

Estació Meteorològica Intel·ligent

Marius Dambean Partenie

Resum– En aquest projecte es vol desenvolupar una estació meteorològica intel·ligent adaptada per una casa qualsevol. La idea principal és poder prendre mesures ambientals tant de l'interior com de l'exterior de la casa i així oferir una sèrie de resultats per l'usuari com per exemple la temperatura, el percentatge d'humitat en l'aire, pressió atmosfèrica. Amb totes aquestes mesures es pot fer un algoritme de predicció meteorològica, avisos de precipitacions, historial de temperatures amb màximes i mínimes, la diferència entre temperatura interior i exterior per així avisar-nos a l'hora de sortir de casa, mesures de seguretat que hem de prendre segons el clima, tot una sèrie de dades que pot interessar a l'usuari.

Paraules clau – Estació meteorològica intel·ligent, predicció meteorològica, meteorologia, clima, sensors, aplicació web, Arduino, Raspberry Pi, Domoticz, NodeJS, MongoDB

Abstract– The propose of this project is to develop an intelligent weather station adapted for any house. The main idea is to be able to take environmental measures both inside and outside the house so we can offer data for a user such as temperature, the percentage of humidity in the air, atmospheric pressure. With all these measures a meteorological prediction algorithm can be made, also warnings for precipitations, history of temperatures with maximum and minimum, the difference between indoor and outdoor temperature to notify us when leaving home, security measures that we have to take according to the weather, a whole series of data that may be of user's interest.

Keywords– Intelligent weather station, weather forecast, meteorology, weather, sensors, web application, Arduino, Raspberry Pi, Domoticz, NodeJS, MongoDB



1 INTRODUCCIÓ

UNA estació meteorològica és una instal·lació destinada a mesurar i registrar regularment diverses variables meteorològiques. Aquestes dades s'utilitzen tant per a l'elaboració de prediccions meteorològiques a partir de models numèrics com per a estudis climàtics. Avui en dia les estacions meteorològiques no són tan populars com farà uns anys, això és degut a la presència de telenotícies i Internet, on es pot trobar fàcilment informació del temps. Tot i això, tenir una pròpia estació meteorològica et dona informació en temps real i molt més concreta al lloc on estàs.

La principal motivació d'aquest projecte és poder oferir una alternativa a lo que trobem en el mercat, més econòmica i personalitzable, amb materials accessibles per tothom i que contingui elements intel·ligents.

- E-mail de contacte: mariussergiu.dambean@e-campus.uab.cat
- Menció realitzada: Tecnologies de la Informació
- Treball tutoritzat per: Oriol Parera Fiestas (dEIC)
- Curs 2018/19

2 OBJECTIUS

L'objectiu principal d'aquest projecte és poder crear una estació meteorològica a partir de dos mòduls, cadascun amb una sèrie de sensors. Un dels mòduls estarà destinat per l'interior d'un habitatge i l'altre per l'exterior.

Els mòduls hauran de poder enviar les dades dels sensors, de forma sense fils, a un dispositiu que actuarà com a central, aquest dispositiu anomenat *gateway* recollirà les dades rebudes perquè posteriorment, una aplicació web les pugui processar, i així facilitar informació d'utilitat a l'usuari.

Per tenir una visió més amplia del projecte, es desglossaran els objectius en dues parts. La primera part seran els objectius a implementar per la creació dels mòduls i el *gateway*, i la segona part seran els objectius que haurà de complir l'aplicació web.

Els objectius necessaris per la creació del hardware del projecte són els següents:

- Implementació del mòdul per interiors, ha de tenir com a mínim un sensor de temperatura i d'humitat.

- Implementació del mòdul per exteriors, ha de tenir com a mínim un sensor de temperatura, un d'humitat i un sensor de pressió atmosfèrica (baròmetre).
- Implementació del dispositiu central. *gateway*, encarregat de rebre, per part dels mòduls, les dades dels sensors.
- Instal·lació del hardware per la comunicació sense fils per radiofreqüència entre mòduls i *gateway*.
- Software de comunicació, que permeti la connexió entre mòduls i *gateway*.

Els objectius necessaris que haurà de tenir l'aplicació web són els següents:

- Mostrar les dades dels sensors de cada mòdul.
- Predicció meteorològica.
- Càlcul de sensació tèrmica.
- Notificar de possibles precipitacions.
- Notificar quan la diferència de temperatura entre l'interior i l'exterior és gran.
- Notificar quan la temperatura interior baixa o puja més de lo establert.

D'altra banda el objectius opcionals de l'aplicació web són els següents:

- Disseny de l'aplicació web atractiu i amb elements interactius.
- Sistema d'autenticació per l'aplicació web.
- Càlcul del punt de rosada.
- Mostrar gràfics històrics detallats amb les dades dels sensors de cada mòdul.
- Mostrar historial complet amb les dades per cada mòdul independent.

3 ESTAT DE L'ART

En l'actualitat ens trobem un mercat ple d'alternatives per poder estudiar la progressió meteorològica nosaltres mateixos, estacions meteorològiques que ens mostren diferents tipus de dades atmosfèriques com la temperatura, pressió atmosfèrica, humitat relativa [1].

En els últims anys s'ha introduït el nou concepte d'estació meteorològica intel·ligent, encara que el terme intel·ligent no és del tot encertat. La majoria d'aquestes estacions només compten amb alguns sensors de més, com per exemple sensor de radiació UV, sensor de qualitat d'aire, pluviòmetre, anemòmetre, i avegades connexió Wi-Fi per poder consultar la informació dels sensors a través d'una aplicació mòbil o servei web. Realment pocs productes sota aquest nom contenen un element al qual realment se li pugui anomenar intel·ligent.

Un dels productes actuals del mercat que ha servit com a referència per aquest projecte és Netatmo[2], una estació

meteorològica intel·ligent que compta amb sensors de temperatura, humitat, pressió atmosfèrica, qualitat d'aire, sonòmetre, també té la possibilitat d'ampliar-se amb un pluviòmetre i un anemòmetre.

Netatmo és el producte líder en el sector, disposa d'una aplicació mòbil completa i innovadora amb una sèrie d'avisos, gràfics personalitzables, predicció meteorològica i fins i tot integració amb Alexa de Amazon, l'únic punt negatiu és el seu preu elevat. Això mateix ha servit com a motivació pel projecte, per tal d'aconseguir un producte que pugui competir al nivell de Netatmo, però amb un pressupost bastant més reduït i amb una gran escalabilitat en el que a funcionalitats i sensors representa.

Arduino[3] és una plataforma de creació d'electrònica de codi obert, la qual està basada en hardware i software lliure, flexible i fàcil d'utilitzar per als creadors i desenvolupadors. Aquesta plataforma permet crear diferents tipus de microordinadors d'una sola placa als quals la comunitat de creadors pot donar-los diferents tipus d'ús.

Per poder construir els mòduls, s'utilitzarà un xip d'Arduino en el que es programarà en llenguatge C++, el codi necessari perquè la placa llegeixi les dades dels sensors i les pugui transmetre amb una antena de radiofreqüència. Arduino compta amb repositori molt extens de llibreries per a sensors i exemples de codi cosa que facilita donar forma a les idees i a la creativitat.

