Programa de Doctorat
en Enginyeria Electrònica

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Anàlisi, disseny i implementació d'instrumentació no invasiva per a la detecció de càncer de pròstata i bufeta mitjançant tecnologia MOS.

novembre 2022

Autor: Juan Bautista Talens i Felis
Director: D. José Pelegrí Sebastià
D. José Luis Ruiz Cerda

TESI DOCTORAL

Anàlisi, disseny i implementació d'instrumentació noinvasiva per a la detecció de càncer de pròstata ibufeta mitjançant tecnologia MOS.

Juan Bautista Talens Felis
novembre 2022

TESI DOCTORAL.

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Anàlisi, disseny i implementació d'instrumentació no invasiva per a la detecció de càncer de pròstata i bufeta mitjançant tecnologia MOS.

novembre de 2022

Autor: Juan Bautista Talens i Felis

Director: D. José Pelegrí Sebastià
D. José Luis Ruiz Cerda

Próleg

A Joana i Adrià, açò era el que feia el pare tantes hores cara l'ordinador.

Quan era menut, com tots els nadals, anàvem a casa dels meus cosins i veiem la trilogia de Star Wars. La deixàvem en marxa i passàvem la vesprada contant anècdotes. Una vegada em van traure un joguet, un helicòpter que tenia com un mànec de pistola on es podia fer moure les aspes mecànicament. Uns pocs anys després jugava amb ell i imaginava que aquell aparell tenia una càmera i jo era a una sala on podia veure i controlar per on anava. Això era aproximadament l'any 1990 i allò, que era un joc de nens, es va convertir en una curiositat creixent per la tecnologia. Més tard, als 12 anys i gràcies a ma uela vaig tenir el meu primer ordinador, un Amdstard CPC 6128. Era del últims que quedaven, el PC estava obrint-se camí i recorde que el manual mel donaren després d'anar tots els dies durant dos setmanes a preguntar si ja el tenien. Aquell ordinador va suposar un impuls cognitiu brutal. Va ser el primer contacte amb un llenguatge de programació, el Basic. També va crear incògnites al voltant del seu funcionament. Mirava els ports i em preguntava què podia connectar allí. El meu interés anava creixent i vaig descobrir algunes revistes d'electrònica que, tot i que havia d'esperar un mes per a tenir els diners per a poder comprar-les, tractava de col·leccionar. Poc a poc el desig per a entendre l'electricitat i l'electrònica s'anava forjant. Els anys han passat i a la fi ací estic, trenta-i-un anys després, escrivint una tesi que suposa per a mí la culminació d'un propòsit que va començar de menut que no és altre que entendre.

Quan el PhD José Pelegrí em va proposar la temàtica per a la tesi vaig estar temptat en rebutjar-la. El que volia era explorar més al camp electrònic i a les telecomunicacions. Tenia por de no aprofundir en allò que estava tractant

d'entendre. No obstant, la vessant mèdica del projecte, la possibilitat d'aplicar totes les capacitats adquirides a les dues especialitats cursades, Disseny Industrial, Telecomunicacions i la mestria en Sistemes Electrònics o tal vegada que el meu uelo va morir de càncer de pròstata em va convèncer. Possiblement estava al lloc adequat el moment oportú, però sempre he pensat que la temàtica em va escollir a mi.

Aquesta tesi doctoral compren sis capítols: el primer està dedicat a l'anàlisi de la problemàtica i la tecnologia MOS que fa possible l'existència de sensors de gas amb els quals es fonamenten els nassos electrònics. El segon defineix els conceptes clau. El tercer tracta sobre la classificació de les senyals i el seu anàlisi. El quart es centra en la construcció d'un prototip. El quint sobre les estratègies que han interferit a la tesi i l'últim els resultats obtinguts.

Agraïsc a totes les persones que d'una forma o altra han fet possible que aquest document aplegara a la fi. En enginyeria es diu sovint que treballem a muscles de gegant. Elles han estat els meus gegants. A totes, gràcies.

Juan Bautista Talens i Felis
juatafe@upv.es

Resum

Trobar una mètode no invasiu de classificació fiable per a distingir entre pacients amb càncer de pròstata i hiperplàsia benigna de pròstata no és una tasca trivial. L'antigen prostàtic específic més utilitzat presenta un augment en altres situacions com la retenció d'orina o l'ejaculació.

Els productes metabòlics cel·lulars com els compostos volàtils en forma de bio-fluids presenten una oportunitat per tal d'estudiar-los amb la tecnologia de semiconductors d'òxid de metall. Un nas electrònic dissenyat per a aquestos bio-fluids podria convertir-se en una prova ambulatòria clau per tal de disminuir el nombre de biòpsies. El disseny 3D, la creació de circuits electrònics, pneumàtics, l'adequació de les mostres, la creació d'una base de dades estandarditzada per a nassos electrònics, la definició d'una interfície d'usuari amigable per al professional sanitari, un sistema securitzat per a la comunicació amb un servidor d'emmagatzemament de dades i tot el software necessari per tal de fer viable la democratització dels nassos electrònics en atenció hospitalària configuren l'estratègia del treball. A més, el mètode emprat per a aconseguir augmentar el nombre de dades ha resultat determinant per fer més senzill l'entrenament de la xarxa neuronal amb la qual s'ha aconseguit una precisió del 87% a la classificació entre pacients de càncer de pròstata i hiperplàsia benigna de pròstata.

S'ha escollit un format llibre on recollir tots els indrets significatius de la realització de l'estudi. El primer capítol es centra en el projecte de tesi a finançar,

la problemàtica a resoldre, els objectius i el pla de treball.

Al segon capítol es defineixen els conceptes, el sentit de l'olfacte, la bufeta, la pròstata, els sensors utilitzats, indicadors de càncer i altres elements com el nas electrònic. És amb un nas electrònic d'on s'obtenen les senyals que es tracten al capítol tercer. En aquest capítol es mostren les característiques dels senyals provinents de pacients amb càncer de pròstata i pacients amb hiperplàsia benigna de próstata, el seu tractament, filtrat, comparació i ús per a la classificació de pacients. Així mateix, es mostren dos mètodes diferents de classificació i estudi dels algorismes per a automatitzar la mateixa.

El capítol quart es centra en la construcció d'un prototip. S'ha abordat aquest capítol com un manual de construcció que permeta al lector conéixer el procés realitzat, la presa de decisions i la tècnica emprada pera la realització tant del hardware, els software i com el model 3D. Com que la diversitat d'especialitats que conflueixen en el mateix projecte pot impossibilitar el domini d'algun dels camps tractats, inclòs dins del mateix camp d'especialització, s'ha preparat aquest capítol amb diagrames i codi font que acompanya les explicacions de forma detallada. El propòsit d'aquest capítol és permetre a investigadors de diverses àrees de coneixement la seva construcció sense necessitat d'aprofundir en altres camps. A més, en aquest capítol es detallen els procediments per tal d'afavorir la democratització del nas electrònic com a instrument científic i amb la esperança de proporcionar la base per a futures implementacions en la comunitat científica.

Per a l'autor, la tesi no és sols un document, és un període d'evolució personal. Ha estat condicionada per factors diversos, una pandèmia, el plantejament inicial, el finançament, el grup d'acollida, la línia d'investigació, el desenvolupament socio-econòmic de l'autor i el propi autoaprenentatge al procés d'execució. És per això que s'ha plasmat al capítol cinqué allò que ha guiat d'una manera o d'altra, però de forma significativa, la presa de decisions. Aquest capítol versa sobre el treball futur i tres projectes, COST i H2020, DE1-SoC ADC e-Nose i Detecció de tumors, que han exercit influència al desenvolupament de la tesi. És un exercici de reflexió al voltant dels mateixos i són una mostra de la capacitat investigadora de l'autor.

Les conclusions es recullen al capítol sisé. No obstant això, cada capítol disposa d'un apartat anomenat "Reflexions" on s'anoten aquelles idees i con-

clusions concretes sobre el mateix. D'aquesta manera es proporciona al lector un instrument de lectura ràpida que permeta la seva consulta com si es tractés d'un manual, sense necessitat de llegir la totalitat del document.

En resum, en aquest estudi es detallen els mètodes i procediments de la investigació realitzada amb pacients de càncer de pròstata i hiperplàsia benigna de pròstata amb el propòsit d'aconseguir un prototip d'un nas electrònic per a la classificació de pacients fent ús d'orina com a bio-fluid. S'ha tractat d'escriure una referència des d'on seguir construint coneixement al voltant dels nassos electrònics aplicats a la classificació de pacients.

Resumen

Encontrar un método no invasivo de clasificación fiable para distinguir entre pacientes con cáncer de próstata e hiperplasia benigna de próstata no es una tarea trivial. El antígeno prostático específico más utilizado presenta un aumento en otras situaciones como la retención de orina o la eyaculación.

Los productos metabólicos celulares como los compuestos volátiles en forma de bio-fluidos presentan una oportunidad para estudiarlos con la tecnología de semiconductores de óxido de metal. Una nariz electrónica diseñada para estos bio-fluidos podría convertirse en una prueba ambulatoria clave para disminuir el número de biopsias. El diseño 3D, la creación de circuitos electrónicos, neumáticos, la adecuación de las muestras, la creación de una base de datos estandarizada para narices electrónicas, la definición de una interfaz de usuario amigable para el profesional sanitario, un sistema securizado para la comunicación con un servidor de almacenamiento de datos y todo el software necesario para hacer viable la democratización de las narices electrónicas en atención hospitalaria configuran la estrategia del trabajo
@. Además, el método empleado para conseguir aumentar el número de datos ha resultado determinante para hacer más sencillo el entrenamiento de la red neuronal con la que se ha logrado una precisión del 87% en la clasificación entre pacientes de cáncer de próstata e hiperplasia benigna de próstata.

Se ha escogido un formato libro donde recoger todos los aspectos significativos de la realización del estudio. El primer capítulo se centra en el proyecto

de tesis a financiar, la problemática a resolver, los objetivos y el plan de trabajo.

En el segundo capítulo se definen los conceptos, el sentido del olfato, la vejiga, la próstata, los sensores utilizados, indicadores de cáncer y otros elementos como la nariz electrónica. Es con una nariz electrónica de donde se obtienen las señales que se tratan en el capítulo tercero. En este capítulo se muestran las características de las señales provenientes de pacientes con cáncer de próstata y pacientes con hiperplasia benigna de próstata, su tratamiento, filtrado, comparación y uso para la clasificación de pacientes. Asimismo, se muestran dos métodos distintos de clasificación y estudio de los algoritmos para automatizar la misma.

El capítulo cuarto se centra en la construcción de un prototipo. Se ha abordado este capítulo como un manual de construcción que permita al lector conocer el proceso realizado, la toma de decisiones y la técnica utilizada para la realización del hardware, software y el modelo 3D. Dado que la diversidad de especialidades que confluyen en el mismo proyecto puede imposibilitar el dominio de alguno de los campos tratados, incluso dentro del mismo campo de especialización, se ha preparado este capítulo con diagramas y código fuente que acompaña a las explicaciones de forma detallada. El propósito de este capítulo es permitir a investigadores de diversas áreas de conocimiento su construcción sin necesidad de profundizar en otros campos. Además, en este capítulo se detallan los procedimientos a fin de favorecer la democratización de la nariz electrónica como instrumento científico y con la esperanza de proporcionar la base para futuras implementaciones en la comunidad científica.

Para el autor, la tesis no es sólo un documento, es un período de evolución personal. Ha estado condicionada por factores diversos, una pandemia, el planteamiento inicial, la financiación, el grupo de acogida, la línea de investigación, el desarrollo socio-económico del autor y el propio autoaprendizaje en el proceso de ejecución. Es por ello que se ha plasmado en el capítulo quinto lo que ha guiado de una u otra manera, pero de forma significativa, la toma de decisiones. Este capítulo versa sobre el trabajo futuro y tres proyectos, COST y H2020, DE1-SoC ADC e-Nose y Detección de tumores, que han ejercido influencia en el desarrollo de la tesis. Es un ejercicio de reflexión en torno a los mismos y son una muestra de la capacidad investigadora del autor.

Las conclusiones se recogen en el capítulo sexto. No obstante, cada capítulo dispone de un apartado llamado "Reflexiones" donde se anotan aquellas ideas y conclusiones concretas sobre el mismo. De esta forma se proporciona al lector un instrumento de lectura rápida que permita su consulta como si se tratara de un manual, sin necesidad de leer la totalidad del documento.

En resumen, en este estudio se detallan los métodos y procedimientos de la investigación realizada con pacientes de cáncer de próstata e hiperplasia benigna de próstata con el propósito de conseguir un prototipo de una nariz electrónica para la clasificación de pacientes haciendo uso de orina como biofluido. Se ha tratado de escribir una referencia desde la que seguir construyendo conocimiento en torno a las narices electrónicas aplicadas a la clasificación de pacientes.

Abstract

Finding a reliable non-invasive classification method to distinguish between patients with prostate cancer and benign prostatic hyperplasia is not a trivial task. The most commonly used specific prostate antigen shows an increase in other situations such as urinary retention or ejaculation.

Cellular metabolic products, such as volatile compounds in the form of bio-fluids, present an opportunity to study them by using metal oxide semiconductor technology. An electronic nose designed for these bio-fluids could become a key ambulatory test in order to decrease the number of biopsies. The strategy of the work is configured in diferent fields. Design a 3D set to enclose the electronics and penumatic circuits. The suitability of the samples it has to be studied furthermore the creation of a standardized database for electronic noses to store these samples. The definition of a friendly user interface for the health professional besides a system secured for communication with a data storage server. To sum up, all the software and hardware necessary to make viable the democratization of electronic noses in hospital care. In addition, the method be inployed to increase the number of data has been decisive to simplify the training of the neural network with which an accuracy of 87% has been achieved in the classification between prostate cancer patients and benign prostatic hyperplasia.

A book format has been chosen to collect all the significant points of the study. The first chapter focuses on the thesis project to be financed, the pro-

blem to be solved, the objectives and the work plan.

The second chapter defines the concepts, the sense of smell, the bladder, the prostate, the sensors used, cancer indicators and other elements such as the electronic nose. It is with an electronic nose that the signals discussed in chapter three are obtained. This chapter shows the characteristics of signals from patients with prostate cancer and patients with benign prostatic hyperplasia, their treatment, filtering, comparison and use for patient classification. Likewise, two different methods of classification and study of the algorithms to automate the same are shown.

The fourth chapter focuses on the construction of a prototype. This chapter has been approached as a construction manual that allows the reader to know the process carried out, the decision-making and the technique used to make both the hardware, the software and the 3D. Since the diversity of specialties that converge in the same project can make it impossible to master any of the fields discussed, including within the same field of specialization, this chapter has been prepared with diagrams and source code that accompanies the explanations of form detailed. The purpose of this chapter is to allow researchers from various areas of knowledge to construct it without the need to delve into other fields. In addition, this chapter details the procedures to promote the democratization of the electronic nose as a scientific instrument and with the hope of providing the basis for future implementations in the scientific community.

For the author, the thesis is not just a document, it is a period of personal evolution. It has been conditioned by various factors, a pandemic, the initial approach, the funding, the host group, the line of research, the socioof the author and the self-learning in the execution process. That is why what has been shaped in the fifth has guided in one way or another, but in a significant way, the decision-making. This chapter deals with future work and three projects, COST and H2020, DE1-SoC ADC eNose and Tumor Detection, which have influenced the development of the thesis. It is an exercise in reflection about them and they are a sample of the author's research capacity.

The conclusions are collected in chapter six. However, each chapter has a section called "Reflections" where those specific ideas and conclusions about the same are noted. In this way, the reader is provided with a quick reading

tool that allows their consultation as if it were a manual, without the need to read the entire document.

In summary, this study details the methods and procedures of research conducted with prostate cancer and benign prostatic hyperplasia patients with the purpose of achieving a prototype of an electronic nose for patient classification using urine as a bio-fluid. The author have tried to write a reference from where to continue building knowledge around electronic noses applied to the classification of patients.

Índex

Pròleg **iv**

Resum **vii**

Resumen **xi**

Abstract **xv**

Índex **xvii**

1 Un projecte de nassos **1**
1.1 El projecte que es pretenia finançar 1
1.2 Reflexions 10

2 Descripció de conceptes **13**
2.1 El sentit de l'olfacte 13
2.2 El càncer de pròstata i bufeta 18
2.3 Sensors tipus MOS 24
2.4 Nas electrònic e-Nose 25
2.5 Reflexions 27

3 Tractament de senyals **29**
3.1 Les senyals 29
3.2 Cóm són les senyals capturades 30
3.3 Tractament dels senyals, filtres i adequació 31
3.4 Classificació de senyals 37

3.5 Reflexions 78

4 Construcció d'un prototip 81

4.1 Introducció 81
4.2 Hardware 82
4.3 Servidor 98
4.4 Base de dades 99
4.5 Cridades al hardware per a l'extracció de dades 133
4.6 Interfície 141
4.7 Disseny del model 194
4.8 Reflexions 205

5 Desenvolupament d'estratègies al voltant de la temàtica 207

5.1 Introducció 207
5.2 COST i H2020 208
5.3 DE1-SOC ADC enose 213
5.4 Detecció de tumors 215
5.5 Treball futur 218

6 Conclusions 221

Bibliografia 225

Índex de figures

1.1 Temporalització 9

2.1 Representació en tall del crani. Sentit de l'olfacte. 14
2.2 Representació interior bombeta olfactiva. Sentit de l'olfacte. 15
2.3 Representació exitació neuronal. Model electrònic. 16
2.4 Representació en tall de bufeta i pròstata. 18
2.5 Vial o tub de vidre amb tapó de rosca perforable. 23
2.6 a)Reacció del sensor amb aire net. b)Reacció amb Metà. 25
2.7 Fases en un e-Nose classificador. 25
2.8 Diagrama de fluxe del MOOSY32 26
2.9 "Setup" del MOOSY32. 27

3.1 Orige de les mostres i corbes obteses. 30
3.2 Senyals capturades amb el MOOSY32. 31
3.3 MOOSY32 tub amb sensors. 32
3.4 Diagrama de fluxe tractament de senyals. 32
3.5 Senyals adequades i offset llevat. 34
3.6 Senyal amb la transformació d'enfinestrat Kaiser. 35
3.7 Senyal amb l'error d'amplitud corregit. 36
3.8 Resposta dels sensors a l'orina d'un pacient amb CaP. 38
3.9 Resposta harmònica dels sensors a l'orina d'un pacient amb CaP 39
3.10 Resposta a l'orina de vint pacients amb HBP per als sensors TGS-2611c00. 40
3.11 Resposta a l'orina de vint pacients amb CaP per als sensors TGS-2611c00. 40
3.12 Resposta a l'orina de vint pacients amb HBP. 41
3.13 Resposta a l'orina de vint pacients amb CaP. 41

3.14 Superposició resposta harmònica dels sensors S4-S9-S12-TGS-2611c00. . . 42
3.15 Resposta dels sensors TGS-2611e00 a l'orina de vint pacients amb CaP. . . 43
3.16 Resposta dels sensors TGS-2611e00 a l'orina de vint pacients amb HBP. . . 43
3.17 Superposició resposta harmònica dels sensors S5 i S13 44
3.18 Resposta harmònica dels sensors a l'orina de vint pacients amb HBP. . . . 45
3.19 Resposta harmònica dels sensors a l'orina de vint pacients amb CaP. . . . 45
3.20 Superposició resposta harmònica dels sensors S8, S10, S16 i S32-TGS-2600 46
3.21 Resposta dels sensors TGS-2620 a l'orina de vint pacients amb HBP. . . . 47
3.22 Resposta dels sensors TGS-2620 a l'orina de vint pacients amb CaP. . . . 47
3.23 Superposició resposta harmònica dels sensors S6, S14-TGS-2610 48
3.24 Resposta dels sensors a l'orina de vint pacients amb HBP. 49
3.25 Resposta dels sensors a l'orina de vint pacients amb CaP. 49
3.26 Representació d'un possible règim turbulent al MOOSY32. 56
3.27 Representació de punts d'informació per a extraure paràmetres. 57
3.28 Arbre probabilístic descriptiu del problema. 63
3.29 Arxiu carregat al Weka Explorer. 65
3.30 Classificació dades amb NaiveBayes Cross-validation Folds 90. 66
3.31 Opcions per al test. 68
3.32 Infografia preparació de test. 70
3.33 Resposta a l'orina de pacient amb HBP. 72
3.34 Resposta a l'orina de pacient amb CaP. 72
3.35 Respresentació del model keras de capes [54]. 75
3.36 Relació de les pèrdues amb la quantitat d'époques al procés d'entrenament. 75
3.37 Resultats test matriu de confusió. 76
3.38 Resultats de la classificació. 76
3.39 Resultats de la classificació amb un pes 32 a 1. 77
3.40 Resultats test matriu de confusió amb un pes 32 a 1. 77

4.1 Dos prototips de nas electrònic. a)Nas per a l'anàlisi de femta. b)Nas per a l'anàlisi d'orina. 82
4.2 Cicle de vida hardware simplificat. 83
4.3 Esquema de connexió al bus GPIO. 85
4.4 Diagrama de comunicació entre els sensors MOS i l'Adc. 86
4.5 Estratègia d'alimentació amb dues fonts. 87
4.6 Ferrita MPZ2012S300AT000, circuit equivalent [59]. 88
4.7 Representació Bode simulació transitori AC 1Hz-1MHz [60]. 88
4.8 Representació Bode simulació transitori AC 1Hz-1MHz amb R en sèrie [60]. 89
4.9 Implementació esquemàtic en Kicad conversor DC-DC. 90
4.10 Implementació esquemàtic en Kicad aïllament d'impedància sensors i ADC. 90
4.11 Implementació esquemàtic en Kicad control escalfador. 91
4.12 Implementació esquemàtic en Kicad control electrovàlvula, bomba i ampliació. 92

4.13 Implementació esquemàtic en Kicad sensors MOS. 93
4.14 Implementació esquemàtic en Kicad alimentacions i senyalització. 94
4.15 Implementació esquemàtic en Kicad bus GPIO. 95
4.16 Representació Bode filtre $R = 50\,\Omega$ i $C = 1\,nF$. 96
4.17 Implementació esquemàtic en Kicad bus I2C. 96
4.18 Representació circuit pneumàtic. 1-Bomba, 2-Connector T, 3-Vial, 4-Electrovàlvula 3/2 NO i 5- Càmera. 97
4.19 Diagrama de fluxe de dades i elements. 98
4.20 Relació entre entitat forta i feble. 99
4.21 Exemple atributs. 100
4.22 Diagrama Entitat-Relació base de dades e-Nose 103
4.23 Relació molts a molts entre Patologia i Pacient. 104
4.24 Relació molts a molts entre Patologia i Indicador. 105
4.25 Agregació molts a molts entre Pat_te_Pa i Indicador. 106
4.26 Relació un a molts entre Pacient i Vial. 107
4.27 Relació un a molts entre Sensor i TH. 108
4.28 Relació un a molts entre Sensor i Sensibilitat. 109
4.29 Relació un a molts entre Patologia i Corba. 110
4.30 Relació un a molts entre Vial, Sensor, Corba i Valor. 111
4.31 Relació molts a molts entre Users i Rol. 112
4.32 Relació un a molts normalitzada entre Vial, Sensor, Corba i Valor. 114
4.33 Cas d'ús nivell 0. 115
4.34 Cas d'ús nivell 1. 116
4.35 Resum representació del disseny d'una classe. 133
4.36 Respresentació de la classe ThCal. 134
4.37 Respresentació de la classe ThExt. 135
4.38 Respresentació de la classe ThInt. 135
4.39 Respresentació de la classe Adc. 136
4.40 Respresentació de la classe Controlador. 137
4.41 Diagrama de seqüència cridades de hardware. 138
4.42 Diagrama de seqüència cridades de hardware multifils. 138
4.43 Diagrama de cas d'ús cridades a servidors. 139
4.44 Diagrama de seqüència captura de dades. 140
4.45 Diagrama de seqüència inserir dades en base de dades. 141
4.46 Procés del disseny de la interfície, esbossos. 142
4.47 Procés del disseny del *wireframe*, accés a l'aplicació. 143
4.48 Interfície personal sanitari. 144
4.49 Captura de dades per part del personal sanitari. 145
4.50 Iniciar captura. 145
4.51 Incorporar dades. 146
4.52 Raspberry Pi Imager. 147

4.53 Configuració interfícies de comunicació. 147
4.54 Representació parcial del TAG capçalera fitxer index.html. 156
4.55 Representació parcial del TAG cos del fitxer index.html. 157
4.56 Representació parcial del TAG formulari del fitxer index.html. 158
4.57 Representació dels TAG per al vial del fitxer index.html. 159
4.58 Representació dels TAG per al control de la càmera del fitxer index.html. . 160
4.59 Representació dels TAG per a iniciar captura index.html. 161
4.60 Representació dels TAG per a les condicions del laboratori del fitxer index.html part 1. 162
4.61 Representació dels TAG per a les condicions del laboratori del fitxer index.html part 2. 163
4.62 Representació pel navegador dels TAGs de la classe *"container"* a index.html. 166
4.63 Representació pel navegador dels TAGs de la classe *"paper"* a index.html part 1. 168
4.64 Representació pel navegador dels TAGs de la classe *"paper"* a index.html part 2. 169
4.65 Representació pel navegador dels TAGs de la classe *"paper"* a index.html part 3. 173
4.66 Diagrama de comunicació entre Broker, subscriptor i client. 179
4.67 Captura password=i40sys amb Wireshark App. 180
4.68 Esquema de comunicació entre client servidor. 184
4.69 Respresentació de la classe BrockerCLientMQTT. 189
4.70 Modificació diagrama de seqüència inserir dades a la base de dades. 190
4.71 Algorisme funcionament del subscriptor que insereix les dades. 191
4.72 Sketch vista en tall disseny escalfador. 194
4.73 Sketch diferents vistes disseny tambutxo. 195
4.74 Tambutxo muntat al prototip. 196
4.75 Sketch diferents vistes Campana. 196
4.76 Campana muntada al prototip. 197
4.77 Protip placa de sensors. 197
4.78 Ranura accés a targeta SD. 198
4.79 Connexió alimentació prototip. 199
4.80 Ports de connexió prototip. 199
4.81 Detall sensor muntat al prototip. 200
4.82 Rework per canviar l'adreça. 200
4.83 Disposició de sensors a la càmera. 201
4.84 Disposició del sensor a l'escalfador. 202
4.85 Imatge assaig de connexions i prototipat. 202
4.86 Impressora FDM Anycubic 4MAX. 203
4.87 Conjunt d'estructura imprés en PET. 204

5.1 Set up convertidor ADC $\Sigma\Delta$ en FPGA dissenyat. 215
5.2 Muntatge PCB suport llums Ultra violeta. 217
5.3 Conjunt per al test d'anàlisi de lactat. 217

Índex de taules

2.1 Nivells de PSA a pacients amb CaP 21
2.2 Nivells de PSA a pacients amb Hiperplàsia 22
2.3 Compostos volàtils relacionats amb càncer 23

3.1 Resum tendència estadística mostres de CaP S1 al S4 50
3.2 Resum tendència estadística mostres d'HBP S1 al S4 50
3.3 Resum tendència estadística mostres de CaP S5 al S8 51
3.4 Resum tendència estadística mostres d'HBP S5 al S8 51
3.5 Resum tendència estadística mostres de CaP S9 al S12 51
3.6 Resum tendència estadística mostres d'HBP S9 al S12 52
3.7 Resum tendència estadística mostres de CaP S13 al S16 52
3.8 Resum tendència estadística mostres d'HBP S13 al S16 52
3.9 Resum tendència estadística mostres de CaP S17 al S20 53
3.10 Resum tendència estadística mostres d'HBP S17 al S20 53
3.11 Resum tendència estadística mostres de CaP S21 al S24 53
3.12 Resum tendència estadística mostres d'HBP S21 al S24 54
3.13 Resum tendència estadística mostres de CaP S25 al S28 54
3.14 Resum tendència estadística mostres d'HBP S25 al S28 54
3.15 Resum tendència estadística mostres de CaP S29 al S32 55
3.16 Resum tendència estadística mostres d'HBP S29 al S32 55
3.17 Dades extretes amb WebPlotDIgitizer per al sensor TGS-2611e00 per a Metà. 59
3.18 Dades A i α per al sensor TGS-2611e00. 60
3.19 Dades A i α per al sensor TGS-2611c00. 60
3.20 Dades A i α per al sensor TGS-2610c00. 60
3.21 Dades A i α per al sensor TGS-2620. 60

3.22 Dades A i α per al sensor TGS-2610d00. 61
3.23 Dades A i α per al sensor TGS-2600. 61

4.1 Comparativa plaques de prototips estudiades 84
4.2 Cas d'ús Introducció de dades 116
4.3 Cas d'ús modificacions de dades 116
4.4 Entitat: Pacient 117
4.5 Entitat: Patologia 118
4.6 Pa_te_Pa (Pacient n:n Patologia) 118
4.7 Entitat: Indicador 119
4.8 Indicadors per a C61 ó N40. 119
4.9 Indicadors per a C76. 119
4.10 Pa_te_Ind (Patologia n:n Indicador) 120
4.11 Registre_Ind (Pat_te_Pa n:n Indicador) 120
4.12 Entitat: Vial 121
4.13 Entitat: Valor 121
4.14 Entitat: Sensor 122
4.15 Entitat: TH 122
4.16 Entitat: Sensibilitat 122
4.17 Entitat: Corba 123
4.18 Entitat: Users 123
4.19 Entitat: Rol 123
4.20 users_te_rol (Users n:n Rol) 124
4.21 Inici de sessió phpMyAdmin. 178
4.22 Adreces xarxa VPN. 193

5.1 Xarxa de la proposta. 212

Índex d'Algorismes

3.1 Eliminar els vint primers segons 33
3.2 Suavitzar les dades 33
3.3 Eliminar l'offset 34
3.4 Enfinestrar. Eliminar les dades dels extrems 35
3.5 Corregir guany 36
3.6 Contingut del fitxer dades.arff 64
4.1 Crear base de dades e-nose 124
4.2 Crear taula Pacient 124
4.3 Crear taula Patologia 124
4.4 Crear taula Indicador 125
4.5 Crear taula Pa_te_Pa 125
4.6 Crear taula Registre_ind 125
4.7 Crear taula Pa_te_ind 126
4.8 Crear taula Vial 126
4.9 Crear taula Sensor 127
4.10 Crear taula Valor 127
4.11 Crear taula TH 127
4.12 Crear taula Sensibilitat 128
4.13 Crear taula Corba 128
4.14 Crear taula Users 129
4.15 Crear taula Rol 129
4.16 Crear taula Users_te_Rol 129
4.17 Insertar dades, crear usuari. 130
4.18 Insertar dades 132
4.19 Contingut del fitxer ~/.bash_profile 139

4.20 Crear i enviar clau pública a Raspbian i Windows 148
4.21 Actualitzar el sistema operatiu Raspbian 148
4.22 Instal·lar paquets requerits 149
4.23 Descarregar projecte de Github. 149
4.24 Instal·lar llibreria sensor SHT31D. 149
4.25 Instal·lar llibreria sensor HTU21D. 149
4.26 Llistar adreces hexadecimals dels sensors connectats al bus I2C. 150
4.27 Descarregar llibreria Adc ADS1118. 150
4.28 Descarregar i instal·lar nodejs. 150
4.29 Contingut del fitxer package.json 151
4.30 Instal·lació mòduls servidor node 151
4.31 Inici server node 152
4.32 Prova funcionament servidor node 152
4.33 Resposta a petició get 153
4.34 Instal·lació servidor Apache 154
4.35 Crida asíncrona al servidor node 155
4.36 Fitxer grafica.html. 164
4.37 Fitxer d'estils css. Representació parcial 1. 165
4.38 Fitxer d'estils css. Representació parcial 2. 165
4.39 Fitxer d'estils css. Representació parcial 3. 167
4.40 Fitxer d'estils css. Representació parcial 4. 167
4.41 Fitxer d'estils css. Representació parcial 5. 168
4.42 Fitxer d'estils css. Representació parcial 6. 169
4.43 Fitxer d'estils css. Representació parcial 7. 170
4.44 Fitxer d'estils css. Representació parcial 8. 171
4.45 Fitxer d'estils css. Representació parcial 9. 172
4.46 Fitxer d'estils css. Representació parcial 10. 174
4.47 Fitxer d'estils css. Representació parcial 11. 174
4.48 Fitxer d'estils css. Representació parcial 12. 175
4.49 Fitxer docker-compose.yml 177
4.50 Instal·lació servidor MySQL i PhPMyAdmin 177
4.51 Estructura directori certificats 180
4.52 Instal·lació Openssl i generar autoritat certificadora (CA) . . . 181
4.53 Generar certificats per al Broker 181
4.54 Generar certificats per al client 182
4.55 Fitxer docker-compose.yml 182
4.56 Fitxer mosquitto.conf 183
4.57 Crear i arrancar Broker MQTT 183
4.58 Crear subscriptor i publicador 183
4.59 Fitxer docker-compose.yml 184
4.60 Crear configuració vpn 185

4.61 Fitxer openvpn-data/conf/openvpn.conf, representació parcial . 185
4.62 Crear configuració vpn 186
4.63 Iniciar contenidor docker OpenVPN 186
4.64 Creació i enviament del fitxer de configuració OpenVPN 186
4.65 Creació fitxer configuració del client amb IP estàtica 187
4.66 Fitxer e-nose.conf, representació parcial 187
4.67 Instal·lar i iniciar contenidor docker OpenVPN al client 188
4.68 Iniciar servei OpenVPN 188
4.69 Instal·lació paquet MQTT per a Python 189
4.70 Exemple publicador 191
4.71 Dades encapsulades a un fitxer json 192
4.72 Exemple creació de servei susbscriptor 192
4.73 Fitxer /etc/openvpn/talens.conf, representació parcial 193

Capítol 1

Un projecte de nassos

"... en el mateix instant en què aquest glop de te barrejat amb gust de magdalena va tocar el meu paladar, el record es va fer present". —Marcel Proust.

1.1 El projecte que es pretenia finançar

El finançament és clau a l'hora de realitzar qualsevol investigació. Aquesta tesi va estar condicionada pel mateix amb una vinculació clara al grup investigador i altres entitats col·laboradores. Aquest apartat tracta de mostrar la memòria descriptiva del projecte d'investigació que es pretenia realitzar i l'orientació cap a una subvenció per a la contractació de personal investigador de caràcter predoctoral. Es tracta per tant, del punt de partida que aporta "la foto" d'allò que es pensava a l'inici de la mateixa i com ha esdevingut. Més endavant s'ampliaran els conceptes i s'aportarà la visió i les aportacions derivades de l'aplicació de la metodologia que descriu. El següent apartat tracta de sintetitzar el problema a resoldre.

1.1.1 La problemàtica

La pròstata és una glàndula situada davant el recte i sota la bufeta. Envolta el primer tram del conducte que transporta l'orina de la bufeta a l'exterior. Aquesta situació provoca que tota alteració de la mateixa, tant benigna com maligna, provoque efectes sobre la micció. En la detecció del càncer de pròstata l'antigen prostàtic específic PSA és el marcador biològic més utilitzat. No obstant, existeixen situacions en les quals la pròstata presenta un augment del PSA com l'ejaculació, la retenció d'orina [1] o una hiperplàsia benigna [2]. Aquest augment fa que el 75% de les biòpsies realitzades resulten negatives [3]. Per contra, segons la AECC, el càncer de bufeta no té una prova útil per a la població en general sana i sense factors de risc [4].

Quan s'intenta diferenciar entre cèl·lules amb càncer i normals, les alteracions metabòliques constitueixen una de les primeres diferències identificades, ja que les cèl·lules tumorals reprogramen les vies d'adquisició de nutrients i el metabolisme per a satisfer les seves demandes bio-energètiques, bio-sintètiques i redox [5]. Un dels productes metabòlics cel·lular són els compostos volàtils orgànics VOC's presents en forma de gas a l'alè humà o en bio-fluïts com l'orina, [6] i [7]. Aquests compostos són, fins i tot, detectats pels gossos [8].

Durant els passats 25 anys, la tecnologia dels semiconductors d'òxid de metall (MOS) aplicada a la detecció de substàncies ha resultat efectiva per a nombrosos camps de la ciència y la indústria; licors [9] i [10], gasos tòxics [11], tabac [12] o fum [13] i aplicacions mèdiques [14]. La detecció, la memòria, la recerca i la identificació són quatre funcions fonamentals associades al sentit de l'olfacte. El nas electrònic (e-Nose), com a l'esser humà, presenta dos grans branques; adquisició i processat. Els sensors químics reaccionen davant certes substàncies i aquestes reaccions són processades mitjançant software d'intel·ligència artificial [15]. Malgrat els bons resultats en la discriminació de pacients amb càncer de pròstata i hiperplàsia [16], l'ús d'e-Nose comercials resulta, a hores d'ara, una proposta fictícia per a un punt d'atenció primària. El seu elevat cost i el fet que no existeix un aparell específic per a l'aplicació en qüestió dugueren, fins i tot, a crear un grup de recerca al H2020 per tal de miniaturitzar un e-Nose fins a integrar-lo a un terminal de telèfon mòbil, a més de ser un tòpic d'actualitat a l'Horizon 2020 [17].

Segons la AECC el 2014 en Espanya es tractaren 32.641 casos de càncer de pròstata i es realitzen 80.000 biòpsies a l'any. Tan sols per pertànyer a la població de risc un pacient és sotmès a un tracte rectal i una anàlisi de PSA

[18]. Si el nivell és alt es procedeix a una biòpsia. Resulta evident l'alt cost que aquesta malaltia ocasiona a les entitats sanitàries i és per això que es pretén aportar una solució a aquesta problemàtica. A l'apartat següent es descriuen els objectius que es proposen.

1.1.2 El propòsit

L'objectiu principal que es planteja a la recerca és trobar una relació entre els VOC's i les malalties de càncer de pròstata i bufeta mitjançant instrumentació no invasiva i de baix cost d'anàlisi d'olors. D'aquest propòsit tan ambiciós deriven una sèrie d'objectius secundaris que complementen la pretensió de trobar un sistema de classificació robust que permeta detectar el càncer en aquests tipus de pacients:

> "Analitzar els sistemes olfactius(e-Nose) existents que proporcionen una mesura directa o indirecta de substàncies relacionades amb el càncer de pròstata i bufeta.".

El punt de partida de la investigació es centra en estudiar el nas electrònic del grup d'acollida i les diferents referències esmentades que tracten sobre e-Nose. Ací es trobaren certes mancances sobre condicionament de senyal, tractament de dades, mostreig, condicions d'entorn i interacció amb la interfície d'usuari, que aportaren idees per a un desenvolupament d'un prototip.

> "Estudiar i caracteritzar sensors tipus MOS existents al mercat i altres significatius en la mesura de VOC's.".

El principal obstacle és entendre el funcionament dels sensors de gas del tipus MOS. Aquestos, pel seu tamany i cost, resulten ideals per a incorporar-los a un disseny electrònic i formen part del e-Nose del grup d'acollida. Es per això que es va estudiar en profunditat aportant una representació gràfica del seu funcionament bàsic. A l'apartat 2.3 es detalla el seu funcionament i a l'apartat 3.4.5 com obtenir de cadascun el contingut mesurat en parts per milió (ppm).

