els següents rangs de funcionament:

- Capacitat del sistema: ha de ser capaç de subministrar com a mínim 200 litres d'aigua al dia amb cabal de sortida mínim de 0.2l/s (no és necessari postular que els 200 litres es consumiran de cop, si no al llarg del dia).
- Temperatura de funcionament: ha de garantir en primer lloc la seguretat dels usuaris. Es proposa que el rang de temperatures per a la dutxa inclogui des de la temperatura de l'aigua freda fins a 40°C.
- Temperatura límit en altres modes: es proposa que el sistema, amb els deguts mecanismes de seguretat, pugui operar en un mode de sanitització del circuit, per exemple per al tractament contra la legionel·la.

Tipologia al mercat i elecció d'un model d'escalfador d'aigua sanitària com a base pel projecte

Al mercat existeixen diversos tipus d'escalfadors d'aigua sanitària. Coneixent les premisses de rangs de funcionament anteriorment esmentades, i tot i que es parteix de la concepció de l'escalfador com una "caixa negra" a efectes del disseny del sistema, és necessari establir un mínim de concreció quant a la seva naturalesa per a facilitar les labors posteriors i definir les necessitats externes al propi escalfador de funcionalitats i d'elements de control addicionals.

A grans trets, els escalfadors més generalitzats són de dues tipologies ben diferenciades:

- a) Escalfadors de gas: cremen gas (ciutat, propà o butà) per a escalfar l'aigua mentre aquesta passa per uns serpentins metàl·lics i aquesta mateixa aigua, en continu, es dirigeix a la sortida de l'escalfador segons demanda. No disposen d'acumulador.
- b) Escalfadors elèctrics amb acumulador: fan servir resistències elèctriques per escalfar aigua continguda en un dipòsit acumulador. Aquesta aigua és enviada a la sortida de l'escalfador segons demanda, mentre el dipòsit s'omple.
- c) Sistemes compostos de qualsevol de les anteriors i acumuladors que aprofiten la calor generada per altres elements: com podrien ser panells solars d'aigua sanitària, o sistemes d'aerotèrmia.

Existeixen també sistemes d'escalfadors elèctrics de consum instantani, però no estan generalitzats i suposen consums molt elevats en relació als escalfadors tradicionals, motiu pel qual s'obviaran en aquesta comparativa. Donat que el tipus representat per l'opció "c" és principalment un híbrid de les anteriors amb millores d'eficiència, de moment es comparen les opcions d'escalfadors elèctrics i de gas.

Comparativa entre escalfadors de gas i escalfadors elèctrics

Escalfadors de gas

Funcionen amb la combustió d'un gas inflamable. Això implica una dinàmica del sistema molt ràpida, on l'aigua calenta està disponible immediatament i no s'exhaureix si es manté el consum de gas i es poden integrar en sistemes que també subministren aigua calenta per calefacció. D'altra banda, requereixen subministrament de gas i tenen els riscos associats a la inflamabilitat d'aquest combustible, així com la necessitat de sortides de fums adients i ventilació segons normativa. Addicionalment, els escalfadors que cremen gas butà no són els més generalitzats i existeixen domicilis als que no arriba gas conduït.

Escalfadors elèctrics

Funcionen per mitjà de resistències elèctriques dins un dipòsit. El sistema requereix que el dipòsit contingui un volum mínim d'aigua i que aquesta estigui calenta per a que la temperatura de sortida sigui acceptable per a una dutxa en els termes especificats. La dinàmica del sistema és lenta i l'aigua no té capacitat d'escalfar-se a mesura que entra al dipòsit mentre es fa un consum com el d'una dutxa.

Paràmetre a comparar	Escalfadors de gas	Escalfadors elèctrics
Font de calor	Gas combustible	Resistències elèctriques
Limitacions de consum	No	Sí (el volum del dipòsit)
Limitacions de temps	No	Sí (temps d'escalfament)
Requeriments d'instal·lació	Subministrament de gas; Inspeccions periòdiques; Evacuació de fums	Subministrament elèctric
Riscos	Associats a la inflamabilitat del gas: incendi, explosió, inhalació de fums, mala combustió	Associats a malfuncions elèctriques: incendi per falla elèctrica
Cost	1000-1500 euros	250-750 euros

Taula 2: Comparativa de tipologies d'escalfadors

Conclusions de la comparativa

Per motius de simplicitat d'instal·lació i subministrament, i cost més reduït, i per suposar menys riscos, es proposa basar el projecte en el model d'escalfador elèctric.

Tot i això, es realitzarà el millor esforç per a treballar a un nivell d'abstracció i escalabilitat suficient per a poder substituir aquest element per un altre model d'escalfador, com ara de gas, o bé per a poder proposar millores corresponents a sistemes d'aerotèrmia o acumuladors amb plaques solars.

Generalitats dels escalfadors elèctrics

Tot i que el nivell d'abstracció posterior serà suficient a efectes de la consecució dels objectius del projecte, a continuació s'adjunta una representació esquemàtica dels elements d'un termo elèctric típic.

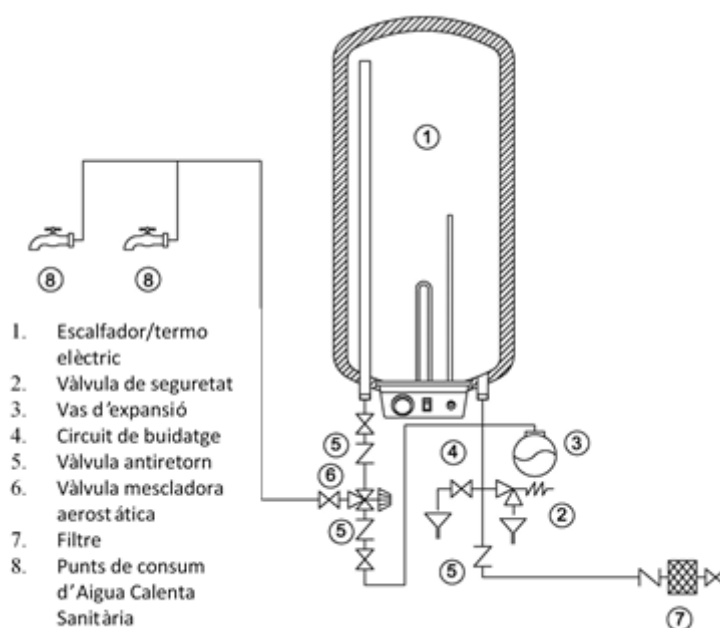


Figura 1: Plànol esquemàtic d'un escalfador elèctric típic

L'aigua freda entra a través de la línia inferior, passant a través de la vàlvula d'aïllament de l'entrada normalment oberta, filtre i una o diverses vàlvules antiretorn. Aquesta línia, de forma posterior a l'última vàlvula antiretorn, arriba a una doble derivació que condueix a:

- la línia de buidatge
- la línia de seguretat contra sobrepressions

Aquestes línies es troben connectades amb les canonades per on l'aigua pot marxar cap a l'exterior del domicili. A continuació i en el sentit original, es troba una nova doble derivació, que porta a:

- la línia de bypass del termo
- el vas d'expansió

El vas d'expansió serveix per acomodar les variacions de volum i dilatacions de l'aigua de l'interior del termo sense que hagi d'actuar el circuit de protecció contra sobrepressions, en un funcionament normal del sistema. La línia de bypass del termo serveix per a poder realitzar manteniments o afrontar circumstàncies no habituals.

Finalment, l'aigua freda arriba a l'escalfador, on es barreja amb l'aigua de l'interior i en contacte amb les resistències elèctriques. L'aigua calenta surt a través de la línia de l'esquerra, passant per una vàlvula d'aïllament de la sortida normalment oberta, una vàlvula antiretorn arriba a una derivació on es troba amb la línia de bypass. En aquest punt existeix una vàlvula de 3 vies, on la tercera via permet la circulació de l'aigua calenta fins els punts de consum d'ACS (Aigua Calenta Sanitària).

De cara a proposar el disseny del sistema, s'obviaran alguns d'aquests elements fins a tenir una proposta final per a major simplicitat.

Disseny conceptual del sistema

Realitzar un disseny conceptual de la part física del sistema abstractant-se dels elements de comunicació, però tenint en compte les necessitats de control. Esbós i generació del plànol aproximat del disseny físic.