4 METODOLOGIA

En aquest apartat s'explicarà la metodologia utilitzada pel desenvolupament del projecte i s'indicarà com s'ha aplicat al projecte. El model de desenvolupament utilitzat és un model iteratiu, consisteix en anar fent petites parts del projecte i s'avaluen constantment. Això es fa per poder analitzar en cada moment del desenvolupament, possibles canvis que facilitin la implementació, que puguin tenir en compte nous requisits o per detectar errors de disseny o d'implementació i evitar perdre molt de temps arreglant-los més tard.

A part de seguir el model iteratiu primer es va fer una planificació amb les tasques necessàries que s'havien de dur a terme per poder completar el projecte de forma exitosa. Aquestes tasques es van detallar amb un model Work Breakdown Structure o WBS, per a després, poder fer un diagrama de Gantt indicant les setmanes destinades a cada tasca.

A l'hora de treballar en el projecte i poder completar les tasques d'acord a la planificació, s'ha decidit utilitzar una metodologia Kanban de producció, on per cada activitat es detallaven una sèrie de tasques (To-Do) les quals s'havien de fer. S'ha seguit un model de treball en el qual s'especificaven una sèrie de tasques molt concretes per fer durant els següents 3 dies d'acord al temps de treball disponible i l'estimació del temps necessari per fer cada tasca. Es podien dividir en tasques obligatòries que estaven a la planificació, i en tasques opcionals que anaven sortint a lo llarg del projecte.

TO-DO de 3 dies: Del 17/05 al 20/05		
Total de temps disponible: 15h		
Prioritat	Objectiu	Temps estimat
Principal	Sistema d'autenticació – Login / Logout	6h
Principal	Funció per guardar dades del sensor cada 5 minuts a la base de dades.	3h
Principal	Guardar un arxiu .json com a backup per si no es pot establir connexió amb el controlador.	3h
Optatiu	Recuperar temperatura màxima i mínima	1h
Optatiu	Utilitzar awesome-font	1h
Optatiu	Disseny i implementació de drag-and-drop cards	1h

Fig. 1: Exemple de la metodologia de treball utilitzada.

5 PLANIFICACIÓ

En aquesta secció es presenta la planificació temporal i de recursos del projecte.

5.1 Fases i activitats del projecte

Per a elaborar la planificació del projecte, s'ha seguit una estructura de descomposició del treball o EDT, també coneguda pel seu nom en anglès WBS. Amb aquesta metodologia es pot organitzar les tasques del projecte en grups de forma jeràrquica, cada grup o fase té una sèrie d'activitats principals que determinaran el flux de treball. Les activitats es poden dividir en tasques i subtasques a l'hora de la seva elaboració. Diagrama WBS a l'apèndix (A.1).

- Fases:
 1. Planificació i preparació del projecte.
 2. Instal·lació física dels mòduls.
 3. Desenvolupament del software de connexions.
 4. Desenvolupament del software del producte.
 5. Fase de proves.
- Activitats:
 1. Planificació i definició de dates.
 2. Anàlisi de requeriments.
 3. Cerca i compra de material:
 - Sensors.
 - Arduino Nano.
 - Xip radiofreqüència NRF24L01.
 - Raspberry Pi 3 B+.
 4. Instal·lació del hardware del producte.
 5. Estudi de les connexions entre mòduls.
 6. Implementació del software de connexions.
 7. Algoritmes de resultats.
 8. Implementació de la base de dades.
 9. Implementació de l'aplicació web.
 10. Proves de hardware.
 11. Proves de connexió.
 12. Proves d'algoritmes.
 13. Proves del servei web.

5.2 Arquitectura del sistema

L'arquitectura física de l'estació meteorològica intel·ligent, com bé s'ha comentat amb anterioritat, estarà formada per dos mòduls i un dispositiu central *gateway*.

El mòdul d'interiors comptarà amb un xip Arduino Nano, un sensor de temperatura, un sensor d'humitat i una antena de radiofreqüència NRF24L01.

Per l'altra part, el mòdul d'exterior comptarà amb el mateix i addicionalment un sensor de pressió atmosfèrica. Com a dispositiu central tenim una placa Raspberry Pi 3 B+ que juntament amb una antena de radiofreqüència faran la funció de *gateway* per als mòduls.

Per la part lògica del sistema, la comunicació entre mòdul i *gateway* es durà a terme amb la llibreria de MySensors, que conté les funcions necessàries per poder connectar les antenes de radiofreqüència i transmetre dades.

Perquè les dades puguin ser processades un cop arribin al *gateway*, s'haurà d'utilitzar un software controlador. A la web de MySensors, es llisten una sèrie de controladors que són compatibles amb la llibreria de connexions, un d'ells és Domoticz [8].

Domoticz ja compta amb una aplicació web que ens permet veure les dades dels sensors i gestionar una sèrie d'opcions, tot i això, l'única utilitat que realment es necessita del controlador, és la capacitat que té el software de tractar les dades rebudes dels mòduls i guardar-les, per posteriorment poder-les recuperar des de la nostra pròpia aplicació web.

5.3 Pressupost i cerca del material

Per la elaboració d'aquest projecte, el material necessari no requeria d'un pressupost massa elevat, l'objectiu principal era poder competir amb la resta de productes del sector a un preu més reduït.

Per la compra de material s'havia de tenir en compte dos aspectes claus: el preu i el temps que trigaria el material en arribar. Per això mateix es van analitzar les següents opcions:

1. Comprar en tenda física
2. Comprar en tenda online (Espanya)
3. Comprar per Amazon / Ebay
4. Comprar a proveïdors externs de la Xina

Primer es va optar per les opcions número 1) i 2), ja que eren les que menys temps d'espera requerien, però en veure que els preus eren molt més elevats que el pressupost es va mirar per l'opció 3) i 4) de la qual la número 4) es va descartar immediatament perquè encara que els preus eren els més baixos el temps d'espera era superior al mes.

Al final es va haver d'optar a l'opció número 3) *Comprar per Amazon / Ebay*.

A continuació es mostra una taula (1) del material comprat amb el preu i temps que va tardar en arribar.

TAULA 1: TAULA DELS MATERIALS COMPRATS

Tenda	Material	Preu (euros)	Temps
Amazon.es	1 x Kit Raspberry Pi 3 Model B+	60,00	3 dies
Amazon.es	120 cables puente Arduino	6,39	1 dia
Amazon.es	3 x Arduino Nano V3.0	11,68	1 dia
Ebay.es	2 x DHT22 Digital Temperature Humidity Sensor	8,42	4 dies
Ebay.es	1 x GY-68 BMP180 Digital Barometric Pressure Sensor	3,59	4 dies
Ebay.es	3 x NRF24L01+ Mòdul inalàmbriic 2.4GHz	3,27	3 dies
Total		93,35	4 dies

6 DESENVOLUPAMENT

6.1 Instal·lació del hardware

En aquesta subsecció (6.1) s'explicarà la implementació del hardware que s'ha hagut de fer per poder crear l'estació meteorològica.

En la figura següent (2) es pot observar un esbós de l'arquitectura física que té el sistema.