> "Correlacionar entre el contingut espectral de les mostres analitzades al cromatògraf i les senyals dels sensors MOS obtingudes amb el e-Nose propietat del grup d'acollida.".

Per tal de conèixer el contingut dels compostos a les mostres d'orina i contrastar-los amb les corbes que s'obtenen dels sensors de gas es requereix analitzar els orins amb un cromatògraf. El grup d'acollida va establir relacions amb altre grup de la Escola Politècnica Superior de Gandia (EPSG), el grup de Química Analítica del Medi Ambient de Gandía (QUIMAG), per tal de realitzar els assajos amb aquesta tècnica. El grup de laparoscòpia urològica del IILS La Fe disposa d'aquesta informació per a les mostres aportades però no ha estat aportada a l'estudi. Com que no s'han aportat mostres que no han estat analitzades amb el cromatògraf i a l'espera de rebre la informació ha resultat impossible correlacionar-les.

> "Estudiar el comportament tèrmic i dinàmic dels components volàtils a l'interior del sistema de mesura."

Durant el transcurs del desenvolupament del prototip s'han tingut en compte el tractament del disseny electrònic d'un punt de vista tèrmic. A més, s'ha estudiat empíricament la dinàmica del fluïd així com el control de temperatura de la mostra. L'estudi ha aportat millores de control i disseny com per exemple el control de la condensació i de la temperatura de l'exterior, interior de la càmera de sensors i l'escalfador de les mostres.

> "Estudiar i dissenyar el condicionament de senyals i filtrat necessari."

Resulta fonamental estudiar les senyals provinents dels sensors així com un disseny electrònic responsable que no permeta l'alteració d'aquestes en, per exemple, engegar la bomba d'aire, l'electrovàlvula o l'escalfador.

> "Analitzar, millorar i dissenyar algorismes per a la detecció precoç de càncer de pròstata i bufeta per a implementar-los a un sistema embegut portable i de baix cost que permeta l'enviament de les dades per internet."

L'últim i probablement el més ambiciós i amb el major impacte. Clarament la construcció d'un prototip i la recerca d'un algorisme que permeta la classificació han centrat l'eix d'aquest estudi condicionant la durada del mateix i els resultats obtinguts. S'ha treballat en un prototip funcional a xicoteta escala que és capaç d'obtenir d'una forma amigable les dades i enviar-les a una base de dades.

1.1.3 El mètode

La metodologia està basada en el mètode científic. L'observació sistemàtica del funcionament dels sistemes olfactius, la caracterització dels sensors, l'estudi d'algorismes existents, dels components volàtils presents i els antecedents en matèria d'anàlisis de sistemes semblants constituiran el punt de partida o carta de navegació.

Amb l'e-Nose de 32 sensors tipus MOS, propietat del grup d'investigació d'incorporació, s'obtingueren les dades necessàries per a trobar els sensors a utilitzar en el prototipat i va permetre el desenvolupament i assaig d'algorismes per a la detecció del càncer.

Inicialment les impressores 3D Witbox i 30 Systems 1500 amb les tècniques de FDM i SLA respectivament tingueren un paper fonamental. Aquestes foren les primeres al grup d'acollida i a l'escola EPSG. A les diferents fases del prototipat es van utilitzar altres tipus d'impressores, malgrat que sempre FDM, com la Ender, Anycubic 4MAX i Geetech. Amb el temps, l'escola EPSG ha desenvolupat un centre d'impessió 3D propi.

La soldadura microelectrònica de components SMD i BGA permeté l'experimentació en un sistema electrònic embegut portable que suposà l'inici o prototip "alpha". Amb aquest prototip es pretenien realitzar observacions i mesures en el mateix centre de recerca i extracció biològica, per a, d'aquesta manera, reformular les hipòtesis inicials, millorar els algorismes, redissenyar el prototip i dur les diferents fases del disseny fins a una "Release candidate", capaç de ser distribuïda a altres centres de recerca i extracció, amb la finalitat d'obtenir un "big-data" realimentat per a un multi-centre de detecció precoç.

Els objectius comentats a l'apartat anterior es pretenien aconseguir, a través de la metodologia descrita mitjançant les següents tasques:

A) Extracció de les mostres i recollida. Extracció i recollida. Les mostres seran proporcionades per la unitat de laparoscòpia urològica i control del càncer de pròstata del IILS La Fe de València, originades de la investigació conjunta. S'establirà, per tant, un estudi[1], basat en l'experiència del grup amb l'esmentat centre d'investigació, del procediment d'extracció i emplenat dels corresponents vials com el transport fins a les instal·lacions on està ubicat l'e-Nose i conservació.

[1] Es determinà els vials, la quantitat i les característiques de conservació, així com, el tipus de contenidor per al transport.

B) Adaptació i millora de l'e-Nose de 32 sensors del Grup.

- Adaptació. Donada la característica líquida del compost a analitzar, es requereixen una sèrie de modificacions per tal d'adaptar l'e-Nose a la mostra a mesurar. Es va realitzar, per tant, un estudi i redisseny de les connexions per tal d'evitar la condensació del fluid.

- Procediment. Es va definir un procediment per a la mesura, adquisició, desat, emmagatzemat i tipus de dades que s'ha implementat al prototip desenvolupat. Millora del hardware. Es va valorar la possibilitat de substituir l'actual hardware de control i adquisició, dos targetes d'altes prestacions DAQ 6050E i DAQ 6221M, mitjançant una FPGA i implementar filtrat de les senyals per hardware. Es va realitzar un projecte final de Tesina del Màster de Sistemes Electrònics on s'implementà un ADC en un sistema mixte FPGA-Processador per obtenir dades d'un e-Nose. Aquest projecte presentà un bug del propi fabricant a la placa de prototips FPGA utilitzada que passà desapercebut i provocà un endarreriment del projecte duplicant el temps previst del mateix.

C) Mesura de les mostres.

- Seguretat. Abans de fer cap mesura es tindrà en compte un procediment de prevenció de riscos i primers auxilis en cas de contaminació amb les mostres. Es va implementar l'esmentat procediment a un quadre sinòptic visible pel personal que realitza la manipulació.

- Contorn. Per tal de mesurar les mostres proporcionades, cal estudiar i establir un procediment on es determine el temps d'obertura i tancada de les vàlvules, temps d'adquisició i tornada a l'estat inicial, temperatura de la mostra, temps de descongelat i escalfament, així com recollida i procediment d'eliminació del residu i reciclatge. Dins del marc normatiu de l'escola es va integrar aquest procediment de tractament de residus.

- La recerca dels millors paràmetres com la mitjana, la moda, la pendent i també el control de la temperatura i humitat suposa un dels estudis realitzats al capítol 3.

- Cada mostra serà analitzada al cromatògraf de gasos per tal d'establir correlacions amb les mesures efectuades amb els sensors MOS. Aquesta metologia no s'ha aplicat.

- S'estudiaran sensors aïllats en càmera de gas i es caracteritzaran les senyals de resposta en la recerca de paràmetres rellevants. Com que els sensors emprats disposen de suficient informació als seus respectius datasheets i no es disposa de la informació derivada del cromatògraf no ha estat necessària la caracterització.

D) Tractament de dades.

- Anàlisi amb ferramentes lliures. Les dades capturades, mitjançant l'e-Nose de 32 sensors, han estat tractades amb un software lliure, denominat *Waikato Environment for Knowledge Analysis* (WEKA) [19], on s'estudien els millors paràmetres i diferents algorismes per a la discriminació de les mostres en funció del coneixement de la patologia que presenta la mostra analitzada.

- Elecció de sensors. S'estudiaren els resultats per tal d'escollir els sensors que aporten més informació a l'estudi. Es reproduïren les simulacions amb WEKA utilitzant sols la informació d'un nombre reduït de sensors per tal de minimitzar el sistema.

- Filtrat i correccions. S'estudiaren diferents correccions possibles de temperatura i humitat que milloren els resultats. Es realitzaren estudis de filtrat per software amb models matemàtics i s'implementaren filtres hardware que milloren les senyals.

- Adaptació i recerca d'algorismes per a la detecció del càncer mitjançant VOC's. S'estudiaren algorismes diversos com xarxes neuronals [20], mínims quadrats parcials [21], bayes [22, 23], components principals multiescala entre d'altres. S'utilitzaren tècniques de simulació d'aplicació d'algorismes a les senyals capturades i s'analitzaren els resultats per tal d'obtenir informació de les característiques que fan a un algoritme o conjunt d'ells millor que altre en la detecció del càncer.

E) Disseny del prototip. Per al disseny del prototip s'estudiaren diferents plataformes existents al mercat. Es desenvoluparen, PCB's, posicionat i soldadura microelectrònica. S'escolliren components, es realitzaren encomandes, s'estudià el disseny tèrmic, emissions i integritat de senyals, el disseny exterior del contenidor, el software de control, el servidor i l'aplicació d'usuari. Tot realimentat amb el coneixement adquirit amb els diversos estudis realitzats.

F) Recollida de resultats i publicació. Per a la recollida de resultats resulta imprescindible tenir un prototip funcional. Açò ha endarrerit i impedit publicar durant el transcurs del seu desenvolupament. No obstant s'han publicat els estudis previs a un congrés, l'anàlisi d'algorismes i la creació de hardware d'adquisició per a e-Nose amb la FPGA. En la mesura del possible, s'ha abordat una assistència anual a un congrés internacional relacionat amb la temàtica per tal de presentar resultats i/o es presentaran en una revista internacional. Els resultats derivats del multicèntric no han pogut ser analitzats i recollits en diversos articles per a la seva divulgació científica donat que no s'ha accedit a un multicèntric. És per això que es realitza una presentació i es recull tot el treball realitzat a aquesta tesi doctoral amb la finalitat de ser defensada.

1.1.4 El pla de treball

El pla de treball està vinculat a les tasques a realitzar, però realimentat pel coneixement adquirit de l'observació i l'estudi, l'assaig i error i la formació proporcionada pel centre d'acollida. Aquest projecte pretén donar continuïtat a una línia de treball del grup oberta. Es planifiquen les tasques per a aconseguir, en tres anys, els objectius proposats. A la figura es pot veure la seqüenciació proposada. Cal tenir en compte que es pretenia realitzar trimestralment reunions amb el grup de recerca format pel grup d'acollida i el grup mèdic per tal de fer un seguiment de l'evolució del mateix i fer els ajustos pertinents per a la consecució dels objectius proposats.

Tal i com podem veure a la figura, la Tesi comença amb l'extracció de les mostres (A). Aquesta part la realitzarà el grup mèdic i la recollida el doctorant. Encara que la durada de l'extracció es prolongue durant aproximadament sis mesos s'estima que en poc més de tres mesos s'obtinguen mostres suficients per a començar amb les mesures (C). Paral·lelament, al mateix temps que inicia la Tesi, s'inicia l'estudi (B) que permet obtenir millors resultats. La mesura de les mostres és una tasca laboriosa que s'estendrà fins el divuité mes, no obstant, a mesura que s'obtinguen un nombre considerable de mesures s'iniciarà l'estudi d'algorismes i correlacions amb les mesures (D). Una volta finalitzades les tasques de mesura s'iniciarà el desenvolupament d'un prototip i la seua posada en funcionament (E). Els resultats derivats de la investigació es recolliran, classificaran i ordenaran en una Tesi doctoral per a la seua defensa(F).

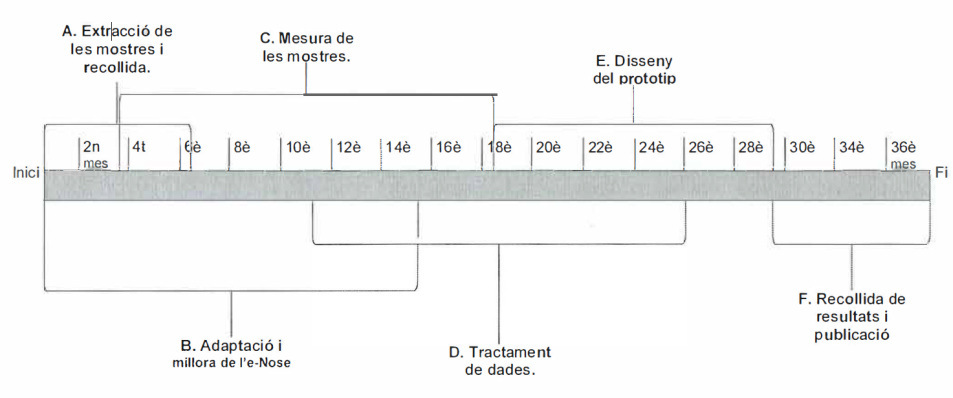


Figura 1.1: Temporalització

1.1.5 Vinculació de l'activitat proposada a les línies d'investigació del grup d'acollida

El grup d'acollida és el grup de sensors i magnetisme que pertany a l'institut d'investigació per a la gestió integrada de zones costaneres a la Universitat Politècnica de València. Aquest grup treballa amb sensors del tipus MOS utilitzats als e-Nose. Han publicat des de l'any 2012 diversos treballs relacionats amb detecció de substàncies amb olors [24 - 27]. En el moment de la proposta, a través de les ajudes de la Generalitat per a grups d'investigació consolidables AICO 2016 duia a terme el projecte "Sistema olfativo para aplicaciones médicas y de salut SO-MAS". En aquest projecte s'estava desenvolupant un dispositiu funcional de característiques semblants a la proposta actual, però de diversa aplicació fruit de la col·laboració del grup d'infermetat inflamatòria intestinal del IILS La Fe amb la Dra. Pilar Nos al capdavant. A més, el grup disposa d'un laboratori amb un e-Nose de 32 sensors necessari per a l'activitat proposada. El suport tècnic de la part mèdica i les mostres de pacients amb les esmentades malalties, així com els controls, són proporcionats pel Dr. José Luís Ruiz del grup de laparoscòpia urològica del IILS La Fe, el qual manifesta[2] participar de forma activa al projecte. El grup d'acollida col·labora amb un grup suec dirigit pel Dr.José Chilo amb la recerca d'algorismes basats en mineria de dades per a diferents aplicacions [28] i [29]. Per tant, existia la possibilitat de realitzar una estada a la Universitat de Gälve que contribuira a la formació científica i tècnica de l'autor.

[2]Ho ha manifestat amb una declaració de suport signada

1.2 Reflexions

El finançament del projecte depenia principalment de dues subvencions per a la contractació de personal investigador de caràcter predoctoral. La primera en aplegar fou l'ajuda per a la formació de professorat universitari anomenada FPU. Ací la valoració del grup d'acollida va ser determinant en denegar-la a l'autor. La segona fou la subvenció per a la contractació del personal investigador de caràcter predoctoral anomenada FPI, que va arribar molt tard, tant que, tot i estar matriculat al programa de doctorat, l'autor havia desistit i cercat finançament mitjançant el treball a altra entitat. Així doncs, malgrat obtenir finançament a la FPI, donades les circumstàncies precàries i socioeconòmiques, l'autor va preferir continuar amb el lloc de treball i simultaniejar el doctorat sense finançament[3].

La matrícula al doctorat es realitza abans de tenir clar un finançament per al mateix. Per tant, l'inici descrit a la figura 1.1 no es realitza fins a la resolució de la FPI, posterior reclamació i l'acceptació de desistiment.

La condició de simultaneïtat amb el lloc de treball impedeix realitzar una estada a cap Universitat que contribuïsca a la formació científica i tècnica de l'autor. Tampoc és possible integrar-se a una empresa per a ser treballador per conte aliè, la qual cosa impossibilita obtenir cap menció, ni per doctorat internacional ni pel treball a una entitat. La sol·licitud de menció per a la creació del prototip per a l'entitat IILS La Fe com a doctorat industrial fou desestimada pel Programa de Doctorat.

El personal del grup IILS La Fe també es veu minvat per la contractació a una entitat externa i sols es produeix la materialització d'extracció i recollida de mostres de 40 pacients i les reunions, que havien de ser trimestrals, passen a ser anuals.

La situació sanitària derivada de la pandèmia soferta a nivell mundial a conseqüència del SARS-Covid19 ha suposat un parèntesi substancial a l'esmentada temporalització de la figura 1.1. Donades les restriccions de mobilitat i accés als diferents materials, organismes públics, laboratoris etc va canviar el plantejament previst.

Relacionat amb la temporalització, cal esmentar que la creació del prototip ha centrat l'eix de l'estudi. Arribar a una versió òptima ha requerit d'uns

[3] No és possible un contracte de professor de sistemes i aplicacions de jornada completa amb la subvenció FPI.

coneixements que l'autor ha hagut d'adquirir per a la realització del mateix i que ha propiciat que la durada del projecte es veiera afectada substancialment.

Finalment l'autor ha optat per concretar el treball realitzat i augmentar el coneixement científic amb un manuscrit com a tesi doctoral que recull, entre d'altres materials, conceptes de senyal i classificació al capítol 3 amb els resultats de les mostres facilitades i de l'entrenament d'una xarxa neuronal, un manual de construcció d'un prototip d'un nas electrònic al capítol 4 amb les fases en el desenvolupament d'un prototip 3D, així com el desenvolupament tant de hardware com el software, d'interfície d'usuari, control i base de dades i per últim les estratègies que han envoltat el desenvolupament de la tesi, el treball futur i les conclusions als capítols 5 i 6.

Capítol 2

Descripció de conceptes

" Cada receptor és utilitzat una i altra vegada per a definir un olor, igual que les lletres s'utilitzen una i altra vegada per a definir diferents paraules." —Linda Buck.

2.1 El sentit de l'olfacte

2.1.1 Definició

Quan una substància es troba dins d'una altra que l'envolta es parla que està dispersa. El fum, per exemple, està dispers dintre de l'aire. Els éssers humans estem dotats amb la capacitat de sentir la presència de determinades substàncies disperses a l'aire que respirem. Aquesta capacitat no es limita a la detecció sinó que és capaç d'activar el record d'un familiar, situació o context determinat. Evidentment el mecanisme de detecció i classificació, a més de ser complexe, requereix la intervenció del cervell. Però cóm funciona realment? Doncs sembla que encara és un misteri a descobrir per la ciència. No obstant, existeixen teories al respecte amb les quals construir un "andami" des d'on entendre un poc més el seu funcionament. No es tracta doncs de trobar una definició exacta o una conjectura que demostrar, es tracta d'oferir un nivell d'abstracció necessari per aconseguir continuar en la investigació i l'anàlisi d'instrumentació. D'entre totes les teories es destaquen dues que proporcionen un model electrònic.

A la figura 2.1 es pot observar una representació simplificada d'una secció transversal d'un crani. Es destaquen tres elements principals, el tàlam, la bombeta olfactiva i la placa crimbiforma.

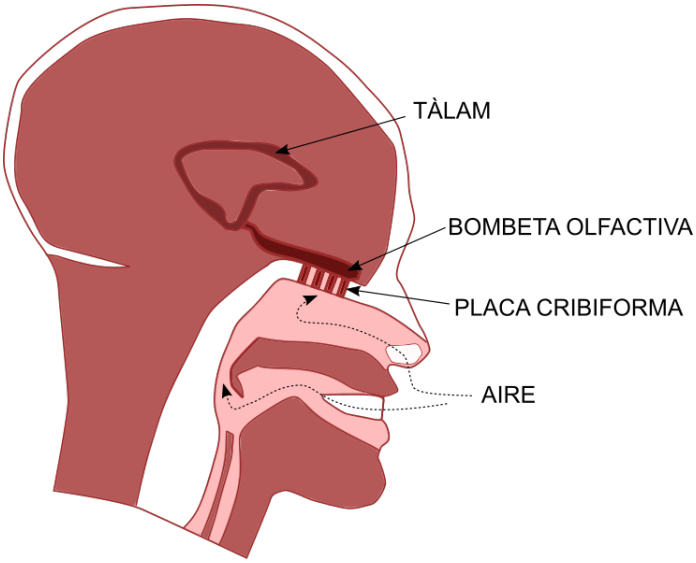


Figura 2.1: Representació en tall del crani. Sentit de l'olfacte.

Per a entendre el funcionament de l'olfacte des d'un punt de vista heurístic, s'utilitza una abstracció menuda dels elements que el componen. A la figura 2.2 s'observa que l'aire que entra a les cavitats del nas o la boca passa per una zona on està el cili. Es tracta d'una espècie de pèl o apèndix filiforme que forma una franja. Aquest cili junt amb la mucosa que l'envolta entra en contacte amb les substàncies presents a l'aire. Travessant la placa cribiforma s'estenen les dendrites d'aquestes neurones olfactives fins els diversos glomèruls. Aquestos són estructures esfèriques compactes riques en neutròfils envoltats de neurones. És ací on les neurones olfactives realitzen la sinapsi amb altres cèl·lules neuronals com mitrals o entre cèl·lules periglomèriques [30].

En resum, existeix una transducció química a impulsos elèctrics destinats a fer sinapsi amb altres parts del cervell. Si s'estudia la neurona com un dispositiu electrònic input-ouput [31], les dendrites recullen potencials exitatoris o inhibitoris que a la suma es convertixen en senyals i mitjançant l'axó es difonen cap a altres zones. Si mitjançant les neurones olfactives s'aconsegueix una sèrie

d'excitacions i inhibicions, que es recullen a les diferents cél·lules i viatgen cap al tàlam pels respectius axons, **la resposta olfactiva a una substància es podria interpretar com la resposta a un patró químic determinat**.

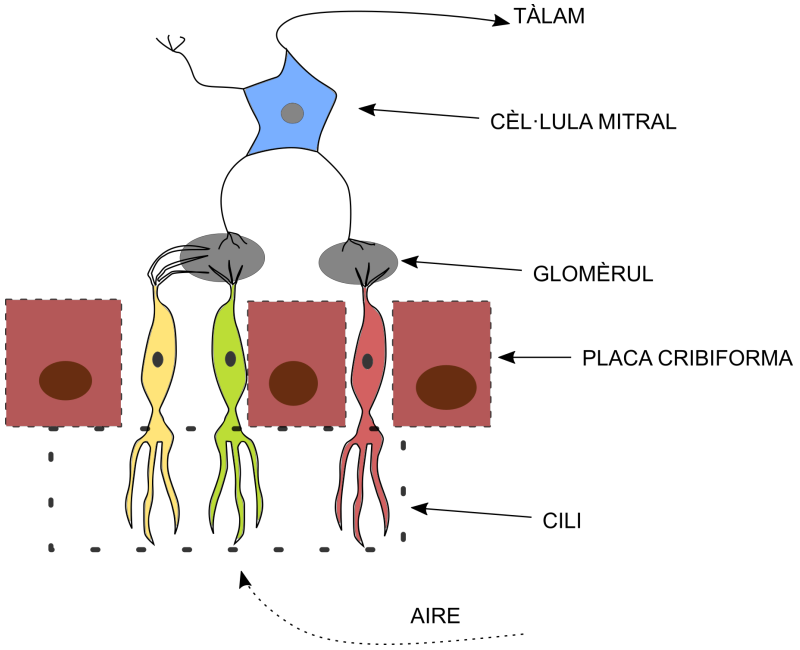


Figura 2.2: Representació interior bombeta olfactiva. Sentit de l'olfacte.

2.1.2 Model electrònic

Donat un troç de membrana que represente un acoblament entre una neurona esfèrica iso-voltaica o de igual tensió i un axó (a fa figura 2.3 s'ha substituït l'axó per un electrode) s'injecta un corrent constant durant un temps t degut a la sinapsis i amb un potencial positiu respecte a l'exterior de la cel·lula. Es considera, per tant, la cèl·lula com a un element capacitiu separat per una membrana. Per les característiques intrínseques i el camí que recórre el corrent, existirà una resistència al pas de la mateixa que es modela com una resistència en sèrie, es té un model electrònic de representació derivat de la figura 2.3 [32].

D'acord amb la segona llei de Kirchhoff, la suma de totes les tensions a una branca d'un circuit és igual a zero. Per tant, la tensió aplicada és igual a la

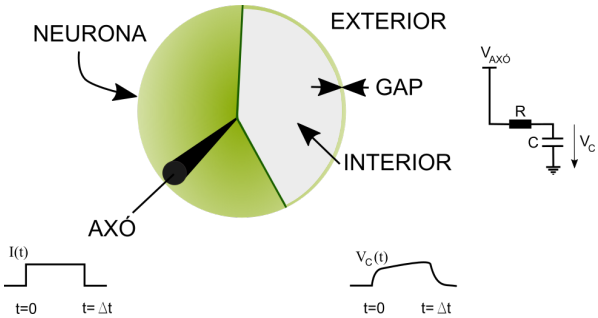


Figura 2.3: Representació exitació neuronal. Model electrònic.

suma de la tensió a la resistència més la tensió al condensador, com es veu a l'equació 2.1 al seu desenvolupament.

$$\sum_{i=1}^{n} V_i = 0 \tag{2.1}$$

$$0 = V_{axó} - V_R(t) + V_C(t)$$

$$V_R(t) = R \cdot \vec{i}(t) = RC\frac{dV_C(t)}{dt}$$

Equació diferencial de primer ordre i variables separades:

$$V_{axó} = RC\frac{dV_C(t)}{dt} - V_C(t)$$

Agrupació de termes:

$$RC\frac{dV_C(t)}{dt} = V_{axó} - V_C(t)$$

$$\frac{dV_C(t)}{V_{axó} - V_C(t)} = \frac{1}{RC}dt$$

Integració ambdos costats:

$$\int \frac{dV_C(t)}{V_{axó} - V_C(t)} = \frac{1}{RC}\int dt + K$$

$$\ln(V_{axó} - V_C(t)) = -\frac{t}{RC} + K$$

Es prenen exponencials per despejar la tensió al condensador:

$$V_{axó} - V_C(t) = e^{-\frac{t}{RC}+K} = A \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

La solució general per tant:

$$V_C(t) = V_{axó} - A \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

Amb la condició inicial de condensador descarregat:

$$A = V_{axó}$$
$$V_C(t=0) = V_{axó}(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \tag{2.2}$$

Passat un temps, la tensió aplicada és zero, per tant:

$$RC\frac{dV_C(t)}{dt} = \cancel{V_{axó}} - V_C(t)$$

Amb la condició inicial de carregat a la tensió aplicada:

$$V_C(t = \Delta t) = V_{axó}e^{-\frac{t}{RC}} \tag{2.3}$$

Les equacions 2.2 i 2.3 determinen la polarització i despolarització de la cèl·lula conformant el pols o "spike" elèctric que permet la transmissió de senyals a l'organisme. La constant RC determina la durada del pols i per tant la quantitat de polsos o d'informació que es transmet. Per a poder generar-se el corrent d'excitació, cal estudiar l'acoblament molecular que el produeix i les diferents teories de límit de fase, enzimàtiques, mecàniques, radiació, infra roig, ultravioleta etc [30]. No obstant això, s'escapa del camp d'aquest estudi. Així doncs, es centra l'estudi en què diferents tipus de receptors al cili permeten que una vegada exitats els canals iónics determinats de sodi o potasi canvien el potencial de la cèl·lula de positiva a negativa i viceversa, permetent així un corrent d'exitació [33].

2.1.3 L'olfacte com a detector

La capacitat de detectar xicotets canvis a les concentracions d'olors pels humans és superior al de les rates, però aquestes, junt amb els gossos, tenen el llindar molt per davall. Si es tractés del sentit de la vista, tindrien la capacitat de detectar una figura a cinc kilòmetres de distància [34]. A la literatura científica es troben diversos estudis de l'ús d'animals per a la detecció d'infermetats com el càncer [35 - 39] inclòs per a la detecció del SARS-Covid19 [40, 41].

2.2 El càncer de pròstata i bufeta

2.2.1 Pròstata

La pròstata és una glàndula i, per tant, té la funció de produir una secreció, en aquest cas cap a la uretra i de líquid seminal. Està situada sota de la bufeta de l'orina i al coll de la uretra. A la figura 2.4 es pot observar una representació en tall de la bufeta i la pròstata que envolta el tracte urinari.

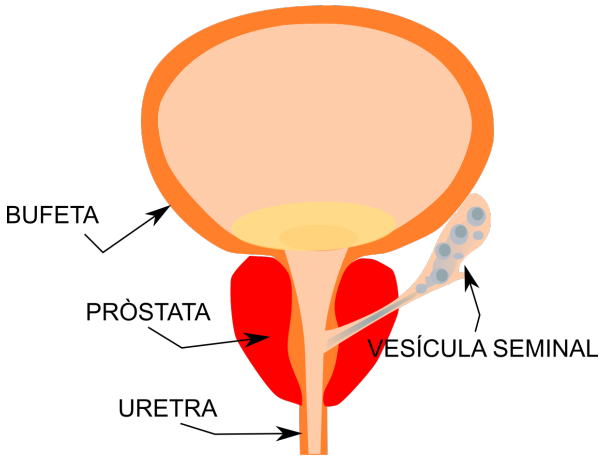


Figura 2.4: Representació en tall de bufeta i pròstata.

2.2.2 Bufeta

La bufeta és un òrgan en forma de borsa on es va depositant l'orina que aplega dels renyons. Al ser musculós és capaç d'obrir-se i tancar-se per un orifici que comunica amb la uretra, on l'orina és excretada de l'organisme.

2.2.3 Càncer

Segons l'institut nacional del càncer, la neoplàsia és una massa anormal de teixit que apareix quan les cèl·lules no es moren quan deurien o es multipliquen més del compte. Si són malignes solen invadir teixits propers i altres parts del cos. El càncer és una enfermetat neoplàsica on les cèl·lules creixen de forma incontrolada. Aquestes cèl·lules s'anomenen tumors.

Una biòpsia consisteix en extraure una mostra del tumor per tal d'analitzar-lo amb diferents tècniques. Per tal d'accedir al teixit, cal emprar *tècniques invasives*. Per a guiar el professional sanitari en l'extracció, s'utilitzen ajudes visuals com l'ecògraf. No obstant, el procediment per a la biòpsia transrectal de pròstata es realitza amb l'extracció de mostres aleatòries. Això fa que a una biòpsia(B_x) de pròstata randomitzada amb resultat negatiu no es descarte el càncer de pròstata(CaP).

Indicadors de càncer de pròstata CaP

Per tal de determinar la fase o estat de la malaltia s'estudien diferents indicadors. Entre parèntesi s'indica el tipus de data a digitalitzar segons s'indica en enters, booleà, decimal o una llista predefinida. Alguns dels estudiats pel grup de laparoscòpia urològica del IILS LaFe es nombren a continuació:

- Gleason 1 biòpsia (B_x) (int)
- Gleason 2 biòpsia (B_x) (int)
- Gleason total (B_x)
- Gleason 1 peça tumor (int)
- Gleason 2 peça tumor (int)

- Gleason total peça tumor (int)
- Cilindres positius (B_x) (int 1-14)
- ASAP (Booleà)
- PIN (Booleà)
- PSA pre-tractament (float)
- PSA post-tractament (float)
- Volum pròstata (float)
- Volum pròstata ZT (float)
- Prostatectomia radical (Booleà)

Indicadors de càncer de bufeta

Pel que fa als indicadors de càncer de bufeta es recullen els següents indicadors:

- Estadi (Enumerat; TA, T1-T4)
- Grau (Enumerat; low,high)
- Cis (Booleà)
- Nombre de tumors (int)
- Tamany del tumor (float)
- RTU completa (Booleà)
- Grup de risc (Enumerat; low,intermediate,high)
- Infamació, cistitis (Booleà)
- Infecció (Booleà)
- Hematúria (Booleà)
- Tractament (Descripció; Quimio, BCG)

Glucoproteina Serin-Proteasa

D'entre tots els indicadors, cal centrar l'atenció amb la Glucoproteïna Serin-Proteasa (PSA), descoberta pel Professor Richard J. Ablin en 1970 com a indicador relacionat amb el càncer [42]. No obstant, no presenta una especificitat i sensibilitats per a ser considerat el test ideal per a la detecció precoç del càncer de pròstata. Es tracta d'una prova subòptima i com a resultat s'obté al voltant d'un 25% de precisió en pacients que s'han sotmés a una biòpsia per tenir valors de PSA entre 4 i 10 ng/ml [43]. A la taula 2.1 es relacionen el nivell de PSA de pacients diagnosticats amb càncer de pròstata.

Taula 2.1: Nivells de PSA a pacients amb CaP

Registre	Recollida	PSA(ng/ml)
CaP388	05/10/2016	5,19
CaP403	07/10/2016	6,96
CaP526	19/10/2016	8
CaP533	24/10/2016	6,8
CaP396	26/10/2016	5,27
CaP534	27/10/2016	5,4
CaP469	27/10/2016	15,04
CaP535	27/10/2016	990,2
CaP292	07/11/2016	—
CaP368	09/11/2016	8,61
CaP136	09/11/2016	5,45
CaP552	14/11/2016	—
CaP441	16/11/2016	7,4
CaP491	16/11/2016	6,68
CaP559	21/11/2016	4,54
CaP489	24/12/2016	2,08
CaP184	19/12/2016	4,05
CaP216	21/12/2016	7,76
CaP310	11/1/2016	8,89
CaP502	11/1/2016	8,27

Hiperplàsia benigna de pròstata

Una problemàtica afegida a la detecció del càncer de pròstata és una enfermetat benigna anomenada hiperplàsia benigna de pròstata (HBP). A la taula 2.2 es relacionen el nivell de PSA de pacients diagnosticats amb Hiperplàsia benigna de pròstata.

Taula 2.2: Nivells de PSA a pacients amb Hiperplàsia

Registre	Recollida	PSA(ng/ml)
HBP-183	17/10/2016	1,23
HBP-138	17/10/2016	0,6
HBP-194	28/11/2016	0,85
HBP-181	24/10/2016	0,84
HBP-178	24/10/2016	1,99
HBP-144	25/10/2016	0,56
HBP-177	26/10/2016	0,66
HBP-190	23/11/2016	0,46
HBP-182	28/10/2016	1,28
HBP-185	04/11/2016	0,97
HBP-186	04/11/2016	0,8
HBP-187	04/11/2016	0,1
HBP-188	04/11/2016	2,1
HBP-189	11/11/2016	1,91
HBP-191	14/11/2016	0,6
HBP-192	14/11/2016	—
HBP-19X	23/11/2016	0,59
HBP-193	25/11/2016	0,43
HBP-195	28/11/2016	0,61
HBP-196	28/11/2016	0,6

El vial

Per tal d'analitzar l'orina dels pacients indicats a les taules 2.1 i 2.2 es preparen $5\,ml$ a un vial com el de la figura 2.5.

Figura 2.5: Vial o tub de vidre amb tapó de rosca perforable.

2.2.4 Compostos volàtils (VOCs)

Els compostos orgànics volàtils (VOCs) són productes del metabolisme del tumor cel·lular present en biofluids de diversos càncers. A la taula 2.3 es relacionen els compostos volàtils que segons [44] es troben a l'orina i que estan presents segons el tipus de càncer.

Taula 2.3: Compostos volàtils relacionats amb càncer

Tipus de càncer	VOCs
Pròstata	Formaldehid
	Toluè
	2-amino-4-isopropil-8-metil-1-azulenacarbonitril
	p-xilè
	Dimetil decà
Bufeta	Melibiosa
	Uridina
	Àcid 2-propenòic
	Glicerol
	Fructosa
	Àcid cítric
	Ribitol

2.3 Sensors tipus MOS

Els sensors de gas comercials poden ser de cristall de quarz, d'efecte camp, electroquímics o quimics resistius [45]. Aquest estudi es centra en els últims que s'utilitzen en múltiples aplicacions [1-4].Aquest estudi es basa en un sistema que utilitza uns sensors químics característics del tipus semiconductor de metall òxid (MOS). L'atenció cal posar-la a nivell mol·lecular. Els compostos volàtils com el metà poden reaccionar amb l'oxigen produint diòxid de carbó i aigua com a productes, equació 2.4.

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O \tag{2.4}$$

Els sensors de gas utilitzen principalment diòxid d'estany, òxid d'indi o òxid de tungsté com a semiconductors i l'alúmina com a substrat [5], [6]. L'ús d'alguns substrats com a catalitzadors redueix la quantitat de calor necessària per a provocar la reacció. La figura 2.6 mostra la reacció del sensor en dos casos: aire clar i en reacció amb el metà. El quadrat discontinu és el sensor de gas, que inclou quatre terminals, un escalfador i Al_2O_3 com a substrat. En aire net (figura 1.a), un semiconductor d'òxid d'estany té una alta resistivitat que impedeix el moviment dels electrons. Quan s'introdueix gas metà (figura 2.6.b), es produeix la reacció que es veu a l'equació 2.4. Així, el diòxid d'estany no té prou oxigen per a ser un òxid i obtenir vuit electrons del metà, convertint-se en un metall estanyat. Com a resultat d'aquest moviment d'electrons, la resistivitat del sensor de gas disminueix i permet el fluxe de corrent al sensor. Connectant una resistència R com es mostra a la figura 2.6, es forma un divisor de tensió i es pot mesurar la tensió de sortida. És a dir, el sensor de gas es converteix en un sensor de sortida analògica.

A causa de la naturalesa de la reacció i la polaritat del corrent, la tensió mesurada sempre és positiva. D'altra banda, presenta un poc de soroll tèrmic i una tensió de compensació a causa de l'escalfador subministrat i la conductivitat del material.

Com que algunes substàncies com l'orina o les femtes tenen VOC [7], els sensors de gas són una opció excel·lent per a obtenir-ne informació sense contacte. S'han proposat molts nassos electrònics (e-Noses) a la literatura [8] - [10] per a analitzar les dades dels sensors de gas. La primera etapa d'un e-Nose

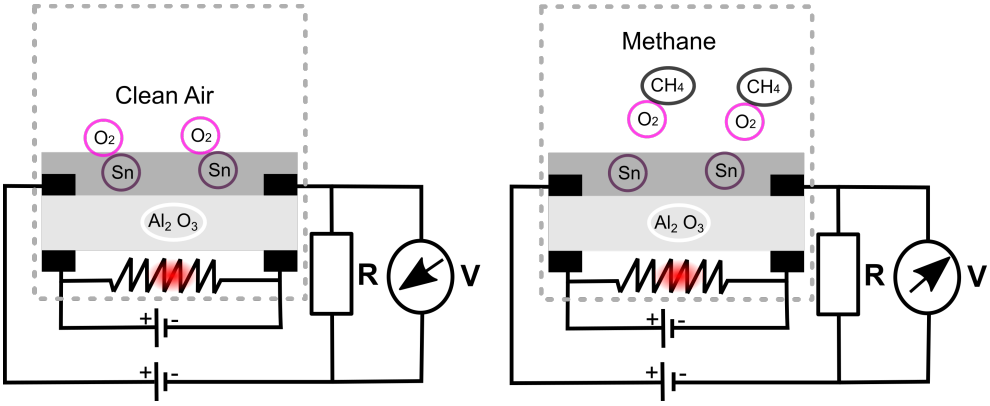


Figura 2.6: a)Reacció del sensor amb aire net. b)Reacció amb Metà.

consisteix en una sèrie de sensors de gas connectats a un ADC, és a dir, l'etapa d'adquisició.