Proposta de disseny físic conceptual

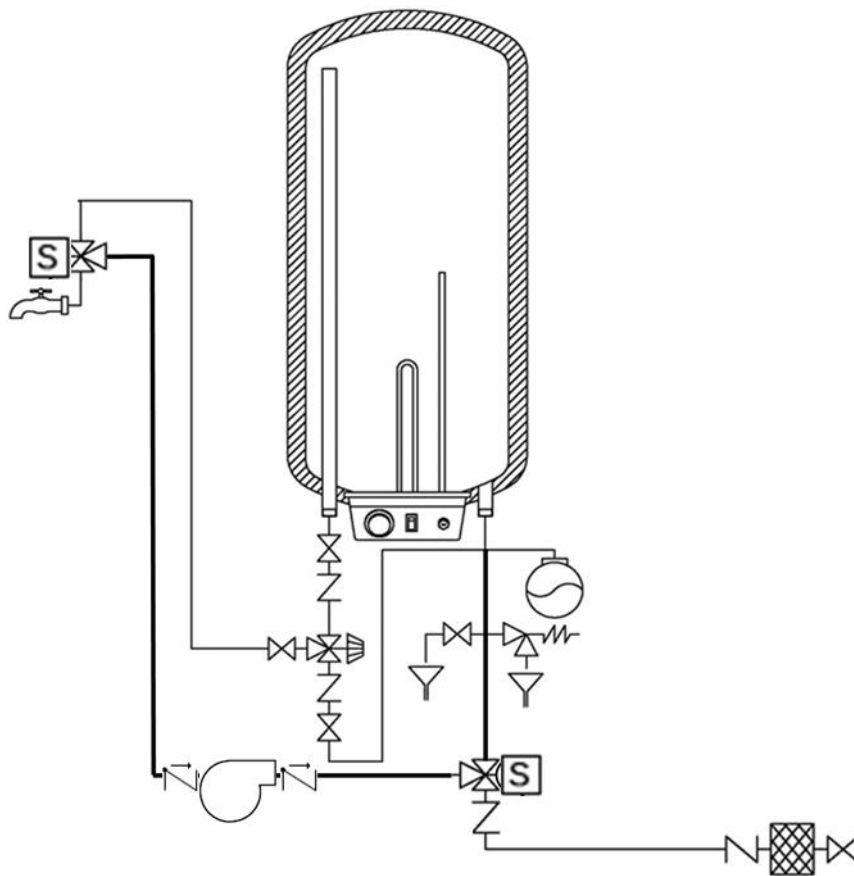


Figura 2: Proposta esquemàtica d'un sistema d'ACS amb estalvi d'aigua

La proposta contempla afegir una línia addicional, de retorn d'aigua, des d'un punt molt proper al consum d'ACS que, mitjançant una primera vàlvula de 3 vies, permeti recircular l'aigua calenta mentre aquesta no es troba a la temperatura desitjada, retornant cap al termo i passant per una segona vàlvula de 3 vies que permet o bé l'entrada d'aigua freda en condicions normals, o bé la recirculació de l'aigua calenta durant el consum. La configuració proposada permet mantenir les funcionalitats dels elements de seguretat del sistema.

Per tant, les necessitats d'equips addicionals, control a banda, per aquesta proposta són 2 vàlvules de tres vies automatitzades i un tram de línia de retorn. Per simplicitat, es plantejarà aquest sistema per a obra nova donades les dificultats d'afegir aquests elements addicionals. Així doncs, es planteja a priori per a noves instal·lacions, amb les vàlvules accessibles (fals sostre, armari o immediacions del termo, etc.).

Les vàlvules automatitzades de 3 vies requereixen alimentació elèctrica. A nivell de referència, s'han trobat vàlvules motoritzades i solenoides alimentades directament a 230Vac, aptes per a temperatures de fins a 60°C i pressions de treball de fins a 6 bar. Les alimentacions elèctriques de les vàlvules i de l'escalfador no es detallen.

Per a les necessitats de control, es tindrà en compte en aquesta primera fase que caldrà una unitat central de control o processament. L'alimentació a aquesta unitat tampoc es detalla.

Les funcionalitats de comunicacions i la tipologia de medi pel qual viatjaran les ordres de control queden fora de l'abast d'aquesta apartat.

Proposta d'escalfador exemple

A banda de les necessitats físiques del sistema esmentades en l'apartat anterior "Proposta de disseny físic conceptual", es realitza una busca per a dur a terme una proposta de termo que serveixi com a base del projecte, per a la hipotètica realització de càlculs que foren necessaris.

Derivat d'aquest exercici de recerca, i per qüestions d'accessibilitat a les especificacions, es proposa el següent termo elèctric d'una marca coneguda:

Junkers Elacell 150L (aprox. 300 euros)

https://www.junkers.es/usuario_final/productos/catalogo_usuario/producto_34880



Figura 3: Fotografia del model proposat com exemple

Les característiques del termo proposat són les següents:

- Capacitat: 150 litres¹
- Dimensions: 1240x505 mm
- Pes de l'acumulador: 41 Kg
- Pes de l'acumulador ple: 191 Kg
- Temps d'escalfament fins a 50°C: màxim 4h 10min.
- Rang de temperatura: de 5 a 62°C²
- Pressió màxima autoritzada: 9 bar²

NOTA 1: la capacitat d'aquest escalfador és de 150 litres. Existeix una versió més gran, amb capacitat de 200 litres, però es proposa optar per aquest model donat que és poc realista esperar que les dutxes dels 4 membres de la unitat familiar postulada es produeixin una rere l'altre sense temps morts. D'aquesta manera, els 150 litres es consideren suficients i es faran servir els paràmetres d'aquest model als càlculs posteriors.

NOTA 2: la temperatura i pressió màxima del termo podrien estar per damunt de les especificacions de treball de diversos components com ara les vàlvules de 3 vies. En qualsevol cas, es proposaran posteriorment les precaucions necessàries per a una operació segura del sistema tant des del punt de vista dels usuaris, prioritàriament, com des del punt de vista dels equips i components.

Diagrames d'estat dels elements físics del sistema

Elements actius del sistema físic

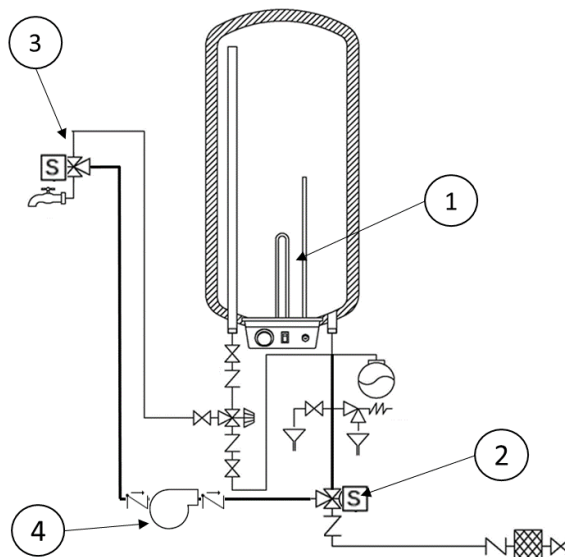


Figura 4: Esquema de la disposició dels elements físics actius del sistema

Els elements físics que intervenen de manera activa en el funcionament del sistema són:

1. Les resistències. Estan dividides en 3 grups. Un grup correspon al grup de mínima potència o preescalfament. Els altres dos grups només funcionen en mode de màxima potència, junt amb el grup de mínima potència, per treballar en conjunt. Han de treballar submergides o es podrien cremar.
2. Vàlvula solenoide de tres vies d'entrada al dipòsit. Ha de trobar-se oberta quan la bomba es posi o es trobi en marxa. No hauria de tancar fins que el flux sigui petit.
3. Vàlvula solenoide de tres vies del retorn al dipòsit. Ha de trobar-se oberta quan la bomba es posi o es trobi en marxa. No hauria de tancar fins que el flux sigui petit.
4. Bomba de recirculació. Ha de vèncer les pèrdues de càrrega de la línia de recirculació per a permetre el retorn de l'aigua al dipòsit. Ha de treballar amb el camí de flux obert per no malmetre's.