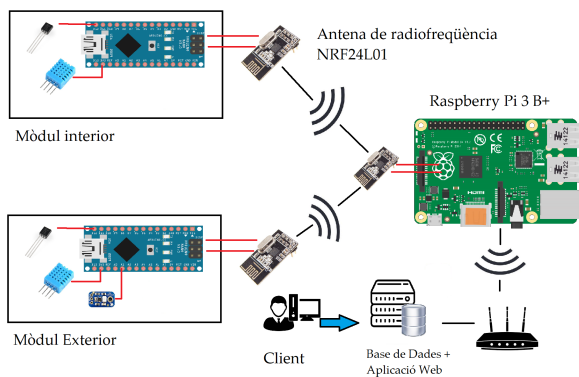


Fig. 2: Esquema representatiu de la implementació física del sistema.

- Arduino Nano + DHT22

El DHT22 [4] és un sensor que mesura la humitat relativa i la temperatura. Aquest sensor proporciona una sortida digital calibrada, i a més té una compensació de temperatura en tot el rang de mesurament la qual cosa ens dona una alta precisió en tota l'escala. Aquest sensor s'implementarà tant pel mòdul interior com exterior.

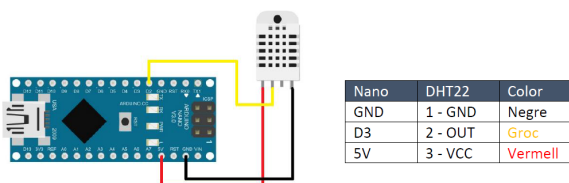


Fig. 3: Connexió entre una Arduino Nano i un sensor DHT22.

- Arduino Nano + BPM180

El BPM180 [5] és un sensor que mesura la temperatura i la pressió atmosfèrica. Amb aquest sensor es pot determinar tant la pressió atmosfèrica actual, com l'altitud a la qual correspon gràcies a la llibreria Arduino que utilitza. Aquest sensor només s'implementarà en el mòdul exterior.

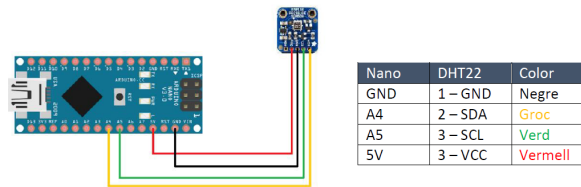


Fig. 4: Connexió entre una Arduino Nano i un sensor BPM180.

- Arduino Nano + nRF24L01

El nRF24L01 [6] és un xip de comunicació sense fils del tipus transceptor, serveix com emissor i receptor. Opera a la banda lliure entre 2.4 i 2.5 GHz i permet la comunicació simultània de fins a 6 dispositius, a més el nRF24L01 incorpora tota la lògica necessària per a una comunicació robusta.

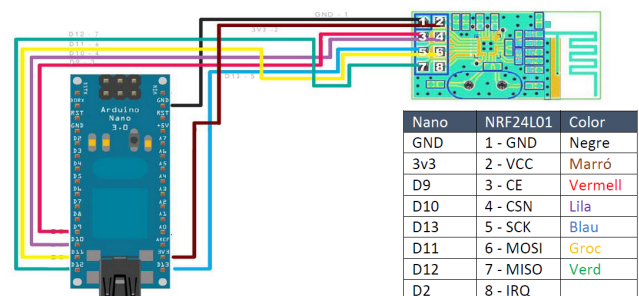


Fig. 5: Connexió entre una Arduino Nano i un xip de radiofreqüència nRF24L01.

- Raspberry Pi model B+ + nrf24l01

En aquest projecte, la Raspberry Pi B+ [7] serà el dispositiu *gateway* encarregat de rebre les dades enviades pels mòduls, per això mateix, és necessari incorporar un xip de radiofreqüència nRF24L01 tal com es mostra en la següent figura (6):

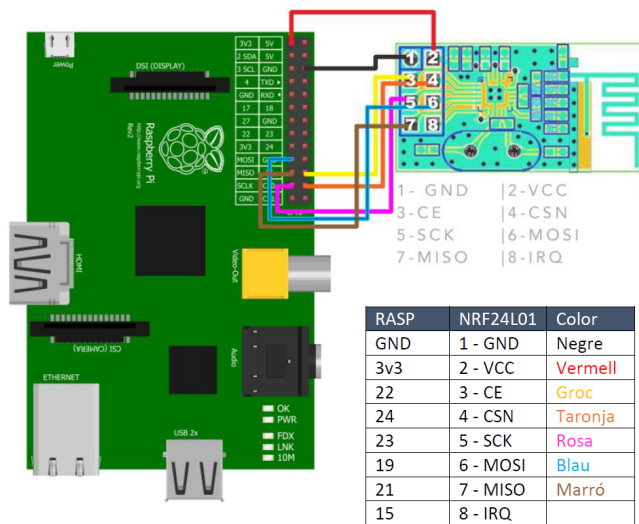


Fig. 6: Connexió entre una Raspberry Pi i un xip de radiofreqüència nRF24L01.

6.2 Software de connexions

El model d'arquitectura seguit per a la comunicació entre els diferents components de l'estació meteorològica està basada en un model de nodes gestionats per un gateway.

En aquest projecte en concret els mòduls de l'estació meteorològica seran els nodes i el gateway serà la Raspberry Pi B+. Aquesta arquitectura funciona de forma que els nodes primer es presenten al gateway amb la seva informació, i després envien dades dels sensors constantment sense un canal determinat, el gateway escolta de forma continuada en cerca de qualsevol senyal de radiofreqüència que provingui dels nodes. Per poder recuperar aquesta informació es necessita un controlador que tracti els senyals rebuts dels nodes.

Com a gateway s'ha utilitzat la llibreria de MySensors en la que ja ve majorment configurat, i com a controlador s'ha optat per utilitzar Domoticz [8] que conté un servei web de monitorització per a diferents sensors. La idea principal és poder recuperar les dades que Domoticz obté del gateway i guardar-les en una base de dades externa per així poder crear el nostre propi servei web.

- Gateway
Per la instal·lació del software de connexions a l'estació meteorològica, s'havia d'incloure la llibreria de MySensors a la Raspberry Pi i així executar l'arxiu de configuració per crear un servei que estigués escoltant sempre en cerca de senyals de radiofreqüència.

S'han hagut de fer algunes modificacions en l'arxiu de configuració per tal d'especificar quin tipus de gateway volem (Ethernet / Serial / MQTT) i el port. Aquest servei es pot executar de forma puntual o es pot fer que s'executi permanentment en encendre el dispositiu, en aquest cas la Raspberry Pi.

- Controlador
El controlador és el software encarregat de fer la comunicació entre client i el propi gateway. Normalment s'encarrega de proporcionar un control

d'interfície d'usuari per als actuadors, fer un seguiment de les dades més recents comunicades pels sensors, proporcionar informació sobre l'estat dels sensors i actuadors; per exemple l'estat actual (on / off / loadLevel) per a una llum, enviar paràmetres de configuració als sensors de la xarxa de ràdio, executar programes o escenes predefinides; per exemple al capvespre, encendre les llums del jardí.

Hi ha una gran selecció de controladors que són capaços de comunicar-se amb el gateway de MySensors. Per aquest projecte s'ha decidit utilitzar Domoticz com a prova inicial per veure si pot complir amb tots els requisits necessaris. Un cop instal·lat Domoticz a la Raspberry Pi es pot accedir al servei web que gestiona diferents opcions i configuracions del controlador.