2.4 Nas electrònic e-Nose

La figura 2.7 mostra les etapes habituals d'un nas electrònic que classifica les substàncies. Després de l'adquisició, es pot processar el senyal digital (filtre, finestra, normalització i compensació de offset) al mateix e-Nose o en un PC. Finalment, l'aprenentatge automàtic i les etapes de classificació solen ser xarxes neuronals [11], [12] encarregades d'entrenar el sistema i de reconèixer la mostra a partir de les dades del sensor de gas [13].

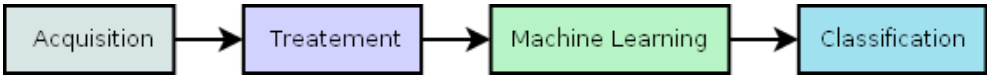


Figura 2.7: Fases en un e-Nose classificador.

2.4.1 MOOSY32

El nas electrònic MOOSY32 rep el seu nom del tipus de sensors que utilitza, tipus Metall Òxid Semiconductor (MOS) i que incorpora un total de 32 desplegats de vuit en vuit a un tub metàl·lic. Incorpora quatre plaques base electròniques on van soldats els sensor que travessen el tub. Aquestes plaques es comuniquen amb dos targetes del fabricant National Instruments per a la conversió de senyals analògiques a digitals mitjançant una placa de connexió als busos GPB-IO de connexió. Les targetes digitalizadores estan controlades per un PC al qual se li ha dotat d'un software específic mitjançant el programa LabVIEW.

Un escalfador d'aigua comercial per a biberons escalfa un vial depositat sobre una estructura fabricada per a permetre la verticalitat mentre es calfa. Dos agulles connectades a un sistema neumàtic permeten el pas dels compostos al tub d'adquisició on estan els sensors. A la figura 2.8 es pot observar un diagrama de fluxe de tot el conjunt [26].

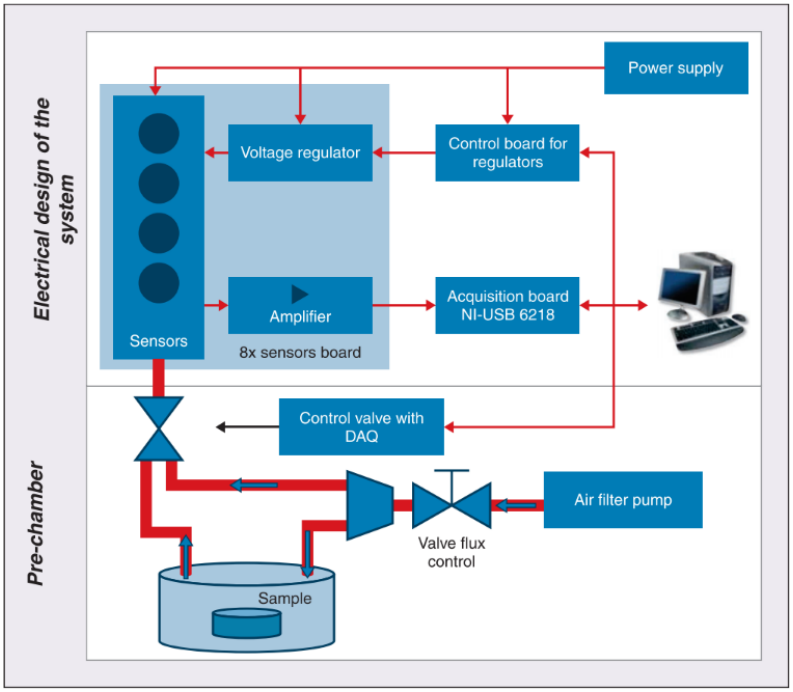


Figura 2.8: Diagrama de fluxe del MOOSY32 [26].

El sistema d'adquisició, està situat a la càmera de gassos CG-3 i a una habitació d'uns $6m^2$ alicatada amb una finestra prop del sostre i amb la temperatura de 21^oC i humitat de 45% controlades mitjançant un equip deshumidificador i un aire condicionat amb bomba de calor. A la figura 2.9 es pot observar el "setup".

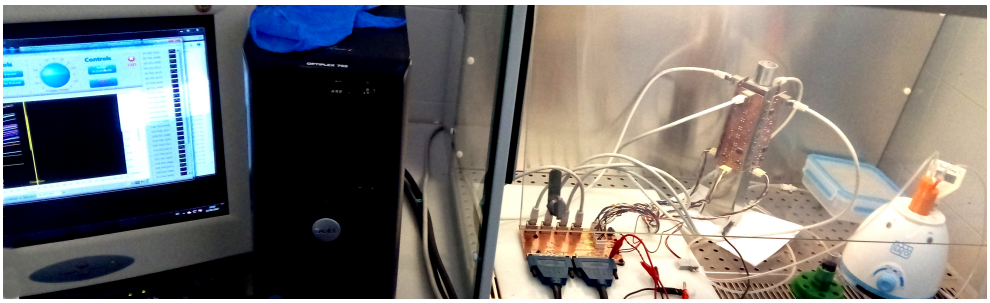


Figura 2.9: "Setup" del MOOSY32.

Una vegada feta l'adquisició, el software guarda les dades a un arxiu de text amb un format com, per exemple, el de l'arxiu 04-04-2017_HBP182_2_5 :

```
04/04/2017  13:08:49        15        80        150        0,010
HBP182_2_5

Time        S1-TGS 2611        S2-TGS 2600        ...        S32-TGS 2600
0,0000E+0        1,8588E-3        2,3144E-3        ...        3,0768E-3
1,0000E-2        9,0981E-3        1,1245E-2        ...        1,4938E-2
2,0000E-2        2,2938E-2        2,8132E-2        ...        3,7339E-2
...
1,4998E+2        4,8352E-1        5,7483E-1        ...        7,5768E-1
1,4999E+2        4,8351E-1        5,7483E-1        ...        7,5767E-1
```

2.5 Reflexions

Resulta imprescindible partir d'una definició per tal d'entendre els conceptes que es descriuen a aquest document. Podria ser perfectament el primer capítol però s'ha presentat després de justificar i presentar el projecte d'investigació com a element de partida, abans d'entrar en profunditat a l'estudi realitzat. S'ha explicat el sentit de l'olfacte com un model de detecció i s'han descrit les malalties a detectar mitjançant els propis descriptors i indicadors. S'ha

fet un estudi detallat del funcionament dels sensors de gas utilitzats i del nas electrònic amb el qual s'han obtingut les dades a analitzar. Amb tot, s'ha tractat d'aportar detalls necessaris per a entendre l'estudi realitzat. Per tant, una vegada definits els conceptes del sentit de l'olfacte, el càncer de pròstata i la malaltia d'hiperplàsia benigna, determinats els sensors tipus MOS i els compostos volàtils com a element a registrar i presentat e l'e-Nose utilitzat per a un estudi previ, s'estudia el tractament dels senyals capturats provinents dels dos tipus de patologies esmentades.

Al proper capítol, s'utilitzarà el nas electrònic per tal d'analitzar un patró olfactiu provinent de mostres d'orina de dos patologies diferents.

Capítol 3

Tractament de senyals

" No pot existir un llenguatge més universal i senzill, més escaient d'errors i obscuritats, i per tant més apte per a expressar les relacions invariables de les coses naturals [...] Les matemàtiques semblen constituir una facultat de la ment humana destinada a compensar la brevetat de la vida i la imperfecció dels sentits."
— Joseph Fourier.

3.1 Les senyals

Donats quaranta pacients amb un índex de PSA elevat s'han recollit quatre vials amb $5\,ml$ cadascun d'orina per pacient. Dins d'aquest grup existeixen vint pacients amb càncer de pròstata (CaP) i vint amb Hiperplàsia benigna de pròstata (HBP)

3.1.1 L'estudi de senyals amb el MOOSY32

Durant $150\,s$ es capturen les dades provinents de 32 sensors de gas tipus MOS disposats en un tub amb una obertura en la part inferior d'on ixen els compostos volàtils. Els compostos volàtils són impulsats per aire mitjançant una bomba i una electrovàlvula que s'accionen als $20\,s$ i als $80\,s$ per tal d'obrir i tancar el pas dels mateixos. A la figura 3.1 s'observa una síntesi de l'obtenció de vint mostres provinents de quaranta pacients amb dos patologies diferents.

Es preparen quatre vials per cada pacient i es fan cinc repeticions per cada vial. S'obtenen vuit-centes corbes que proporcionen redundància de dades.

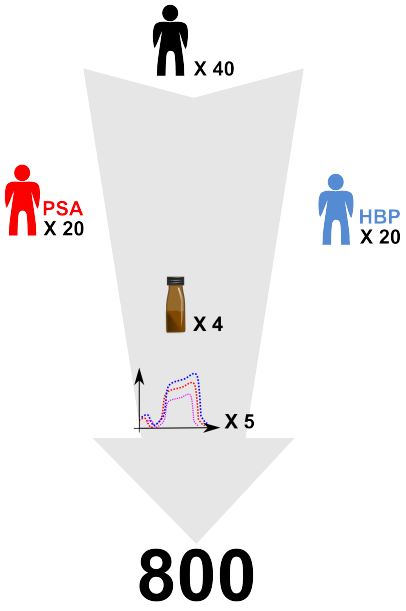


Figura 3.1: Orige de les mostres i corbes obteses.

3.2 Cóm són les senyals capturades

Les senyals capturades amb dos targetes de National Instruments, de 14 i 12 bits amb una freqüència de mostreig de $100\,Hz$, són inferiors a $2\,V$, presenten diferents offset i amb una freqüència màxima al voltant de $15\,mHz$. A la figura 3.2 s'observa la resposta dels diferents sensors a conduir els compostos volàtils de l'interior d'un vial fins al tub on estan disposats linealment de huit en huit en quatre quadrants tal i com s'observa al detall de la figura 3.3.

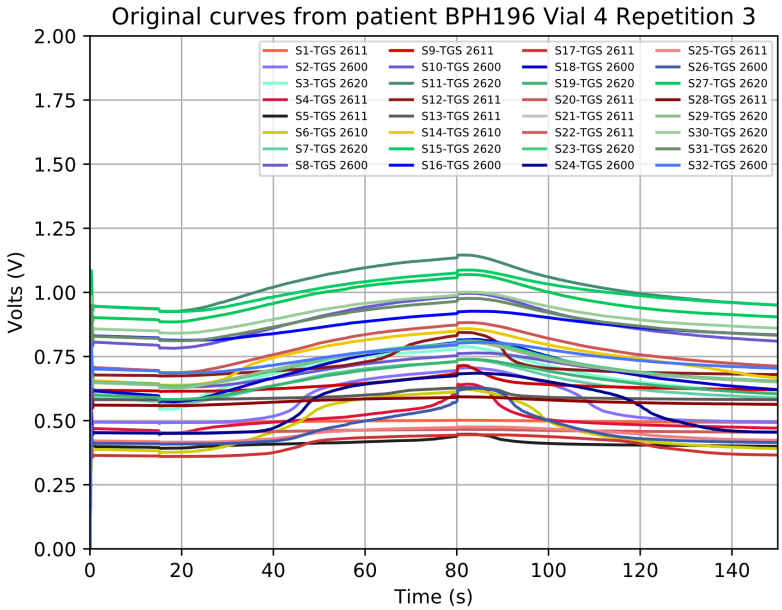


Figura 3.2: Senyals capturades amb el MOOSY32.

3.3 Tractament dels senyals, filtres i adequació

A l'inici, quan la captura comença, es pot apreciar a la figura 3.2 que existeix un pic de tensió. Aproximadament als divuit segons existeix un offset negatiu que afecta a un segment del senyal fins aproximadament els vuitanta segons. Aquest efecte es degut a l'accionament de l'electrovàlvula que obri el pas dels compostos volàtils cap als sensors. Per últim, s'observen diferents offset positius per a cadascun dels sensors. S'estableix un protocol d'adequació dels senyals com el descrit a la figura 3.4.

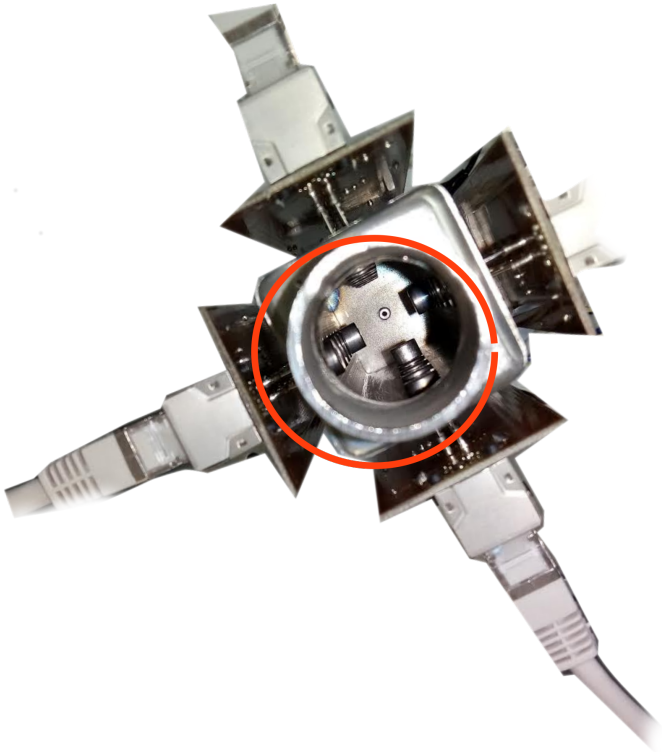


Figura 3.3: MOOSY32 tub amb sensors.

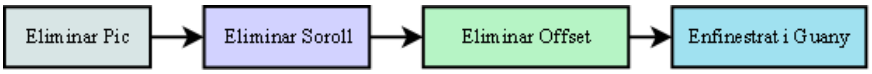


Figura 3.4: Diagrama de fluxe tractament de senyals.

3.3.1 Eliminar pic inicial

En primer lloc es borra la informació provinent dels vint primers segons. D'aquesta forma s'adequa la senyal llevant el pic inicial de connectar-lo . Per aconseguir-ho es calcula la mitjana aritmètica de les mostres compreses entre el segon cinqué i el desé. Amb la mitjana calculada es substitueixen els valors dels vint primers segons per aquesta.

Algorisme 3.1: Eliminar els vint primers segons

```
def borraPico(data):
  data.iloc[0:2000,0:32]=data.iloc[500:1000,
                    0:32].mean(axis=0).values
  return data
```

3.3.2 Eliminar soroll

El segon pas tracta de minimitzar el possible soroll a freqüència alta i deixar la corba el més suau possible. Per això s'utilitza un filtre, el Savitzky-Golay, es tracta d'un filtre FIR.

Algorisme 3.2: Suavitzar les dades

```
def suavi(data):
    x = data
    x_filtered = savgol_filter(x, 14999, 12,deriv=0,
                              mode= 'interp',axis=0)
    x_filtered =pd.DataFrame(x_filtered)
    x_filtered.iloc[7499:7501,
                    0:32]=(x_filtered.iloc[7501:7502,
                                           0:32].values+
x_filtered.iloc[7498:7499,0:32].values)/2
    x_filtered.set_index(data.index, drop=True, append=False,
                         inplace=True, verify_integrity=False)
    x_filtered.columns=data.columns
    return x_filtered
```

3.3.3 Eliminar offset

En tercer lloc s'elimina l'offset de manera que tots els senyals parteixen del mateix nivell. A la figura 3.5 es pot veure el resultat d'aplicar les darreres modificacions.

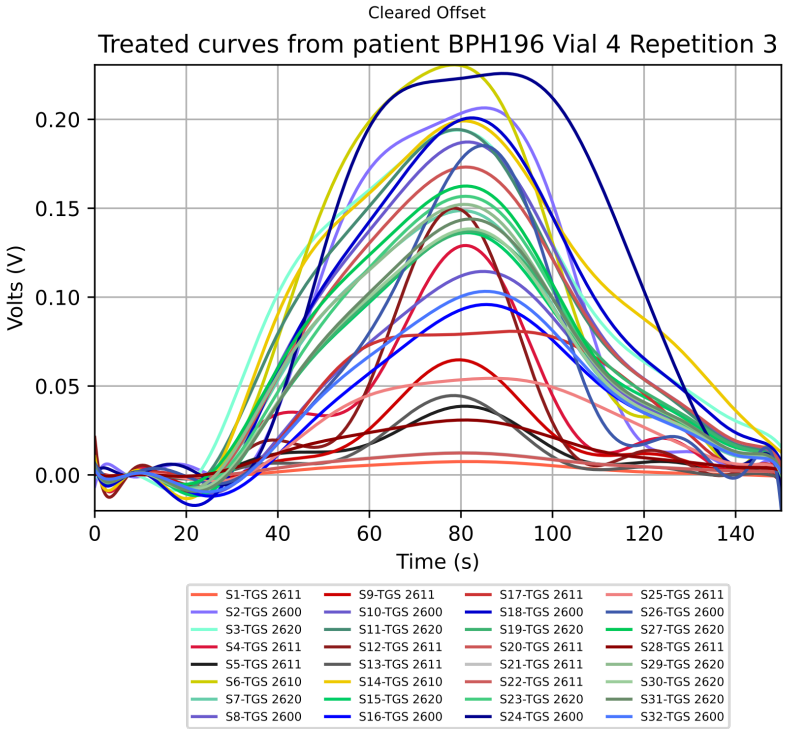


Figura 3.5: Senyals adequades i offset llevat.

Algorisme 3.3: Eliminar l'offset

```
def llevaOf(data):
    data=data-data.iloc[500:1000,0:32].mean(axis=0)
    return data
```

3.3.4 Enfinestrat i guany

La senyal ara presenta una sèrie de valors negatius i un rull als extrems. L'interés es centra en la resposta dels sensors als compostos volàtils, per tant, es tracta d'estudiar una zona concreta. Pensant amb la possibilitat d'encadenar les repeticions de forma contínua, estudiar l'espectre i buidar la informació dels extrems s'aplica una finestra de kaiser. A la figura 3.6 s'observa com s'ha eliminat la informació dels extrems però, encara que no és visible a la vista,

cal aplicar una correcció del guany que es representa a la figura 3.7.

Algorisme 3.4: Enfinestrar. Eliminar les dades dels extrems

```
def enven(data):
    x = np.transpose(data)
    x = x*np.kaiser(15000,6)
    x =np.transpose(x)
    x = pd.DataFrame(x)
    x.columns=data.columns
    return x
```

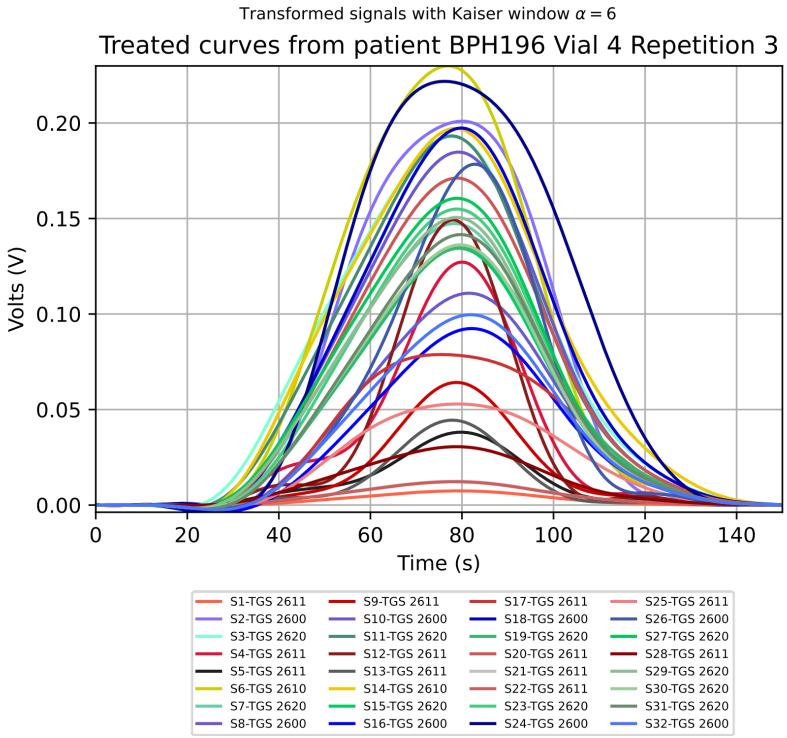


Figura 3.6: Senyal amb la transformació d'enfinestrat Kaiser.

Algorisme 3.5: Corregir guany

```
def errorCor(A,B):
  e=A/B
  return e
```

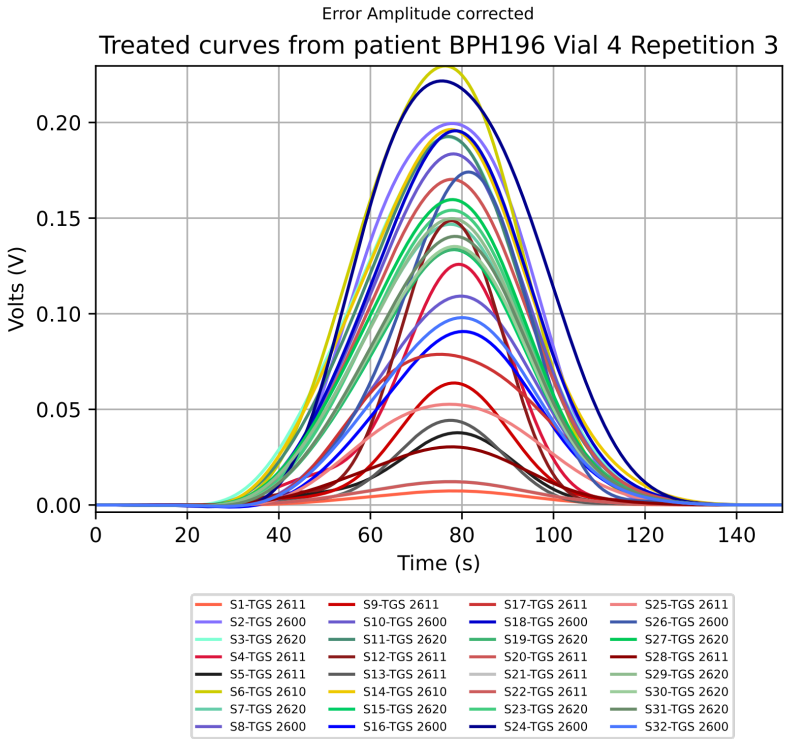


Figura 3.7: Senyal amb l'error d'amplitud corregit.

Evidentment les corbes han sofert una transformació. Una opció és fer un pas més i normalitzar-les, però es perd informació donat que uns sensors apleguen a uns nivells diferents segons el tipus del mateix i el tipus de pacient analitzat o la posició al MOOSY32.

3.4 Classificació de senyals

Per a classificar i poder distingir entre pacients amb hiperplàsia benigna de pròstata (BPH) i pacients amb càncer de pròstata (CaP), cal estudiar el patró dels senyals a les diferents adquisicions. S'han fet un total de 800 adquisicions de 32 senyals amb 15000 mostres cadascuna. Si tenim en compte que un ordinador necessita 2 Bytes per a emmagatzemar cada punt, cal emprar per a tractar les corbes aproximadament 768 MB de memòria RAM sense fer res amb elles. És per això que s'estudien estratègies per tal de minimitzar el cost computacional a la recerca de resultats:

- Inspecció visual de les corbes.
- Estudi de la mitjana com a referència.
- Anàlisi estadístic.
- Hipòtesi al voltant de la disposició dels sensors.
- Estudi dels paràmetres de les corbes.
- Entrenament d'algoritmes i classificació de les corbes.

3.4.1 Inspecció visual

Els éssers humans són capaços de recordar una imatge i aquestes, de vegades, s'utilitzen per al diagnòstic en molts camps de la medicina. Per tant, el primer pas consisteix en una inspecció visual de les senyals on s'observen algunes peculiaritats. Les figures 3.7 amb HBP i 3.8 amb CaP mostren adquisicions de pacients amb patologies diferents.

Si s'observa amb atenció la figura 3.7, els nivells de senyal dels sensors TGS 2611 són inferiors als nivells dels sensors TGS 2600. La situació és inversa a la figura 3.8 on els senyals de color roig predominen en amplitud sobre els de color blau. El nivell d'amplitud dels senyals podria ser determinant, si no fora perquè a altres representacions ocórre justament el cas contrari al descrit anteriorment. Això fa pensar amb la casualitat i no la causalitat. Per això, per tal de determinar-la, a l'apartat següent es tracten d'utilitzar elements estadístics més robustos.

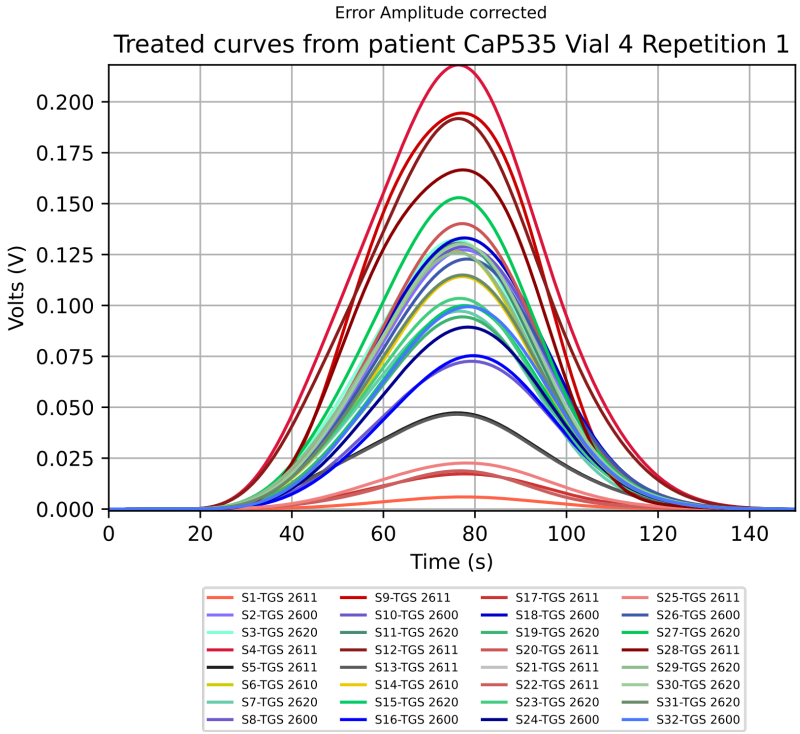


Figura 3.8: Resposta dels sensors a l'orina d'un pacient amb CaP.

3.4.2 La Mitjana com a referència

Donades les 800 representacions provinents de 40 pacients, algunes d'elles extretes dels mateixos vials però en repeticions diferents, es procedeix a calcular la mitjana harmònica (MA) amb l'equació 3.1, utilitzant les dades, primer de cada pacient amb la mitjana harmònica de les cinc repeticions i després amb la resta de vials. Així doncs, s'obté una representació dels 32 senyals per pacient resultat del càlcul descrit. A la figura 3.9 s'observa la reducció de totes les vint representacions disponibles d'un pacient, el PSA559, a una.

$$MA = \frac{1}{\frac{1}{N} \cdot \left(\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + ... + \frac{1}{x_N} \right)} \tag{3.1}$$

Les figures 3.10 i 3.11 mostren les mitjanes harmòniques del total de representacions per patologia, 400 per cada. En aquest cas no s'ha aplicat l'enfinestrat

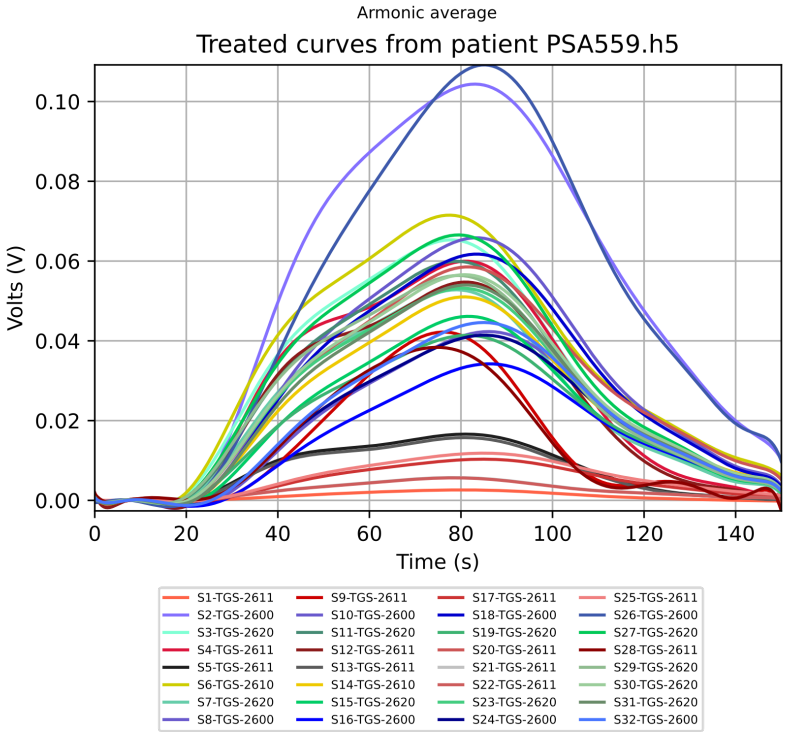


Figura 3.9: Resposta harmònica dels sensors a l'orina d'un pacient amb CaP

de Kaiser per tal d'evidenciar, si cap, les diferències visuals.

El resultat d'aquesta mitjana, amb les dades de tots els pacients del mateix tipus, podria aproximar-se a una "foto"del patró de resposta per a cada tipus de patologia estudiada.

Davant la similitud de les dos representacions, la "foto" no aporta una representació visual amb clares evidències diferenciadores, més bé, similituds com una primera zona lineal seguida d'altra amb un creixement més lent fins la saturació i un retorn a l'estat anterior. Els senyals provinents dels sensors TGS-2611 presenten una diferència d'amplitud major als pacients de CaP front als d'HBP. De forma general, les amplituds també són diferents per ambdós casos encara que segueixen un patró comú apreciable a la visualització.

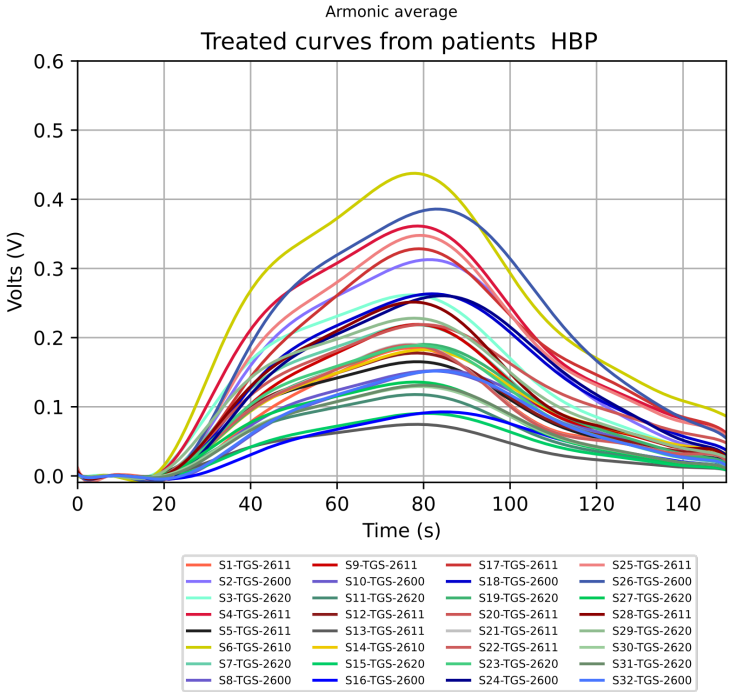


Figura 3.10: Resposta a l'orina de vint pacients amb HBP per als sensors TGS-2611c00.

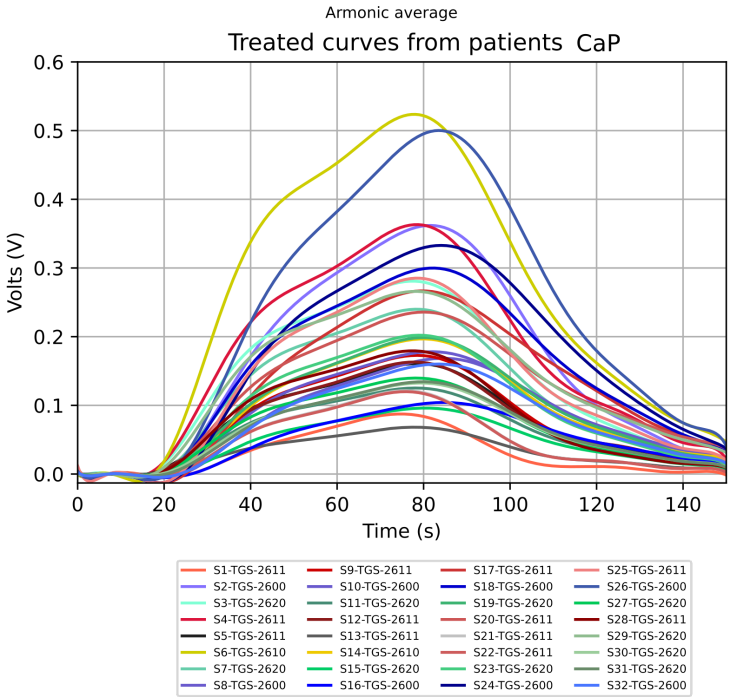


Figura 3.11: Resposta a l'orina de vint pacients amb CaP per als sensors TGS-2611c00.

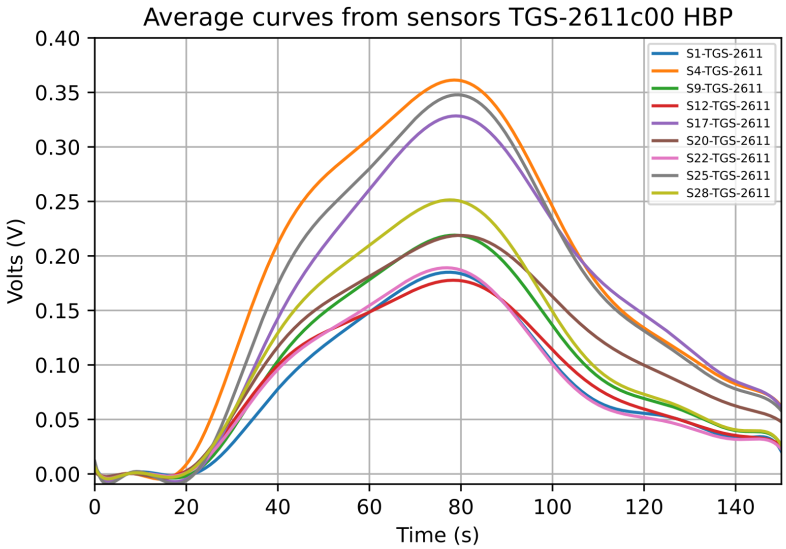


Figura 3.12: Resposta a l'orina de vint pacients amb HBP.

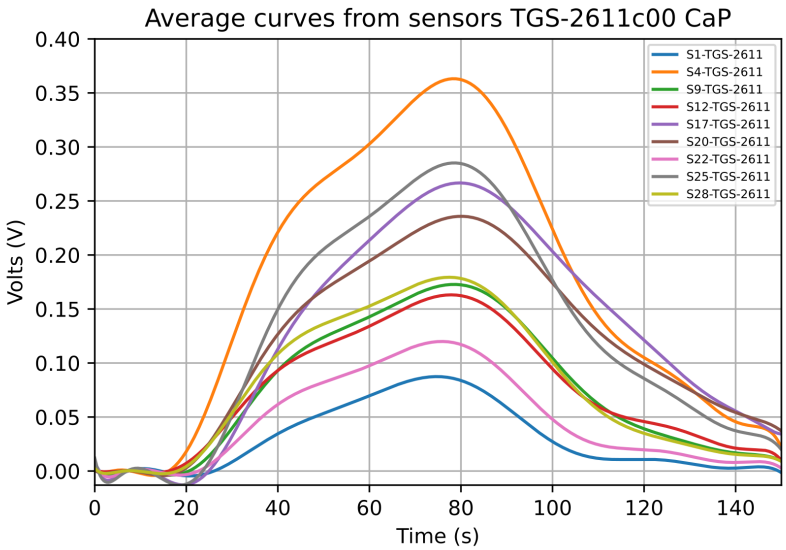


Figura 3.13: Resposta a l'orina de vint pacients amb CaP.

Com que dels 32 sensors hi ha cinc tipus de sensors diferents, s'estudia la reducció del nombre de corbes a la representació amb la mitjana harmònica dels sensors del mateix tipus per representació.

A les figures 3.12 i 3.13 s'observen les corbes adquirides amb els sensors TGS-2611**c**00. Les provinents de pacients amb CaP mostren una dispersió major respecte a les d'HBP però el més sorprenent és que els senyals provinents dels sensors S4-TGS-2611c00-CaP i S4-TGS-2611c00-HBP així com, S9-TGS-2611c00-CaP i S12-TGS-2611c00-HBP són quasi idèntiques. La diferencia es troba en què ha reaccionat abans i que el decreixement ha sigut més ràpid. No obstant, es troben decreixements més lents motivats per la posició del sensor. Cal tenir en compte que la capacitat del sensor per a reaccionar davant la substància pot veure's afectada per característiques intrínseques.

A la figura 3.14 s'observa una superposició de les representacions de la mitjana harmònica de les dos patologies. Aquesta figura posa de manifest que sensors del tipus TGS2611 provoquen una resposta similar a orina de diferents patologies a una part de l'eix de simetria i suscita el dubte d'una resposta similar a una posició distinta del sensor dins del MOOSY32.

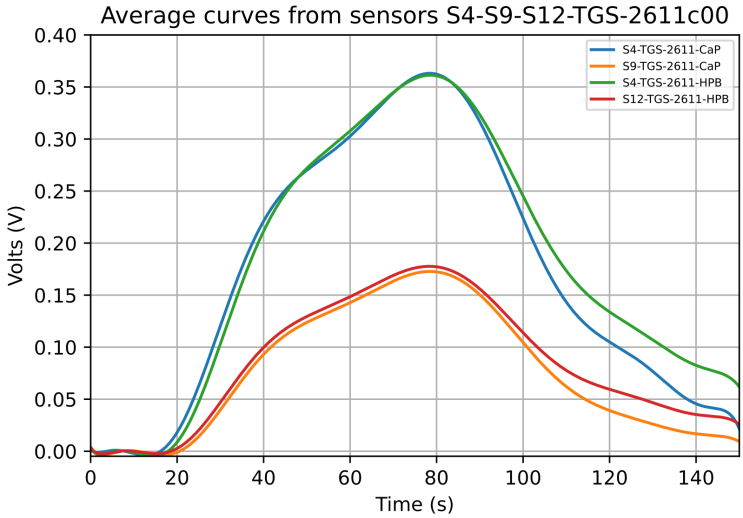


Figura 3.14: Superposició resposta harmònica dels sensors S4-S9-S12-TGS-2611c00.