La resta d'elements físics tenen funcions passives (contenir l'aigua, permetre el flux d'aigua a través, etc.) o bé tenen funcions actives però no relacionades amb el control automàtic (com ara les vàlvules manuals).

Estats definits dels elements actius del sistema físic

Anomalies i malfuncions

Els senyals d'alarmes i alertes corresponents a malfuncions o anomalies que detectin cadascuna de les situacions postulades es requeriran seriat (o confluents en una porta OR) per a que qualsevol d'ells sigui suficient per dur el sistema a una posició segura.

Es definirà conceptualment aquesta lògica a la l'apartat d'Elements i Funcions de Control, quedant el seu detall fora de l'abast d'aquest projecte.

NOTA: Quan s'empri el concepte d'estat de fallada, es pretén fer referència a aquell estat en el què s'ubicarà el sistema si es produeix error en qualsevol dels seus components, ja sigui mitjançant una transició passiva o una protecció. Per exemple, si falla una bomba perquè es gripa, la seva protecció de sobreconsum hauria d'interrompre la circulació de corrent. Tanmateix, si no li arriba corrent per qualsevol motiu, també parará de forma natural. En ambdós casos, la bomba es trobarà fallada, ja que existeix malfunció o anomalia, i a efectes físics estarà parada en posició segura, coincidint amb la seva configuració de repòs.

Resistències d'escalfament

Element actiu	Resistències	
Estat 0	Repòs (fallada)	No circula corrent per les resistències. La temperatura de l'aigua del dipòsit (considerat adiabàtic com aproximació) es manté constant.
Estat 1	Baixa potència	Circula corrent per part del conjunt de resistències en mode de preescalfament de l'aigua.
Estat 2	Màxima potència	Circula corrent per tot el conjunt de resistències

Taula 3: Descripció dels estats de les resistències

Definició de l'estat de fallada de les resistències – posició segura.

L'estat de fallada impedeix l'escalfament de l'aigua. Impedir l'escalfament indetijjat de l'aigua permet:

- Evitar potencials cremades als usuaris si la temperatura esdevenís excessiva realment.
- Evitar potencials cremades als usuaris si no es pot garantir el control de temperatura (fallada dels transmissors, enclavament de les vàlvules, fallada del potenciòmetre de les resistències, etc.)
- Evitar sobrepressions per dilatació/ebullició de l'aigua del dipòsit si no existís control efectiu de temperatura/nivell.
- Evitar sobreconsums.

- Evitar degradació dels ànodes de sacrifici.
- Evitar degradació de les resistències si existís manca d'aigua.

Definició dels altres estats:

- L'estat de baixa potència es contempla principalment com un estat previ al de màxima potència. La seva utilitat es justifica en un escalfament més progressiu que permeti un consum més baix d'energia per a portar l'aigua a una temperatura intermitja entre l'ambient i la d'ús de la dutxa. També es contempla aquest estat com una forma d'escalfar l'aigua que entri al dipòsit després d'un consum quan el nivell d'aigua es troba per damunt d'un llindar, assumint que l'aigua existent ja es troba a temperatura de dutxa o propera.
- L'estat de màxima potència respon a la necessitat d'escalfament ràpid de l'aigua, ja sigui per una consum existent o per l'entrada d'aigua freda amb un nivell baix de l'inventari del dipòsit.

Diagrama d'estats de les resistències

El diagrama d'estats de les resistències, tenint en compte les transicions entre els estats definits, és el següent.

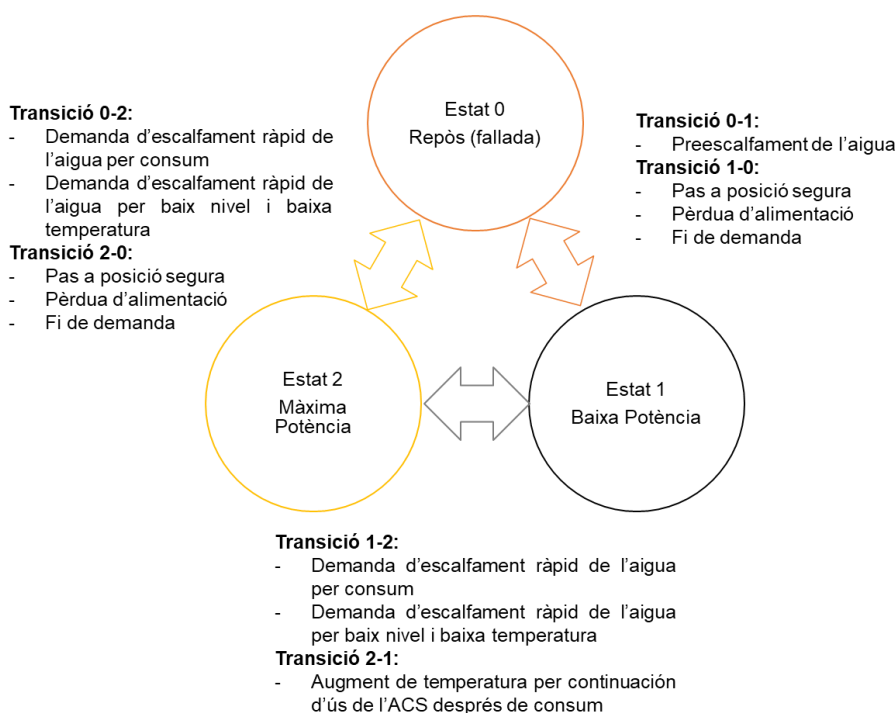


Figura 5: Diagrama d'estats de les resistències d'escalfament

Vàlvula solenoide de 3 vies de regulació de l'entrada d'aigua al dipòsit

Element actiu	Vàlvula de regulació de l'entrada del calentador	
Estat 0	Posició tancada (fallada)	Tant l'entrada des de la línia d'aportació com la que prové del retorn es troben tancades i no pot entrar aigua al dipòsit.
Estat 1	Posició entrada d'aigua pel retorn (escalfant en circuit tancat)	Entra l'aigua per la línia de retorn i passa cap al dipòsit del termo. L'entrada des de la línia d'aportació es troba tancada.
Estat 2	Posició entrada d'aigua exterior (omplint)	Entra l'aigua per la línia d'aportació i passa cap al dipòsit del termo. L'entrada des del retorn es troba tancada.

Taula 4: Descripció dels estats de la vàlvula de regulació de l'entrada

Definició de l'estat de fallada de la vàlvula de regulació de l'entrada de l'escalfador – posició segura.

L'estat de fallada impedeix l'entrada de l'aigua al dipòsit independentment del seu origen. Impedir l'entrada indesitjada de l'aigua permet:

- Evitar sobrepressions
- Evitar consums indesitjats

S'ha de tenir en compte que la vàlvula proposada és motoritzada. Les vàlvules motoritzades fallen en posició, és a dir, es mantenen en l'última posició en la que es trobaven abans de perdre l'alimentació. En aquest punt s'assumeix que idealment la vàlvula més adient des del punt de vista de la seguretat i de capacitat de mantenir una posició de fallada en qualsevol circumstància, no seria motoritzada sinó de tipus solenoide. Les vàlvules de tipus solenoide fallen a la desenergització, retornant a la seva posició base quan no disposen d'alimentació.

Diagrama d'estats de la vàlvula de regulació de l'entrada del l'escalfador

El diagrama d'estats de la vàlvula de regulació de l'entrada del l'escalfador, tenint en compte les transicions entre els estats definits, és el següent.