Perquè Domoticz pugui comunicar-se amb el gateway s'ha de crear una instància del dispositiu dins de la mateixa aplicació web. Un cop configurat el gateway i el controlador, si es posen en marxa, s'haurien de connectar mútuament.

6.3 Implementació dels mòduls

Amb el gateway llest i escoltant, només queda programar els nodes perquè enviïn de forma repetida les dades que es llegeixen dels sensors.

El llenguatge de programació d'Arduino és C++, els xips dels mòduls s'han programat per tal de llegir les dades dels sensors cada un cert temps i enviar-les per radiofreqüència. Per evitar enviar dades repetides es comprova que la dada a enviar és diferent de l'última dada enviada, de lo contrari no s'enviaria res, això es fa un màxim de 10 cops abans de tornar a enviar la dada encara que el seu valor no hagi canviat.

6.4 Algorisme de predicció meteorològica

Actualment els serveis de meteorologia tant a la televisió com a Internet utilitzen uns algorismes de predicció meteorològica molt avançats, que han anat millorant al llarg de les últimes dècades. Es basen en imatges per satèl·lit i diferents mòduls meteorològics que estan repartits per tota una àrea, formant així una xarxa immensa que ajudarà a determinar patrons de comportament en el temps.

En aquest projecte només disposem d'un mòdul meteorològic exterior, que estarà fix i no tindrà l'ajuda de cap satèl·lit, per tant l'algorisme de predicció meteorològica es basarà principalment en les dades recollides pels sensors del mòdul exterior. L'algorisme tindrà la funcionalitat de donar un pronòstic aproximat del temps en un interval de 12 hores, en funció d'un historial amb dades de temperatura, humitat i pressió atmosfèrica de les últimes 4 hores, en aquest període ja és suficient per veure el comportament que té el clima i es poden començar a observar canvis en la pressió atmosfèrica que poden determinar el temps. L'algorisme ha estat modificat a partir d'un algorisme base trobat a l'article citat a continuació [13].

La manera en què es farà la predicció és senzilla, primer s'ha de calcular la pressió normal que hauria de fer en funció a l'altura que ens trobem, aquesta pressió l'anomenarem 'Pa', seguidament hem de fer la diferència entre la pressió que rebem del sensor 'Ps' i la pressió en altura 'Pa'. La fórmula seria la següent: $dP = P_s - P_a$

Aquesta seria una aproximació simple que servirà com a primera part de l'algorisme, la diferència de pressió 'dP' ens indicarà com està el clima actualment. Es poden delimitar cinc estats en funció del valor de 'dP':

TAULA 2: TAULA D'ESTATS DE DIFERENCIA DE PRESSIÓ

Estat	Descripció
$dP \geq 5$	Pressió atmosfèrica molt elevada (anticicló)
$3.5 \leq dP < 5$	Pressió atmosfèrica lleugerament elevada
$-3 \leq dP < 3.5$	Pressió atmosfèrica normal
$-5 \leq dP < -3$	Pressió atmosfèrica lleugerament baixa
$dP < -5$	Pressió atmosfèrica molt baixa (borrasca)

Amb aquesta aproximació només podem saber el clima actual d'una forma molt superficial, per poder estimar una predicció, necessitem estudiar el comportament del clima de les últimes hores. En funció a com evoluciona la pressió atmosfèrica i que tan ràpid ho fa podem deduir el temps.

Per a això s'implementarà una aproximació més complexa, que consisteix a calcular la diferència de pressió atmosfèrica en funció a la diferència del temps 'dP / dT', a partir d'un historial de les últimes 4 hores amb dades de la pressió atmosfèrica, la temperatura i la humitat, que s'han anat guardant cada 5 minuts en una base de dades.

Per calcular 'dP / dT' comptem amb un historial, que conté un total de 48 mostres, de les quals calcularem la mitjana aritmètica de la pressió atmosfèrica de les primeres 5 mostres i el mateix per les últimes 5. La diferència entre les mitjanes calculades ens servirà per determinar la velocitat a la qual la pressió atmosfèrica varia. Es poden determinar cinc estats a partir de la diferència de pressió atmosfèrica en funció del temps 'dP / dT':

TAULA 3: TAULA D'ESTATS DE DIFERENCIA DE TEMPS

Estat	Descripció
$dP/dT \geq 2.5$	El clima augmenta ràpidament la pressió, no és estable
$0.5 < dP/dT < 2.5$	El clima augmenta lentament la pressió, no és estable
$-0.5 < dP/dT \leq 0.5$	El clima és estable
$-3 < dP/dT \leq -0.5$	El clima disminueix lentament la pressió, no és estable
$dP/dT < -3$	El clima disminueix ràpidament la pressió, no és estable

La combinació entre l'aproximació simple i l'aproximació complexa són la base de l'algorisme de predicció meteorològica, segons com es combinin 'dP' i 'dP / dT', s'obté una predicció o una altra.

Un exemple seria el cas de tenir una diferència de pressió 'dP' de -2.5, això la situaria en el tercer estat de la taula (2), "Pressió atmosfèrica normal", suposem que aquesta diferència de pressió s'ha mantingut igual en les últimes hores, això vol dir que la diferència de pressió en base al temps 'dP / dT' es situa en el tercer estat de la taula (3), "el clima és estable". Això ens indica que la predicció per a les pròximes hores serà estable amb sol i alguns núvols clars.

Ara suposem que la 'dP / dT' és de -3.1, que correspon al cinquè estat de la taula (3), "El clima disminueix ràpidament la pressió, no és estable". Això ens indica que el clima empitjora considerablement en les pròximes hores. S'ha de tenir en compte que per norma general la pressió atmosfèrica disminueix a la nit com a causa que la temperatura baixa i augmenta la humitat.

Per acabar de perfeccionar l'algorisme també cal saber determinar les precipitacions, depenent de la ubicació, la humitat relativa durant el dia no sol superar el 75%, només ho farà en cas que estigui plovent. Per això se li ha afegit a l'algorisme la condició de comprovar si la humitat és superior al 75% entre les 8:00 AM i les 8:00 PM, i a la resta de les hores si la humitat relativa supera el 90%. En el cas que es compleixi una de les condicions, es podrà deduir que està plovent.

6.5 Algorisme de sensació tèrmica

La sensació tèrmica és un termini que s'utilitza per referenciar-se a la sensació que un individu experimenta en les condicions meteorològiques del moment. Per a fer una estimació de la sensació tèrmica s'han de tenir en compte diversos factors, com la temperatura la humitat, la velocitat del vent, la radiació solar, fins i tot depenent de la ment de l'individu (psicologia) la sensació tèrmica pot diferir. Hi ha diferents fórmules de calcular la sensació tèrmica en funció de les condicions ambientals. Les més utilitzades són *Heat Index*[9], *Wind Chill*[10] i *Apparent Temperature*[11][12].

Per tal de poder donar un valor a la sensació tèrmica lo més real possible, s'ha decidit fer un algorisme que combini les diferents fórmules. Per a aquest algorisme s'ha utilitzat el càlcul de *Heat Index* i *Apparent Temperature*, s'ha hagut de descartar *Wind Chill* perquè es necessita la velocitat del vent, que no podem mesurar amb la nostra estació meteorològica.