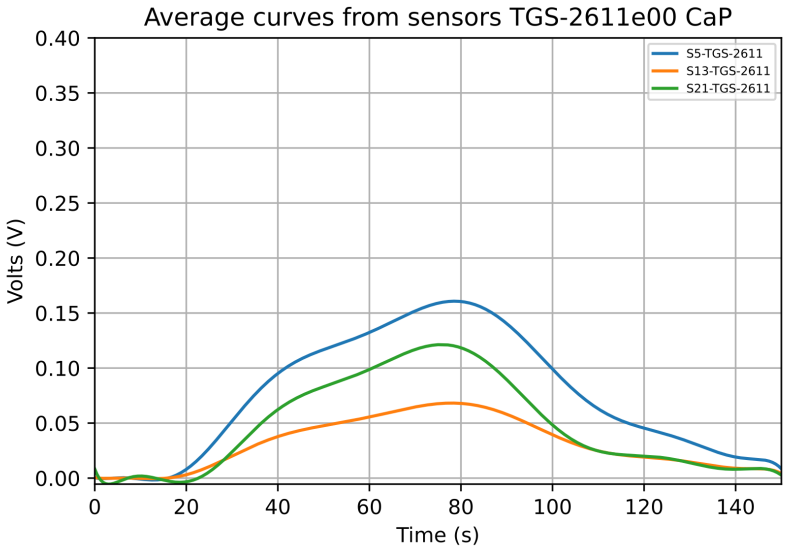


Figura 3.15: Resposta dels sensors TGS-2611e00 a l'orina de vint pacients amb CaP.

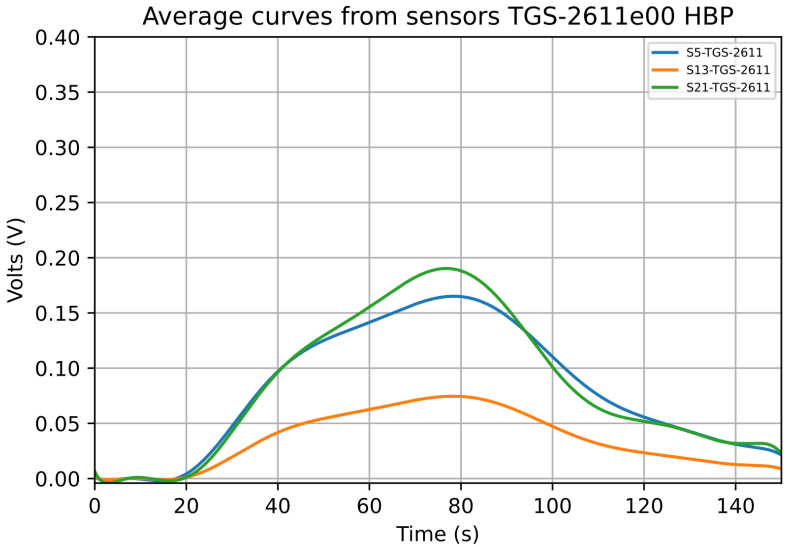


Figura 3.16: Resposta dels sensors TGS-2611e00 a l'orina de vint pacients amb HBP.

Els sensors TGS-2611**c**00 i TGS-2611**e**00 estan recomanats pel fabricant per a l'ús com a detectors de metà. Es diferencien per un filtre físic muntat al sensor TGS-2611e00 per a no reaccionar front l'etanol. A les figures 3.15 i 3.16 s'observen els senyals capturades amb els sensors TGS-2611e00. Els senyals S5-TGS-2611e00 i S13-TGS-2611e00 són molt semblants i sols existeix una gran diferència amb el senyal provinent del sensor S21-TGS-2611e00 d'ambdós patologies. A la figura 3.17 es superposen els senyals similars d'ambdós patologies i s'observa que efectivament són molt semblants.

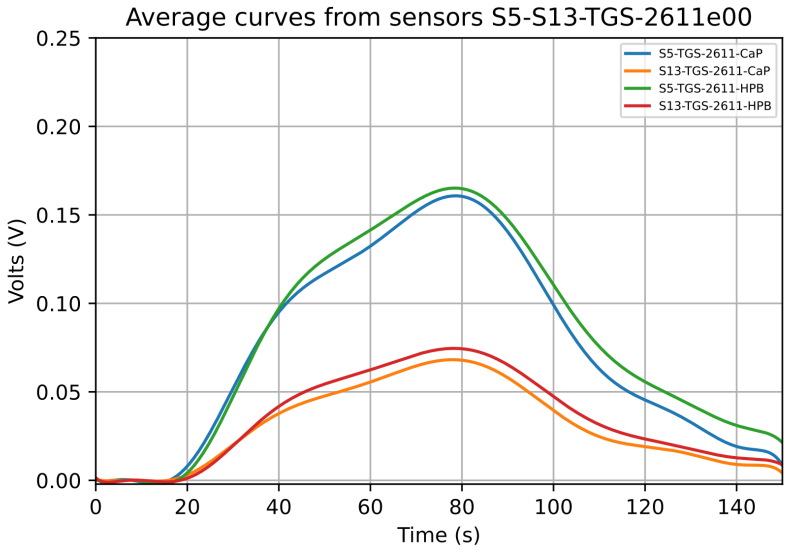


Figura 3.17: Superposició resposta harmònica dels sensors S5 i S13

El sensor TGS-2600, segons el fabricant, està dissenyat per a detectar gassos contaminants com el monòxid de carbó o grans quantitats d'hidrogen. El MOOSY32 disposa de nou sensors TGS-2600. A les figures 3.18 i 3.19 es representen les corbes de la resposta harmònica dels mateixos segons el tipus de pacient analitzat.

Si s'observen les corbes de CaP, els sensors S2-TGS-2600, S18-TGS-2600, S24-TGS-2600 i S26-TGS-2600 mostren un canvi a la pendent després de la fase lineal inicial considerable. A la figura 3.20 s'observen els senyals capturats pels sensors S8-TGS-2600, S10-TGS-2600, S16-TGS-2600 i S32-TGS-2600

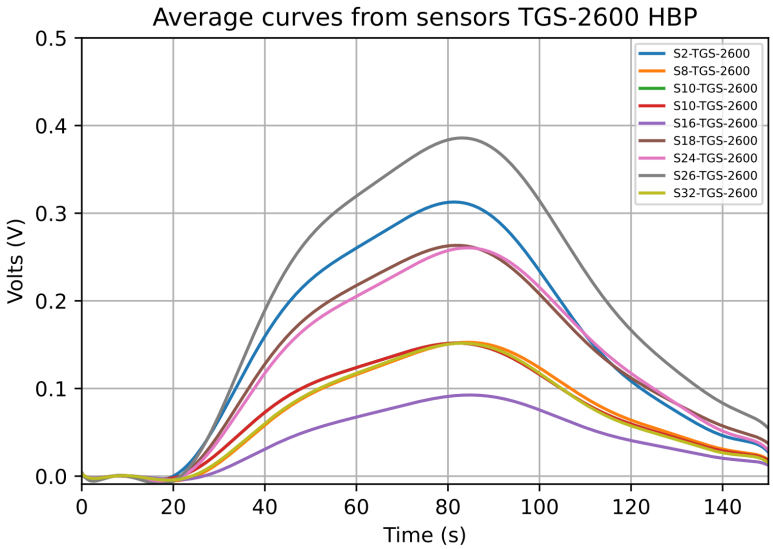


Figura 3.18: Resposta harmònica dels sensors a l'orina de vint pacients amb HBP.

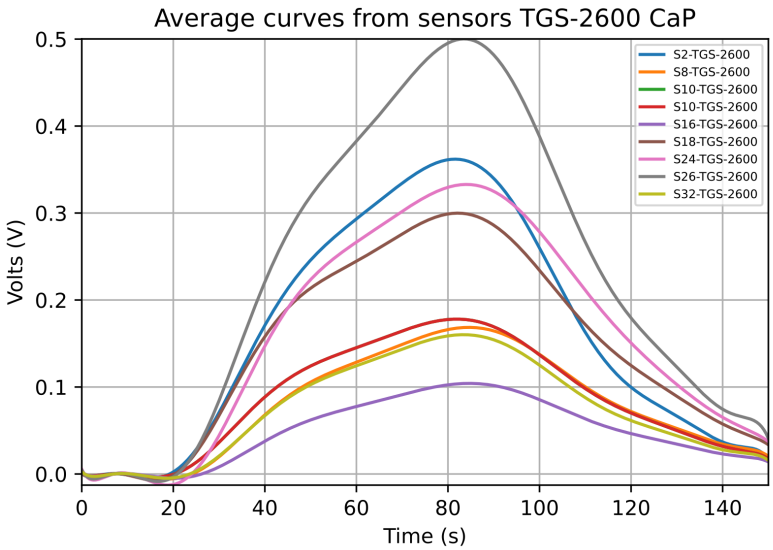


Figura 3.19: Resposta harmònica dels sensors a l'orina de vint pacients amb CaP.

d'ambdós patologies superposades. Sembla que existeix una expansió proporcional en amplitud que significa un evident augment en ppm als senyals de CaP respecte les d'HBP.

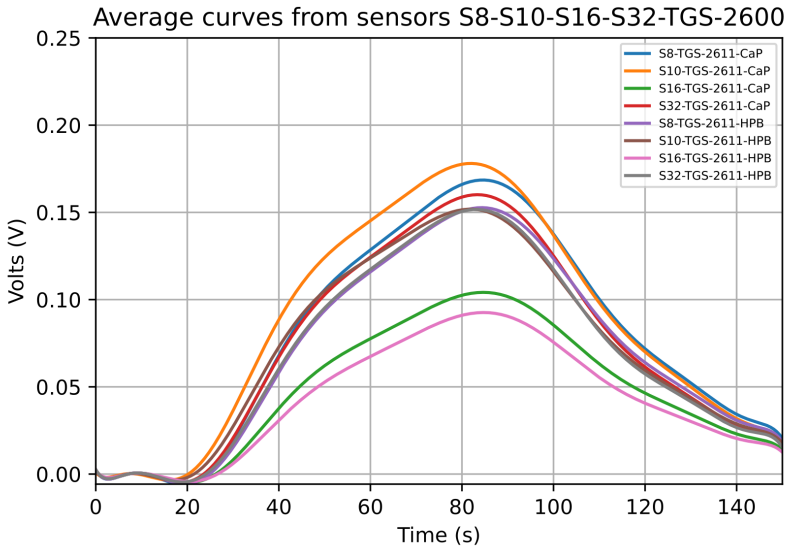


Figura 3.20: Superposició resposta harmònica dels sensors S8, S10, S16 i S32-TGS-2600

El sensor TGS-2620, segons el fabricant, està dissenyat per a detectar alcohol i vapors orgànics. A les figures 3.21 i 3.22 s'observa la resposta dels sensors segons les patologies analitzades amb el MOOSY32. Sembla que la resposta és molt semblant. Existeix un offset positiu als senyals de pacients de CaP respecte dels d'HBP que es mostra més evident quan el senyal és més gran.

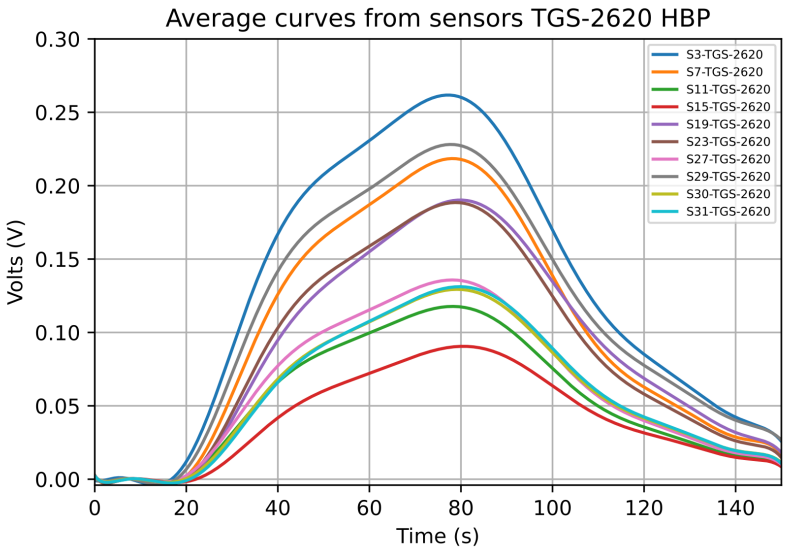


Figura 3.21: Resposta dels sensors TGS-2620 a l'orina de vint pacients amb HBP.

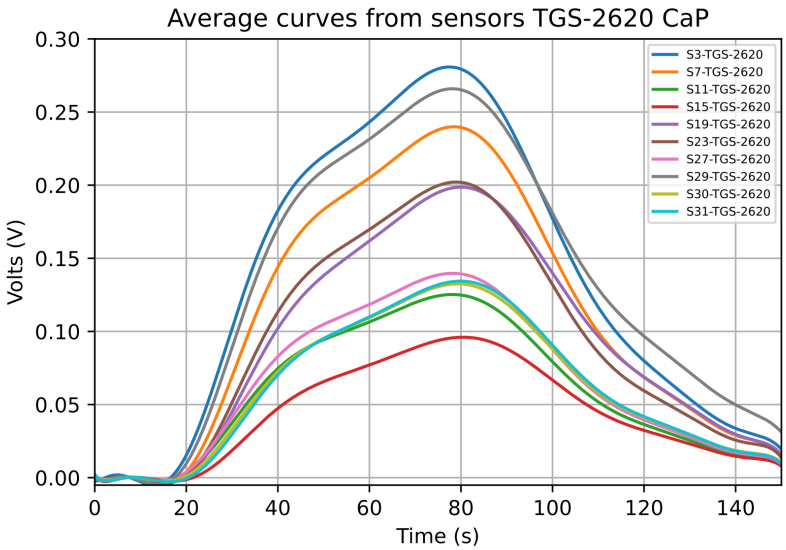


Figura 3.22: Resposta dels sensors TGS-2620 a l'orina de vint pacients amb CaP.

El sensor TGS-2610, segons el fabricant, està pensat per gassos liquats del petroli com el butà o el propà. La figura 3.23 mostra la superposició dels dos únics sensors TGS-2610 que incorpora el MOOSY32. S'evidencia el canvi en amplitud màxima per a pacients amb CaP respecte dels pacients amb HBP i la dependència de la posició del sensor al llarg del tub de l'e-Nose.

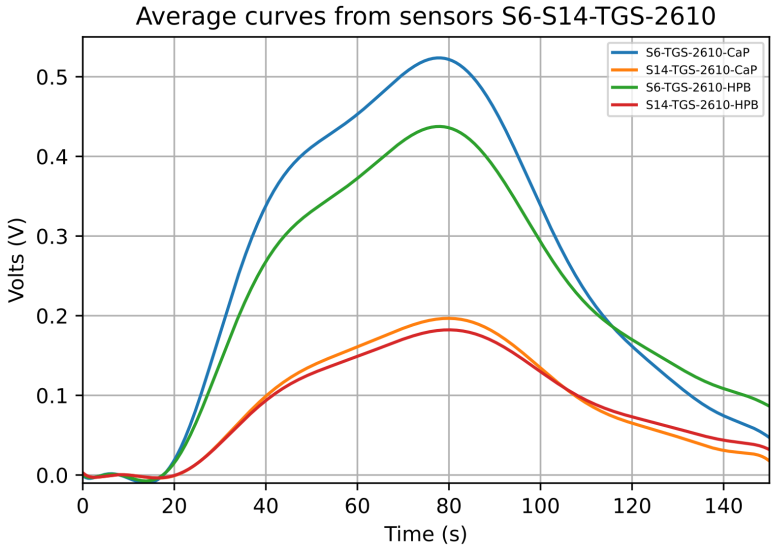


Figura 3.23: Superposició resposta harmònica dels sensors S6, S14-TGS-2610

3.4.3 Anàlisi estadístic

Amb les quatre centes corbes d'una patologia es genera un diagrama de caixa bigot per tar d'extraure més informació sobre la distribució de les dades de caràcter quantitatiu. Les figures 3.24 i 3.25 mostren la respresentació estadística de les corbes segons els sensors i el tipus de patologia.

S'observa una similitud ambdues representacions, però s'evidencia un augment de valors a la representació de mostres de CaP. Si tenim en compte sols els sensors del mateix tipus, sembla que les distribucions de les mitjanes segueixen un sinusoide. Amb l'ajuda de la funció **describe()** es generen estadístiques descriptives que resumeixen la tendència central, la dispersió i la forma de la distribució del conjunt de dades. A les taules 3.1 fins 3.16 es rela-

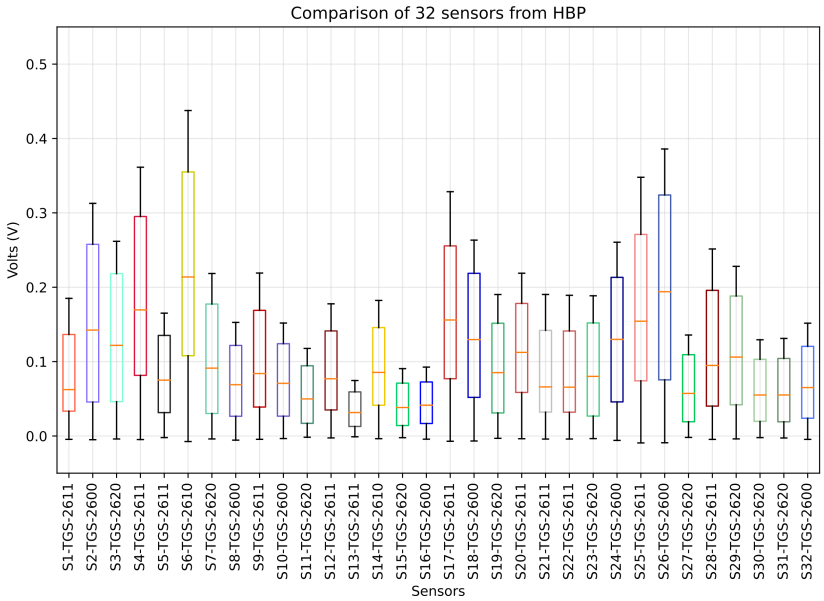


Figura 3.24: Resposta dels sensors a l'orina de vint pacients amb HBP.

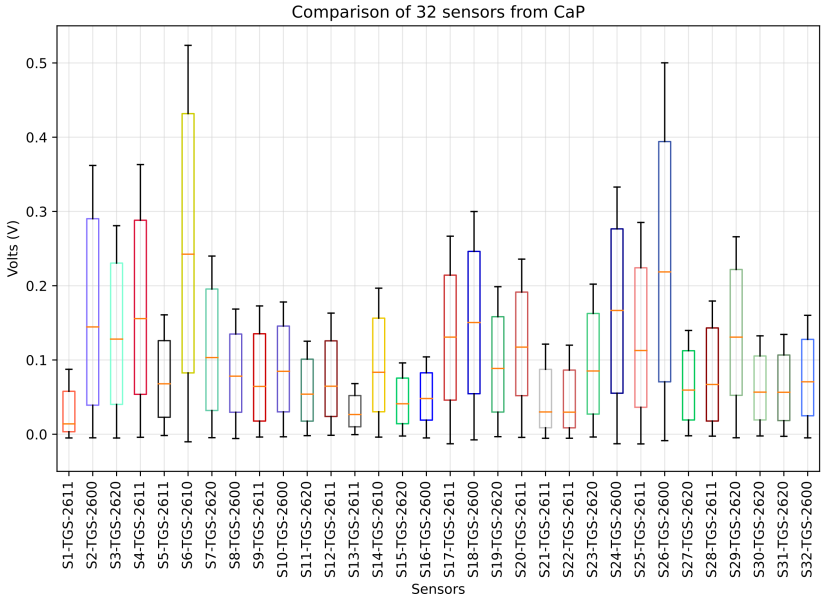


Figura 3.25: Resposta dels sensors a l'orina de vint pacients amb CaP.

cionen les dades amb els sensors i el tipus de pacient. Es presenten les dades de la mitjana harmònica de les quatre centes adquisicions de senyal per cada patologia, es mostren agrupades de quatre en quatre a les taules imparell els resultats de CaP i a les taules parell d'HBP. Comparant de quatre en quatre, el percentil 75% en mostres de CaP és superior al de les mostres d'HBP a excepció dels sensors TGS-2611c00 i TGS-2611e00 que és inferior en tots menys al sensor S21-TGS-2611e00. Aquest sensor presenta la resta de paràmetres inferiors en CaP respecte d'HPB a l'igual que els seus homòlegs però amb un valor superior per al percentil 75%.

Taula 3.1: Resum tendència estadística mostres de CaP S1 al S4

	S1-TGS-2611c00	S2-TGS-2600	S3-TGS-2620	S4-TGS-2611c00
count	15000.000000	15000.000000	15000.000000	15000.000000
mean	0.029998	0.163696	0.135167	0.171021
std	0.030841	0.128241	0.097947	0.123823
min	-0.005018	-0.004812	-0.005087	-0.004119
25%	0.003374	0.039146	0.040200	0.053705
50%	0.013963	0.144515	0.128121	0.155735
75%	0.057813	0.290246	0.230468	0.288171
max	0.087432	0.361955	0.280839	0.363166

Taula 3.2: Resum tendència estadística mostres d'HBP S1 al S4

	S1-TGS-2611c00	S2-TGS-2600	S3-TGS-2620	S4-TGS-2611c00
count	15000.000000	15000.000000	15000.000000	15000.000000
mean	0.080246	0.149798	0.129219	0.180383
std	0.061353	0.109996	0.090203	0.120639
min	-0.004546	-0.004991	-0.004038	-0.004808
25%	0.033397	0.045668	0.046133	0.081482
50%	0.062358	0.142370	0.121841	0.169568
75%	0.136482	0.257685	0.218266	0.295097
max	0.185061	0.312780	0.261753	0.361358

Taula 3.3: Resum tendència estadística mostres de CaP S5 al S8

	S5-TGS-2611e00	S6-TGS-2610	S7-TGS-2620	S8-TGS-2600
count	15000.000000	15000.000000	15000.000000	15000.000000
mean	0.074832	0.254674	0.112773	0.080236
std	0.054710	0.181968	0.084260	0.058482
min	-0.001715	-0.010172	-0.004633	-0.005760
25%	0.022830	0.082591	0.031966	0.029603
50%	0.067931	0.242466	0.103244	0.078202
75%	0.126058	0.431750	0.195560	0.134927
max	0.160778	0.523700	0.239945	0.168554

Taula 3.4: Resum tendència estadística mostres d'HBP S5 al S8

	S5-TGS-2611e00	S6-TGS-2610	S7-TGS-2620	S8-TGS-2600
count	15000.000000	15000.000000	15000.000000	15000.000000
mean	0.080777	0.222120	0.102002	0.071834
std	0.056173	0.143748	0.076370	0.053114
min	-0.002138	-0.007463	-0.003965	-0.005583
25%	0.031430	0.107942	0.030245	0.026528
50%	0.075086	0.213813	0.091210	0.068954
75%	0.135229	0.355068	0.177385	0.121746
max	0.165148	0.437592	0.218481	0.152720

Taula 3.5: Resum tendència estadística mostres de CaP S9 al S12

	S9-TGS-2611c00	S10-TGS-2600	S11-TGS-2620	S12-TGS-2611c00
count	15000.000000	15000.000000	15000.000000	15000.000000
mean	0.075856	0.086791	0.058956	0.074667
std	0.061105	0.061625	0.043441	0.054820
min	-0.003756	-0.003423	-0.001904	-0.001455
25%	0.017736	0.030149	0.017650	0.023925
50%	0.064398	0.084713	0.053964	0.064661
75%	0.135304	0.145667	0.101095	0.125780
max	0.172765	0.178066	0.125260	0.163100

Taula 3.6: Resum tendència estadística mostres d'HBP S9 al S12

	S9-TGS-2611c00	S10-TGS-2600	S11-TGS-2620	S12-TGS-2611c00
count	15000.000000	15000.000000	15000.000000	15000.000000
mean	0.099465	0.073559	0.055066	0.085106
std	0.073733	0.052618	0.040644	0.059482
min	-0.004465	-0.003445	-0.001687	-0.002596
25%	0.038895	0.026666	0.017024	0.035010
50%	0.083962	0.070783	0.049824	0.076958
75%	0.168925	0.124065	0.094426	0.141269
max	0.219069	0.151852	0.117724	0.177702

Taula 3.7: Resum tendència estadística mostres de CaP S13 al S16

	S13-TGS-2611e00	S14-TGS-2610	S15-TGS-2620	S16-TGS-2600
count	15000.000000	15000.000000	15000.000000	15000.000000
mean	0.031001	0.091731	0.044490	0.049097
std	0.022795	0.067621	0.033080	0.036269
min	-0.000515	-0.003882	-0.002393	-0.004986
25%	0.010036	0.030263	0.014174	0.019014
50%	0.026570	0.083416	0.041033	0.048101
75%	0.052094	0.156308	0.075627	0.082698
max	0.068191	0.196704	0.096055	0.104154

Taula 3.8: Resum tendència estadística mostres d'HBP S13 al S16

	S13-TGS-2611	S14-TGS-2610	S15-TGS-2620	S16-TGS-2600
count	15000.000000	15000.000000	15000.000000	15000.000000
mean	0.035163	0.089569	0.041797	0.042969
std	0.025275	0.060804	0.031091	0.032128
min	-0.001088	-0.003648	-0.002308	-0.004284
25%	0.012822	0.041354	0.014060	0.016797
50%	0.031530	0.085446	0.038289	0.041389
75%	0.059285	0.145728	0.071048	0.072628
max	0.074575	0.182253	0.090546	0.092600

Taula 3.9: Resum tendència estadística mostres de CaP S17 al S20

	S17-TGS-2611c00	S18-TGS-2600	S19-TGS-2620	S20-TGS-2611c00
count	15000.000000	15000.000000	15000.000000	15000.000000
mean	0.128067	0.149111	0.093768	0.118416
std	0.093147	0.103516	0.068281	0.078946
min	-0.012832	-0.007568	-0.003265	-0.004231
25%	0.045937	0.054569	0.029873	0.051952
50%	0.130777	0.150447	0.088586	0.117316
75%	0.214233	0.246214	0.158267	0.191414
max	0.266696	0.299889	0.198687	0.235807

Taula 3.10: Resum tendència estadística mostres d'HBP S17 al S20

	S17-TGS-2611c00	S18-TGS-2600	S19-TGS-2620	S20-TGS-2611c00
count	15000.000000	15000.000000	15000.000000	15000.000000
mean	0.158952	0.131015	0.090211	0.112611
std	0.108574	0.091325	0.065043	0.072111
min	-0.007092	-0.006736	-0.003153	-0.003681
25%	0.076993	0.051903	0.030986	0.058555
50%	0.155965	0.129614	0.085189	0.112404
75%	0.255592	0.218719	0.151596	0.178222
max	0.328455	0.263338	0.190228	0.218848

Taula 3.11: Resum tendència estadística mostres de CaP S21 al S24

	S21-TGS-2611e00	S22-TGS-2611c00	S23-TGS-2620	S24-TGS-2600
count	15000.000000	15000.000000	15000.000000	15000.000000
mean	0.047165	0.046639	0.094033	0.163526
std	0.042476	0.041993	0.070505	0.118211
min	-0.005455	-0.005403	-0.003733	-0.012805
25%	0.008727	0.008631	0.027138	0.055252
50%	0.030018	0.029727	0.085168	0.166656
75%	0.087376	0.086392	0.162614	0.276548
max	0.121338	0.119941	0.202127	0.332869

Taula 3.12: Resum tendència estadística mostres d'HBP S21 al S24

	S21-TGS-2611e00	S22-TGS-2611c00	S23-TGS-2620	S24-TGS-2600
count	15000.000000	15000.000000	15000.000000	15000.000000
mean	0.083679	0.083224	0.088139	0.128254
std	0.063154	0.062774	0.065602	0.090496
min	-0.004133	-0.004097	-0.003526	-0.005938
25%	0.032100	0.032001	0.026773	0.045841
50%	0.066004	0.065633	0.080138	0.129880
75%	0.141973	0.141189	0.152007	0.213307
max	0.190292	0.189153	0.188519	0.260513

Taula 3.13: Resum tendència estadística mostres de CaP S25 al S28

	S25-TGS-2611c00	S26-TGS-2600	S27-TGS-2620	S28-TGS-2611c00
count	15000.000000	15000.000000	15000.000000	15000.000000
mean	0.128026	0.232142	0.065400	0.079545
std	0.100021	0.172658	0.048505	0.063959
min	-0.013030	-0.008622	-0.002078	-0.002555
25%	0.036299	0.070607	0.019188	0.017764
50%	0.112720	0.218592	0.059446	0.067015
75%	0.224147	0.394119	0.112458	0.143142
max	0.285214	0.500172	0.139730	0.179380

Taula 3.14: Resum tendència estadística mostres d'HBP S25 al S28

	S25-TGS-2611c00	S26-TGS-2600	S27-TGS-2620	S28-TGS-2611c00
count	15000.000000	15000.000000	15000.000000	15000.000000
mean	0.165452	0.193725	0.063434	0.114003
std	0.115991	0.134829	0.047066	0.085238
min	-0.009344	-0.009098	-0.001934	-0.004586
25%	0.074171	0.075493	0.019136	0.040200
50%	0.154331	0.193987	0.057211	0.094848
75%	0.271010	0.324012	0.109293	0.195806
max	0.347843	0.385880	0.135758	0.251435

Taula 3.15: Resum tendència estadística mostres de CaP S29 al S32

	S29-TGS-2620	S30-TGS-2620	S31-TGS-2620	S32-TGS-2600
count	15000.000000	15000.000000	15000.000000	15000.000000
mean	0.134160	0.061892	0.062119	0.074837
std	0.090831	0.045635	0.046606	0.055783
min	-0.004756	-0.002321	-0.002815	-0.004867
25%	0.052364	0.019241	0.018387	0.024866
50%	0.130765	0.056702	0.056502	0.070636
75%	0.221857	0.105382	0.106688	0.127763
max	0.265936	0.132506	0.134407	0.160150

Taula 3.16: Resum tendència estadística mostres d'HBP S29 al S32

	S29-TGS-2620	S30-TGS-2620	S31-TGS-2620	S32-TGS-2600
count	15000.000000	15000.000000	15000.000000	15000.000000
mean	0.112391	0.060488	0.060800	0.070200
std	0.078007	0.044477	0.045344	0.052811
min	-0.003929	-0.002204	-0.002691	-0.004577
25%	0.041942	0.019652	0.019106	0.023866
50%	0.106112	0.055095	0.055139	0.065098
75%	0.188191	0.103081	0.104284	0.120513
max	0.228096	0.129369	0.131174	0.151672

3.4.4 Hipòtesis

Davant la experimentació i observació de les corbes i les dades estadístiques, el següent pas és la formulació d'una hipòtesi per a seguir endavant amb el mètode científic. Així doncs es procedeix amb la idea que existeix una relació entre la quantitat de compostos volàtils i el tipus de pacient.

La diferència d'amplituds entre els sensors iguals amb posicions diferents es-devé pel disseny de l'e-Nose. Aquest permet que el gas fluïsca amb turbulències que apropen o allunen els compostos als sensors. A la figura 3.26 es mostra una representació d'ubicació dels sensors al MOOSY32 Un règim turbulent explica la presència de més senyal a determinats sensors ubicats al llarg de l'e-Nose.

Com que el temps d'estimulació dels sensors amb orina de CaP i d'HBP és el mateix, i existeix una diferència quantitativa entre elles, les corbes necessàriament tindran una pendent diferent i per tant caldria estudiar els paràmetres característics.

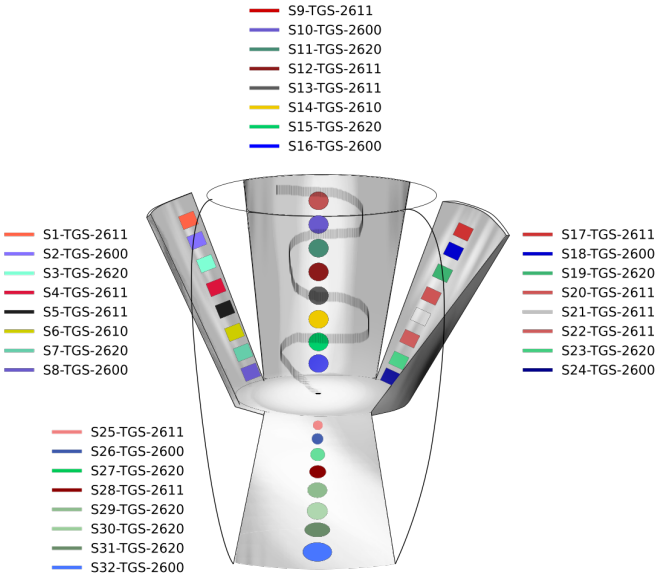


Figura 3.26: Representació d'un possible règim turbulent al MOOSY32.

3.4.5 Paràmetres de les corbes

L'aspecte quantitatiu de la hipòtesi es veu perjudicat per no tenir un règim laminar al pas del gas pel tub on estan els sensors. Això implica no poder traure una mitjana entre els sensors del mateix tipus sense abans normalitzar les corbes i perdre informació quantitativa. No obstant, si tractem cada sensor individualment, es poden extraure els paràmetres per a cadascun i tractar de fer una classificació entre orines de les patologies assajades.

Punts amb informació

Es defineixen quatre punts a l'eix del temps en la representació gràfica corresponents a $A = 40s$, $D = 60s$, $E = 100s$ i $C = 120s$. D'aquesta forma s'estableixen quatre valors de tensió capturats als mateixos punts corresponents a V_A, V_D, V_E i V_C. El punt màxim B dependrà de la corba i el seu valor s'anomena V_B. A la figura 3.27 es pot observar una representació dels punts esmentats.

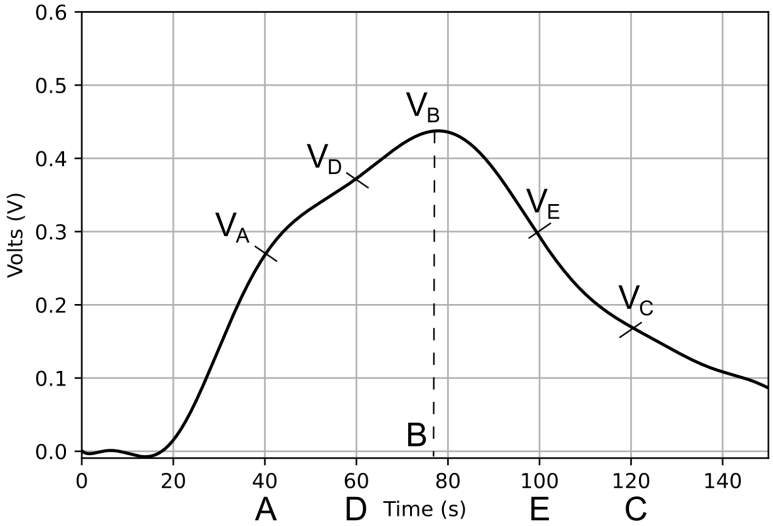


Figura 3.27: Representació de punts d'informació per a extraure paràmetres.

Per a traure les pendents s'utilitzen els valors de tensió V_A,V_B, V_C, V_D i V_E.

$$slopeAB = \frac{V_B - V_A}{t_B - t_A} \tag{3.2}$$

$$slopeBC = \frac{V_C - V_B}{t_C - t_B} \tag{3.3}$$

$$slopeAD = \frac{V_D - V_A}{t_D - t_A} \tag{3.4}$$

$$slopeDE = \frac{V_E - V_D}{t_E - t_D} \tag{3.5}$$

$$slopeEC = \frac{V_C - V_E}{t_C - t_E} \tag{3.6}$$

Extracció de COVs

Per a extraure els paràmetres referents a la quantitat de ppm d'una substància, amb la representació o corba obtinguda, s'utilitza el procediment següent:

- Es digitalitza una corba que s'obté del datasheet [46] del sensor on el fabricant ha caracteritzat la seua sensibilitat. Amb l'ajuda d'una App, WebPlotDIgitizer, es captura la corba de sensibilitat proporcionada pel fabricant. A la taula 3.17 es recull el resultat.
- Amb l'ajuda d'un full de càlcul o una App resulta trivial obtenir l'equació de la corba vista en 3.7. En aquest cas s'ha utilitzat *Power Regresion* on s'obté A i α. El paràmetre R_S és la resistència del sensor davant els gassos mostrada a la corba de sensibilitat del datasheet en relació d'una resistència R_o a una concentració i gas concret. El paràmetre C és la concentració en ppm del gas mesurat.

$$R_s = A[C]^{\alpha} \tag{3.7}$$

Per a obtenir R_S cal utilitzar l'equació 3.8, on V és el valor de tensió capturat i R_L la resistència acoblada al sensor com un divisor de tensió i que recomana el fabricant per tal de fer la mesura de tensió.

$$Rs = \left(\left(\frac{Vcc}{V}\right) - 1\right) \cdot R_L \tag{3.8}$$

Taula 3.17: Dades extretes amb WebPlotDIgitizer per al sensor TGS-2611e00 per a Metà.

Gas ppm	$\frac{R_s}{R_o}$
206,17352775468063;	3,3630449592390206
255,06704088625;	2,893251177958949
294,78197498030005;	2,6652783666455435
334,92979935217596;	2,455268600882442
367,80635068382406;	2,3245379118404386
436,070167913008;	2,1122848067175832
482,96834748605136;	1,9726475841371418
558,1684047857894;	1,8172134417742982
607,7623970018046;	1,6740266834887465
726,7212128316509;	1,5211716322464628
854,2955282538505;	1,382273746036691
978,9440155682678;	1,2560585988318869
1084,2268246487438;	1,205558026289007
1190,6540190180126;	1,1105664629749543
1307,5280566527426;	1,0230597298425097
1352,8151160335217;	0,9954508046372532
1473,014507039935;	0,9424480620652714
1702,3686167022638;	0,8563933126153084
1853,6262930623589;	0,8107946812440098
2035,577376816117;	0,7676239473729689
2179,0263243406544;	0,736761176419439

Obtingudes $A = 29.37996766$ i $\alpha = -0.3948275158$, donat que el fabricant recomana $R_L = 2.2k$ i que el divisor està alimentat amb $V_{cc} = 5V$ es poden extraure els valors de ppm per al Metà calculant R_s i aplicant l'equació 3.9.

$$C = \left(\log_{10} \frac{R_s}{A}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \tag{3.9}$$

A les taules 3.18 fins la 3.23 es relacionen els paràmetres A i α per a cada compost volàtil agrupades per tipus de sensor. Cal remarcar que el sensor TGS-2610 té dos tipus però sols s'ha emprat el TGS-2610c00 al MOOSY32, és per això que quan es refereix a ell s'abrevia amb TGS-2610.

Taula 3.18: Dades A i α per al sensor TGS-2611e00.

Gas	A	α
Metà	29.37996766	-0.3948275158
Iso-Butà	8.715280172	-0.009612300255
Hidrògen	26.35859083	-0.3145073661
Etanol	8.592741295	0.0
Aire	8.584894051	0.0

Taula 3.19: Dades A i α per al sensor TGS-2611c00.