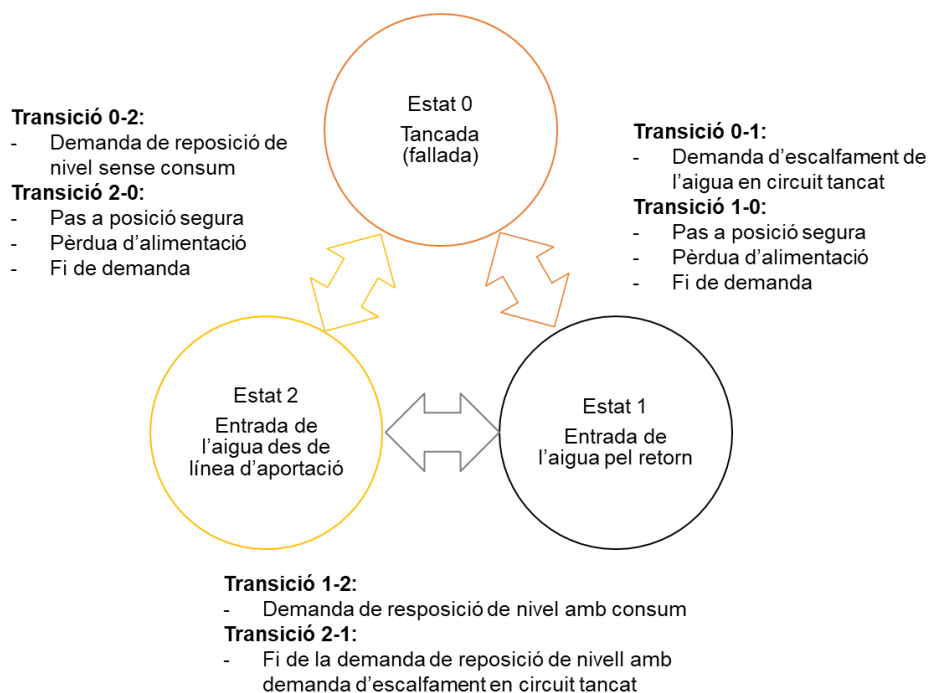


Figura 6: Diagrama d'estats de la vàlvula de regulació de l'entrada

Vàlvula solenoide de 3 vies de regulació del retorn d'aigua al dipòsit

Element actiu	Vàlvula de regulació del retorn del punt de consum d'ACS	
Estat 0	Posició tancada (fallada)	L'aigua no pot circular en cap sentit.
Estat 1	Posició de retorn d'aigua al dipòsit	L'aigua no es prou calenta i retorna al dipòsit a fi d'incrementar la seva temperatura.
Estat 2	Posició de pas d'aigua calenta	L'aigua és prou calenta i circula cap al punt de consum.

Taula 5: Descripció dels estats de la vàlvula de regulació del retorn d'aigua

Definició de l'estat de fallada de la vàlvula de regulació del retorn del punt de consum d'ACS – posició segura.

L'estat de fallada impedeix la circulació de l'aigua en qualsevol sentit. Impedir la circulació indesitjada de l'aigua permet:

- Evitar potencials cremades als usuaris si la temperatura esdevingués excessiva realment.
- Evitar potencials cremades als usuaris si no es pot garantir el control de temperatura (fallada dels transmissors, enclavament de les vàlvules, fallada del potenciòmetre de les resistències, etc.)

- Evitar sobrepressions per dilatació/ebullició de l'aigua del dipòsit si no existís control efectiu de temperatura/nivell.
- Evitar sobreconsums.
- Evitar degradació dels ànodes de sacrifici.

Com es pot comprovar, totes aquestes situacions a evitar també formen part de la definició de la posició segura de les resistències d'escalfament. En la majoria dels casos es tractarà de situacions ocasionades per malfuncions comunes i les consideracions de seguretat resultaran redundants.

Diagrama d'estats de la vàlvula de regulació del retorn del punt de consum d'ACS

El diagrama d'estats de la vàlvula de regulació del retorn del punt de consum d'ACS, tenint en compte les transicions entre els estats definits, és el següent.

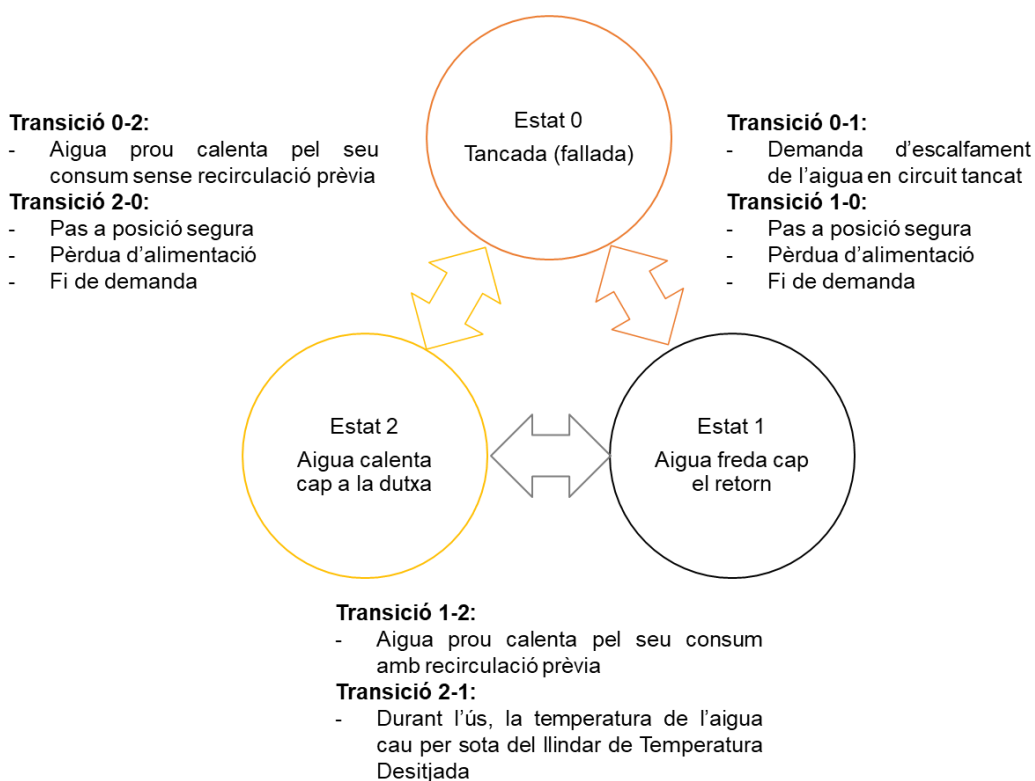


Figura 7: Diagrama d'estats de la vàlvula de regulació del retorn

Bomba de recirculació

Element actiu	Bomba de recirculació	
Estat 0	Repòs (fallada)	La bomba es troba parada. No existeix cabal per la línia de recirculació.
Estat 1	Marxa	La bomba es troba en marxa. Existeix cabal per la línia de recirculació des de i cap al dipòsit.

Taula 6: Descripció dels estats de la bomba de recirculació

Definició de l'estat de fallada de la bomba de recirculació- posició segura.

L'estat de fallada impedeix el pas de cabal per la recirculació, permetent:

- Evitar consums indesitjats.
- Protegir la bomba en cas que les vàlvules no es trobin alineades correctament.

Diagrama d'estats de la bomba de recirculació

El diagrama d'estats de la bomba de recirculació, tenint en compte les seves transicions, és el següent:

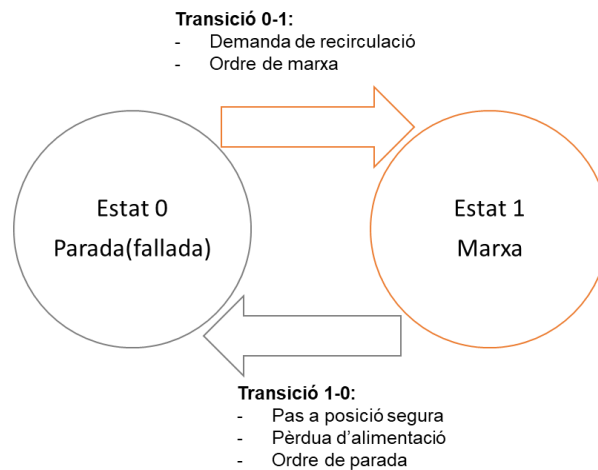


Figura 8: Diagrama d'estats de la bomba de recirculació

Elements i funcions de control

Esbós i generació del plànol conceptual d'interaccions funcionals dels elements de control.
Definició de les funcions de control.

Elements de control

En primer lloc, caldrà especificar la unitat lògica encarregada de les funcions de control. Es proposa emprar una unitat d'Arduino. El projecte Arduino es basa en una plataforma de desenvolupament que consta d'una sèrie completa de plaques electròniques que li permeten realitzar fàcilment projectes interactius dels àmbits de domòtica, robòtica, etc. i que ens els darrers anys ha patit un boom gràcies a la flexibilitat i facilitat d'ús que ofereix. Es tracta d'un projecte de maquinari de codi obert amb el qual qualsevol fabricant pot modificar i adaptar els diagrames de la placa Arduino sense llicències.