Heat Index calcula la temperatura de xafogor determinada específicament per la humitat i la temperatura de l'aire. Aquest només es pot calcular per temperatures superiors a 27 °C i humitat relativa superior al 40% fins a temperatures de 43 °C.

$$HI = c_1 + c_2 T + c_3 R + c_4 TR + c_5 T^2 + c_6 R^2 + c_7 T^2 R + c_8 TR^2 + c_9 T^2 R^2$$

T = Temperatura de l'aire	$c_1 = -8.7846$	$c_2 = 1.6113$	$c_3 = 2.3385$
R = Humitat relativa	$c_4 = -0.1461$	$c_5 = -0.0123$	$c_6 = -0.0164$
	$c_7 = 0.00221$	$c_8 = 0.000725$	$c_9 = -0.000003582$

Fig. 7: Fórmula per calcular el *Heat Index*.

Apparent Temperature consisteix en calcular la sensació tèrmica a partir de factors com la temperatura de l'aire, la humitat, la radiació solar i la velocitat del vent. En el nostre cas no podem determinar ni la radiació solar ni la velocitat del vent, per el que adaptarem la fórmula per poder calcular la sensació tèrmica a l'ombra i en un estat de vent calmat.

$$AT = T_a + 0.348 * e - 0.70 * ws + 0.70 \frac{Q}{ws + 10} - 4.25$$

Ta = Temperatura de l'aire ws = Velocitat del vent Q = Radiació del sol (= 0)

Càlcul de e: $e = \frac{rh}{100} * 6.105 * e^{\frac{17.27 - T_a}{237.7 + T_a}}$ rh = Humitat relativa

Fig. 8: Fórmula per calcular Apparent Temperature.

L'algoritme per calcular la sensació tèrmica consisteix en depenent de la temperatura i humitat, utilitzarà la fórmula del Heat Index (7) o la fórmula de Apparent Temperature(8). A continuació es pot veure el diagrama de flux corresponent:

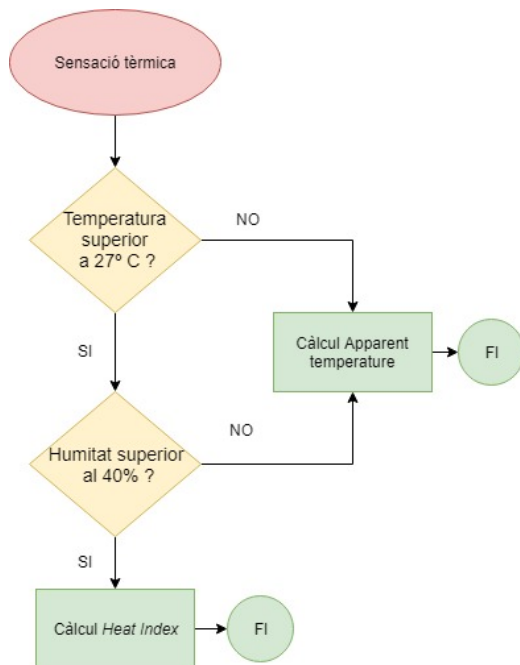


Fig. 9: Diagrama de flux de l'algoritme per calcular la sensació tèrmica.

7 APLICACIÓ WEB

En aquest apartat es vol descriure la implementació que s'ha seguit per complir amb els objectius descrits i a més indicar les funcionalitats tant visuals com operatives que té l'aplicació web.

A l'hora d'implementar l'aplicació web s'ha utilitzat NodeJS amb el mòdul d'Express, gràcies a aquest mòdul podem tenir un control de endpoints al servidor el qual ens permet especificar les rutes que tindrà la pàgina web amb les respectives funcionalitats. Com a motor de visualització s'ha utilitzat EJS que combina html5 amb una estructura de dades que ens permet comunicar-nos amb el servidor.

Per la part del disseny de l'aplicació web s'ha decidit seguir un format de pàgina modern, amb colors atractius i una interfície d'usuari simple i bastant intuïtiva.

A més en aquest projecte és necessari un mecanisme per poder recollir i guardar la informació dels sensors per així poder utilitzar-la en l'algoritme de predicció meteorològica o bé mostrar-la a l'usuari en forma de gràfic. Per això s'ha optat per utilitzar una base de dades que segueix el model NoSQL, en concret MongoDB.

El servidor farà una petició de les dades del sensor cada 5 minuts al controlador, aquest retornarà un arxiu JSON amb la informació demanada, un cop rebuda la resposta es guardarà a la base de dades.

7.1 Primera vista - Autenticació

Il·lustració de la vista disponible a l'apèndix (A.2)

Aquesta serà la primera vista que el client tingui de l'aplicació web, l'autenticació servirà per a evitar que qualsevol pugui entrar i veure les dades que està recollint els sensors. L'autenticació es basa en un usuari i una contrasenya, no hi ha cap possibilitat de registrar-se, ja que es correspon a un sol usuari per estació meteorològica.

Per la implementació al principi es va optar per utilitzar un mòdul per NodeJS que gestionava un sistema d'autenticació amb sessions i dades recuperades d'una base de dades. Aquest mètode era massa complex per lo que realment es volia fer, no es necessitava cap funció per registrar més usuaris i només hi ha un usuari per estació meteorològica. Per això mateix era innecessari complicar-se tant i finalment es va optar per fer una autenticació molt més senzilla, on es comprovava que les dades introduïdes al formulari fossin iguals a les dades guardades al servidor, de lo contrari no es podia entrar al següent vista de la pàgina web.

7.2 Vista principal – Home

Il·lustració de la vista disponible a l'apèndix (A.3)

Un cop l'usuari s'autentiqui de forma correcta entrarà a la pàgina principal "home" on tindrà en la primera meitat, un petit resum amb la informació de cada mòdul actiu, i en la segona meitat els resultats de l'algoritme de predicció meteorològica.

Cada mòdul tindrà una targeta informativa amb informació bàsica com la temperatura, humitat, pressió atmosfèrica, punt de rosada i sensació tèrmica en cas que sigui necessària. Com a funcionalitat visual s'ha afegit la possibilitat de moure les targetes de forma lliure per la pantalla de la pàgina web.

En aquesta vista principal es mostraran també les notificacions en cas de precipitacions, diferència de temperatura entre interior i exterior, i quan se supera la temperatura màxima o mínima establerta a l'interior.

La predicció meteorològica es divideix en tres parts: predicció per les següents 4 hores, predicció per les següents 8 hores i predicció per les següents 12 hores. Per a cada apartat hi ha una icona animat relatiu a l'estat del temps i una petita descripció.

7.3 Vista detallada - Mòduls

Il·lustració de la vista disponible a l'apèndix (A.4) i (A.5)

Podem veure una vista més detallada del mòdul si es clica al botó de “Details” on es donarà tota la informació disponible dels sensors que té aquell mòdul, el punt de rosada, temperatura màxima i mínima d'aquell dia i en el cas necessari el càlcul de sensació tèrmica. S'ha arribat a la conclusió que pel mòdul interior no cal calcular la sensació tèrmica, ja que se suposa que dins de casa les condicions són les ideals, tampoc es mostra la pressió atmosfèrica degut a què no es disposa d'aquest sensor.