Gas	A	α
Metà	38.98893094	-0.4294309742
Iso-Butà	48.40386618	-0.3910578991
Hidrògen	41.48221372	-0.3609195915
Etanol	55.17922683	-0.3750828308
Aire	8.584894051	0.0

Taula 3.20: Dades A i α per al sensor TGS-2610c00.

Gas	A	α
Metà	62.22614045	-0.5290784226
Iso-Butà	76.61767488	-0.58687488
Hidrogen	83.58818144	-0.5147845058
Propà	79.41376581	-0.52781418
Etanol	127.3119505	-0.5258350324
Aire	10.54330923	-0.001766784452

Taula 3.21: Dades A i α per al sensor TGS-2620.

Gas	A	α
Metà	79.49594193	-0.4602952512
Iso-Butà	26.88377546	-0.5979539273
Hidrogen	17.6124846	-0.5785034943
CO	47.99739024	-0.6086910204
Etanol	35.89744669	-0.7083796675
Aire	17.58233645	0.0

Taula 3.22: Dades A i α per al sensor TGS-2610d00.

Gas	A	α
Metà	38.77327176	-0.4407400536
Iso-Butà	44.12192081	-0.5098198499
Hidrogen	23.41518007	-0.363284639
Propà	102283.7047	-1.580979243
Etanol	15.84546421	-0.07331304306
Aire	10.50662252	-0.00171865989

Taula 3.23: Dades A i α per al sensor TGS-2600.

Gas	A	α
Metà	0.1065088312	-0.1105322308
Iso-Butà	0.7124672511	-0.3769844287
Hidrogen	0.6594789557	-0.5785034943
CO	1.132771241	-0.2777863147
Etanol	0.6530162205	-0.3912823901
Aire	0.9953314344	0.002202896384

Dades de contorn

El fabricant dels sensors, als datasheets [46 - 48], aporta també una gràfica per a compensar la relació entre $\frac{R_s}{R_o}$ i la temperatura i humitat. El MOOSY32 no implementa captura de temperatura i humitat a l'adquisició de les dades. S'estableix un protocol de funcionament ininterromput. Amb l'ajuda d'un sistema d'alimentació ininterrompuda es deixa funcionant vint-i-quatre hores al dia. Donat que els sensors incorporen un calentador i l'estructura està fabricada amb acer, que el MOOSY32 està dins d'una campana extractora amb filtre de carboni i tot el sistema aïllat a una habitació, existeix una conducció tèrmica que manté constant la temperatura.

Es controla la temperatura del vial a un termo amb aigua fins que aquesta aplega a 37^oC. Els compostos volàtils són excitats i conduits mitjançant la circulació d'aire fins que apleguen al tub on estan els sensors. Açò condiciona que l'aire que circula tinga una humitat elevada que arriba al 96%. Es purguen les canalitzacions, quan es detecta condensació.

Malgrat que l'entorn està controlat, no evita que els sensors tinguen una resposta lleugerament diferent en funció de la temperatura i humitat. Però aquesta es pot considerar constant en cada adquisició d'on s'obté una representació.

Alguns sensors, com el cas del TGS2610 no disposen de representació de dependència entre temperatura i humitat. El fabricant proporciona una corba al seu datasheet [49] que aporta un valor correctiu a la relació entre $\frac{R_s}{R_o}$, que no és més que una constant. En tensió això es tradueix en un valor d'offset que s'ha filtrat a les corbes. Com que aquest valor no s'ha tingut en compte i no s'ha compensat, la quantitat obtinguda no és un valor absolut vàlid. Es pren la mesura com un valor relatiu probable de la quantitat en ppm de substància.

3.4.6 Classificació, Algoritmes, python i weka

La classificació o distinció entre dos elements d'un grup amb igual nombre d'ambdós té un 50% d'encert "per se". A l'equació 3.10 o probabilitat de Laplace, es verifica si es disposa de la meitat de casos possibles que casos probables i sempre que es tinga un nombre elevat i igual d'elements dels dos tipus.

$$Probabilitat_{encert}(\%) = \frac{Casos_{Possibles}}{Casos_{probables}} \cdot 100 \tag{3.10}$$

En el cas concret de la classificació entre representacions amb CaP i HBP es coneix l'espai mostral particionat, siga anomenat Ω, amb una col·lecció de dos esdeveniments mútuament excloents, o és CaP o és HBP.

HBP	CaP

Cada esdeveniment Ω_i té una probabilitat d'ocurrència, CaP$\Longrightarrow P(_{CaP})$ i HBP$\Longrightarrow P(_{HBP})$.

La probabilitat que una representació de corbes extretes amb l'e-Nose provinents d'un pacient siga classificada com a CaP i realment ho siga és la relació entre la probabilitat d'encert i la probabilitat d'encert més la probabilitat de ser i no encertar $\Longrightarrow P(_{CaP}/_{esCaP})$. Està lligada, per tant, al "recall". Aquesta és l'habilitat per a trobar les mostres positives. Si, com s'ha dit abans, partim d'un nombre equitatiu de mostres per a cada esdeveniment i s'ha aplicat un classificador, s'obté, la situació representada a la figura 3.28 per un diagrama d'arbre Bayesià.

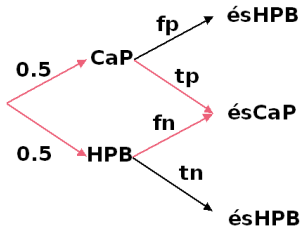


Figura 3.28: Arbre probabilístic descriptiu del problema.

Per tal de calcular el "recall"o exhaustivitat, habilitat per a trobar les mostres positives, s'utilitza l'equació 3.11, on t_p són els positius de CaP correctament classificats i f_n els falsos negatius.

$$Recall = \frac{t_p}{t_p + f_n} \tag{3.11}$$

Per tal de calcular la precisió o habilitat de no equivocar-se amb les mostres negatives, s'utilitza l'equació 3.12, on t_p són els positius de CaP correctament classificats i f_p els falsos positius.

$$Precision = \frac{t_p}{t_p + f_p} \tag{3.12}$$

Altre paràmetre a tenir en compte és la mitja harmònica ponderada entre el "recall" i la precisió anomenada $F1$. No obstant, en aquest problema resulta més adequat valorar més la exhaustivitat que no la precisió. Si d'aquesta classificació depenguera un diagnòstic, seria crític diagnosticar HPB a un fals negatiu i ser pacient de CaP. És menys preocupant diagnosticar CaP a un fals positiu ja que a una posterior prova invasiva podria detectar-se. Per al càlcul s'utilitza una variant, en concret, $F - beta$. Els valors estan compresos entre

zero la pitjor i 1 la màxima relació.

Weka

El software lliure Weka [50] presenta un entorn amigable per a resoldre problemes de classificació com el present. Està provist d'una llibreria d'algorismes classificadors i permet visualitzar els resultats d'una forma ràpida i ordenada. Amb l'aplicació que incorpora Weka, l'Explorer es carrega un arxiu del tipus .arff amb una sèrie de marques i les dades a analitzar. Resulta important entendre cóm estan distribuïdes les dades per a poder aplicar mètodes de classificació a Weka.

Algorisme 3.6: Contingut del fitxer dades.arff

```
@relation CaP_HBP
@attribute Sensor{S10_TGS2600 ...}
@attribute el75 real
@attribute std real
...
@attribute class{CaP,HBP}
@data
"S1_TGS2611_c00",0.5989590739476887,...,"CaP"
...
"S32_TGS2600",1.0767605888342624,...,"HBP"
```

L'etiqueta @relation precedeix al nom que utilitza Weka per a distingir les dades a analitzar. És el títol. L'etiqueta @attribute és per als atributs o noms de columnes. Si és una llista, cal situar-la entre claus o si és una dada, cal dir de quin tipus. Ací rep especial atenció l'atribut de la classe. L'etiqueta @data marca l'inici de les dades que serà per files i separats els atributs per comes. Això vol dir que cada instància a classificar està ubicada en una fila.

En obrir el menú Explorer es té accés a carregar el fitxer. Una vegada carregat és possible eliminar algun paràmetre, Weka els nombra com "Attributes". A la figura 3.29 es pot observar un arxiu carregat amb 25600 instàncies que corresponen als 40 pacients per 4 vials per 5 adquisicions per 32 paràmetres (Sensor, el75, std, moda, media, mediana, iqr, cv, V40, V60, Vmax, V100,

V120, difBA, difBC, difBD, difBE, slopeAB, slopeBC, slopeAD, slopeDE, slopeEC, slopeBE, slopeDB, asimetria, Met, IsoB, Prop, Hidro, Etan, CO i Air).

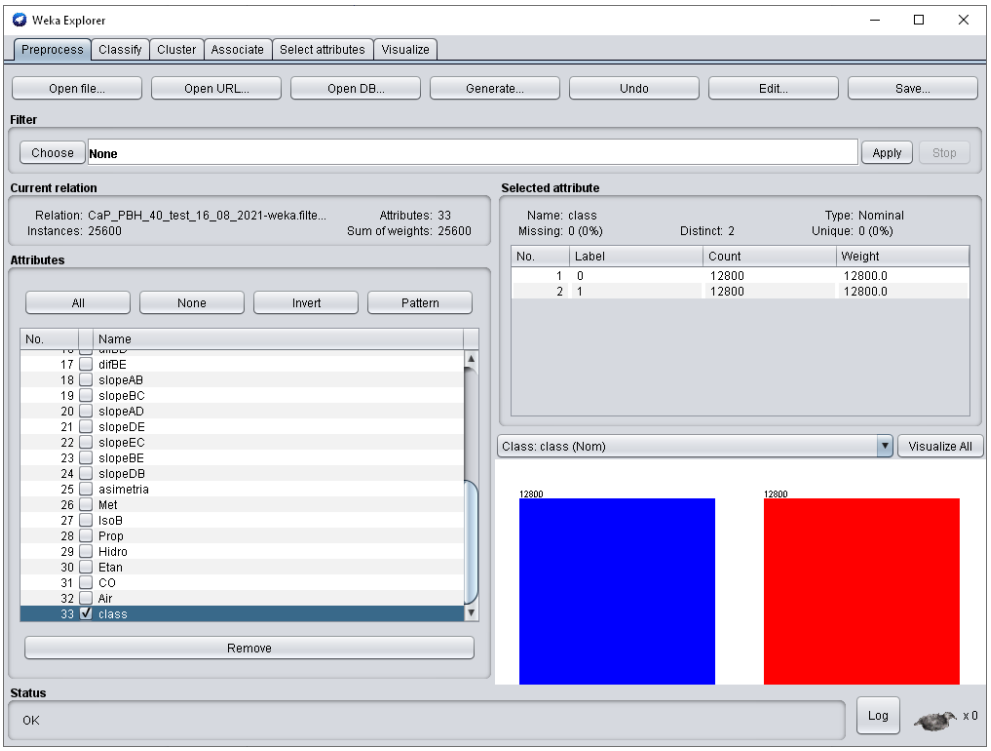


Figura 3.29: Arxiu carregat al Weka Explorer.

Lógicament malgrat que Weka ho interprete així no es pot considerar una fila de l'arxiu arff com a una instància. El que farà el programa és utilitzar una sèrie de dades de l'arxiu per a entrenar un algorisme. Això és el que es coneix per aprenentatge màquina. Reservarà altres dades per tal de fer el test i tornar els resultats. A la figura 3.30 s'observa l'eixida que proporciona Weka després de seleccionar un algorisme qualsevol i fer una classificació.

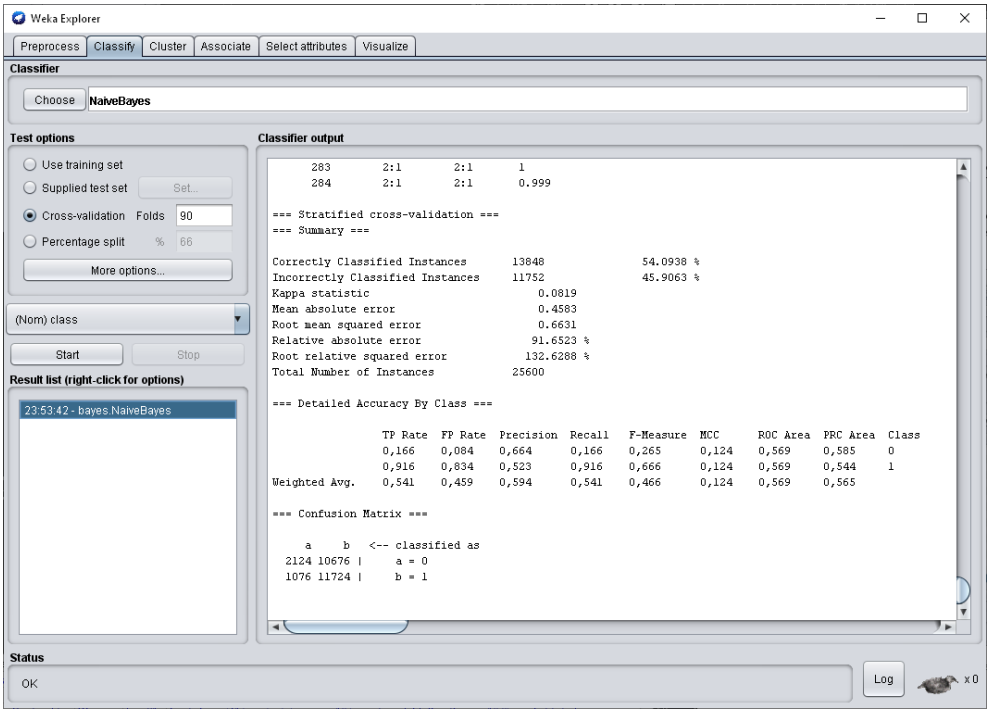


Figura 3.30: Classificació dades amb NaiveBayes Cross-validation Folds 90.

Les opcions de test són:

- "Use trainning set": Aquesta opció no es pot utilitzar, ja que entrena amb les mateixes mostres que fa el test. Resulta útil per a trobar els millors paràmetres.
- "Supplied test set": Aquesta opció resulta molt adequada. Es reserva a un arxiu arff diferent les instàncies a classificar.
- "Cross-validation Folds": Aquesta opció utilitza una dada"Folds"per a dividir les dades totals en parts. Una part s'utilitza per a test i la resta per a entrenar l'algorisme i així de forma recursiva es possible fer el test a les parts i entrenar amb la resta.
- "Percentage split": Es defineix un percentatge amb el qual entrenar i amb la resta es fa el test.

Una vegada seleccionat el test és possible obrir un panell amb més opcions. Cal destacar que per a cada pacient l'arxiu de l'exemple anteriors tenen 640 instàncies del mateix pacient. Si es vol reservar un pacient de CaP i altre d'HBP per al test, cal escollir adequadament o és possible que s'entrene amb dades del mateix pacient que s'utilitzen per al test. A la figura 3.31 es pot observar la selecció de diverses opcions com "Preserve order for % Split" per tal d'agafar instàncies contigües.

Algorisme ZeroR

Aquest algorisme apareix per defecte quan s'inicia l'Explorer de Weka. S'utilitza per a centrar-se sols amb el "Target" i olvidar-se dels paràmetres predictors. Al present problema de classificació s'ha forçat l'arxiu arff amb un nombre igual i parell de classes, per tant, el resultat d'aplicar aquest serà d'un "Accurancy" del 50%. Es tracta d'un primer pas a per conéixer l'"Accurancy" a superar pel classificador escollit. Les proves amb totes les repeticions ha classificat el paràmetre del Iso-butà com el millor i les proves amb la mitjana harmònica el SlopeBC.

Algorisme OneR

Es tracta d'una única regla. Per cada paràmetre avalua la freqüència relativa de la classe en qüestió troba la classe de major freqüència i crea una regla per cada paràmetre. Després de calcular l'error de les regles de cada predictor escull el de menor error.

Algorisme PART

Aquest és un algorisme classificador que construeix regles mitjançant un arbre de decisió.

Es prepara un arxiu d'entrenament de 38 dels 40 pacients format amb instàncies dels 4 vials i les 5 repeticions. Això fa un total de 24320 instàncies per a l'entrenament de l'algorisme. Amb el mateix procediment es prepara un arxiu de test amb 2 pacients que conté 1280 instàncies. Utilitzant l'algorisme de classificació PART i l'opció "Supplied Test set" es carrega aquest últim i s'obtenen els següents resultats:

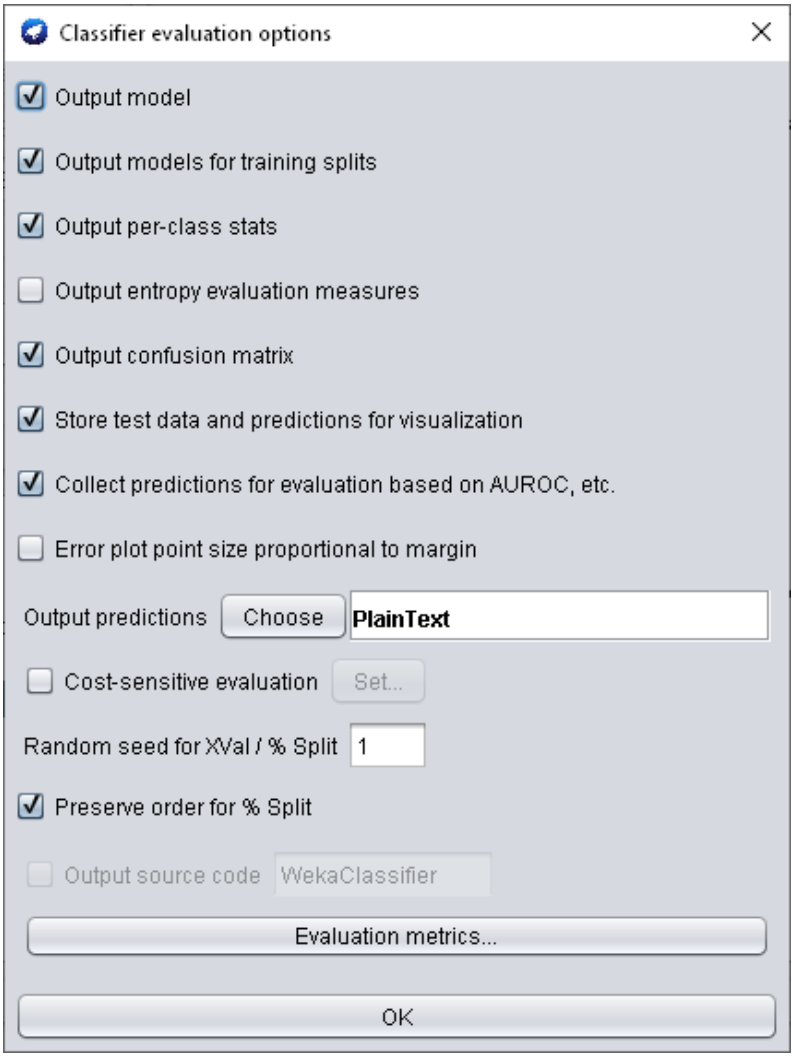


Figura 3.31: Opcions per al test.

```
=== Evaluation on test set ===

Time taken to test model on supplied test set: 0.89 seconds

=== Summary ===

Correctly Classified Instances         691               53.9844 %
Incorrectly Classified Instances       589               46.0156 %
Kappa statistic                          0.0797
Mean absolute error                      0.4804
Root mean squared error                  0.5344
Relative absolute error                 96.0706 %
Root relative squared error            106.8848 %
Total Number of Instances             1280

=== Detailed Accuracy By Class ===

                 TP Rate  FP Rate  Precision  Recall   F-Measure Class
                 0,669    0,589    0,532      0,669    0,592     CaP
                 0,411    0,331    0,554      0,411    0,472     HBP
Weighted Avg.    0,540    0,460    0,543      0,540    0,532

=== Confusion Matrix ===

   a   b   <-- classified as
 428 212 |   a = CaP
 377 263 |   b = HBP
```

En aquest cas es prepara un arxiu arff de 38 pacients amb la mitjana harmònica dels 4 vials i les 5 repeticions. Com que les corbes són 32, això fa un total de 1216 instàncies. Amb el mateix procediment es preparen les 64 instàncies dels dos pacients restants. A la figura 3.32 es resumeix amb una infografia.

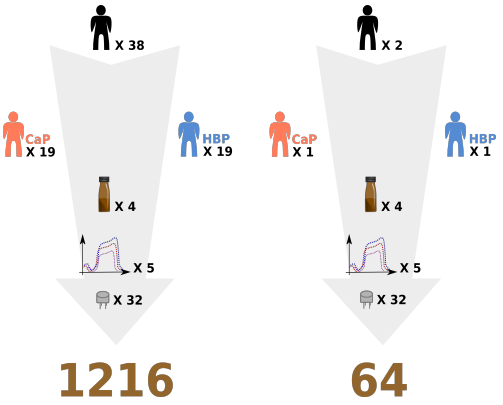


Figura 3.32: Infografia preparació de test.

Les mostres preparades ss carreguen a Weka, per tal de fer la classificació, on s'obtenen els resultats següents:

```
=== Evaluation on test set ===

Time taken to test model on supplied test set: 0.05 seconds

=== Summary ===

Correctly Classified Instances          43               67.1875 %
Incorrectly Classified Instances        21               32.8125 %
Kappa statistic                          0.3438
Mean absolute error                      0.3695
Root mean squared error                  0.5228
Relative absolute error                 73.8951 %
Root relative squared error            104.5608 %
Total Number of Instances               64

=== Detailed Accuracy By Class ===

                 TP Rate  FP Rate  Precision  Recall   F-Measure  Class
                 0,719    0,375    0,657      0,719    0,687      CaP
                 0,625    0,281    0,690      0,625    0,656      HBP
Weighted Avg.    0,672    0,328    0,673      0,672    0,671

=== Confusion Matrix ===
  a  b   <-- classified as
 23  9 |   a = CaP
 12 20 |   b = HBP
```

El resultat de les instàncies amb tots els vials no millora significativament l'algorisme ZeroR i, a més, implica un major temps de còmput. No obstant, per al test s'han apartat les instàncies dels pacientes PSA388 i HBP128. Cal pensar que per cada pacient existeixen 640 instàncies.

Les instàncies amb la mitjana harmònica de totes les repeticions i vials amb el mateix algorisme oferix aproximadament un 17% d'encert. Es podria pensar que no és significatiu, però cal recordar que les instàncies del test són 6432 de cada pacient. Així doncs, el fet de tenir un $T_p = 71.9\%$ en CaP significa que 23 de les 32 corbes del pacient de CaP han estat classificades com a CaP. De la mateixa manera el fet de tenir un $T_n = 62.5\%$ significa que 20 de les 32 corbes del pacient HBP han estat classificades com a HBP.

Aquestos resultats són per a les instàncies generades amb els paràmetres extrets de les corbes per als pacients PSA136 i HBP138. A les figures 3.33 i 3.34 es poden observar les seves respectives representacions.

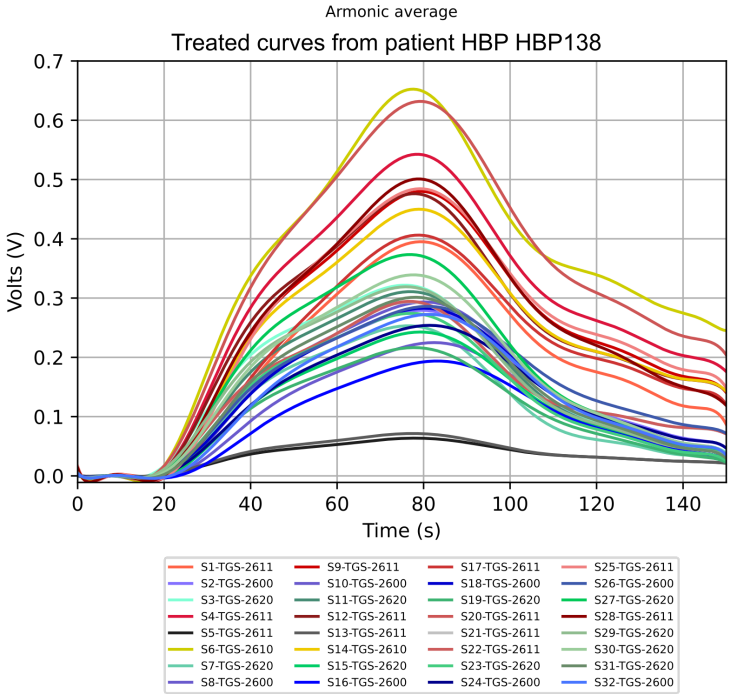


Figura 3.33: Resposta a l'orina de pacient amb HBP.

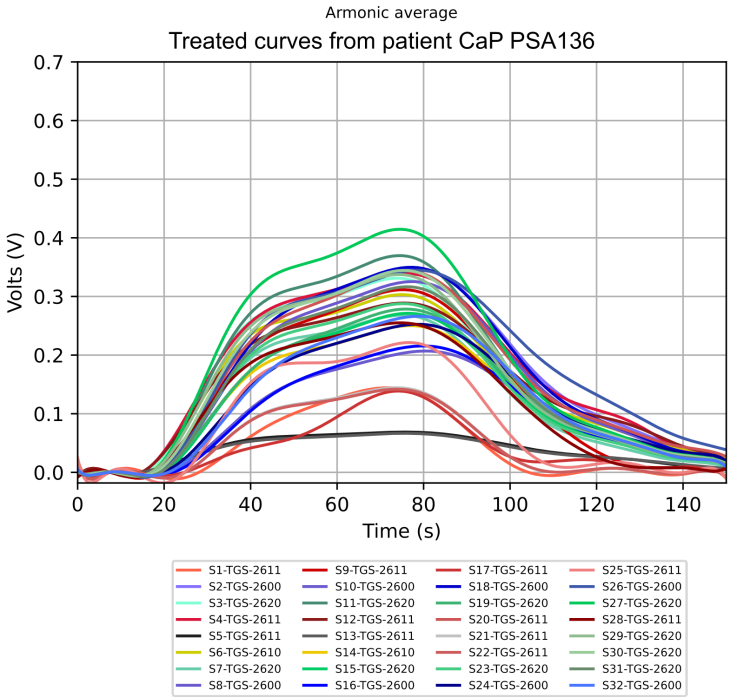


Figura 3.34: Resposta a l'orina de pacient amb CaP.

3.4.7 Aprenentatge profund

L'aprenentatge profund o *Deep Learning* consiteix en dur endavant el procés d'aprenentatge màquina o *Machine Learning* mitjançant una aproximació al mode de funcionament del sistema nerviós de l'ésser humà. L'aprenentatge profund o automàtic dista de la programació regular, on les entrades passen per una lògica programada per a obtenir un resultat. En aquest cas es tenen les entrades i els resultats, però no es sap com convertir eixes entrades en eixos resultats. Es busca crear un model o xarxa neuronal capaç d'aprendre per si sol l'algorisme necessari.

En xarxes neuronals es parla de neurones com a unitat i aquestes s'agrupen en capes. Cada capa aporta més d'una dimensió al conjunt o model. Si augmentem les capes i, per tant, les dimensions l'algorisme o model, pot ser capaç de resoldre problemes més complexos. Cada capa es connecta a l'altra capa mitjançant connexions entre les neurones d'una capa a altra. Aquestes connexions tenen un pes assignat, un valor numeric que representa la importància de la connexió davant a altres connexions. Menys la capa d'entrada cada neurona té un biaix que és la mesura de la descompensació d'un conjunt d'errors. A més, per a cada capa existeix una funció d'activació de les neurones de la capa. Cada neurona obté una suma ponderada dels pesos que li apleguen, és a dir, té en compte el camí d'on ve, li suma el biaix i passa el resultat per una funció d'activació. A 3.13 es pot observar l'equivalent matemàtic on w_i representa el pes, x_i la entrada i y la funció d'activació. Si s'aplica a la capa una funció d'activació, l'eixida pot adaptar-se millor als diferents problemes a resoldre.

$$y = f(w_1x_1 + w_2x_1) \tag{3.13}$$

Les funcions d'activació necessàriament han de ser derivables. Per a què una xarxa neuronal resolga una entrada, primer cal entrenar-la. Aquest procés passa per anar endavant capa per capa aplicar pesos i biaix i tornar cap enrere(*backpropagation*) per a calcular l'error i ajustar els pesos i biaixos. Per ajustar-los es calcula la derivada de la funció de cost de cada un dels pesos i biaixos de la xarxa capa per capa en mode *backpropagation*. Es torna a aplicar pesos i biaixos novament fins a optimitzar el resultat. Cada procés d'entrenament s'anomena "'*època*".

Des de la demostració de la seva velocitat a l'aprenentatge comparat amb altres [51] i l'ús de la mateixa a la revolucionària AlexNet [52], la funció d'activació Unitat lineal rectificada *Rectified Linear Unit* ReLU s'ha convertit en la més utilitzada per al reconeixement d'imatges. A 3.14 es pot observar que la funció ReLU es tracta d'una funció que torna el valor d'entrada, si és major a zero o zero en cas contrari. Per tant, la derivada és molt simple, zero per a tots els negatius i uno per a tots els positius. Això fa que el cost computacional siga lleu.

$$\phi(x) = max(x, 0) \tag{3.14}$$

Una generalització de la funció logística o corba en forma d'essa que s'utilitza per a comprimir un nombre K de dades reals ($\vec{x}$) en altres normalitzades ($\sigma(\vec{x})$) és la funció anomenada SoftMax. L'eixida d'aquesta funció pot ser utilitzada per a representar la distribució de probabilitat de les diferents eixides. Com que sols es tenen dos eixides, $K = 2$, la funció de 3.15 tindrà com a resultat la probabilitat de ser d'una classe i la probabilitat de ser de l'altra.

$$\begin{gathered} \sigma : \mathbb{R}^K \rightarrow [0,1]^K \\ \sigma(\vec{x})_j = \frac{e^{\vec{x}_j}}{\sum_{m=1}^{K} e^{\vec{x}_m}} \text{ per a } j = 1, .., K \end{gathered} \tag{3.15}$$

Xarxa neuronal

Per tal de crear una xarxa neuronal s'utilitza la llibreria de Python Tensorflow i Keras [53]. Es crea un model com el de la figura 3.35.

El model conté una capa d'entrada de trenta dos neurones, una per cada paràmetre que conté cada fila de les dades. Tot seguit s'utilitza una capa per tal de normalitzar les dades. A la capa següent es dupliquen les neurones amb una capa oculta d'activació ReLU. Dos capes més ReLU passen de seixanta-quatre a setze neurones i per últim, una capa amb activació SoftMax amb dos neurones ofereix la probabilitat d'una classe o altra.

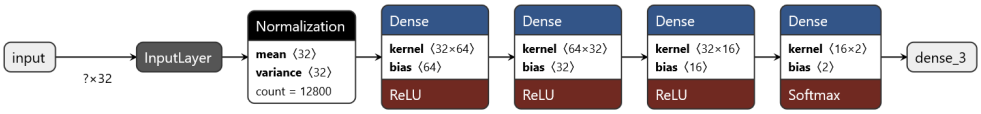


Figura 3.35: Respresentació del model keras de capes [54].

S'entrena la xarxa amb mostres de vint pacients, deu amb càncer i deu amb hiperplàsia. La resta es deixa per al test. Cal recordar que per cada pacient es tenen un total de 640 *inputs* o files que s'introdueixen al model, el que fan 12800 mostres per entrenar i 12800 per al test. Es determina un tamany del lot de 32 per tal que estudie l'error de mostres del mateix fitxer i s'estableixen 1280 époques. A la figura 3.36 es pot observar que la magnitud de pèrdua comença a estabilitzar-se en 1200 époques.

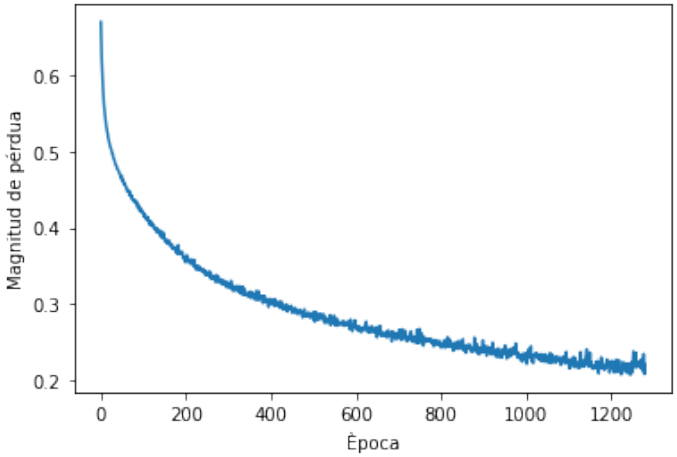


Figura 3.36: Relació de les pèrdues amb la quantitat d'époques al procés d'entrenament.

Amb la xarxa neuronal entrenada s'utilitzen les mostres reservades per al test i s'obté la matriu de confusió de la figura 3.37 i els resultats de la figura 3.38

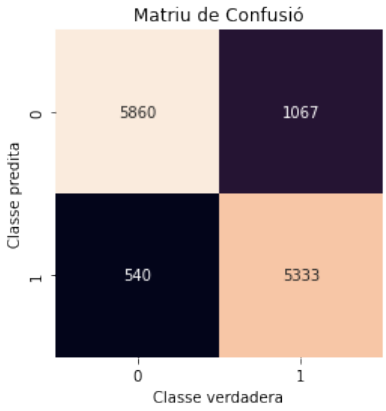


Figura 3.37: Resultats test matriu de confusió.

Si es té en compte que d'un pacient s'introdueixen 640 mostres, el total de mostres mal classificades es menor a les mostres de tres pacients. El resultat denota que la repetició de vials i d'extraccions de corbes ha proporcionat dades suficient per a entrenar la xarxa neuronal i classificar correctament el 75% dels pacients.

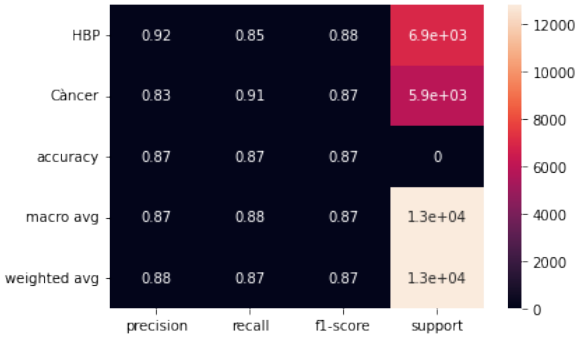


Figura 3.38: Resultats de la classificació.

Els resultats demostren que existeixen diferències a les corbes de pacients CaP i HBP. És possible classificar-les utilitzant algoritmes de classificació amb ferramentes lliures com ara Weka, però les xarxes neuronals permeten automatitzar el procés. *El que preocupa és el nombre de mostres amb CaP diagnosticats HBP, és a dir, l'exhaustivitat o recall. És possible donar-li més*

pes a la classe CaP per a millorar-lo. A la figura 3.39 es pot observar com el recall ha passat de 0.85 a 0.91 on s'ha entrenat amb un pes 32 CaP a 1 HBP.

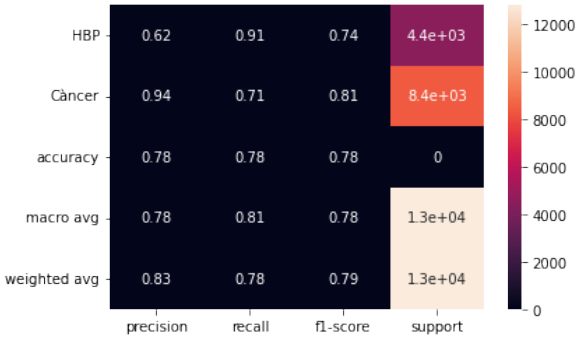


Figura 3.39: Resultats de la classificació amb un pes 32 a 1.

Amb aquesta millora, l'algorisme és capaç de classificar millor el pacients amb càncer. A la matriu de confusió de la figura 3.40 s'observa com les mostres classificades com HBP que proveïen de pacients amb càncer no superen el nombre de 409 i, per tant, són inferiors als inputs introduïts d'un pacient. La millora és considerable ja que permet evitar el cas del fals negatiu, malgrat que augmente el nombre de biòpsies a realitzar.

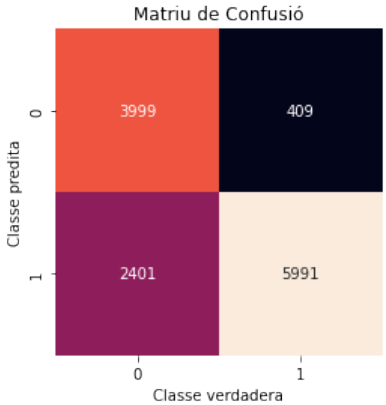


Figura 3.40: Resultats test matriu de confusió amb un pes 32 a 1.

3.5 Reflexions

Vuit-centes corbes provinents de 40 pacients, 20 de CaP i 20 de HBP, han estat capturades pel nas MOOSY32. Els senyals capturats mostren certes imperfeccions provocades per la tècnica de captura, però s'ha vist com el tractament i filtrat ha permés la seva adequació per a l'observació i estudi. La representació de la mitjana harmònica no denota clares diferències entre ambdós tipus de corbes. S'ha observat que els senyals provinents dels sensors TGS-2611 presenten una diferència d'amplitud major als pacients de CaP front als d'HBP. Aquells que incorporen un filtre per a no reaccionar davant l'etanol també es comporten de manera similar llevat d'un sensor, el S21, que té una resposta totalment diferent.

Els sensors TGS-2600 mostren un augment en ppm als senyals de CaP respecte les d'HBP considerable. Açò fa pensar en una major presència de monòxid de carboni o hidrogen a les mostres de CaP respecte a les d'HBP.

Els sensors TGS-2620 que estan dissenyats per a detectar alcohol i vapors orgànics no mostren diferències considerables.

Els dos únics sensors TGS-26210 que incorpora el MOOSY32 evidencien un lleuger augment en amplitud màxima per a pacients de CaP respecte d'HBP i mostren una dependència de la posició d'on està situat. El sensor S6 mostra més senyal que el S14 malgrat estar a la mateixa altura.

A les dades estadístiques s'observa que el percentil 75% en mostres de CaP és superior al de les mostres d'HBP. No obstant, el comportament és invers per als sensors TGS-2611c00 i TGS-2611e00, a excepció del sensor S21-TGS-2611e00, que presenta un valor superior al percentil 75% en CaP respecte d'HPB.

El disseny del MOOSY32 podria estar condicionant els diferents valors quantitatius obtinguts i és per això que s'estudien els paràmetres característics de les corbes. Es caracteritzen les corbes proporcionades pel fabricant als datasheets en taules per a definir un mètode per a l'obtenció de les ppm aproximades de cada sensor. Amb aquestes dades, l'algorisme ZeroR ha classificat com a millor el paràmetre Iso-butà, però calculant primer la mitjana harmònica dels vials i repeticions, ha trobat millor el paràmetre SlopeBC per a classificar les

mostres. L'ús de la mitjana harmònica millora la classificació però s'evidencia la necessitat de la recerca d'un algorisme que millore els resultats.