La placa Arduino es basa en un microcontrolador reprogramable i una sèrie de pins d'entrada i sortida (E / S) que permeten establir connexions entre el microcontrolador i els diversos sensors i / o actuadors. Disposa tant de pins digitals, que retornen dos estats ALT i BAIX, com de pins analògics, que retornen rangs de voltatge que són funció de la magnitud continua de senyal dels sensors.

A nivell de codi, Arduino proporciona un entorn de desenvolupament basat en processament i cablejat (C / C ++ simplificat), aportant una gran simplicitat en l'escriptura de codi fent que el llenguatge sigui força intuïtiu.

Com a model de placa d'Arduino, es planteja l'elecció entre Arduino UNO i Arduino MEGA. Com a resum de les seves característiques, s'adjunta la següent taula:

	UNO	MEGA
Processador	ATmega328P	ATmega 2560
Digital I/O pins	14	54
Digital I/O pins amb PWM output	6	14
Analog pins	6	16
Memòria Flash (kB)	32	256
EEPROM (kB)	1	4
SRAM (kB)	2	8
Velocitat de rellotge (MHz)	16	16
Línies de comunicació	1 (connectada a USB)	4 (1 connectada a USB, 3 addicionals)

Taula 7: Comparativa dels models d'Arduino proposats

Ambdós models tenen compatibilitat amb Ethernet/WiFi/Bluetooth afegint mòduls, tal i com es detalla en l'apartat de comunicacions.

A nivell de les funcions de control, tant un com l'altre serien suficients a priori per garantir la funcionalitat del sistema. Per a comprovar-ho, tot i això, cal especificar els elements sensors:

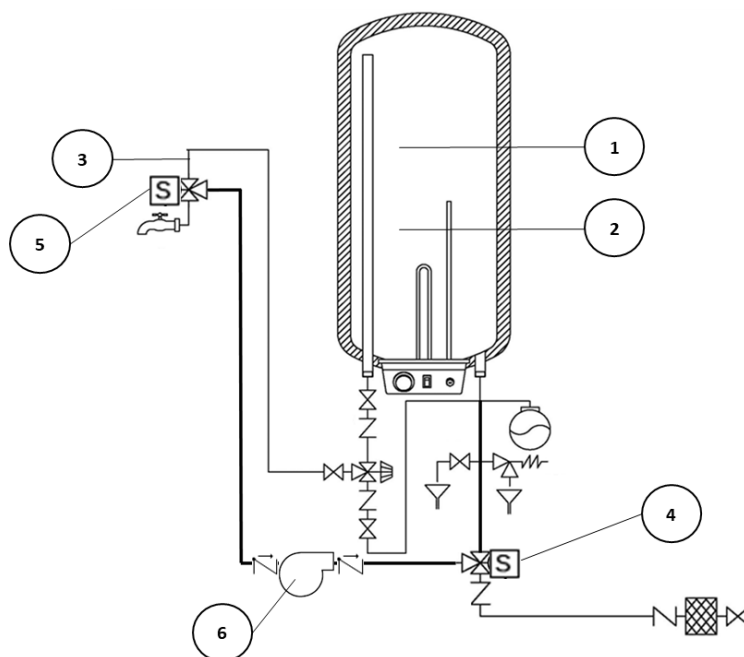


Figura 9: Ubicació dels sensors i origen dels senyals d'estat del sistema

El dipòsit tindrà dos sensors, un de temperatura i un de nivell:

El sensor de temperatura estarà associat a les funcions de protecció del propi equip i de l'usuari. Aquest sensor ha d'enviar la temperatura del dipòsit a l'Arduino per tal de què aquest pugui identificar si es supera algun dels llindars programats.

El sensor de nivell estarà associat a les funcions de protecció del propi equip i de funcionament del sistema. Aquest sensor ha d'enviar el nivell del dipòsit a l'Arduino per tal que aquest pugui processar l'estat del sistema i procedir a les accions necessàries per al seu correcte funcionament.

La línia de consum prèvia a la vàlvula de tres vies que es troba just abans de l'aixeta de la dutxa disposa d'un sensor de temperatura que és el principal element de control del sistema en termes de funcionalitat i una part indispensable per a les funcions de protecció de l'usuari.

Aquest sensor és el que detecta la temperatura de l'aigua que li arribaria a l'usuari si la vàlvula de tres vies es troba alineada per a consum. La seva funció és enviar aquesta temperatura a l'Arduino per tal que aquest pugui triar l'alineament correcte del sistema i garantir que quan surt aigua per l'aixeta ho fa en les condicions de temperatura seleccionada i de forma segura.

Els sensors de posició de les vàlvules són els encarregats d'enviar a l'Arduino la posició actual de les vàlvules per a garantir que aquest coneix l'alineament del sistema i pot fer servir aquesta informació per a treballar amb la lògica dels modes de funcionament.

La variable principal des del punt de vista de control i funcionament del sistema, que es podrà controlar des de l'aixeta, serà la variable de Temperatura Desitjada (demanda de la temperatura que té l'aigua que surt de l'aixeta).

A banda, cal determinar els paràmetres configurables o variables que l'usuari podrà triar en l'entorn físic del display del Arduino a l'aplicació del smartphone per tal de personalitzar el funcionament del sistema dins d'uns rangs preestablerts.

Finalment, donat el nombre d'entrades i sortides requerit de la placa i en previsió de les necessitats de comunicacions que es detallaran en l'apartat d'Elements de comunicacions, es proposa el model d'Arduino MEGA.

El conjunt general de relacions dels elements de control es podria resumir a nivell conceptual entrada-sortida en la següent figura:

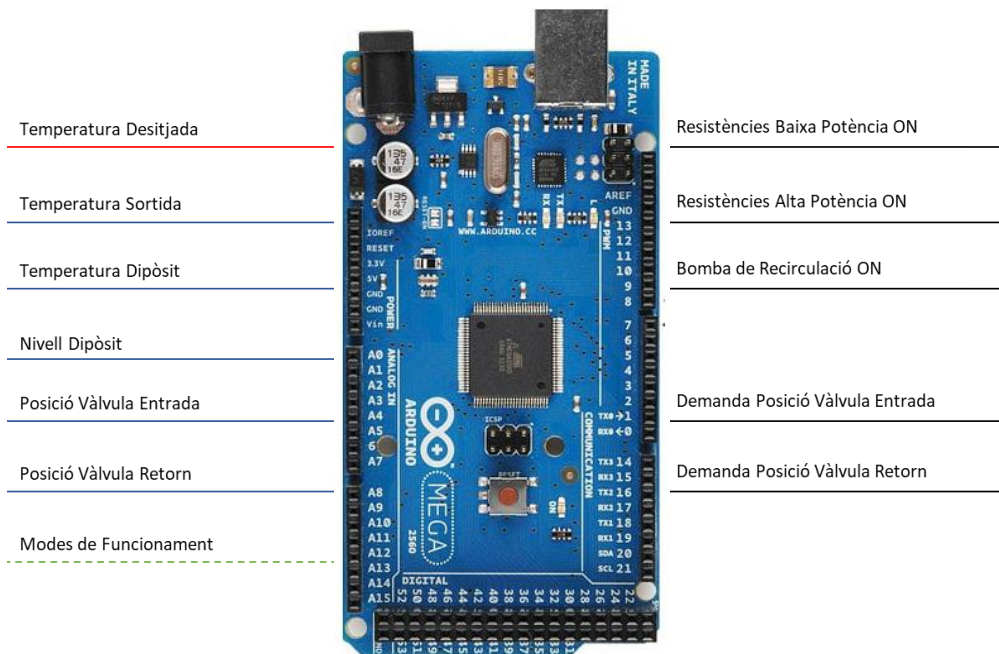


Figura 10: Relació d'entrades i sortides dels senyals que intervenen en el control del sistema

Funcions de control

Funció principal de control de temperatura de l'aigua de la dutxa: aquesta funció ha de permetre que no es llenci aigua a la dutxa pel fet que aquesta es trobi per sota de la Temperatura Desitjada. Això s'aconsegueix en la següent seqüència:

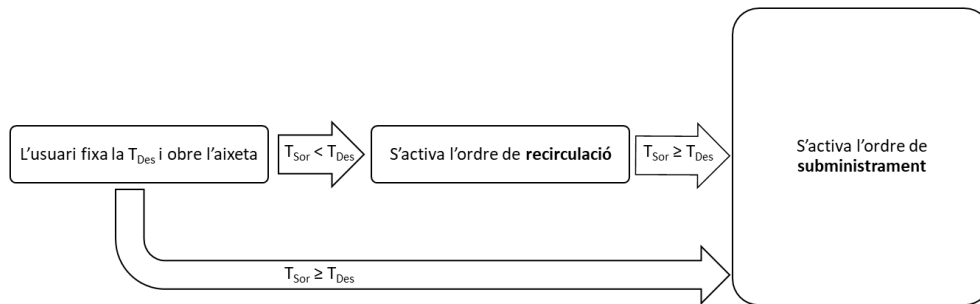


Figura 11: Seqüència lògica de funcionament esperat del sistema

Lògicament, aquesta seqüència es veu simplificada gràcies al fet que hi ha altres valors de configuració i de variables que incideixen en el procés. Per començar, es fa una suposició en la que la dutxa sempre es desitjarà a temperatura major o igual que la de l'aigua del dipòsit. Donat que aquest sistema només fa ús de l'aigua que procedeix del dipòsit, si es desitja una dutxa a menor temperatura, s'haurà d'emprar l'aixeta convencional d'aigua freda per a mesclar aquesta amb l'aigua provinent del sistema. El sistema proporcionarà aigua a una temperatura mínima que serà configurable. Es proposa una configuració per estiu i una altra per hivern, a mode d'exemple.

Quant al control de les vàlvules solenoides, es pot realitzar mitjançant un BJT o amb altres configuracions. Com a exemple, es proposa una solució aportada per la comunitat d'Arduino amb un BJT:

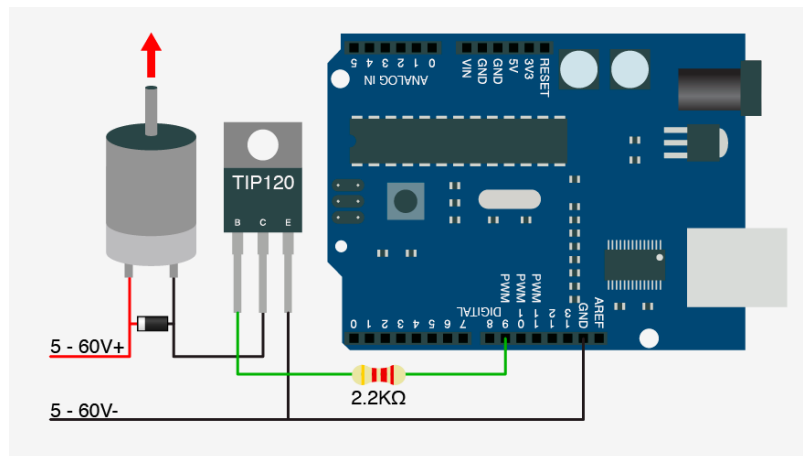


Figura 12: Esquema de la solució de control d'una vàlvula solenoide amb Arduino i BJT

Tornant a la seqüència mostrada, es pot veure com es generen dues ordres diferents:

- Ordre de recirculació
- Ordre de subministrament

Ordre de recirculació

L'ordre de recirculació consisteix en escalfar l'aigua del sistema en circuit tancat fins que augmenti la temperatura i aquesta arribi al llindar de T_{Des} . Això implica, sobre cadascun dels elements actius del sistema:

1. Enviar senyal de demanda d'escalfament ràpid de l'aigua per consum.
2. Posicionar la vàlvula d'entrada del dipòsit alineada cap aquest.
3. Posicionar la vàlvula de retorn alineada cap el dipòsit.
4. Després de confirmar l'èxit dels passos 2 i 3, engegar la bomba de recirculació.
5. Esperar en aquesta configuració fins que s'assoleixi $T_{Sor} \geq T_{Des}$

Ordre de subministrament

L'ordre de subministrament consisteix en aportar aigua per l'aixeta de la dutxa un cop aquesta té, com a mínim, T_{Des} .

1. Enviar senyal de parada a la bomba de recirculació.
2. Esperar 3 segons a que el flux d'aigua en recirculació es minimitzi.
3. Posicionar la vàlvula de retorn alineada cap la dutxa.
4. Posicionar la vàlvula d'entrada del dipòsit tancada.
5. Enviar senyal de parada de les resistències.
6. Esperar en aquesta configuració fins:
 - a. Fi de la demanda de subministrament (aixeta tancada).
 - b. $T_{Dip} < T_{Des}$: es llença ordre d'escalfament ràpid de l'aigua per consum. A continuació s'espera en aquesta configuració fins la fi de la demanda de subministrament.

A banda és necessari definir dues ordres auxiliars, que corresponen a:

1. L'ordre de preescalfament de l'aigua del dipòsit. Aquesta ordre té com a objectiu elevar la temperatura del dipòsit al valor mínim configurat d'estiu o hivern i consisteix únicament en enviar demanda al grup de resistències de baixa potència fins que $T_{Dip} \geq T_{Des}$ sempre que no hi hagi demanda de subministrament ni de recirculació. Les ordres de recirculació i de subministrament prevaleixen sobre aquesta ordre.
2. L'ordre d'ompliment del dipòsit. Aquesta ordre té com a objectiu garantir un nivell mínim per al correcte funcionament del sistema. És incompatible amb l'ordre de recirculació.

Totes aquestes ordres es podran executar sempre i quan no existeixi senyal d'anomalia o de malfunció en el sistema. La concreció formal dels senyals d'anomalia o malfunció queda fora de l'abast d'aquest treball. Aquest projecte les contemplarà conceptualment a baix nivell com a permissius de funcionament del sistema, en la condició de que aquest funcioni en els estats predefinits i les condicions plantejades, o no permeti el seu ús.

Un exemple de senyal d'anomalia és el senyal de baix nivell del dipòsit. Per sota del llindar d'alarma de Nivell Mínim, s'envia senyal d'anomalia per a protegir les resistències de quedar al descobert, impedit les ordres de subministrament, recirculació i preescalfament, que fan ús de les resistències, i en canvi sí permet l'ordre d'ompliment del dipòsit.

Un exemple de senyal de malfunció és el de Malfunció de Vàlvula d'Entrada, generada entre d'altres quan aquesta es troba en un estat o posició que no es correspon amb l'esperat.

Elements i funcions de comunicació

Esbós i generació del plànol conceptual d'interaccions funcionals dels elements de comunicació.
Definició de les funcions de comunicació.

Elements de comunicació

Els elements físics actius que participen del control del sistema tal i com s'ha descrit a l'apartat d'Elements i Funcions de Control, reben ordres per cable des de la placa d'Arduino. Alhora, els sensors envien informació per cable a la placa d'Arduino per a aportar les entrades necessàries per a la lògica de funcionament i protecció del sistema. Els protocols de comunicació entre aquests elements queden determinats pels propis elements físics i sensors.

La comunicació la placa d'Arduino i el display es realitzarà mitjançant cable de tipologia fixada pel model del propi display. A mode d'exemple, es proposa un display de 20x4 posicions (model WH2004A-TMI-CT):

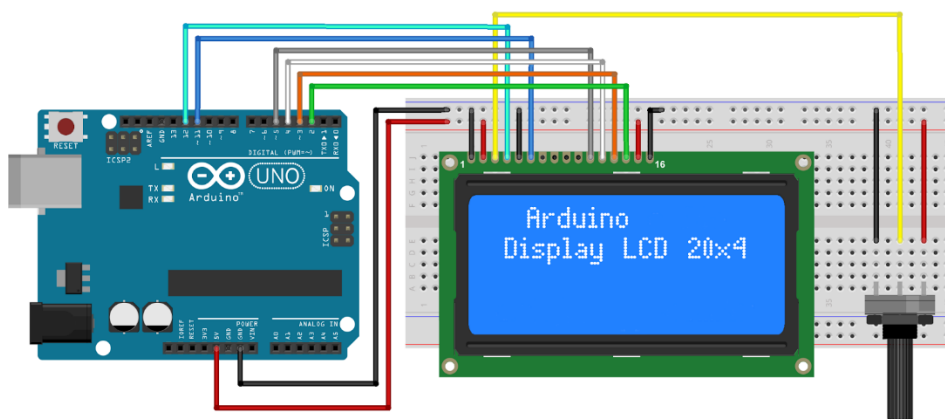


Figura 13: Esquema d'exemple per al cablejat del display

Els mòduls d'Arduino tenen entrades per a comunicació via USB. Es postula que la comunicació entre el smartphone i la placa d'Arduino es pot produir tant des del domicili com des de fora del domicili. Per tant, es dotarà de connectivitat a internet mitjançant la xarxa Wi-Fi amb el mòdul corresponent (en el cas d'Arduino, es podria emprar per exemple un mòdul ESP01 amb chip ESP8266, que ja integra comunicació 802.11 b/g/n, amb modes Wi-Fi Direct (P2P) y soft-Ap, i inclou una pila de TCP/IP completa).