Tant pel mòdul interior com exterior es genera un gràfic amb les dades dels sensors recollides les últimes 24 hores. Aquest gràfic és interactiu i es pot seleccionar a la llegenda quines dades es vol mostrar.

7.4 Vista de l'històric

Il·lustració de la vista disponible a l'apèndix (A.6)

Vista web amb una taula que conté totes les mostres guardades pels sensors d'un mòdul concret.

8 CONCLUSIONS

La creació d'una estació meteorològica intel·ligent es pot considerar un projecte molt complet. Implica haver de treballar amb components de hardware, software de baix nivell que permeti la comunicació per radiofreqüència, i el desenvolupament d'una aplicació web amb tecnologies modernes que tingui interacció amb un usuari.

Per la part del hardware s'ha hagut de muntar una sèrie de sensors amb una placa Arduino Nano, això ha requerit soldar algun pin, a més s'ha hagut de programar codi Arduino en llenguatge C++, aprendre les llibreries necessàries per a cada sensor i programar la comunicació entre les antenes de radiofreqüència.

La part del software de connexions no s'ha hagut d'implementar ni programar, s'ha decidit utilitzar software existent que es podia adaptar al projecte, tot i això hi ha hagut bastants contratemps a l'hora de configurar aquest software perquè funcioni en les condicions que s'imposaven.

Per últim la implementació del software encarregat de mostrar els resultats, aplicar els algoritmes “intel·ligents”, i interactuar amb l'usuari ha sigut la part més entretinguda i a l'hora complicada, principalment perquè s'han utilitzat tecnologies i llenguatges de programació dels quals no es tenia cap experiència prèvia, això ha implicat una recerca i aprenentatge en aquests temes, ha estat tot un repte poder aprendre a programar en NodeJS amb els mòduls pertinents per a fer l'aplicació web, i treballar amb una base de dades de tipus NoSQL com és MongoDB.

Aquest projecte té un grau d'escalabilitat i de possibles millores molt amplies, es poden afegir una gran diversitat de sensors als mòduls, com per exemple, sensor de radiació UV, un anemòmetre, pluviòmetre, sensor de CO₂, etc. A més també es poden implementar diverses funcionalitats per l'aplicació web, per exemple un sistema de notificacions per SMS o per Telegram, control de dispositius domòtics de

l'habitatge, tot això partint de la base que ha estat implementada en aquest treball.

REFERÈNCIES

- [1] The 7 Best Home Weather Stations of 2019 (2019). [En línia] Disponible a : <https://www.lifewire.com/best-home-weather-stations-4140476> [Visitat el 1 de març, 2019]
- [2] Netatmo. (2019). Estación Meteorológica, Pluviómetro y Anemómetro. [En línia] Disponible a: <https://www.netatmo.com/es-es/weather> [Visitat el 1 de març, 2019].
- [3] Arduino.cc. (2019). Arduino - Introduction. [En línia] Disponible a: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> [Visitat el 1 de març, 2019].
- [4] Hek. (s.d.) Air Humidity and Temperature Sensor - DHT - MySensors. [En línia] Disponible a : <https://www.mysensors.org/build/humidity> [Visitat el 4 i 30 de març, 2019]
- [5] Hek. (s.d.) Atmospheric Pressure Sensor - MySensors. [En línia] Disponible a : <https://www.mysensors.org/build/pressure> [Visitat el 4 i 30 de març, 2019]
- [6] Hek. (s.d.). Connecting the Radio - MySensors. [En línia] Disponible a : https://www.mysensors.org/build/connect_radio [Visitat el 4 i 26 de març, 2019]
- [7] Hek. (s.d.). Building a Raspberry Pi Gateway — MySensors. [En línia] Disponible a: <https://www.mysensors.org/build/raspberry> [Visitat el 19 de març, 2019]
- [8] Hek. (s.d.). Selecting a Controller — MySensors. [En línia] Disponible a: <https://www.mysensors.org/controller/domoticz> [Visitat el 22 de març, 2019]
- [9] Wikipedia.(2017). Heat Index. [En línia] Disponible a: https://en.wikipedia.org/wiki/Heat_index [Visitat el 15 de maig, 2019]
- [10] Wikipedia.(2017). Wind Chill. [En línia] Disponible a: https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_chill [Visitat el 15 de maig, 2019]
- [11] What is Apparent Temperature? (s.d.). [En línia] Disponible a: https://www.meteor.iastate.edu/~ckarsen/bufkit/apparent_temperature.html [Visitat el 18 de maig, 2019]
- [12] Timur : planetcalc member. (s.d.). Online calculator: Apparent temperature. [En línia] Disponible a: <https://planetcalc.com/2089/> [Visitat el 15 de maig, 2019]
- [13] B. Young, J. (2009). Modern Altimeter and Barometer System using the MPL115A.[En línia] Disponible a: <https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN3914.pdf> [Visitat el 20 de maig, 2019]

APÈNDIX

A.1 Diagrama WBS

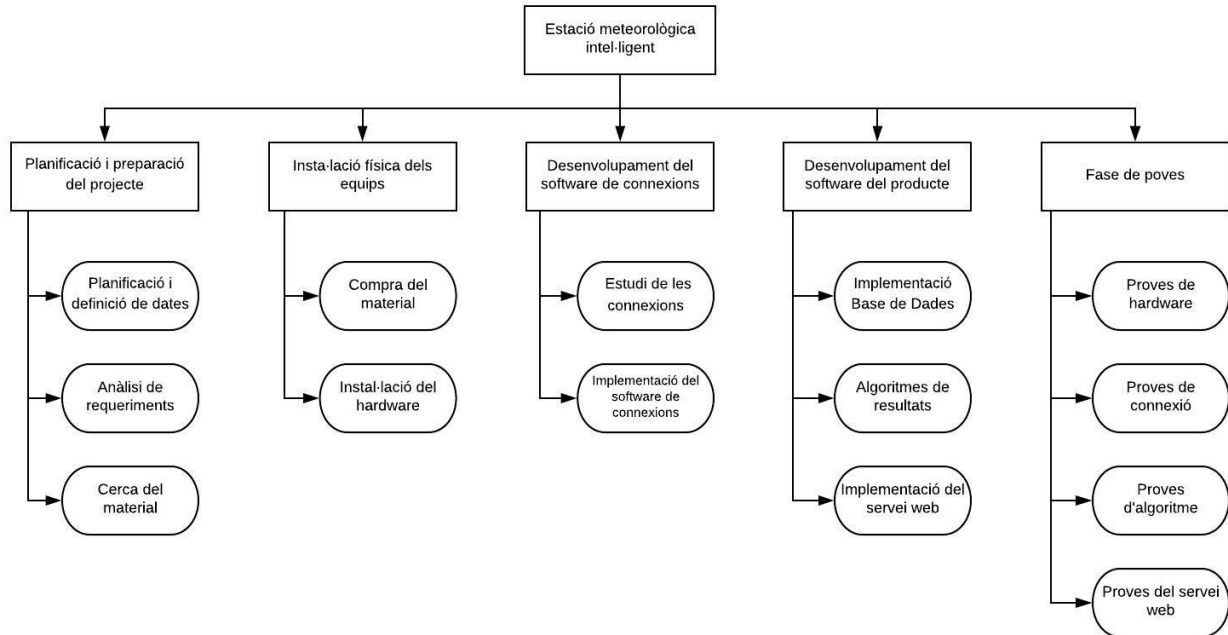


Fig. 1: Diagrama Work Breakdown Structure de les activitats del projecte.