Una xarxa neuronal permet automatitzar el procés i millorar la classificació. Els resultats obtinguts amb una xarxa neuronal entrenada demostren que l'algorisme creat és capaç de classificar la major part de les mostres d'un pacient correctament. La ponderació ha estat un compromís. Evitar els casos de fals negatiu malgrat que augmenten els casos de falsos positius que incrementa les biòpsies a realitzar.

Capítol 4

Construcció d'un prototip

" No vaig fracassar, sols vaig descobrir 999 maneres de com no fer una bombeta". Thomas A. Edison

4.1 Introducció

Per tal d'obtenir un prototip, on experimentar i validar les diverses hipòtesis, cal establir estratègies al voltant dels processos o tasques a realitzar. Una primera divisió de l'estructura de treball es centra amb tres ítems bàsics:

- Hardware
- Software
- Disseny 3D

Malgrat la diferència clara entre tasques, aquesta divisió no es pot tractar de manera aïllada. Com es veurà a l'apartat 4.2 es requereix la verificació de les solucions aportades de manera transversal. És el cas, per exemple, de triar un processador capaç de treballar en paral·lel per a un software paral·lel o escollir un sensor de temperatura i humitat que s'adapte al disseny. Si en una de les verificacions d'hipòtesi s'aprecia la necessitat de canviar de processador i aquest té una placa diferent, podria requerir un disseny totalment diferent. A la figura 4.1 s'observa el canvi substancial entre dos prototips per la necessitat de purgar el circuit degut a la diferència de substància analitzada.

La figura 4.1a) és un prototip d'un nas electrònic per a l'anàlisi de malalties del colon al projecte SO-MAS, l'estructura del qual la va ser dissenyada per l'autor. Els compostos volàtils de les femtes no produeixen condensació. En analitzar mostres d'orina es va detectar que aquesta es produïa als tubs i que podria requerir de la intervenció del professional sanitari per a purgar el circuit neumàtic. El disseny del prototip de la figura 4.1b) presenta una forma que permet detectar condensació i manipular els tubs en cas necessari per a realitzar el manteniment.

Figura 4.1: Dos prototips de nas electrònic. a)Nas per a l'anàlisi de femta. b)Nas per a l'anàlisi d'orina.

Aquest capítol resumeix les intervencions necessàries per posar en funcionament un prototip. *Requerirà, per tant, escollir i dissenyar el hardware necessari, els algoritmes que permeten posar en funcionament el sistema i comunicar-lo amb la base de dades necessària per tal de fer l'estudi i classificació de les mostres.*

4.2 Hardware

L'elecció del hardware sembla una de les primeres decisions que cal emprendre per tal de dissenyar un prototip. Però el procés de disseny no és lineal. Està sotmès a una sèrie de variacions i condicionats com el temps, l'esforç, la tècnica i els materials. A més, es relacionen tres processos implicats al desenvolupament d'un prototip, el disseny, l'anàlisi de requeriments i l'anàlisi conceptual. S'ha fet una adaptació del model 2D en espiral, establert per Barry W. Boehm per al procés de desenvolupament de software [55], per a representar de manera simplificada el hardware en un model en espiral de tres dimensions. A la figura 4.2 es pot observar que en cada pas per l'eix del temps s'obté un producte. Depenent de la maduresa s'anomena *alpha* (α), *beta* (β), *release candidate (RC)* i *stable release (SC)*.

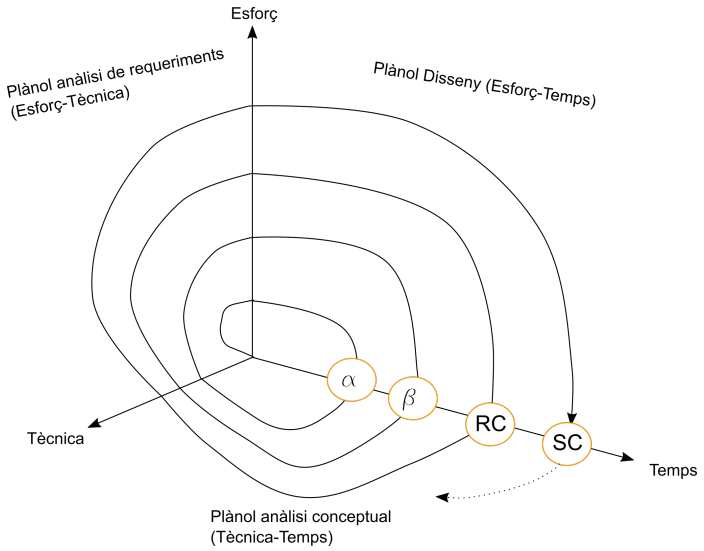


Figura 4.2: Cicle de vida hardware simplificat.

A mesura que el projecte avança i es validen els requeriments, el disseny comença a ser més costós en esforç i en temps. Un anàlisi conceptual on es determinen, alternatives, modificacions, adaptacions, solucions de compromís etc aporta una millora a la tècnica. El temps també aporta noves tècniques i materials, altres mètodes i la millora contínua del personal. Això fa que s'incorporen nous requeriments que augmenten l'esforç i, en conseqüència, el temps. Amb el temps s'aplega a un producte estable, un *stable release (SC)* que permet la seva posterior posada en producció amb una *release to manufacture* (RTM).

4.2.1 Elecció placa de prototips

Una de les primeres decisions a l'hora de construir un prototip és l'elecció d'una placa de prototips o el disseny complet d'una placa. Aquest treball, a priori, requereix de capacitat de comput i representació en pantalla per a la seva interpretació i avaluació per l'usuari. És per això que cal un sistema computador amb, com a mínim, una memòria principal, una unitat central de procés (CPU), un controlador d'entrades i eixides (I/O) i un bus de sistema. Això fa que augmente la complexitat del mateix. Per sort, existeixen diverses solucions al mercat que implementen exactament el requerit. S'ha avaluat l'ús de les següents plaques comercials:

- BeagleBone
- Raspberry Pi Zero I i II , Raspberry Pi 3 B i Raspberry Pi 4

Amb 69 pins *General propose input output* GPIO, la BeagleBone sembla una molt bona opció. No obstant, la seva evolució és molt lenta comparada amb la Raspberry Pi, té menys ports USB i cap codificador de vídeo incorporat. La Raspberry Pi té 40 pins GPIO i en el procés d'investigació d'aquest projecte han millorat substancialment les versions. Ha augmentant la memòria i la capacitat de comput amb un major nombre de CPUs. A més té una versió, la Pi Zero, que permet la miniaturització per les seves dimensions reduïdes. La possibilitat d'utilitzar una versió més menuda per a les fases primerenques i l'èxit de la fundació benèfica *The Raspberry Pi Foundation* amb seu al Regne Unit han fet que s'escollira la mateixa com a placa de prototips sobre la qual basar el disseny del sistema. A la taula 4.1 es resumeixen les característiques esmentades.

Taula 4.1: Comparativa plaques de prototips estudiades

Denominació	Cores	Memòria	Sistema en Xip	Instruccions
BeagleBone Black	Dual-core	$512\,MB$ DDR3	AM3358	ARMv8 32 bits
Raspberry Pi Zero	Single-core	$512\,MB$ LPDDR2	BCM2835	ARMv6 32 bits
Raspberry Pi Zero 2	Quad-Core	$512\,MB$ LPDDR2	BCM2710A1	ARMv8 64 bits
Raspberry Pi 3 B	Quad-Core	$1\,GB$ LPDDR2	BCM2837	ARMv8 64 bits
Raspberry Pi 4	Quad-Core	$1-4\,GB$ LPDDR4	BCM2711	ARMv8 64 bits

Així doncs, s'escull una Raspberry Pi zero com a base i s'elabora un primer prototip *alpha* on apareixen problemes de còmput. Aquesta sols té un processador de 32 bits amb una única CPU. Com es veurà a l'apartat 4.5.1 no és suficient per tal de representar en pantalla en temps real mentre es fa l'adquisició de dades pels diferents sensors. Com que el pinout és idèntic es decideix un canvi de placa al model Raspberry Pi 3 B que incorpora un ARMv8 Cortex-A53 de 64 bit de quatre cores i 1GB de memòria. És un salt considerable, però necessari per tal d'obtenir el paral·lelisme dels requeriments. A la figura 4.3 s'observa que els diferents dispositius es connecten al bus GPIO de la Raspberry Pi. La aparició dels models Raspberry Pi zero 2 amb un processador utilitzat a les Raspberry Pi 3 i el model Raspberry Pi 4 amb teclat incorporat, més potència i memòria fa que el disseny tracte d'abstraure's de la placa de prototips. S'integra així al disseny un connector de 40 pins com el que implementen les diferents versions de Raspberry Pi.

Els sensors de temperatura i humitat escollits permeten el seu ús al mateix bus GPIO. En aquest cas s'han escollit sensors amb un bus de comunicació I2C. Ací les adreces són determinants. No es poden utilitzar dos sensors iguals, si el fabricant no ho ha previst. Com que el HTU21D [56] no permet més adreces, s'utilitza el sensor SHT31D [57] que permet la configuració de dos diferents en combinació amb aquest. Per a escollir-los s'ha procurat que existiren ja muntats amb placa d'avaluació i drivers per a ser cridats amb el llenguatge de programació Python.

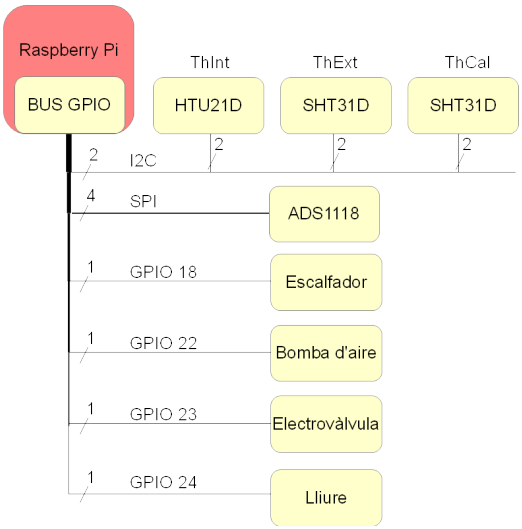


Figura 4.3: Esquema de connexió al bus GPIO.

El conversor analògic digital ADC és el ADS1118 [58]. Aquest conversor disposa de quatre entrades analògiques de 16 bits i una comunicació SPI. Permet una tensió d'alimentació de 2 a 5.5 V. Això fa que puga ser alimentat a 3.3V com la resta de sensors de temperatura i humitat, existeix driver per al seu control en python i donat el seu baix consum és una opció vàlida al disseny. A la figura 4.4 es representa una simplificació de la comunicació entre els sensors tipus MOS i el conversor ADC.

La resta de dispositius es connecten mitjançant una estratègia d'ON OFF canviant el nivell del pin GPIO corresponent. Tot i l'elevat ús de pins encara hi ha disponibilitat per a connectar més dispositius. Al disseny es planteja la

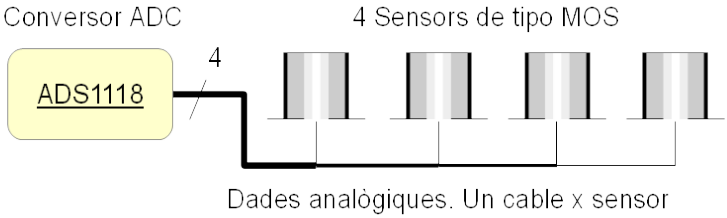


Figura 4.4: Diagrama de comunicació entre els sensors MOS i l'Adc.

possibilitat d'incorporar en el futur un ventilador per a forçar l'evacuació del calor. És per això que incorpora un pin preparat per a la possible ampliació, el GPIO 24 com es pot veure a la figura 4.3.

4.2.2 Circuit electrònic

Alimentació (potència, consum i necessitats)

Altra part del disseny és l'alimentació del prototip. Aquesta requereix d'un anàlisi i constant revisió. A més, si el que es busca és una solució comercial externa cal definir el problema a resoldre. A la figura 4.5 es planteja la qüestió del consum d'un punt de vista estàtic determinat per les necessitats. L'estratègia inicial consisteix en dues fonts. El plantejament d'alimentar tot el conjunt es va desestimar al prototip *beta*, donat que no existeix garantia de connexió d'algun dispositiu als ports *Universal Serial Bus*(USB) de la Raspberry Pi. Si tenim en compte que cada USB 2.0 pot subministrar fins $500\,mA$, això pot disparar el consum i amb una font comercial de $5\,V$ i $4\,A$ resulta insuficient. També es va determinar separar ambdós per un bus paral·lel GPIO. D'aquesta manera resulten dos dispositius independents amb els avantatges d'actualització i tractament independent.

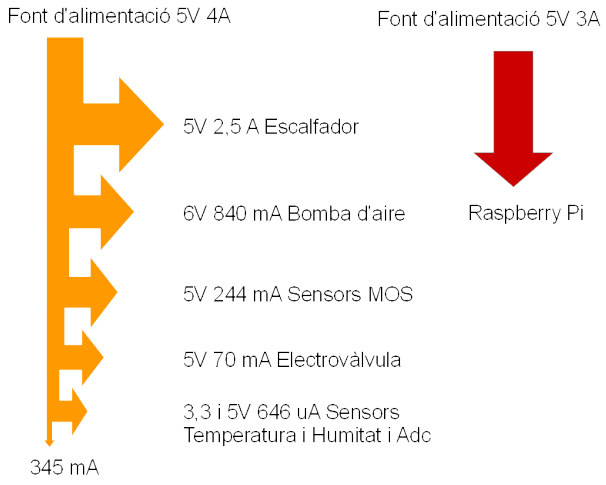


Figura 4.5: Estratègia d'alimentació amb dues fonts.

Utilitzar una font de $5\,V$ i $3\,A$ per a la Raspberry Pi permet utilitzar versions com la Raspberry Pi 4 que incorpora un USB 3.0 que pot subministrar fins a $900\,mA$. No obstant, s'incorpora un fusible d'un Amper per tal de poder alimentar mitjançant el BUS GPIO la Raspberry Pi en mode de proves. Per altra banda, utilitzar una font de $5\,V$ i $6.5\,A$ suposaria permetre l'alimentació de tot el sistema amb una única font. Com que el prototip està en constat revisió i davant la possibilitat de simplificar l'alimentació, es manté la possibilitat d'alimentació d'ambdues opcions.

Desacoblament d'impedància, aïllament i integritat de senyal

Les *Electromagnetic Interference* (EMI) en mode diferencial normalment són causades per l'acoblament magnètic. Per tal de minimitzar la impedància del trajecte a terra i tractar de minimitzar l'EMI s'utilitzen tres estratègies. La primera és una ferrita MPZ2012S300AT000 [59] a l'entrada de corrent del dispositiu, la segona és una resistència d'amortització i, per últim, un condensador de desacoblament per a cada circuit integrat (CI) utilitzat. No obstant, també s'utilitzen elements de construcció que minimitzen el contacte.

L'ús d'una ferrita a l'entrada planteja l'anàlisi del comportament de la resta de components amb combinació amb la mateixa. A la figura 4.6 s'observa un circuit equivalent a la ferrita proporcionat pel fabricant.

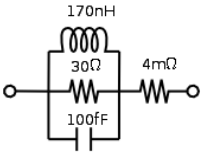


Figura 4.6: Ferrita MPZ2012S300AT000, circuit equivalent [59].

Un dels elements que permeten les demandes d'energia requerides pels diversos components és el condensador de *bulk*. Com el seu nom indica proporciona una quantitat d'energia a granel. Per a alimentar l'escalfador calen aproximadament $2.4\,A$ i, per això, s'ha situat un condensador de bulk prop del connector. Una anàlisi característica de transferència AC proporciona una visió del comportament en freqüència. A la figura 4.7 es pot observar el resultat d'una simulació amb l'aplicació TINA [60], de Texas Instruments, apareix una ressonància aproximadament en $36\,kHz$.

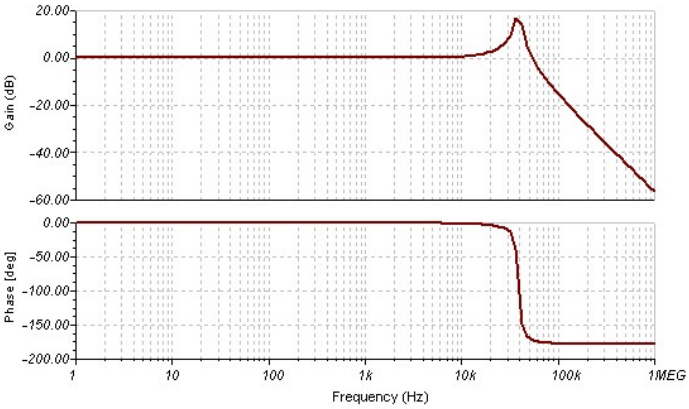


Figura 4.7: Representació Bode simulació transitori AC 1Hz-1MHz [60].

Per tal de minimitzar l'efecte de la ferrita i no limitar el corrent es pot utilitzar una resistència en sèrie d'un Ohm D2TO035C1R000GRE3 [61]. Aquesta resistència necessàriament ha de ser, com a mínim, de $20\,W$ per a permetre el pas del corrent que és capaç de subministrar la font. A la figura 4.8 s'observa

que a la resposta en freqüència ha desaparegut la ressonància.

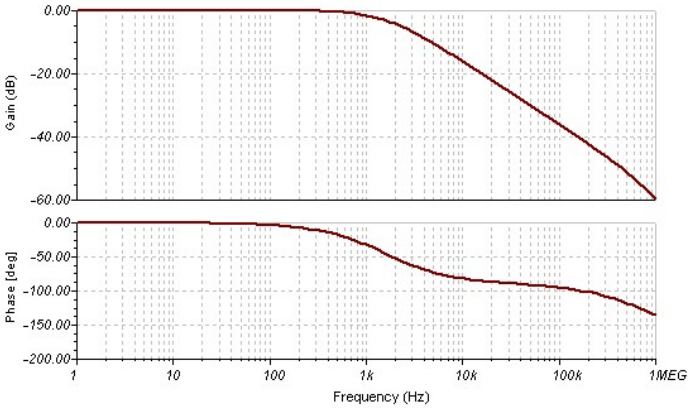


Figura 4.8: Representació Bode simulació transitori AC 1Hz-1MHz amb R en sèrie [60].

Per a l'alimentació dels sensors de temperatura i humitat s'utilitza un conversor DC-DC, el RO-55.5S amb aïllament i protecció de curtcircuit [62]. Com que un dels sensors utilitza una tensió de 3.3 V i per als altres dos està dins del seu rang d'alimentació, es realitza un divisor de tensió que a la vegada limite la tensió d'alimentació a 1 mA. A la figura 4.9 es pot observar el circuit implementat. El sensat dels sensors de tipus MOS i el conversor ADC s'alimenta també del conversor DC-DC però a $5\,V$ (V_{EE}). No obstant això, els sensors de tipus MOS tenen un escalfador incorporat que rep alimentació directa de la font d'alimentació (V_{CC}). La resta de dispositus com la bomba d'aire, l'electrovàlvula i l'escalfador de vials nombrats a la figura 4.5 també s'han alimentat directament de la font.

Es situa un condensador "Y" d'un nano Farad entre GND i AGND del conversor DC-DC, com es pot observar a la figura 4.9, el condensador CY1. Aquest CY1 amb les pistes curtes i amples tractarà de minimitzar les EMI. En aquest cas, emissions conduïdes en mode comú. Aquestes són degudes a l'acoblament elèctric on existeix una capacitat paràsita que veu el canvi de tensió. El condensador en "Y" proporciona un camí per a derivar a massa la corrent de EMI que circula. A la figura 4.9 s'observa la conversió de V_{CC} en V_{EE} i el divisor per a crear V_{EE}.

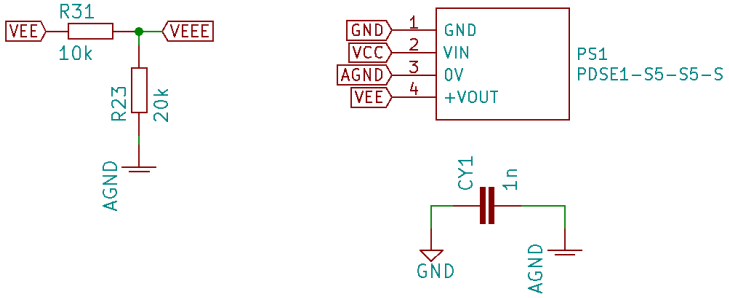


Figura 4.9: Implementació esquemàtic en Kicad conversor DC-DC.

En l'adquisició de senyal s'incorpora un CI, el TSV914 [63], entre els senyals dels sensors i les entrades del conversor ADC per tal d'aïllar la impedància amb l'ús d'operacionals de realimentació negativa. A la figura 4.10 s'observa la implementació de l'operacional per a cada sensor i l'adaptació de tensions a l'eixida mitjançant un divisor de tensió format per R4 i R16.

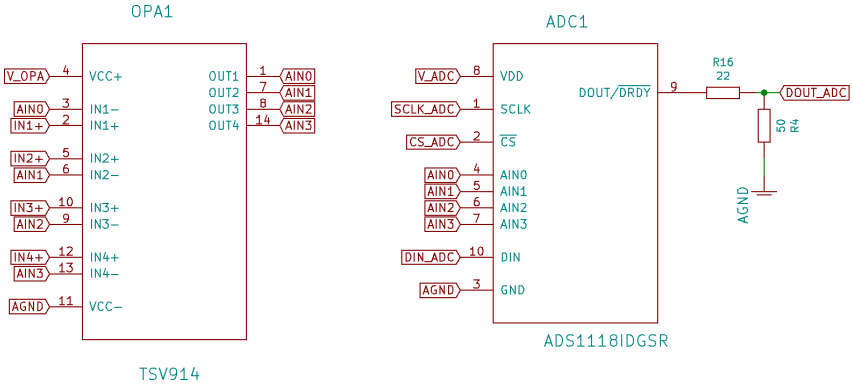


Figura 4.10: Implementació esquemàtic en Kicad aïllament d'impedància sensors i ADC.

L'escalfador s'aïlla de la senyal de control provinent de la Raspberry Pi mitjançant la combinació d'un optoacoblador i un *metal-oxide-semiconductor field-effect transistor* o (Mosfet). El corrent que cal és de $2.4\,A$ i la tensió aplicada prové de la font d'alimentació ($V_{CC} = 5\,V$). Aquesta vegada s'ha optat per un optoacoblador, el PS2501Al, per a aïllar l'accionament que prové de la Raspberry Pi. Aquest exita el Mosfet STN3NF06L per a posar en accionament l'escalfador. Un condensador de $100\,uF$ permetrà servir el corrent necessari que demande l'escalfador evitant així variacions a la tensió d'alimentació d'altres CIs.

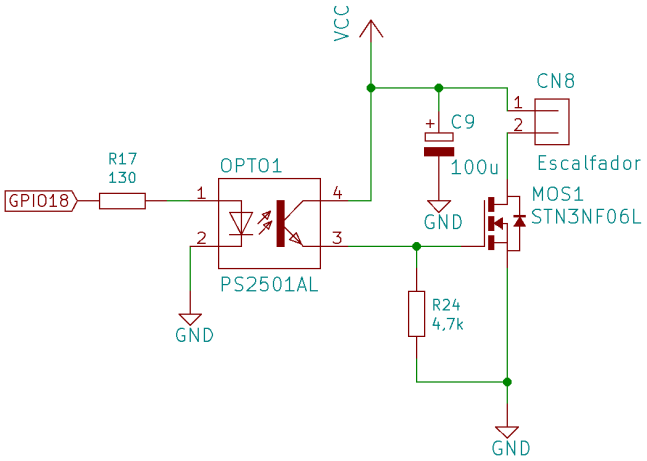


Figura 4.11: Implementació esquemàtic en Kicad control escalfador.

El control de l'electrovàlvula, la bomba i la possible ampliació s'aïlla mitjançant un circuit amb díode i transistor BJT. Es preveu la futura incorporació d'una resistència limitadora de corrent amb una resistència de zero Ohms connectada en sèrie amb el col·lector. A la figura 4.12 es pot observar el zener escollit per a l'electrovàlvula i l'ampliació, el SMF3.3 per a protegir transitoris de voltatge que puguen esdevindre. Per a la bomba s'ha optat pel 757-CRS06 per tal de protegir el corrent a l'invers provocat pel debanat del motor de la bomba d'aire. Els sensors MOS tenen un encapsulat metàl·lic susceptible de ser tocat a la manipulació de manteniment de la càmera. Per tant, podria rebre una descàrrega electrostàtica (ESD). El que ocorre és que és un punt d'accés cap al següent CI, el TSV914. És per això que s'incorpora un díode *Transient Voltage Suppresor* (TVS) per cada senyal d'entrada, aquest díode, el SDD32C05L01 es situa prop de l'entrada de la font ESD, és a dir, prop del

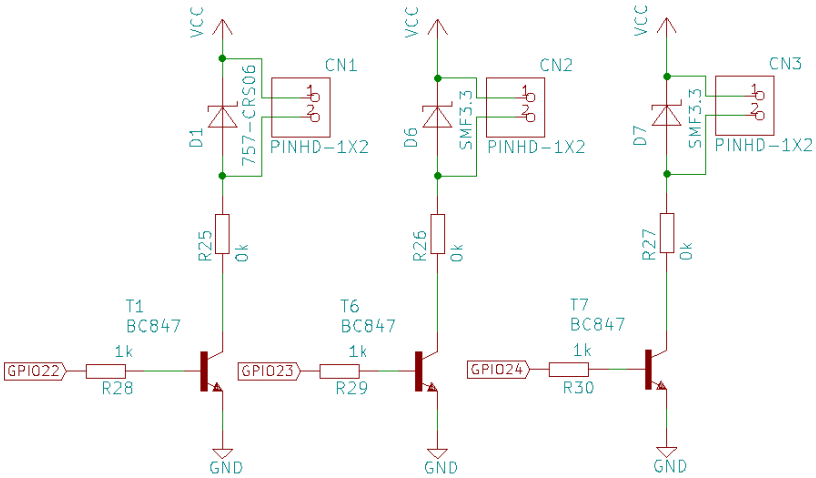


Figura 4.12: Implementació esquemàtic en Kicad control electrovàlvula, bomba i ampliació.

sensor MOS. A la figura 4.13 s'observen els sensors escollits i les resistències (R_L) per a la mesura. La tensió d'alimentació requerida de l'escalfador incorporat al sensor MOS és de $5\,V \pm 0.2\,V$. El consum màxim és de $305\,mW$ que a $5\,V$ suposen $61\,mA$, com diu al datasheet del sensors escollits [46 - 49]. Com que s'ha escollit una font de $5\,V$, situar una resistència limitadora de corrent suposa un divisor de tensió. No obstant, cal escollir entre limitar el corrent necessari o la tensió d'alimentació. Una solució de compromís és fixar el corrent mitjançant una resistència de $22\,\Omega$ i, per tant, els escalfadors dels sensors MOS queden alimentats a $3.599\,V$. Si en el futur no fora prou tensió per a drenar el corrent necessari per a excitar l'escalfador, es podria substituir la resistència per altra de zero Ohms. No es munta cap díode de protecció, donat que el comportament és resistiu i continu sense transitoris.

En les primeres fases de prototipat s'utilitzen diversos *Light Emissor Diode* (LED) per tal d'observar el correcte funcionament del sistema electrònic de control i alimentació sense tenir connectats els dispositius com escalfador, vàlvula etc. Per tal de limitar el corrent i protegir el díode s'utilitzen resistències en sèrie.
L'alimentació de l'amplificador operacional està limitada mitjançant una resistència de $500\,\Omega$ que permet un corrent de $10\,mA$. Un condensador de $10\,\mu F$ en combinació amb la resistència permet fixar un pol aproximadament a $31\,Hz$.

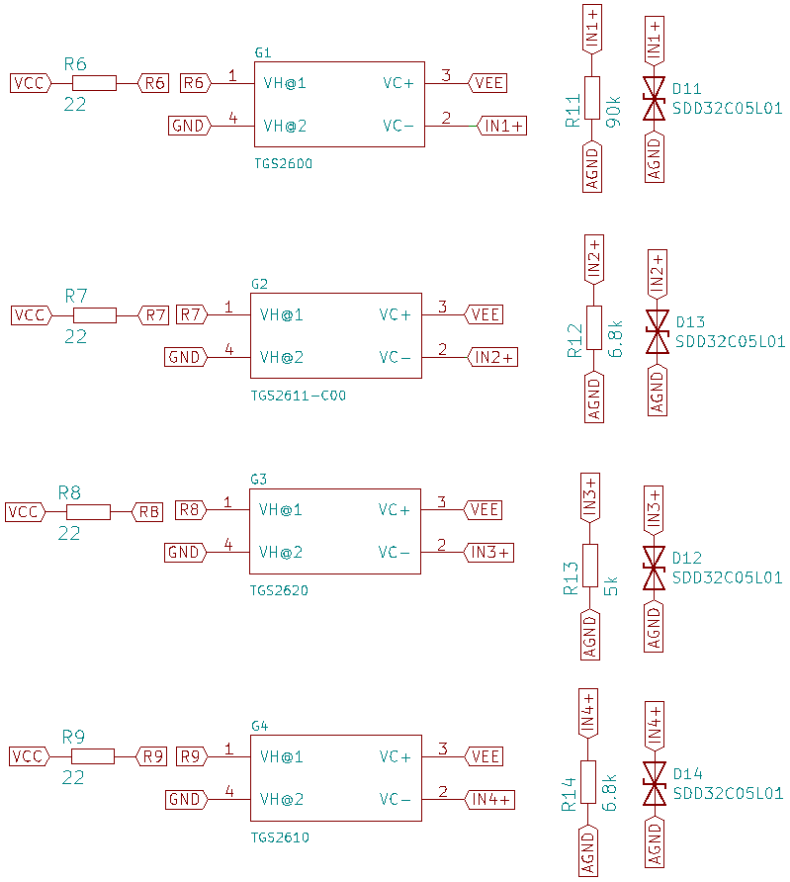


Figura 4.13: Implementació esquemàtic en Kicad sensors MOS.

A la figura 4.14 s'observa altre condensador de $10\,nF$ de desacoblament que s'ha deixat al circuit, però que no es munta al no és necessari. L'altre és de més capacitat i el filtre és més ampli en espectre.

L'alimentació de l'ADC està limitada mitjançant una resistència de $25\,k\Omega$ que permet una corrent de $200\,\mu A$. Un condensador de $10\,nF$ en combinació amb la resistència permet fixar un pol aproximadament a $60\,Hz$ per al desacoblament. Un condensador de $100\,nF$ permet abastir els requeriments de corrent.

Els pins GPIO de comunicació amb la Raspberry Pi no s'utilitzen tots. Com s'observa a la figura 4.15, no s'han enrutat 13 dels 40 pins. A més, las seva

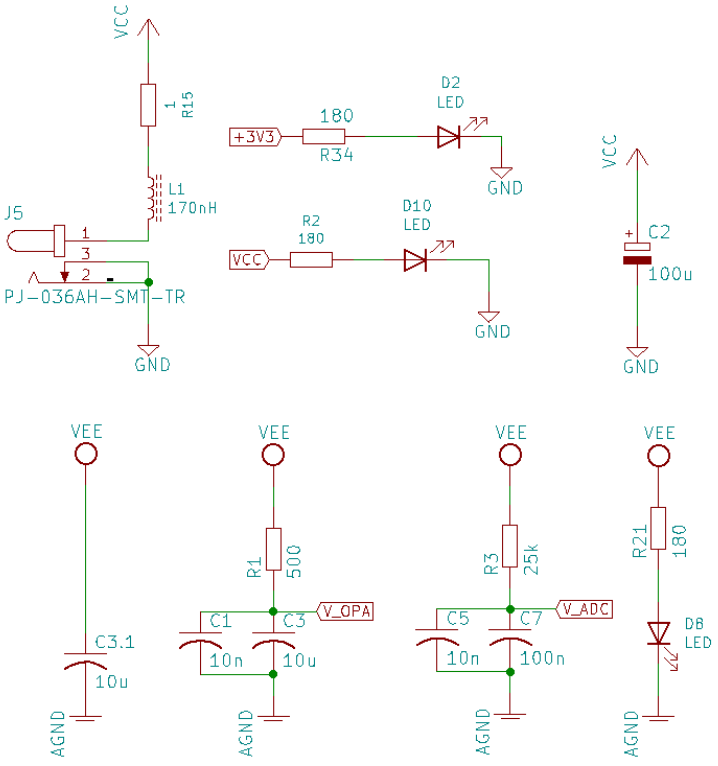


Figura 4.14: Implementació esquemàtic en Kicad alimentacions i senyalització.

disposició i longitud del cablejat pot afectar a la integritat del senyal, produir EMIs i també poden constituir una entrada ESD a la manipulació en operacions de manteniment. No obstant, no s'han disposat més díodes de protecció, ja que l'ADC ADS1118 està provist de díodes de protecció ESD en cada pin i els GPIO tenen una resistència en sèrie d'un quilo Ohm per minimitzar la corrent de base del transistor.

Per a rebre els senyals provinents del bus SPI i evitar curtcircuits i canvis d'impedància que produeixen reflexions es disposen de tres resistències de $50\,\Omega$ en sèrie, una per pin. El SPI pot executar-se a la velocitat del rellotge de la Raspberry Pi, que a la versió 4 és de $400\,MHz$, o mitjançant un divisor amb potència de dos de (2^0 fins 2^{16}). Açò permet una freqüència mínima d'aproximadament $6.1\,kHz$. Suposant una capacitat paràsita de entre $12\,pF$

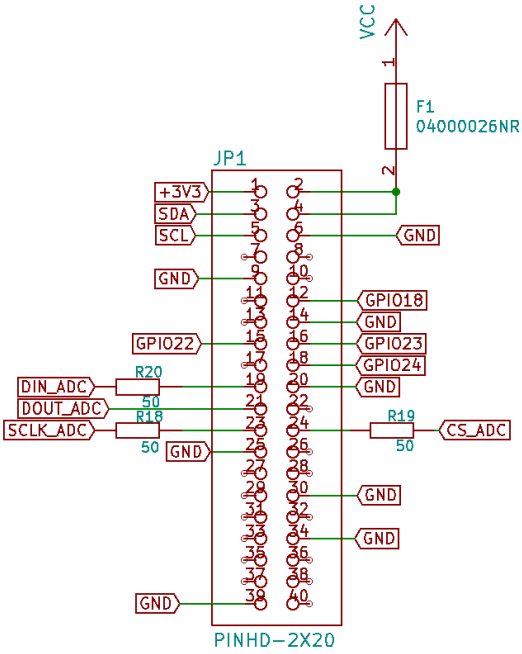


Figura 4.15: Implementació esquemàtic en Kicad bus GPIO.

a $1\,nF$ és possible transmetre sense atenuació fins aproximadament $50\,kHz$. Però com es pot observar a la figura 4.16 apareix distorsió de fase a partir d'aproximadament $5\,kHz$

Dos resistències de pull-up de $10\,k\Omega$ es situen entre alimentació V_{EEE} i els senyals SCL i SDA del bus I2C per tal de garantir la integritat de les dades al bus. A la figura 4.17 s'observa la implementació del bus I2C per als tres sensor i les resistències de pull-up.

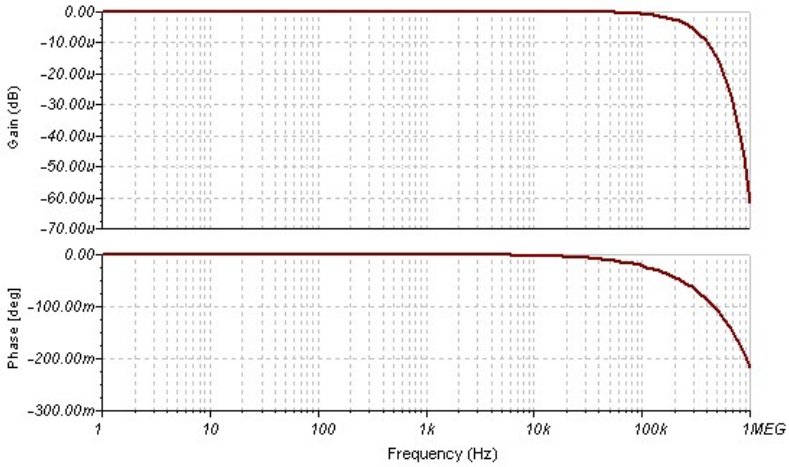


Figura 4.16: Representació Bode filtre $R = 50\,\Omega$ i $C = 1\,nF$.

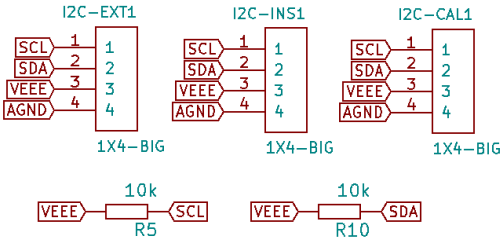


Figura 4.17: Implementació esquemàtic en Kicad bus I2C.

4.2.3 Circuit pneumàtic

Descripció de funcionament, requeriments, acondicionament i filtres

Per tal de portar els compostos volàtils excitats amb calor al vial(3) fins a la càmera(5) s'acciona una electrovàlvula(4) que permet el pas de l'aire de dins del vial fins aquesta. Mentre no s'excite l'electrovàlvula l'aire directe de la bomba(1) passarà a la càmera. Dos filtres, un d'entrada i un d'eixida, permeten mantenir net l'aire a l'interior i no contaminar amb compostos l'exterior. A la figura 4.18 es detalla una representació del sistema.

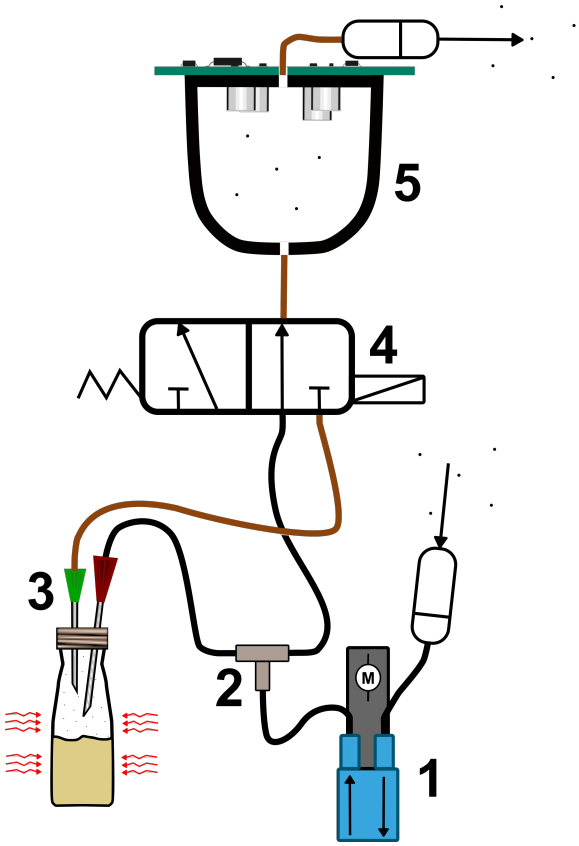


Figura 4.18: Representació circuit pneumàtic. 1-Bomba, 2-Connector T, 3-Vial, 4-Electrovàlvula 3/2 NO i 5- Càmera.