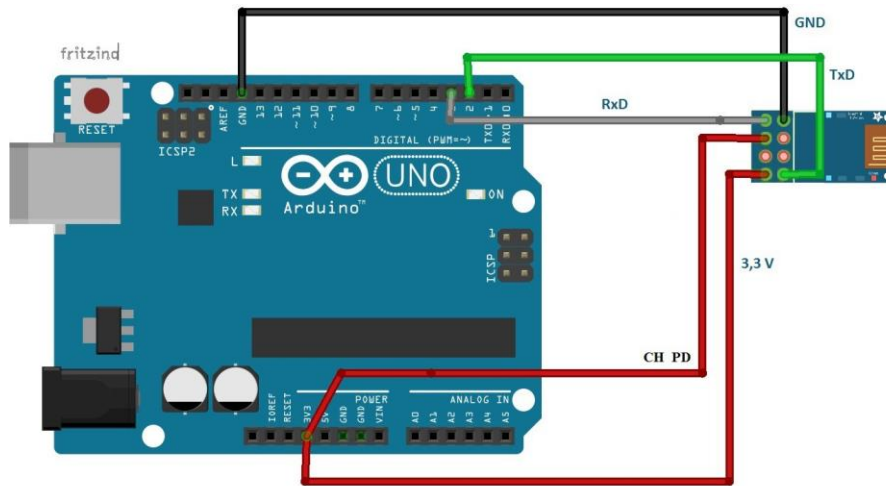


Figura 14: Esquema d'exemple per al cablejat del mòdul Wi-Fi

És opcional dotar de comunicació via Bluetooth (per exemple, amb un mòdul HC-05) o per infrarojos.

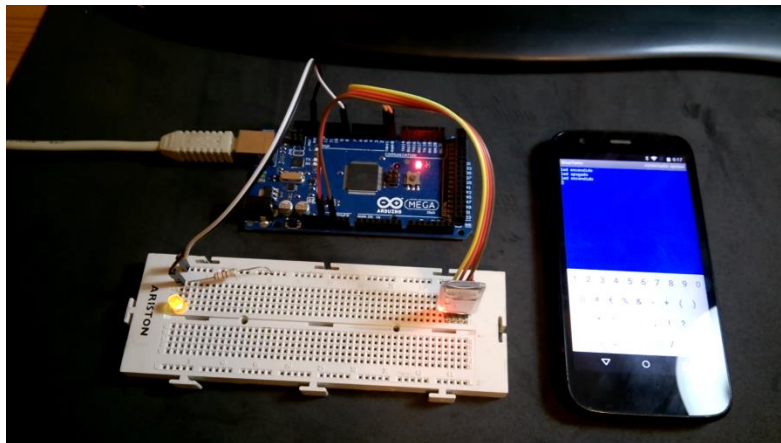


Figura 15: Exemple del muntatge per a un mòdul Bluetooth

Per tant, la configuració conceptual de les vies de comunicació del sistema es podria representar de la següent manera:

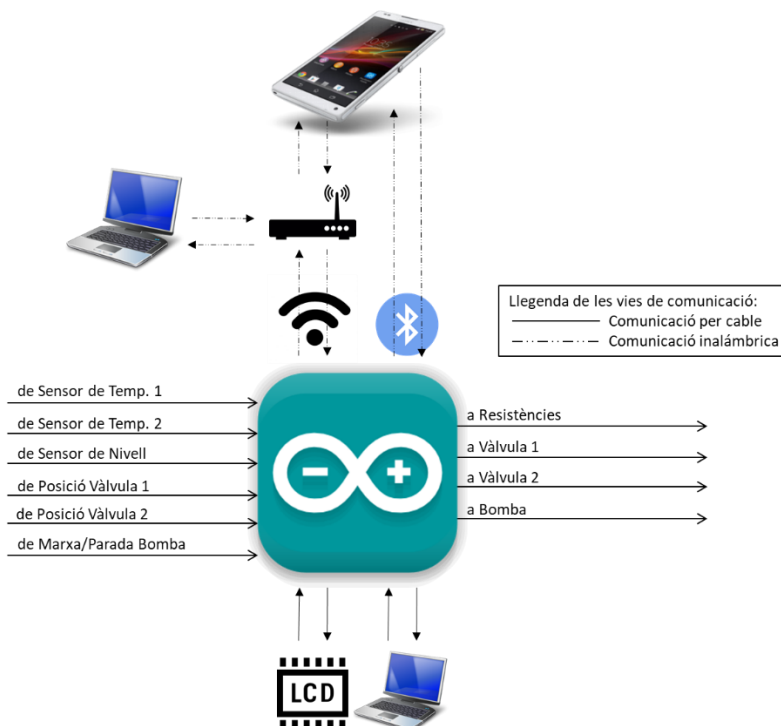


Figura 16: Diagrama de relació dels elements i canals de comunicació

Funcions de comunicació

Les funcions de comunicació es poden dividir en dues categories:

- Les funcions de comunicació intrínseques al control
- Les funcions de comunicació de configuració i manipulació del sistema

Funcions de comunicació intrínseques al control

Aquestes comunicacions consisteixen en el transport dels senyals dels sensors cap a l'Arduino per tal que aquest les processi i es comuniqui amb els elements físics actius per tal d'enviar les ordres que controlin els seus estats dins del funcionament esperat del sistema.

Com s'ha comentat amb anterioritat, aquestes comunicacions es realitzen per cable per garantir l'enviament dels senyals salvant obstacles físics com parets o murs que poguessin afectar la qualitat del senyal o fins i tot impedir la seva correcta recepció.

Pel que fa a l'abast d'aquest projecte, aquestes comunicacions seran transparents al funcionament del sistema, donat que són els propis elements i les seves característiques les que fixen com s'envia i reben els senyals.

Funcions de comunicació de configuració i manipulació del sistema

Aquestes comunicacions tenen la finalitat d'alterar la configuració de les fronteres dels estats del sistema i introduir el valor dels paràmetres configurables dels quals depèn el seu funcionament.

La configuració dels elements relacionats amb les alarmes i funcions que puguin afectar a la seguretat dels usuaris i equip es podrà realitzar només via comunicacions per cable en local mitjançant el display o l'ordinador al què es pot connectar la placa d'Arduino.

La resta d'elements de configuració no relacionats amb la seguretat (selecció de modes de funcionament, valors de les variables de control, programació horària etc.) es podrà realitzar tan via comunicacions per cable en local com mitjançant comunicacions inalàmbriques amb el smartphone (via la seva app) o l'ordinador.

Les funcionalitats de configuració que es controlen mitjançant aquestes comunicacions es defineixen a l'apartat següent: Interfície amb l'usuari: aplicació per a smartphone.

Interfície amb l'usuari: aplicació per a smartphome

Definició conceptual i a baix nivell les funcionalitats i les pantalles més rellevants de l'aplicació per a smartphone del sistema.

Funcionalitats de l'aplicació

L'aplicació per a smartphone ha de permetre accés i manipulació dels elements de configuració no relacionats amb la seguretat:

- Selecció de modes de funcionament: estiu, hivern, eco, vacances, etc.
- Valors de les variables de control: temperatura desitjada per defecte, temperatura mínima del dipòsit, etc.
- Optimització del consum: ON/OFF, rangs horaris d'ús actiu i eco, geolocalització.
- Notificacions i permisos

Proposta d'interfície

La proposta consisteix en una interfície intuïtiva dels comandaments de control no relacionats amb la seguretat descrits en l'apartat anterior de forma senzilla.