A.2 Vista autenticació

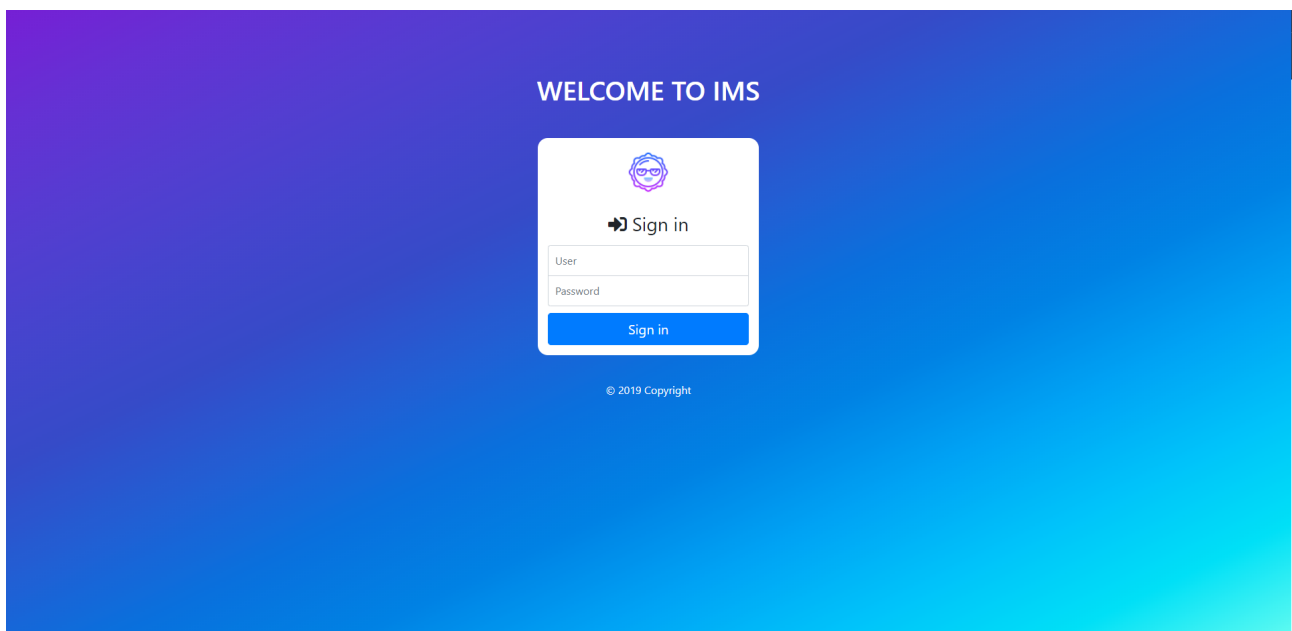


Fig. 2: Vista d'autenticació de la pàgina web.

A.3 Vista principal

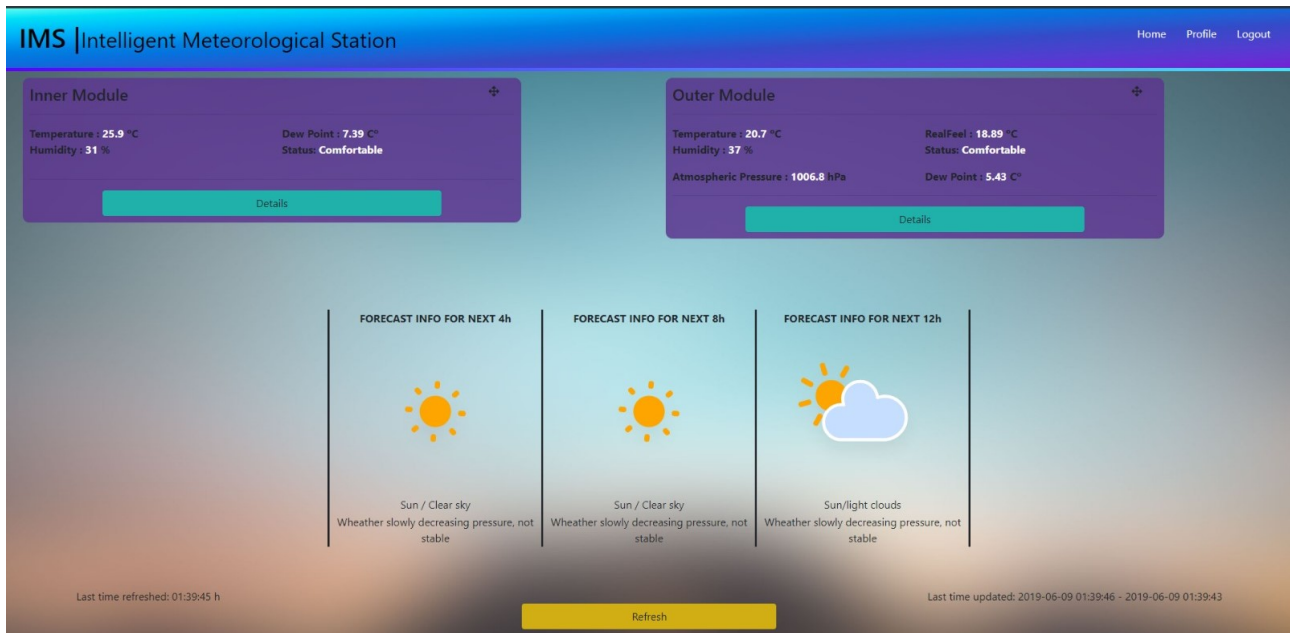


Fig. 3: Vista principal de la pàgina web.