Aïllament acústic

Augmentar el confort del professional sanitari resulta imprescindible pel que fa al soroll emés per la bomba neumàtica. S'utilitzen dos materials aïllants que recobreixen el motor de manera que subjecte la mateixa per tal de minimitzar vibracions. En concret, s'utilitza malla de roca Geowall34 amb l'objectiu de minimitzar la reverberació i una làmina bituminosa per a tallar la transmissió cap a l'exterior i l'impacte del soroll dins del prototip.

4.3 Servidor

El servidor del protocol *Hight transfer transport protocol* (HTTP) permet utilitzar diverses plataformes per a controlar l'e-Nose. Mitjançant el navegador s'interacciona amb el servidor que proporciona una interfície (Frontend) i interactua amb el hardware amb una sèrie de cridades al hardware (Backend). A la figura 4.19 es representa el fluxe de dades entre l'actor principal, el servidor HTTP i la base de dades.

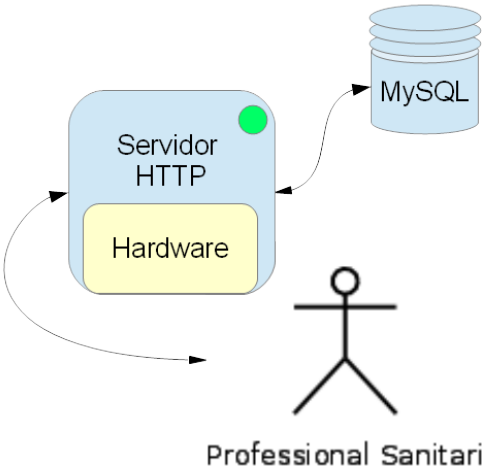


Figura 4.19: Diagrama de fluxe de dades i elements.

4.4 Base de dades

Per a la creació de la base de dades s'ha considerat plantejar el problema com una base de dades estàndard per a un nas electrònic. Aquest apartat tracta la creació del model entitat relació i les estrucctures per a la seva implementació en un motor de bases de dades MySQL. La dicotomia del model SQL vs no SQL cau a favor del primer degut a la naturalesa de les dades. Com es veurà als apartats següents es coneix l'estructura de les dades i està molt relacionada. La consistència en model SQL està garantida i no es requereix d'una metamorfosi a futur, ja que la base de dades creixerà en dades però no en estructura. A més garanteix que les transaccions es processen de manera fiable, propietats ACID[1].

4.4.1 Definicions i simbologia

Una Entitat equival a una taula amb ítems que s'anomenen atributs. Aquesta entitat pot ser feble i, per tant, pertany a altra entitat més forta. Per exemple, un vial pertany a un pacient. Quan es produeixen relacions entre entitats febles i fortes, aquestes relacions també s'anomenen febles. A la figura 4.20 es representa una relació feble entre la entitat feble i la forta a la qual pertany. A més s'observa una doble línia que significa que totes les ocurrències de l'entitat participen en la relació. La anotació d'1 a n significa un a molts respectivament.

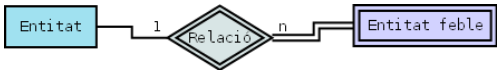


Figura 4.20: Relació entre entitat forta i feble.

Els atributs poden ser:

- Clau primària que vol dir que és única, no nul·la i mínima.
- Clau composta quan està formada per més d'un atribut.
- Clau aliena, si és la clau primària d'altra entitat.

[1] Atomicitat: un canvi s'ha de completar totalment o no modificar res en absolut. Consistència: qualsevol canvi ha de conduir d'un estat vàlid de la base de dades a un altre estat vàlid d'acord amb restriccions i esquema de dades. Aïllament (Isolation): un canvi no ha d'afectar altres canvis que s'estenen executant alhora sobre la base de dades. Durabilitat: un cop completat el canvi, aquest s'ha de conservar, encara que es produeixin errors a la base de dades o al sistema complet.

- Atribut de l'entitat.
- Atribut derivat o calculat amb les dades.
- Atribut multivalor.

El model relacional pretén minimitzar la redundància de dades i per això existeixen les claus. Una clau és un atribut, on les ocurrències no es poden repetir. Una d'elles serà la primària i no accepta valors nuls i la resta dependrà del cas. Hi ha claus candidates (primàries i úniques o alternatives) i claus alienes que coincideixen amb l'atribut o conjunt d'atributs d'altra taula, on són clau primària. Una clau és un atribut, o més d'un d'una taula que compleix les condicions d'identificació única (unicitat) i no li sobra cap atribut (no redundància). Per això presenta un model consistent on es manté la integritat de les dades.

En el model relacional existeixen restriccions d'integritat. Si un atribut té un cercle a la línia de connexió que ve de l'entitat, vol dir que cap dels seus valors podrà, ser nul (VNN). Si un atribut és clau primària, es subratlla amb una línia contínua. Un atribut subratllat amb una línia discontínua és una clau primària feble. Una línia doble denota una entitat o relació feble, és a dir, tenen una restricció d'identificació i, per tant, depenen d'altra entitat o clau. Un atribut amb línia intermitent és un atribut calculat. A la figura 4.21 es poden observar la representació dels diferents atributs possibles. Generalment

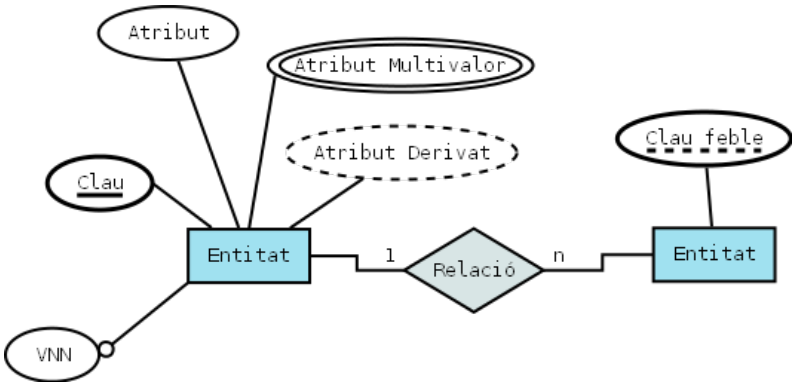


Figura 4.21: Exemple atributs.

les relacions d'una entitat a moltes (1-n) es resolen amb una taula per cada

entitat. Per contra, les relacions moltes a moltes (n-n) requereixen d'una taula extra que s'anomena com la relació.

4.4.2 Requeriments

Es pretén crear una base de dades com a resultat d'analitzar vials amb substàncies diverses provinents de pacients amb patologies concretes, altres sense saber-la i controls. Totes les patologies catalogades al CIE-10-ES [64]. A priori no es sap si el pacient té la patologia i pot tenir-la en una data concreta i altra no o no estar classificat encara. Cada patologia tindrà associada uns indicadors. En cas de conèixer-los vindran registrats quan es realitza una classificació d'un pacient però condicionats per la data, ja que pot ser canvien a la següent extracció. Un indicador no es pot associar a la classe o patologia, ja que quan donem d'alta a l'indicador cal associar-los a un pacient que s'ha classificat a una patologia i mostra uns indicadors en una data concreta de patologies diverses. Els Vials (d'un a quatre) s'han preparat per un professional sanitari amb orina de la mateixa deposició en una data concreta. Un pacient pot tenir orines de diferents deposicions (dates diferents). Tots els pacients s'identifiquen amb el número d'història clínica. Per cada vial es repeteix la captura de 1 a 5 vegades. S'utilitzen 4 sensors de gas (G1, G2, G3 i G4), els quals capturen valors de tensió. Inicialment es treballa amb corbes de 15000 valors en 150s, però aquestes dades es pretén que es calculen en funció de la freqüència de mostreig desitjada i el temps d'adquisició indicat pel professional sanitari i no es limite als esmentats. Cada sensor és més sensible a una substància (aire, metà, isopropanol, etc). El fabricant determina unes corbes de sensibilitat en funció de la càrrega resistiva muntada [46 - 49], RL, A, alpha determinen els paràmetres per tal de calcular-les i obtenir les parts per milió del gas.

Els sensors són afectats per les condicions de contorn d'humitat i temperatura. A les especificacions del fabricant es determinen les corbes per ajustar la mesura de parts per milió. Els paràmetres A, alpha i ombrall resultaran necessaris per a calcular-les com s'ha vist a l'apartat 3.4.5 amb l'equació 3.9. Es preveu que els sensors es puguen fer vells i calga canviar-los, pel que es durà un registre de la data d'estrena o lot, també del temps de funcionament però aquest no es desarà a la base de dades.

Per tal de conéixer les condicions de contorn es situen diversos sensors que poden ser de temperatura, humitat, temperatura i humitat, corrent i altres

que es puguen necessitar al futur.

L'aplicació presentarà en pantalla les corbes corresponent als valors capturats dels vials i diverses dades estadístiques con moda, mitjana, irq etc. i dades del pacient (indicadors), així com valors dels sensors a la captura. També podrà classificar la corba en funció de les patologies existents a la BD.

4.4.3 Diagrama d'entitat relació

El diagrama d'entitat relació en si és una ferramenta per a tractar de definir el millor comportament del problema per a implementar-se a una base de dades. Amb ell és possible analitzar, sintetitzar i resoldre comportaments de la base de dades amb l'objectiu de representar amb la major exactitud el problema plantejat. A la figura 4.22 es mostra el diagrama proposat per als requeriments establerts. Aquest diagrama resulta de les diferents interaccions a l'estudi de la creació de la base de dades per tal de capturar els requeriments descrits.

Transformació EER a model relacional

Un pacient té una patologia en una data concreta. A més, pot tenir altres patologies o no estar encara classificat. Una patologia pot tenir molts pacients. Aquesta relació necessita de tres taules:

$$\begin{aligned} Pacient &: \underline{num_hist} + data_n \\ VNN &: data_n \end{aligned} \tag{4.1}$$

$$\begin{aligned} Patologia &: \underline{classe} + descript \\ VNN &: descript \end{aligned} \tag{4.2}$$

$$\begin{aligned} Pa_te_Pa &: \underline{data + classe + num_hist} + num_reg_ind + \\ &+ sexe + fuma \\ VNN &: data \\ C.Aliena &: classe \rightarrow Patologia(classe) \\ &\ num_hist \rightarrow Pacient(num_hist) \end{aligned} \tag{4.3}$$

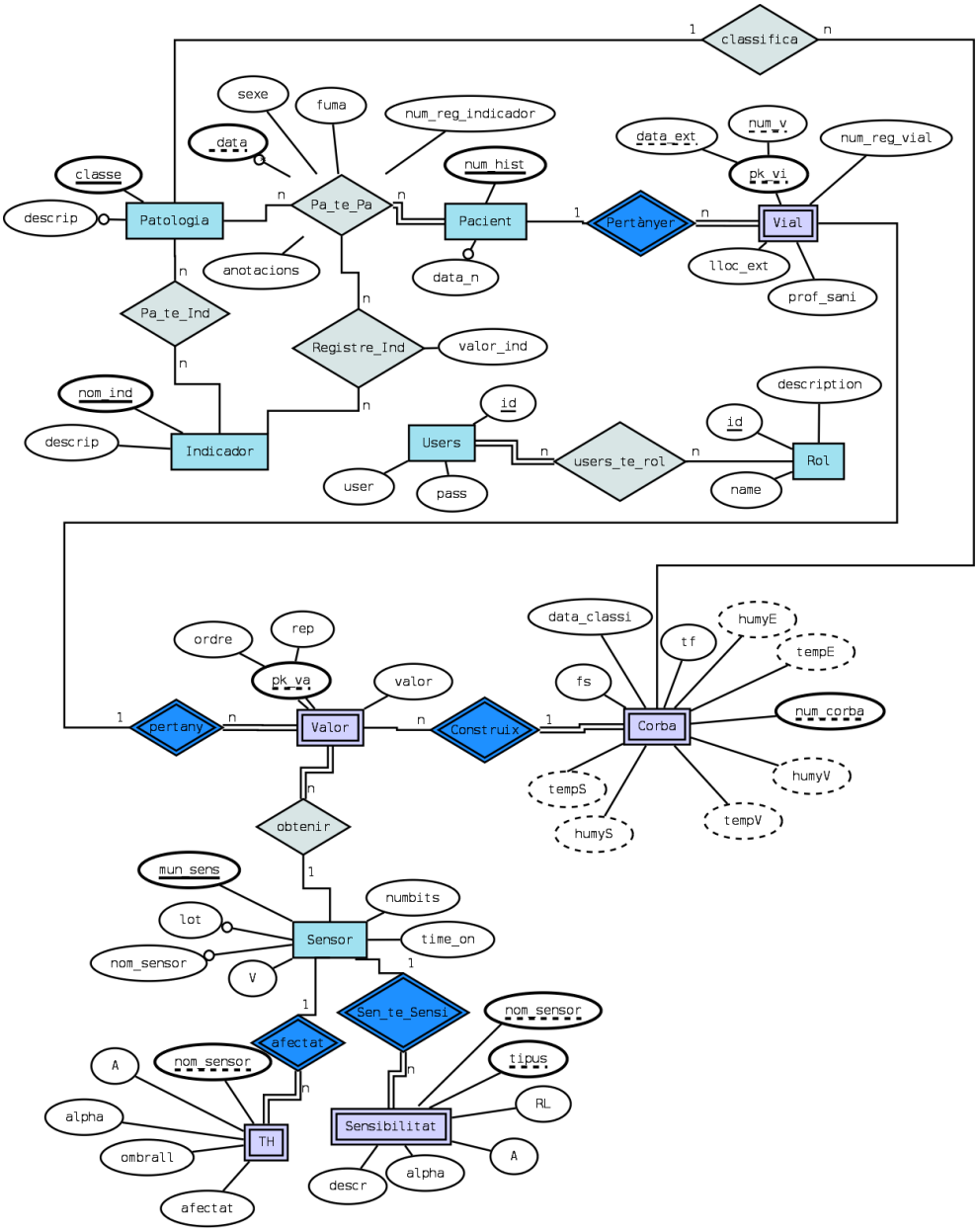


Figura 4.22: Diagrama Entitat-Relació base de dades e-Nose

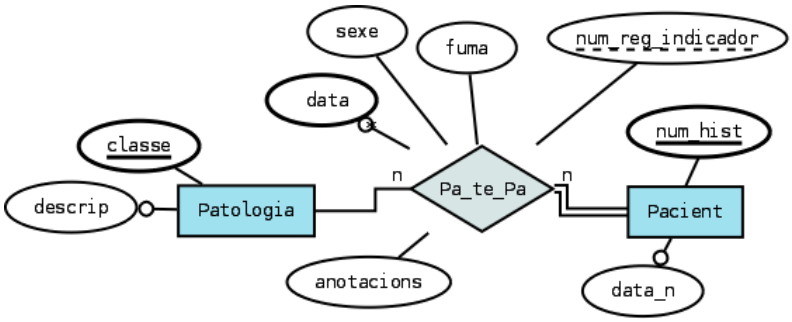


Figura 4.23: Relació molts a molts entre Patologia i Pacient.

Una patologia té indicadors i aquestos poden pertànyer a diferents patologies. Com que es tracta d'una relació de molts a molts requereix de tres taules:

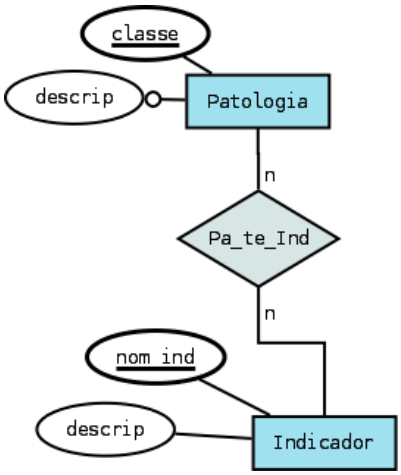


Figura 4.24: Relació molts a molts entre Patologia i Indicador.

$$\begin{aligned} Indicador : \underline{nom_ind} + classe + descrip \\ C.Aliena : classe \rightarrow Patologia(classe) \end{aligned} \tag{4.4}$$

$$\begin{aligned} Pa_te_ind : \underline{classe + nom_ind} \\ C.Aliena : classe \rightarrow Patologia(classe) \\ nom_ind \rightarrow Indicador(nom_ind) \end{aligned} \tag{4.5}$$

La relació mostrada a la figura 4.25 podria capturar-se com una ternària n-n-n. Açò faria que tot pacient que té una patologia tinga un indicador i no sempre es tenen pacients amb valors d'indicadors. És el cas, per exemple, de pacients que són controls o que tot i estar diagnosticats no es tenen valors d'indicadors encara. Així doncs, es queda l'agregació i, per tant, es requereixen quatre taules de les quals cal definir una:

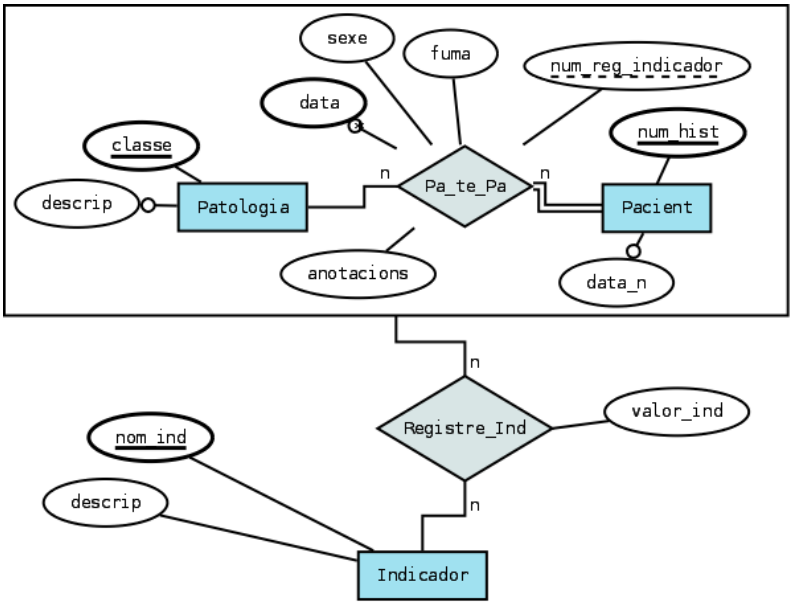


Figura 4.25: Agregació molts a molts entre Pat_te_Pa i Indicador.

$$
\begin{aligned}
Registre_ind : & \underline{num_reg_indicador} + classe + num_hist + \\
& + nom_ind + valor_ind + data + sexe + fuma \\
& VNN : data \\
& C.Aliena : classe \rightarrow Patologia(classe) \\
& \quad nom_ind \rightarrow Indicador(nom_ind) \\
& \quad num_reg_indicador \rightarrow Pa_te_Pa(num_reg_indicador) \\
& \quad data \rightarrow Pa_te_Pa(data)
\end{aligned} \tag{4.6}
$$

Un vial sempre pertany a un pacient i aquesta relació, un a molts, es captura amb dues taules que porten les claus primàries de les entitats a les respectives. S'ha creat un atribut incremental num_reg_vial per tal de facilitar el control dels vials amb un codi de barres. Donades les relacions posteriors, aquesta clau, tot i que defineix l'entitat, no pot ser clau primària pel seu tipus incremental.

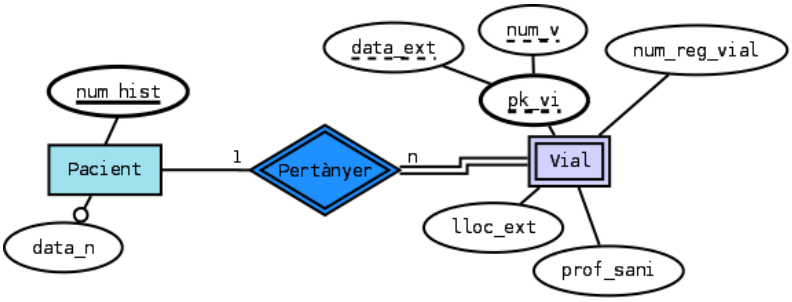


Figura 4.26: Relació un a molts entre Pacient i Vial.

$$
\begin{aligned}
Vial : & \underline{data_ext + num_v + num_hist} + \\
& + num_reg_vial + lloc_ext + prof_sani \\
& C.Aliena : num_hist \rightarrow Pacient(num_hist)
\end{aligned} \tag{4.7}
$$

Els sensors es veuen afectats per la temperatura i humitat. Per tal de captar aquesta característica existeix una relació d'un a molts entre l'entitat Sensor i l'entitat TH on es definix la mateixa. Aquesta relació no implica una taula, es resol amb la clau primària de l'entitat Sensor a l'entitat TH. Com es pot observar a la figura 4.27, en aquest cas, la clau utilitzada com a primària a l'entitat Sensor no s'utilitza a l'entitat TH. En compte d'utilitzar la clau primària s'utilitza l'atribut no nul nom_sensor com a clau aliena i principal en TH. S'ha fet així per tal de capturar que tots els sensors del mateix tipus estan afectats de la mateixa manera i per a portar un registre dels canvis de sensors que es puguen produir en el futur mitjançant el número de sensor auto-incremental.

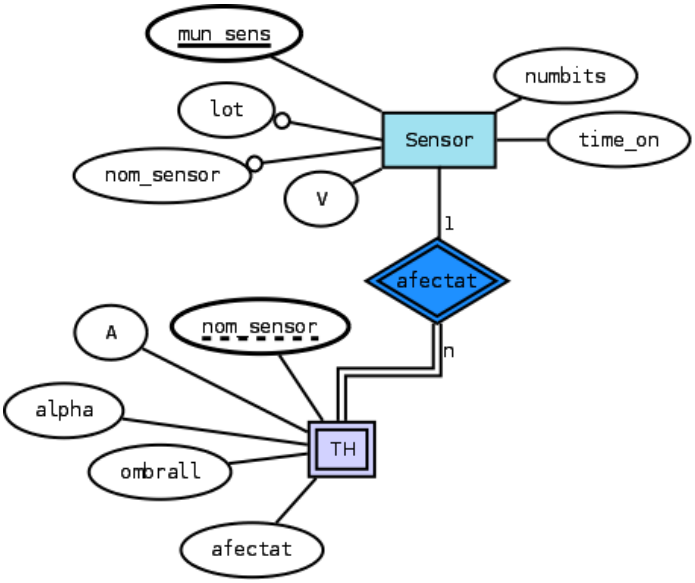


Figura 4.27: Relació un a molts entre Sensor i TH.

$$
\begin{aligned}
Sensor : & \underline{num_sens} + numbits + lot \\
& + V + time_on + nom_sensor \\
& VNN : lot, nom_sensor
\end{aligned} \tag{4.8}
$$

$$
\begin{aligned}
TH : & \underline{nom_sensor} + A + aplha \\
& + ombrall + afectat \\
& C.Aliena : nom_sensor \rightarrow Sensor(nom_sensor)
\end{aligned} \tag{4.9}
$$

Els sensors de gas tenen una certa sensibilitat que ve donada per unes corbes proporcionades pel fabricant. Per tal de capturar aquesta característica existeix una relació d'un a molts que no requereix d'una taula extra. A l'igual que el cas de la relació amb l'entitat TH, l'entitat Sensibilitat conté una clau aliena primària que prové d'un atribut no nul de l'entitat Sensor en lloc de la seva clau primària. En aquest cas la clau primària de Sensibilitat es composa d'altra clau feble, la clau tipus. D'aquesta manera queda definida la relació per a les diferents corbes del fabricant segons el tipus de sensibilitat.

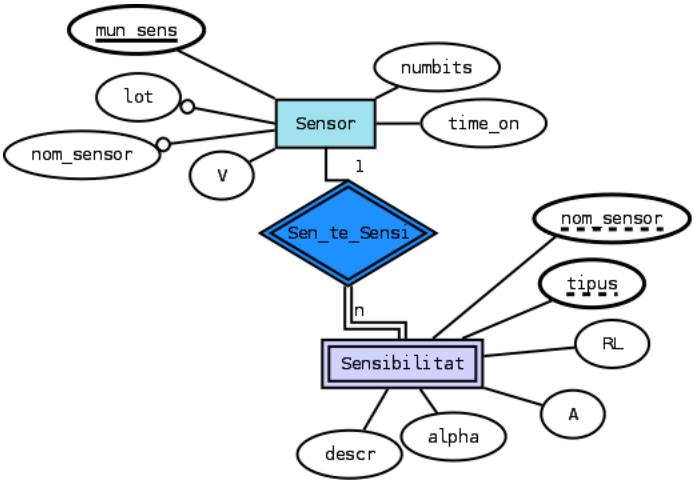


Figura 4.28: Relació un a molts entre Sensor i Sensibilitat.

$$TH : \underline{nom_sensor + tipus} + A + aplha + RL + descr$$
$$C.Aliena : nom_sensor \rightarrow Sensor(nom_sensor) \qquad (4.10)$$

El propòsit de l'aplicació és classificar el pacient segons una patologia. Mitjançant una entitat anomenada Corba es relacionen tots els valors obtinguts del sensor per a la seva classificació. La relació entre l'entitat Corba i l'entitat Patologia es captura mitjançant l'ús de la clau principal de l'entitat Patologia com a clau composta principal a l'entitat Corba per ser una a molts.

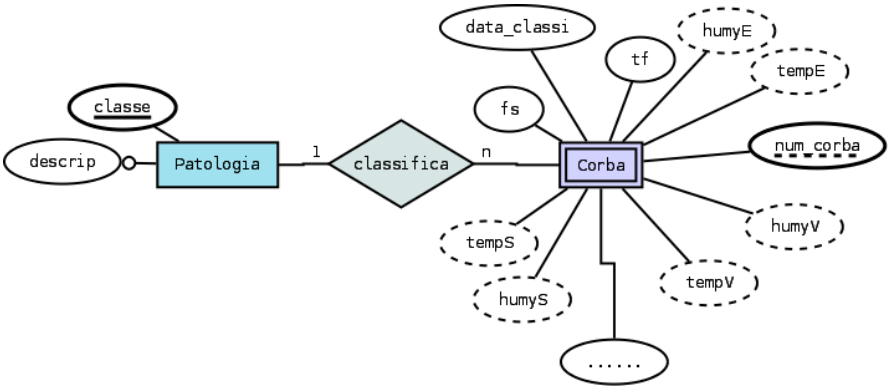


Figura 4.29: Relació un a molts entre Patologia i Corba.

$$
\begin{aligned}
Corba : & \underline{num_corba + classe} + fs + tf + data_classi \\
& + humyE + tempE + humyV + tempV + tempS + humyS \\
& C.Aliena : classe \rightarrow Patologia(classe)
\end{aligned} \tag{4.11}
$$

Cada vegada que es realitza una adquisició de dades d'un sensor s'obté un valor. L'entitat que captura aquesta característica és Valor i té relacions amb les entitats Vial, Sensor i Corba d'un a molts valors. És per això que les claus primàries de Vial, Sensor i Corba formen part de la clau primària composta de Valor.

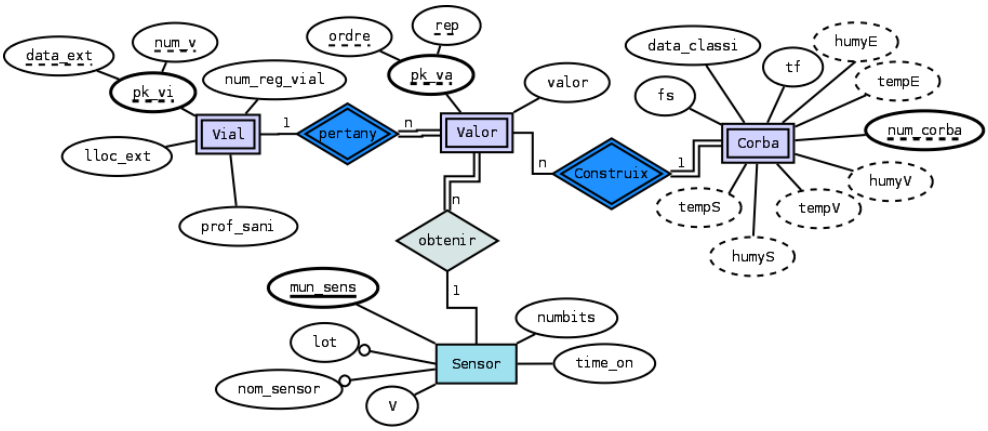


Figura 4.30: Relació un a molts entre Vial, Sensor, Corba i Valor.

$$
\begin{aligned}
Valor : & \underline{ordre + num_corba +} data_ext + num_v + num_hist + \\
& + rep + classe + valor + num_sens \\
& C.Aliena : data_ext \rightarrow Vial(data_ext) \\
& num_v \rightarrow Vial(num_v) \\
& num_hist \rightarrow Vial(num_hist) \\
& num_sens \rightarrow Sensor(num_sens) \\
& num_corba \rightarrow Corba(num_corba) \\
& classe \rightarrow Corba(classe)
\end{aligned} \tag{4.12}
$$

Per a garantir l'accés al control dels recursos basat en el rol es requereixen tres taules. D'aquesta manera un usuari pot canviar de rol dins l'aplicació sense necessitat d'eixir i tornar-se a autentificar. Açò es captura amb una relació molts a molts com es descriu a la figura 4.31.

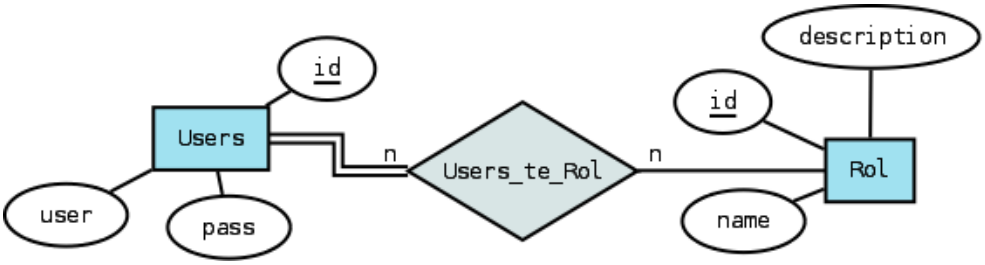


Figura 4.31: Relació molts a molts entre Users i Rol.

$$\begin{aligned} Users &: \underline{id} + user + pass \\ VNN &: user, pass \end{aligned} \tag{4.13}$$

$$\begin{aligned} Rol &: \underline{id} + name + description \\ VNN &: name, description \end{aligned} \tag{4.14}$$

$$\begin{aligned} Users_te_Rol &: \underline{users_id + rol_id} \\ C.Aliena &: users_id \rightarrow Users(id) \\ & rol_id \rightarrow Rol(id) \end{aligned} \tag{4.15}$$

$$\tag{4.16}$$

4.4.4 Normalització de la base de dades

La normalització implica seguir unes pautes per tal de dotar de la màxima consistència a la base de dades.

Primera forma normal.Un atribut no pot tenir més d'un valor.

Per a captar que un pacient puga haver canviat el seu sexe o deixat de fumar, cal traslladar aquestos atributs a la taula *Pa_ te_ Pa* on es registra la relació entre el pacient i la patologia, a més de les seves característiques en una data concreta.

Segona forma normal. Si està en primera forma normal i tots els atributs no principals depenen de la seva clau corresponent, es tracta de verificar que s'ha escollit la clau principal adequada.

A l'entitat Vial s'ha assignat un atribut num_reg_vial autoincremental per tal de fer més senzill la identificació amb codi de barres. Amb aquesta quedaria definida però caldria portar-la a Valor junt amb altre tipus autoincremental com és num_corba i no s'admet. La resta està en segona forma normal.

Tercera forma normal. Si està en segona i no existeixen dependències transitives, A->B, B->C aleshores A=>C

Existeix una dependència entre corba i patologia que està permesa ja, que és possible que el classificador s'equivoque o encara no estiguen classificades. També es detecta una redundància a les dades en la taula Valor. Per cada dada es té el número de vial, de sensor, història clínica i la data d'extracció. Aquestes dades provenen de les relacions de Valor amb Vial, Sensor i Corba que s'observen a la figura 4.30. Per tant, es traslladen les relacions de Valor amb Vial i Sensor a Corba canviant el model entitat relació pel de la figura 4.32. L'atribut repetició (rep) també es trasllada a l'entitat Corba.

Amb la normalització, per tal de complir la tercera forma normal, canvia per complet el pas a taula de l'entitat Valor amb el de 4.17.

$$\begin{aligned} Valor &: \underline{ordre + num_corba} + valor \\ C.Aliena &: num_corba \rightarrow Corba(num_corba) \end{aligned} \tag{4.17}$$

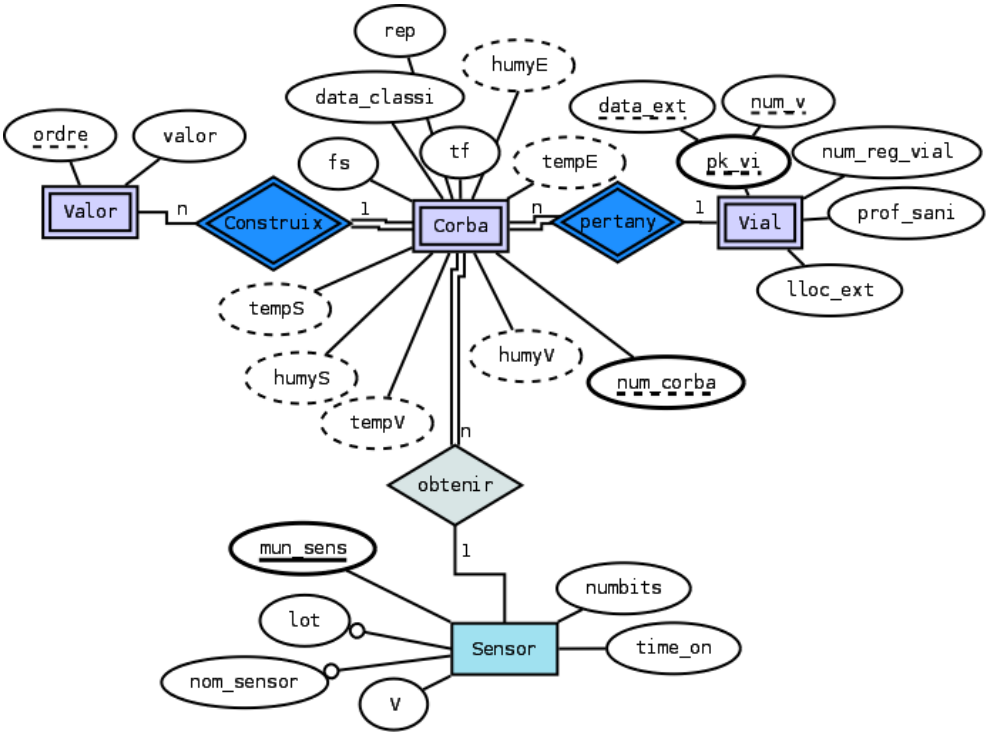


Figura 4.32: Relació un a molts normalitzada entre Vial, Sensor, Corba i Valor.

El pas a taula de Corba vist en 4.11 s'amplia també per a captar la tercera forma normal.

$$
\begin{aligned}
Corba : & \underline{num_corba} + classe + fs + tf + data_classi \\
& + rep + humyE + tempE + humyV + tempV + \\
& + tempS + humyS \\
& C.Aliena : classe \rightarrow Patologia(classe) \\
& data_ext \rightarrow Vial(data_ext) \\
& num_v \rightarrow Vial(num_v) \\
& num_hist \rightarrow Vial(num_hist) \\
& num_sens \rightarrow Sensor(num_sens)
\end{aligned} \tag{4.18}
$$

4.4.5 Restriccions d'integritat

Les restriccions d'integritat protegeixen la base de dades contra danys accidentals i prevenen la pèrdua de la consistència de la base de dades. A més de les descrites al diccionari de dades, si s'ha introduït un valor de fumador per al mateix *num_ hist* no deuria d'haver possibilitat de deixar-lo nul, hauria d'agafar-lo per defecte.

4.4.6 Operacions dels usuaris

Es defineixen tres tipus d'usuaris o actors:

- Sistema.
- Professional Sanitari.
- Administrador.

Els casos d'ús representats a les figures 4.33 i 4.34 aporten que el treball amb les dades es durà a terme per tots els actors.

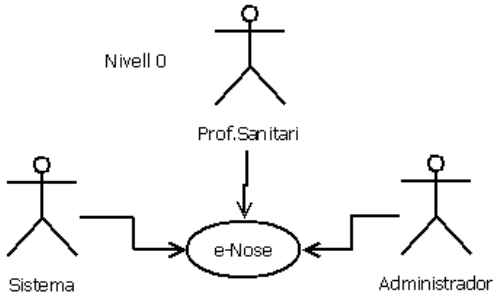


Figura 4.33: Cas d'ús nivell 0.

La introducció de dades es realitzarà mitjançant diversos formularis als quals tindrà accés l'actor en concret que intervinga, segons es pot veure a la taula 4.2. L'Administrador, tot i que pot actuar amb altres rols, se l'ha limitat per a definir el seu paper als casos d'ús.

El sistema podrà crear una anàlisi amb paràmetres per defecte per a fer assajos. Utilitzarà les dades introduïdes pel professional sanitari per a crear

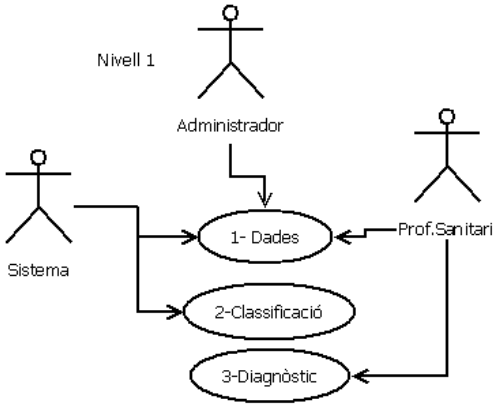


Figura 4.34: Cas d'ús nivell 1.

Taula 4.2: Cas d'ús Introducció de dades

Formularis	Sistema	Prof.Sanitari	Administrador
Introducció de Patologies i indicadors			X
Introducció de pacients		X	X
Introducció de sensors, paràmetres TH i sensibilitat			X
Crear anàlisi	X	X	X
Crear corba	X	X	X

automàticament les dades dels vials i desarà els valors capturats pels sensors. Per a fer modificacions de les dades ja escrites a la base de dades, es limita el professional sanitari a poder eliminar les corbes creades. A la taula 4.3 es representa el cas d'ús per a la modificació de dades.