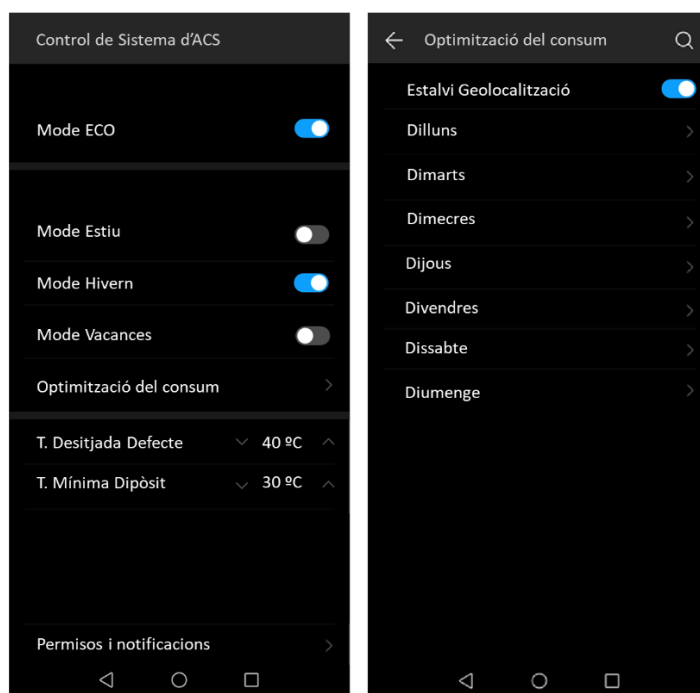


Figura 17: Proposta del disseny de la interfície de l'aplicació

Desenvolupament dels continguts de l'aplicació

Modes de funcionament

Estiu: disposa de la seva pròpia Temperatura Mínima de Dipòsit, per a minimitzar el consum elèctric i escalfar menys l'aigua que en mode hivern.

Hivern: disposa de la seva pròpia Temperatura Mínima de Dipòsit, per a trigar menys temps en assolir una Temperatura Desitjada previsiblement més alta que a l'estiu.

Vacances: es tracta d'un mode de funcionament excloent on el sistema activa periòdicament la bomba i els escalfadors minimitzant el consum per assegurar una recirculació mínima de l'aigua que ajudi a preservar-lo de llargs períodes sense ús i evita que el sistema es pogués arribar a glaçar.

Eco: es tracta d'un mode de funcionament no excloent que es pot fer servir en paral·lel amb els modes d'estiu o d'hivern en el que l'ús de les resistències s'optimitza per a un menor consum incrementant el temps d'espera.

Valors de variables de control

Temperatura Desitjada per defecte: pròpia de cada mode estiu/hivern. És la temperatura a la que sortirà l'aigua de la dutxa si no es canvia el valor al controlador de l'aixeta. El valor de T_{Des} canvia durant el consum si l'usuari empra el controlador i torna al seu valor per defecte quan acaba la dutxa.

Temperatura Mínima de Dipòsit: pròpia de cada mode de funcionament. És la temperatura a la que el sistema manté l'aigua del dipòsit com a mínim. Per sota d'aquesta temperatura, les resistències es posen en funcionament.

Optimització del consum

Permet establir un rang horari en el que el sistema es posa en mode eco per a minimitzar el consum elèctric i si no hi ha demandes de consum, torna poc a poc al mode actiu (estiu/hivern) que li correspongui quan arriba l'hora. Aquesta programació pot activar-se o desactivar-se i combinar-se o no amb la geolocalització.

Si es fa servir amb la geolocalització, el smartphone en segon pla envia una alerta al sistema si algun dels usuaris registrats es troba a les immediacions del domicili per a que el comenci el procés cap a l'estat actiu. Això és, si algun dels usuaris està al domicili o prop, encara que el sistema es trobi en mode eco per la definició de rang horari, el sistema ho detecta i preescalfa l'aigua del dipòsit com si es trobés en el mode estiu/hivern amb normalitat.

Notificacions i permisos

Permet habilitar i gestionar les notificacions de l'aplicació i els permisos. Les notificacions inclouen missatges al smartphone referents a anomalies, alarmes, necessitats de manteniment periòdic, etc.

Els permisos inclouen qüestions de la pròpia aplicació amb el sistema operatiu i amb les comptes d'usuari existents donades d'alta al sistema. Es tracten permisos de tipologia de notificacions en diversos nivells: ON/OFF, només alarmes, només anomalies i anomalies i alarmes, totes les notificacions. Quant a comptes d'usuari, a banda de la de l'administrador, es pot donar d'alta un altre compte mitjançant un codi QR propi de l'aplicació. Quan s'escaneja des d'un smartphone, apareix un avís a l'administrador per a confirmar l'activació del nou perfil d'usuari.

En aquest apartat també es troben els permisos que pot concedir i revocar l'administrador a cadascun dels usuaris addicionals.

Conclusions

Reflexió sobre els objectius del projecte

Els objectius s'han complert en la seva totalitat atenent a les limitacions d'abast definides al projecte. S'ha dissenyat un conjunt funcional d'elements físics que permet l'aport d'aigua calenta sanitària amb elements reals de mercat. S'ha aconseguit dissenyar un sistema que realitzi funcions de control de temperatura d'aigua sanitària en llaç tancat mitjançant un retorn de l'aigua que permet estalviar un volum d'aigua important a una llar tipus. S'ha prestat especial cura a la seguretat dels usuaris i dels equips, definint un mode de fallada segura i un sistema de comunicacions a l'usuari dels estats d'anomalia i alarma. S'ha optimitzat el consum d'energia mitjançant eines de comunicació, programació horària i geolocalització a través de l'aplicació.

Problemes sorgits i lliçons apreses

Si bé el nivell de detall ha estat el que es pretenia inicialment i el que s'ajustava als crèdits del projecte, alguns dels objectius es podrien haver detallat força més amb una maqueta que permetés simulacions i un muntatge de l'electrònica amb Arduino que hauria aportat valor.

S'han trobat dificultats en dotar de consistència als diferents apartats donada la diversitat de les tasques proposades. S'ha aconseguit aprofitar el nivell conceptual per permetre l'escalabilitat i intercanviabilitat dels mòduls o elements proposats.

Potencials ampliacions futures

Com a línies potencials d'ampliació del projecte en un futur, es proposa:

- La simulació mitjançant una maqueta dels elements físics amb els elements de control i comunicació reals.
- La programació de l'Arduino per a dur a terme les funcions de control i comunicació descrites.
- La programació de l'aplicació per a smartphone emprant codi obert.
- La valoració econòmica del prototip i instal.lació i la viabilitat econòmica del sistema.

Bibliografia

Estadística

1. https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176834&menu=ultiDatos&idp=1254735976602
2. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Generalitats d'hidràulica i vàlvules

3. https://es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_Bernoulli
4. <https://clr.es/blog/es/electrovalvula-solenoide-motor/>
5. <https://es.wikipedia.org/wiki/Electrov%C3%A1lvula>

Sistemes d'escalfament d'aigua

6. <https://www.mecalia.com/sin-categorizar/instalacion-termos-electricos/>
7. <https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/calefaccion/informe/calentadores/tipos-de-calentadores>
8. https://www.junkers.es/usuario_final/productos/catalogo_usuario/producto_34880

Arduino

9. <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/arduino-uno-vs-mega-vs-micro>
10. <https://openhardware.pe/que-modelo-de-arduino-debo-comprar-para-mis-proyectos/>
11. <https://tecmikro.com/arduino/332-arduino-mega.html>
12. <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/07/02/comunicacion-serie-arduino/>
13. <http://cursoarduinomega.blogspot.com/2015/10/conexion-bluetooth-android-con-arduino.html>
14. <http://blog.antoniohorrillo.com/iotard01/>
15. <https://quique123.wordpress.com/2017/05/12/arduino-iot-simple-tutorial-valvula-solenoide-con-un-bjt/>
16. <https://www.luisllamas.es/arduino-wifi-esp8266-esp01/>
17. <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/tcpip/>