A.4 Vista mòdul interior

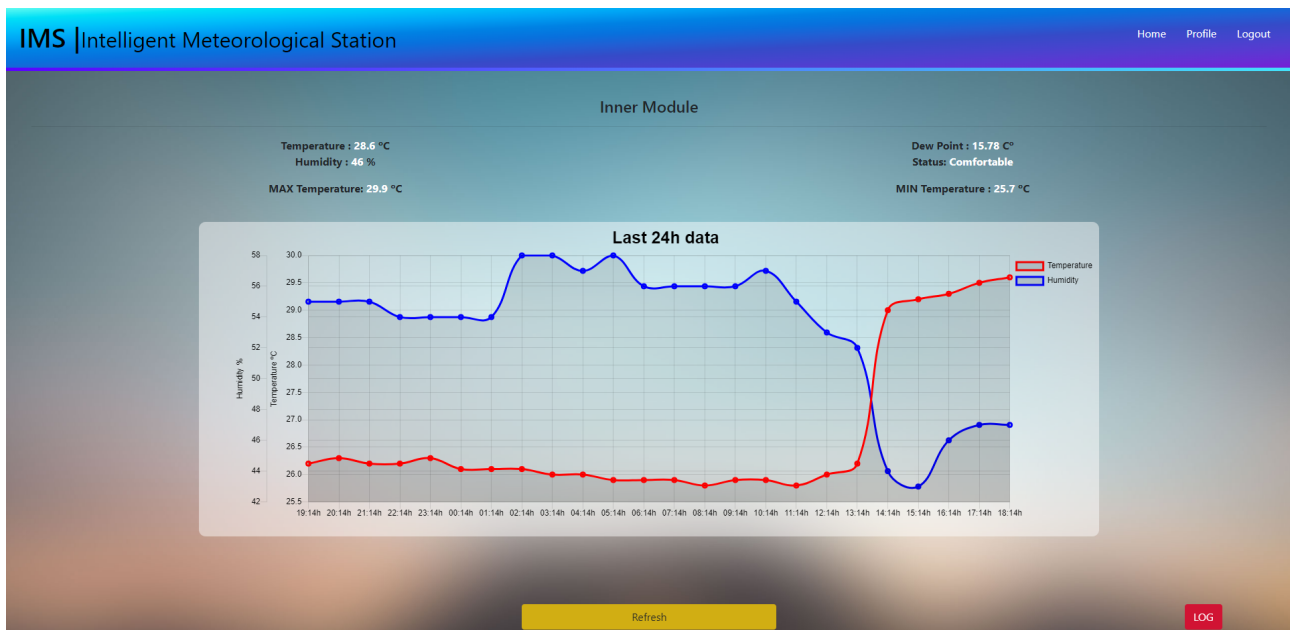


Fig. 4: Vista detallada del mòdul interior.

A.5 Vista mòdul exterior

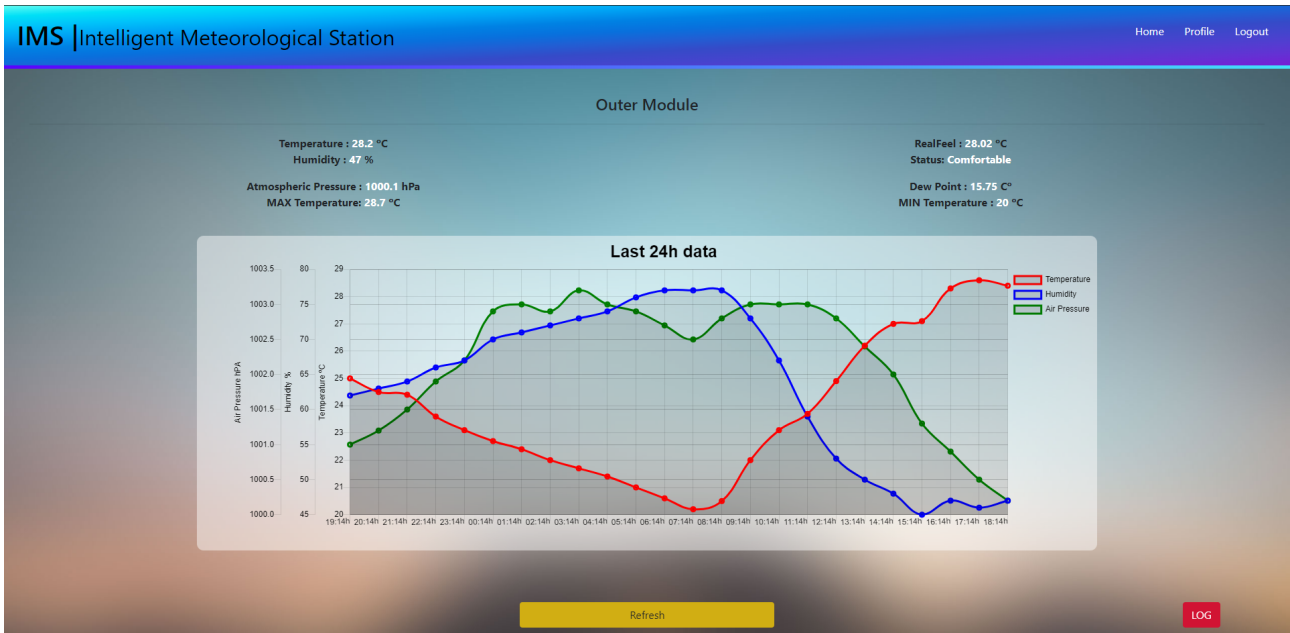


Fig. 5: Vista detallada del mòdul exterior.

A.6 Vista històric

The screenshot shows the 'Full LOG' view of the IMS Intelligent Meteorological Station, displaying a table of historical data for the exterior module. The table has the following columns: Module, Temperature, Humidity, Date, and Atmospheric Pressure.

Module	Temperature	Humidity	Date	Atmospheric Pressure
EXTERIOR	24.7	60	Wed May 22 2019 01:00:07 GMT+0200 (GMT+02:00)	1004.1
EXTERIOR	24.7	60	Wed May 22 2019 01:00:07 GMT+0200 (GMT+02:00)	1004.1
EXTERIOR	24.7	60	Wed May 22 2019 01:00:07 GMT+0200 (GMT+02:00)	1004.1
EXTERIOR	22.5	57	Wed May 22 2019 18:04:50 GMT+0200 (GMT+02:00)	1003.2
EXTERIOR	22.2	59	Wed May 22 2019 18:09:41 GMT+0200 (GMT+02:00)	1003.1
EXTERIOR	22.2	61	Wed May 22 2019 18:14:41 GMT+0200 (GMT+02:00)	1003
EXTERIOR	22.1	62	Wed May 22 2019 18:19:42 GMT+0200 (GMT+02:00)	1003
EXTERIOR	21.9	62	Wed May 22 2019 18:24:43 GMT+0200 (GMT+02:00)	1003
EXTERIOR	21.9	61	Wed May 22 2019 18:29:44 GMT+0200 (GMT+02:00)	1003
EXTERIOR	21.8	61	Wed May 22 2019 18:34:44 GMT+0200 (GMT+02:00)	1002.9
EXTERIOR	21.7	61	Wed May 22 2019 18:39:45 GMT+0200 (GMT+02:00)	1003
EXTERIOR	21.6	61	Wed May 22 2019 18:44:36 GMT+0200 (GMT+02:00)	1003
EXTERIOR	21.6	62	Wed May 22 2019 18:49:47 GMT+0200 (GMT+02:00)	1003
EXTERIOR	21.5	62	Wed May 22 2019 18:54:47 GMT+0200 (GMT+02:00)	1003
EXTERIOR	21.5	62	Wed May 22 2019 18:59:48 GMT+0200 (GMT+02:00)	1002.9
EXTERIOR	21.4	64	Wed May 22 2019 19:04:48 GMT+0200 (GMT+02:00)	1003
EXTERIOR	21.3	64	Wed May 22 2019 19:09:49 GMT+0200 (GMT+02:00)	1003.1
EXTERIOR	21.2	65	Wed May 22 2019 19:14:50 GMT+0200 (GMT+02:00)	1003.2
EXTERIOR	21.2	66	Wed May 22 2019 19:19:50 GMT+0200 (GMT+02:00)	1003.2
EXTERIOR	21.2	67	Wed May 22 2019 19:24:41 GMT+0200 (GMT+02:00)	1003.2

Fig. 6: Vista detallada amb un històrial de les dades guardades del mòdul exterior.