Taula 4.3: Cas d'ús modificacions de dades

Formularis	Sistema	Prof.Sanitari	Administrador
Modificació de Patologies i indicadors		X	X
Modificació de pacients		X	X
Modificació de sensors, paràmetres TH i sensibilitat			X
Eliminar corba	X		X

4.4.7 Disseny lògic de la base de dades

Les claus alienes requereixen de certa protecció per a que no s'esborre la clau principal a la qual pertanyen i també certes entitats que no es poden esborrar o s'esborren les que depenen d'ella. Açò es pot controlar mitjançant ON DELETE CASCADE , ON DELETE RESTRICT, ON DELETE SET NULL i ON DELETE NO ACTION. Per exemple, els sensors es substitueixen quan s'estropegen o siguen vells, però han de mantenir el seu ID, ja que els valors capturats s'esborrarien. Per tant es faria un UPDATE de la data d'instal·lació i es mantindrien les corbes de l'anterior, però si es canvia del tipus de sensor, caldrà donar d'alta un nou que no tindrà cap corba associada.

4.4.8 Diccionari de dades

El diccionari de dades recull les taules amb els atributs detallats. Es determinen les restriccions, el tipus de data i es descriu cada atribut. A aquest diccionari s'arriba una vegada analitzada la perspectiva estàtica del model conceptual al que respon el problema, és a dir, el disseny lògic del problema. Però no es pot completar, i donar per acabat fins aplegar a la implementació o pas a taules. A continuació es mostren les diferents entitats i relacions necessàries per a la implementació de la base de dades.

A la taula 4.4 es determina l'entitat Pacient. El número d'història clínica és únic per a cada pacient i permet mantenir l'anonimat per al tractament de les dades pel personal no vinculat amb el mateix. Amb la data de naixement es pot calcular l'edat. A priori s'ha determinat com a valor no nul (VNN), però a la implementació real s'ha decidit no aplicar aquesta restricció per tal d'incorporar aquesta dada a posteriori. No s'han determinat altres atributs representatius de l'entitat.

Taula 4.4: Entitat: Pacient

Nom d'atribut	Tipus	Restriccions	Descripció
num_hist	char(8)	Clau Primària	Codi història clínica del pacient
data_n	date		Data de naixement

A la taula 4.5 es determinen les possibles patologies dels pacients. S'utilitza un codi internacional per a la classificació d'enfermetats de l'Organització Mundial de la Salud (OMS) que a España es diu CIE-10-ES. Per exemple, C61 Neoplàsia

maligna de próstata, N40 hiperplàsia benigna de próstata, Z00 persones per al reconeixement o C76 Tumor maligne de bufeta.

Taula 4.5: Entitat: Patologia

Nom d'atribut	Tipus	Restriccions	Descripció
classe	char(8)	Clau Primària	Codi CIE-10 per a cada patologia
descript	varchar(60)	Valor no nul(VNN)	Breu descripció de la patologia

La taula que relaciona les entitats Pacient i Patologia, la taula 4.6 anomenada *Pa_ te_ Pa*, representa una relació de molts a molts (n:n), és a dir, molts pacients poden tenir una patologia i aquestes poden tenir molts pacients. També s'ha considerat que tots els pacients han d'estar classificats a una patologia, d'ací la doble línia com es pot observar a la figura 4.22 . L'atribut *data* té una restricció com a valor no nul i s'ha determinat una clau composta camb els atributs *classe* i *num_ hist* que representa el tipus de patologia i suposa la identificació del pacient a una data concreta. Tot i que formalment és incorrecte, s'ha determinat així ja que es pretén portar un històric. Pot haver una recaiguda, recuperació i/o canvi a la patologia del pacient. S'ha determinat un espai per a les possibles anotacions del programador per tal de deixar-ho explicat. L'atribut *sexe* també pot rebre modificacions al llarg del temps i per això s'ha considerat a aquesta taula de relació on mantenir un històric.

Taula 4.6: Pa_te_Pa (Pacient n:n Patologia)

Nom d'atribut	Tipus	Restriccions	Descripció
data	date	Clau Composta, Aliena	Data patologia presentada.
classe	char(8)	Clau Composta, Aliena	Codi CIE-10.
num_hist	char(8)	Clau Composta, Aliena	Codi història clínica
anotacions	varchar(60)		Anotacions internes.
num_reg_ind	serial	Clau Alternativa	Autoincrement per a l'inidicador.
sexe	enum		Home, Dona o Indeterminat
fuma	enum		Habitual, Esporàdic, Exfumador, No Fumador.

La taula 4.7 *Indicador* tracta de recollir tots els indicadors possibles de cada patologia a estudiar. A les taules 4.8 i 4.9 es relacionen alguns dels indicadors per a pacients amb patologies com C61 o N40 i C76 respectivament. Com s'observa a la taula 4.7 el tipus es molt divers i es determina una entitat

Indicador més senzilla que engloba tots els possibles. A la taula 4.11 es descriu la relació entre l'indicador i el valor registrat a una data concreta.

Taula 4.7: Entitat: Indicador

Nom d'atribut	Tipus	Restriccions	Descripció
nom_id	varchar(8)	Clau dèbil	Nom de l'indicador.
descript	varchar(60)		Breu descripció de l'indicador.

Taula 4.8: Indicadors per a C61 ó N40.

Nom d'atribut	Tipus	Descripció
BxG1	int(4)	Gleason 1 biopsia (Bx)
BxG2	int(4)	Gleason 2 biopsia (Bx)
BxGT	int(4)	Gleason total (Bx). Valor calculat 1+2
G1pt	int(4)	Gleason 1 peça tumor
G2pt	int(4)	Gleason 2 peça tumor
GTpt	int(4)	Gleason total peça tumor valor calculat 1+2
BxPos	int(4)	Cilindres positius Bx Recollits a la biòpsia 1-14
ASAP	boolean	
PIN	boolean	
PSApre	float(32,22)	PSA pre-tratament
PSApost	float(32,22)	PSA post-tratament
VolP	int(8)	Volumen próstata
VolPZT	int(8)	Volumen próstata ZT
PR	boolean	Prostatectomia radical

Taula 4.9: Indicadors per a C76.

Nom d'atribut	Tipus	Descripció
Estadi	enum	TA,T1-T4
Grau	enum	low ó high
CISn	int(8)	CIS número de tumors
Tamany	decimal(16,8)	Tamany del tumor
RTU	boolean	Extirpació completa o incompleta
GR	enum	Grup de risc(low, intermediate, high)
Cistitis	boolean	Cistitis o no
Hematuria	booblean	Hematuria o no
Tractament	varchar(60)	Quimio, BCG etc

La taula 4.10 relaciona cada indicador amb la seva patologia. S'utilitza una clau composta aliena (Foreign Key,FK) donada com a clau principal en les respectives taules. Existeix una restricció d'integritat. Cada *nom_id* pertany, almenys, a una classe.

Taula 4.10: Pa_te_Ind (Patologia n:n Indicador)

Nom d'atribut	Tipus	Restriccions	Descripció
nom_ind	varchar(60)	Clau composta i aliena	Nom de l'indicador
classe	char(8)	Clau composta i aliena	Codi CIE-10

Com que pot coincidir que no es disposen de dades d'indicadors fins que temps després actualitze el professional sanitari, es resol com una agregació entre les entitats Patologia, Pacient i Indicador. Si es disposara de totes les dades tindria més sentit una ternària i s'estalviaria una taula.

Taula 4.11: Registre_Ind (Pat_te_Pa n:n Indicador)

Nom d'atribut	Tipus	Restriccions	Descripció
nom_ind	varchar(60)	Clau Aliena	Nom de l'indicador
num_reg_ind	serial	Clau Primaria	Autoincrement per a l'inidicador.
data	date	Clau Aliena	Data patologia presentada.
valor_ind	VNN	Valor de l'indicador.	
classe	char(8)	Clau Aliena	Codi CIE-10
num_hist	char(8)	Clau Aliena	Codi història clínica

La taula 4.12 recull l'entitat *Vial*. Com que per a un mateix pacient es poden recollir més d'un vial en diferents dates cal tenir una clau dèbil formada per la data y el número de vial, que junt a una clau aliena, com la història clínica, configuren la clau primària, a més, resulta interessant recollir el lloc i professional sanitari que realitza l'extracció.

El valor és l'element més menut que s'obté quan s'extrauen mesures amb el dispositiu electrònic. Representa un punt a una corba en dos dimensions; Voltatge i temps. A la taula 4.13 es mostra l'entitat Valor, on el temps es captura fins els minuts i segons, i per al voltatge s'utilitza precisió simple *float(24,21)*, un *float* amb tres bits per als enters i 21 per als decimals. Una estratègia podria ser utilitzar un decimal(10,9) ja que les dades vénen d'una precisió finita (16,14) però el motor de bases de dades ha de fer la conversió i seria més costos en comput.

Taula 4.12: Entitat: Vial

Nom d'atribut	Tipus	Restriccions	Descripció
pk_vi	varchar(16)	Clau dèbil	data +num_v
data_ext	datatime	Clau composta, VNN	Data d'extracció de l'orina
num_v	tinyint	Clau composta, VNN	Nombre de vial de l'1 al 4
prof_sani	varchar(16)		Nom de qui recull l'orina
lloc_ext	varchar(60)		Lloc on es realitza l'extracció
num_hist	char(8)	Clau aliena	Codi història clínica del pacient.

Taula 4.13: Entitat: Valor

Nom d'atribut	Tipus	Restriccions	Descripció
pk_va	int(14)	Clau dèbil	rep+ordre
rep	tinyint	Clau composta alternativa	Nombre de Repetició
ordre	int(11)	Clau composta	Ordre del valor adquirit
valor	float(24,21)	VNN	Valor capturat (Volts)
pk_vi	varchar(16)	Clau Aliena	data +num_v
mun_sens	enum	Clau Aliena	Posició muntat (G1,G2..TH_V, I)
num_corba	serial	Clau Aliena composta	Identificador de corba
classe	char(8)	Clau Aliena	Codi CIE-10
num_hist	char(8)	Clau aliena	Codi història clínica

A la taula 4.14 es mostra l'entitat Sensor. El número de sensor es determina per la posició física on va muntat, amb la lletra G per al de tipus gas acompanyada pel número de posició, I per als de corrent i TH_V per als de temperatura i humitat. Per tal de portar un manteniment en previsió de l'envelliment dels mateixos, es registra la data d'antiguitat de quan es va muntar el sensor. El temps de funcionament pot indicar, en el cas dels sensors de gas, que els valors no són estables. És per això que es registra el temps que porta amb corrent. A més, es registren el nom o denominació pel fabricant, número de bits de precisió i la tensió d'alimentació. Aquestos valors són necessaris per a obtenir valors calculats a posteriori.

Per tal de compensar els valors de temperatura i humitat de l'entorn i aplicar una correcció a les corbes, es requerix de l'extracció de les corbes d'afectació proporcionades pel fabricant del sensor []. A la taula 4.15 es relacionen els atributs per a caracteritzar les mateixes. L'atribut *nom_sensor* es troba present a l'entitat Sensor i com que vénen determinades per la denominació del sensor la seva relació és de molts a un. Això fa que no siga necessari requerir una taula de relació a la base de dades. L'atribut llindar constitueix una clau composta amb el *nom_sensor* ja que el llindar d'humitat on canvien A i alpha

Taula 4.14: Entitat: Sensor

Nom d'atribut	Tipus	Restriccions	Descripció
mun_sens	enum	Clau principal	Posició muntat (G1,G2..TH_V, I)
lot	datetime	VNN	Data muntat
nom_sensor	varchar(16)	VNN	Nom del sensor
numbits	in(3)		Presició
time_on	Datetime		Temps on
V	decimal(16,8)		Tensió d'alimentació

solen ser quatre corbes diferents. Un atribut booleà determina si el sensor en qüestió conté informació d'afectació per temperatura i humitat.

Taula 4.15: Entitat: TH

Nom d'atribut	Tipus	Restriccions	Descripció
nom_sensor	varchar(16)	Clau febla i composta	Nom del sensor
A	float(12,9)		Base d'exponencial corba
alpha	float(24,21)		Exponent corba
llindar	int(7)	Clau composta	Llindar d'humitat
afectat	boolean		Afectat per temperatura i humitat

Per tal d'obtenir els valors en ppm corresponents al valor obtés en volts, es requereix de la corba de sensibilitat proporcionada pel fabricant. Aquesta està condicionada per la Resistència de càrrega aplicada al sensor i el tipus de sensibilitat (Metà, Iso-Butà, Hidrogen, Propà, Etanol i Aire). Aquest últim atribut s'afig per a permetre que altres tipus de sensors que no siguen els de gas tinguen corbes similars proporcionades pels fabricants. A la taula 4.16 es relacionen els atributs per a realitzar els càlculs. Un mateix sensor de gas té corbes de sensibilitat a diversos gasos [46 - 49].

Taula 4.16: Entitat: Sensibilitat

Nom d'atribut	Tipus	Restriccions	Descripció
tipus	enum	Clau febla, VNN	Tipus de sensibilitat
nom_sensor	Varchar(16)	Clau composta, VNN	Nom del sensor
RL	float(8,2)		Resistència de càrrega
A	float(12,9)		Base d'exponencial corba
alpha	float(24,21)		Exponent corba
descr	varchar(60)		Descripció del sensor

L'entitat Corba és necessària per a determinar paràmetres com temps d'adquisició i freqüència de mostreig. A més, resulta d'utilitat per a classificar segons patologia, calcular els valors de contorn per al control de temperatura i humitat dels sensors i guardar un diari quan es classifique. Les no classificades tenen un valor nul. A la taula 4.17 es relacionen els atributs.

Taula 4.17: Entitat: Corba

Nom d'atribut	Tipus	Restriccions	Descripció
classe	char(8)	Clau aliena	Codi CIE-10 o no classificada
num_corba	serial	Primary Key, Autoincrement	Identificador de corba
fs	int(32)		Freqüència de mostreig de la corba(Hz)
tf	int(32)		Temps final d'adquisició o fi de corba(s)
humyE	float(24,21)		Valor d'humitat mig a l'entorn
tempE	float(24,21)		Valor de temperatura mig a l'entorn
humyV	float(24,21)		Valor d'humitat mig al vial
tempV	float(24,21)		Valor de temperatura mig al vial
humyS	float(24,21)		Valor d'humitat mig al sensor
tempS	float(24,21)		Valor de temperatura mig al sensor
data_classi	datatime		Corba classificada

Pel que fa a l'accés a la base de dades, cal establir entitats que donen suport a usuaris i contrasenyes. Aquests usuaris tenen un rol assignat i en funció del mateix poden tenir restriccions d'ús. Les entitats Users i Rol queden definides a les taules 4.18 i 4.19 respectivament i a la taula 4.20 la seva relació.

Taula 4.18: Entitat: Users

Nom d'atribut	Tipus	Restriccions	Descripció
id	char(8)	Primary Key, Autoincrement	
user	varchar(45)	VNN	Nom de l'usuari
pass	char(32)	VNN	MD5 del password

Taula 4.19: Entitat: Rol

Nom d'atribut	Tipus	Restriccions	Descripció
id	char(8)	Primary Key, Autoincrement	
name	varchar(16)	VNN	Nom del rol
description	varchar(60)	VNN	

Taula 4.20: users_te_rol (Users n:n Rol)

Nom d'atribut	Tipus	Restriccions	Descripció
users_id	char(8)	Clau aliena	
rol_id	varchar(16)	Clau aliena	

4.4.9 Disseny físic

Aquest apartat tracta de la implementació a un servidor SQL i no es apte per a altre tipus de llenguatge. És ací on el lector tindria que adaptar el codi a la base de dades a utilitzar. No s'ha annexat per tal de donar continuïtat a l'apartat i tancar la temàtica en un sol capítol. No obstant aquest codi i tot el necessari per a implementar la base de dades com la resta de software està disponible a la url `https://github.com/juatafe/e-Nose`.

Llenguatge de definició de dades DDL

CREATE s'utilitza per a crear una base de dades, taules, vistes etc.

ALTER s'utilitza per a modificar l'estructura, per exemple afegir o borrar columnes d'una taula.

DROP s'utilitza per a eliminar objectes de l'estructura.

Algorisme 4.1: Crear base de dades e-nose

```
DROP DATABASE IF EXISTS `e-nose`;
CREATE DATABASE `e-nose`;
```

Algorisme 4.2: Crear taula Pacient

```
CREATE TABLE Pacient( num_hist char(8) PRIMARY KEY,
  data_n date NOT NULL
);
```

Algorisme 4.3: Crear taula Patologia

```
CREATE TABLE Patologia( classe char(8) PRIMARY KEY,
  descript varchar(60) NOT NULL
);
```

Algorisme 4.4: Crear taula Indicador

```
CREATE TABLE Indicador ( nom_ind varchar(60) PRIMARY KEY,
    descript varchar(60),
    classe char(8),
    FOREIGN KEY (classe) REFERENCES Patologia(classe)
            ON UPDATE CASCADE ON DELETE CASCADE
  );
```

Algorisme 4.5: Crear taula Pa_te_Pa

```
CREATE TABLE Pa_te_Pa ( data date,
  classe char(8),
  num_hist char(8),
  anotacions varchar(60),
  num_reg_ind serial,
  sexe enum('Home', 'Dona', 'Indeterminat'),
  fuma enum('Habitual', 'Esporadic', 'ExFumador','No Fumador'),
  PRIMARY KEY (data, classe, num_hist),
  FOREIGN KEY (classe) REFERENCES Patologia(classe)
         ON UPDATE CASCADE ON DELETE CASCADE,
  FOREIGN KEY (num_hist) REFERENCES Pacient(num_hist)
           ON UPDATE CASCADE ON DELETE CASCADE
);
```

Algorisme 4.6: Crear taula Registre_ind

```
CREATE TABLE Registre_ind ( num_reg_ind serial PRIMARY KEY,
  nom_ind varchar(60),
  valor_ind varchar(60),
  data date,
```

```
  classe char(8),
  num_hist char(8),
  FOREIGN KEY (num_reg_ind) REFERENCES Pa_te_Pa(num_reg_ind)
              ON UPDATE CASCADE ON DELETE CASCADE,
  FOREIGN KEY (nom_ind) REFERENCES Indicador(nom_ind)
              ON UPDATE CASCADE ON DELETE CASCADE,
  FOREIGN KEY (data) REFERENCES Pa_te_Pa(data)
              ON UPDATE CASCADE ON DELETE CASCADE,
  FOREIGN KEY (classe) REFERENCES Patologia(classe)
              ON UPDATE CASCADE ON DELETE CASCADE,
  FOREIGN KEY (num_hist) REFERENCES Pacient(num_hist)
              ON UPDATE CASCADE ON DELETE CASCADE
);
```

Algorisme 4.7: Crear taula Pa_te_ind

```
CREATE TABLE Pa_te_ind (nom_ind varchar(60) NOT NULL,
  classe char(8) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (nom_ind, classe),
  FOREIGN KEY (classe) REFERENCES Patologia(classe)
   ON UPDATE CASCADE ON DELETE CASCADE,
  FOREIGN KEY (nom_ind) REFERENCES Indicador(nom_ind)
   ON UPDATE CASCADE ON DELETE CASCADE
  );
```

Algorisme 4.8: Crear taula Vial

```
CREATE TABLE Vial (
 num_reg_vial serial,
 data_ext timestamp NOT NULL,
 num_v tinyint NOT NULL,
 prof_sani varchar(16),
 lloc_ext varchar(60),
 num_hist char(8) NOT NULL,
 PRIMARY KEY (data_ext,num_v,num_hist),
 FOREiGN KEY (num_hist) REFERENCES Pacient(num_hist)
```

```
    ON UPDATE CASCADE ON DELETE CASCADE
  );
```

Algorisme 4.9: Crear taula Sensor

```
CREATE TABLE Sensor(
 num_sens enum('G1','G2','G3','G4','TH_V','I'),
 lot timestamp NOT NULL,
 nom_sensor varchar(16) NOT NULL,
 numbits int(3),
 time_on timestamp,
 V float(24,21),
 PRIMARY KEY (num_sens)
);
```

Algorisme 4.10: Crear taula Valor

```
CREATE TABLE Valor (
 data timestamp NOT NULL,
 valor float(24,21),
 num_corba serial,
 ordre int(11),
 PRIMARY KEY (ordre,num_corba),
 FOREIGN KEY (num_corba) REFERENCES Corba(num_corba)
   ON UPDATE CASCADE ON DELETE CASCADE
 );
```

Algorisme 4.11: Crear taula TH

```
CREATE TABLE TH (
 num_sens enum('G1','G2','G3','G4','TH_V','I'),
 nom_sensor varchar(16),
 A float(12,9),
 alpha float(24,21),
 llindar int(7),
```

```
 afectat boolean,
 PRIMARY KEY (nom_sensor, num_sens),
 FOREIGN KEY (num_sens) REFERENCES Sensor(num_sens)
   ON UPDATE CASCADE ON DELETE CASCADE
 );
```

Algorisme 4.12: Crear taula Sensibilitat

```
CREATE TABLE Sensibilitat(
 tipus enum('CH4','C4H10','H','C3H8','C2H5OH','Ar'),
 num_sens enum('G1','G2','G3','G4','TH_V','I'),
 nom_sensor varchar(16),
 A float(12,9),
 alpha float(24,21),
 RL float(8,2),
 descr varchar(60),
 PRIMARY KEY (nom_sensor, num_sens, tipus),
 FOREIGN KEY (num_sens) REFERENCES Sensor(num_sens)
   ON UPDATE CASCADE ON DELETE CASCADE
 );
```

Algorisme 4.13: Crear taula Corba

```
CREATE TABLE Corba(
 num_corba serial,
 classe char(8),
 data_classi timestamp,
 num_v tinyint,
 rep tinyint,
 data_ext timestamp,
 fs int(32),
 tf int(32),
 humyE float(24,21),
 tempE float(24,21),
 humyV float(24,21),
 tempV float(24,21),
 humyS float(24,21),
```

```
tempS float(24,21),
num_sens enum('G1','G2','G3','G4','ThCal','ThInt','ThExt','I'),
num_hist char(8),
PRIMARY KEY (num_corba),
FOREIGN KEY (classe) REFERENCES Patologia(classe)
  ON UPDATE CASCADE ON DELETE CASCADE,
FOREIGN KEY (data_ext,num_v,num_hist) REFERENCES Vial(data_ext,num_v
    ,num_hist)
  ON UPDATE CASCADE ON DELETE CASCADE,
FOREIGN KEY (num_corba) REFERENCES Corba(num_corba)
  ON UPDATE CASCADE ON DELETE CASCADE,
FOREIGN KEY (num_sens) REFERENCES Sensor(num_sens)
  ON UPDATE CASCADE ON DELETE CASCADE
);
```

Algorisme 4.14: Crear taula Users

```
CREATE TABLE Users(
 id MEDIUMINT NOT NULL AUTO_INCREMENT,
 user varchar(45),
 pass char(32),
 PRIMARY KEY (id)
 );
```

Algorisme 4.15: Crear taula Rol

```
CREATE TABLE Rol(
 id MEDIUMINT NOT NULL AUTO_INCREMENT,
 name varchar(16),
 description varchar(60),
 PRIMARY KEY (id)
 );
```

Algorisme 4.16: Crear taula Users_te_Rol

```
CREATE TABLE Users_te_Rol(
 users_id MEDIUMINT,
 rol_id MEDIUMINT,
 PRIMARY KEY (users_id,rol_id),
  FOREIGN KEY (users_id) REFERENCES Users(id)
   ON UPDATE CASCADE ON DELETE CASCADE,
  FOREIGN KEY (rol_id) REFERENCES Rol(id)
   ON UPDATE CASCADE ON DELETE CASCADE
    );
```

Llenguatge de manipulació de dades DML

En anglés *Data manipulation language*, són comandaments que permeten als usuaris manipular o consultar dades de la base de dades.

SELECT s'utilitza per a fer consultes de les dades.

INSERT s'utilitza per a inserir valors.

UPDATE s'utilitza per a modificar valors.

DELETE s'utilitza per a eliminar les files d'una taula.

Algorisme 4.17: Insertar dades, crear usuari.

```
INSERT INTO Rol (name,description) VALUES('Administrador','
    Administrador del sistema'),
('ProfeSanitari','Personal que extrau dades'),
('Sistema','Usuari del sistema');
INSERT INTO Users (user,pass) VALUES('admin','admin'),
('ps','ps'),
('sistema','sistema');
INSERT INTO Patologia (classe,descript) VALUES('C61','Neoplasia
    maligna de próstata'),
('N40','Hiperplàsia benigna de próstata'),
('Z00','Persones per al reconeixement'),
('C76','Tumor maligne de bufeta');
```

```
INSERT INTO Indicador (nom_ind,descript) VALUES('BxG1','Gleason 1
    biopsia (Bx)'),
('BxG2','Gleason 2 biopsia (Bx)'),
('BxGT','Gleason total biopsia (Bx) Valor calculat 1+2'),
('G1pt','Gleason 1 peça tumor'),
('G2pt','Gleason 2 peça tumor'),
('GTpt','Gleason total peça tumor valor calculat 1+2'),
('BxPos','Cilindres positius Bx Recollits a la biòpsia 1-14'),
('ASAP','Booleano'),
('PIN','Booleano'),
('PSApre','PSA pre-tratament'),
('PSApost','PSA post-tratament'),
('VolP','Volumen pròstata'),
('VolPZT','Volumen pròstata ZT'),
('PR','Prostatectomia radical'),
('Estadi','TA,T1-T4'),
('Grau','low o high'),
('CISn','CIS  número de tumors'),
('Tamany','Tamany del tumor'),
('RTU','Extirpació completa o incompleta'),
('GR','Grup de risc(low, intermediate, high)'),
('Cistitis','Cistitis o no'),
('Hematuria','Hematuria o no'),
('Tractament',' Quimio, BCG etc');
INSERT INTO Sensor (num_sens,nom_sensor,lot,V)
 VALUES('G1','TGS2600',0,5),
('G2','TGS2611',0,5),
('G3','TGS2620',0,5),
('G4','TGS2610',0,5),
('ThCal','SH31D',0,3.5),
('ThInt','HTU21D',0,3.5),
('ThExt','HTU21D',0,3.5);
```

Llenguatge de control de dades DCL

En anglés *Data controll language*, són comandaments que permeten a l'administrador de la base de dades controlar l'accés a la mateixa. S'utilitza per a diferenciar l'accés entre l'administrador, el professional sanitari i el sistema.

GRANT s'utilitza per a atorgar permisos.

REVOKE s'utilitza per a revocar permisos.

A l'algorisme de creació i assignació de privilegis 4.18 es pot observar com a l'usuari *sistema* s'ha assignat accés a la base de dades en local.

Algorisme 4.18: Insertar dades

```
CREATE USER 'sistema'@'localhost' IDENTIFIED BY 'password';
GRANT ALL PRIVILEGES ON 'e-nose'.* TO 'sys'@'localhost';
FLUSH PRIVILEGES;
```

4.5 Cridades al hardware per a l'extracció de dades

Per tal de llegir els diferents sensors connectats s'utilitza l'interpret Python i les llibreries GPIO. La representació de les cridades es converteix en una representació de classes que agrupen els métodes emprats per a la seva implementació. La simbologia segueix les pautes descrites a [65] i que es resumeixen a la figura 4.35. La definició de públic significa accessible des de codi escrit dins o fora de la classe i privat accessible únicament de dins de la classe. Els camps són variables privades globals comuns a tots el mètodes de la classe.

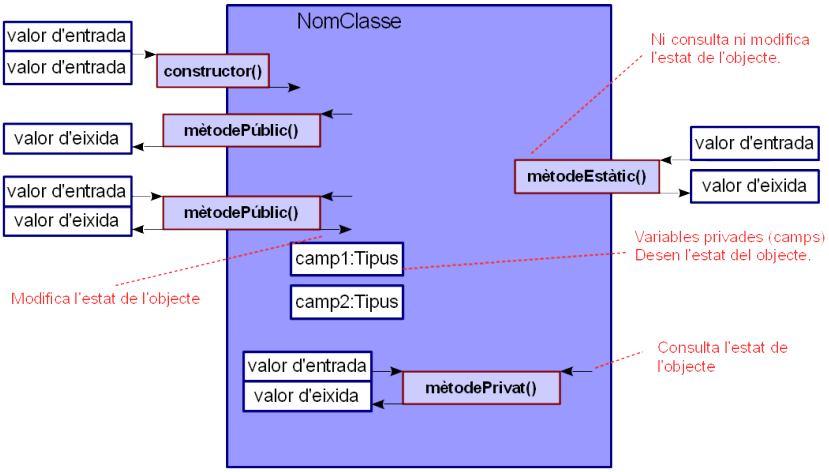


Figura 4.35: Resum representació del disseny d'una classe.

Temperatura i humitat escalfador

La classe que implementa l'objecte que crida les funcions que calen per a llegir el sensor de temperatura i humitat SHT31D de l'escalfador hereta de la classe SHT31D proporcionada amb llicència MIT per Adafruit. A la figura 4.36 es representa aquesta relació i els mètodes que implementa.

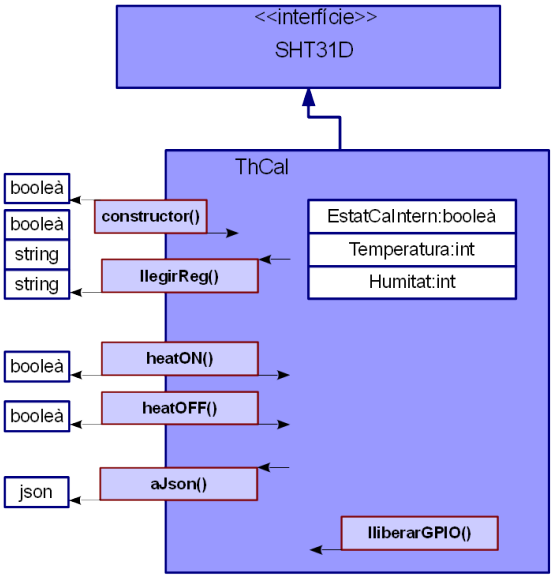


Figura 4.36: Respresentació de la classe ThCal.

Temperatura i humitat ambient

La classe que implementa l'objecte que crida les funcions que calen per a llegir el sensor de temperatura i humitat DHT de l'ambient hereta de la classe DHT proporcionada per Adafruit sense restriccions. A la figura 4.37 es representa aquesta relació i els mètodes que implementa.

Temperatura i humitat dins la càmera

La classe que implementa l'objecte que crida les funcions que calen per a llegir el sensor de temperatura i humitat HTU21D de dins la càmera hereta de la classe HTU21D proporcionada per Adafruit sense restriccions. A la figura 4.38 es representa aquesta relació i els mètodes que implementa.

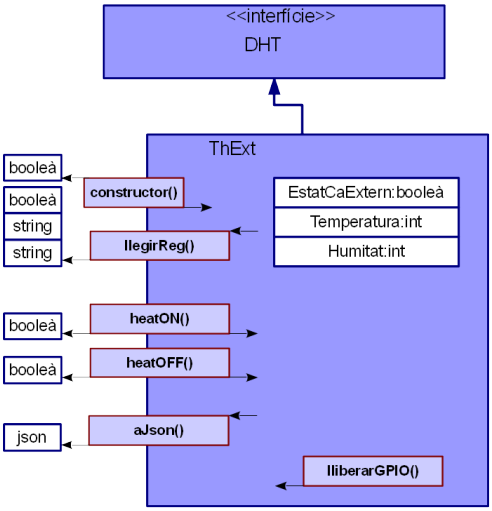


Figura 4.37: Respresentació de la classe ThExt.

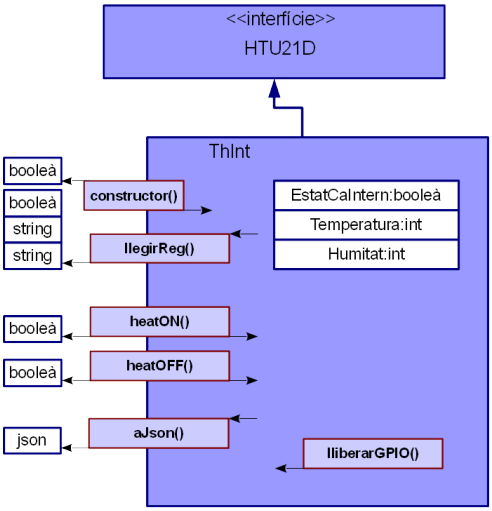


Figura 4.38: Respresentació de la classe ThInt.

Convertidor analògic a digital ADC

La classe que implementa l'objecte que crida les funcions que calen per a llegir el sensor ADC hereta de la classe ADS1118 proporcionada per Jonathanimb amb llicència MIT. A la figura 4.39 es representa aquesta relació i els mètodes que implementa. La notació canvia quan es parla del sensor ADC respecte a l'objecte de la classe Adc.

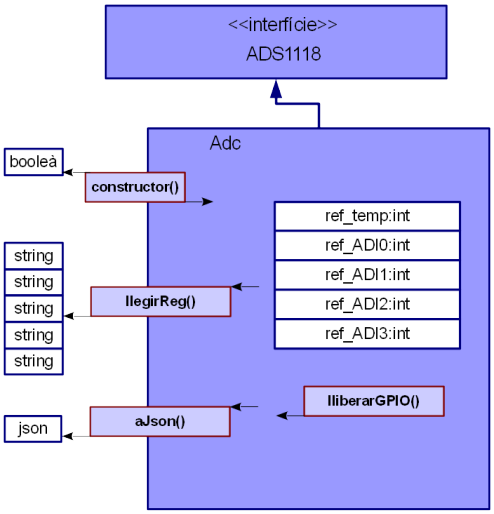


Figura 4.39: Respresentació de la classe Adc.

Controlador de pins de propòsit general GPIO

Per tal de controlar els pins GPIO s'utilitza un únic (singleton) objecte que crida les funcions que calen per a canviar l'estat dels mateixos de manera que es guarde l'estat. Així doncs, cal preveure un mètode públic que allibere els pins si es produeix una interrupció de l'execució normal del software o es tanque el programa de manera sobtada. A la figura 4.40 es representa aquesta relació i els mètodes que implementa. La solució de la classe s'implementa per a controlar la bomba d'aire, la electrovàlvula i l'escalfador de vials.

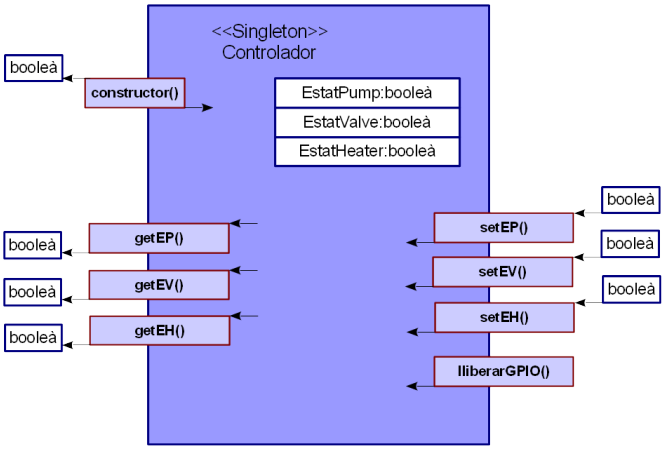


Figura 4.40: Respresentació de la classe Controlador.

4.5.1 Diagrama de seqüència per a les cridades al hardware

Per tal de definir el comportament del software en funció del cas d'ús de les cridades al hardware pel sistema per a obtenir els valors dels diferents sensors, s'estudia un diagrama de seqüència. A la figura 4.41 s'observa la representació de l'actor com a Sistema des d'on es criden, un a un, els objectes que permeten la resposta amb les dades.

Aquesta estratègia suposa que el sistema recull seqüèncialment les dades. L'objecte controlador estarà actiu i serà únic, però la resta tindrà cicle de vida finit per tal de deixar els ports de comunicació I2C i SPI lliures. Però el fet de tenir l'objecte controlador, fa que requerisca una estratègia de comunicació activa. A més, l'objecte Adc captura els senyals provinents dels sensors del tipus MOS que estan condicionats pel domini del temps. Això fa que la captura síncrona no estiga garantida.

Aprofitant el paral·lelisme de les unitats de control de procés (CPU) i l'ús de ports diferents, es divideix el cas d'ús en tres fils. A la figura 4.42 s'observa que s'ha triplicat l'actor *sistema*. Cada actor representa un fil diferent on poder diferenciar els temps d'adquisició dels valors segons l'objecte.

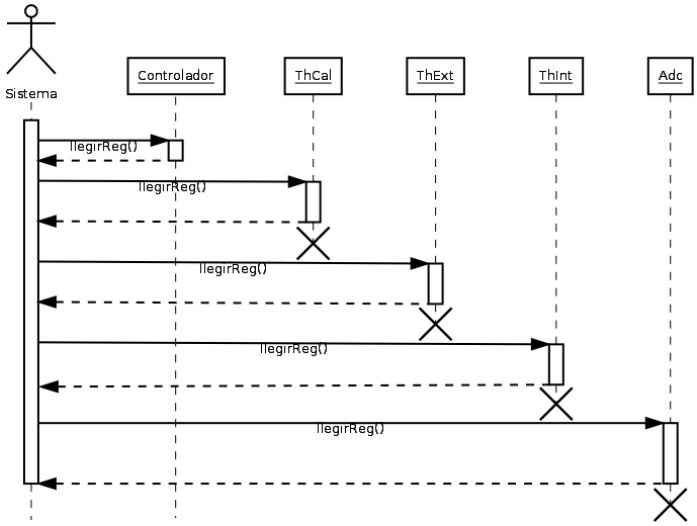


Figura 4.41: Diagrama de seqüència cridades de hardware.

El controlador i els sensors de temperatura i humitat no requerixen de prioritat, ja que no estan condicionats pel domini del temps. L'objecte Adc requereix d'un semàfor per a obtenir la prioritat a l'ús de la CPU per tal de garantir la reproductibilitat en el temps. Per altra banda permet mantenir la vida de l'objecte.

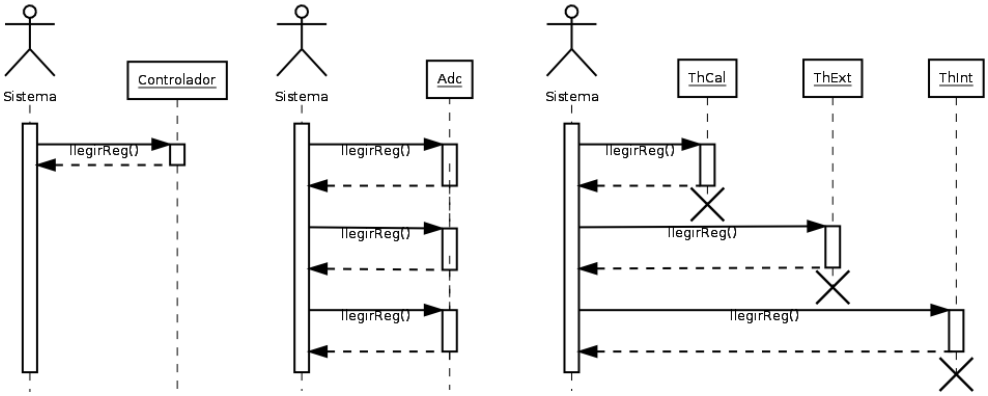


Figura 4.42: Diagrama de seqüència cridades de hardware multifils.

4.5.2 Cas d'ús cridades a servidors

A la figura 4.43 es representa l'activació de tres servidors que controlaran la comunicació entre les peticions del servidor web i l'extracció de dades del hardware. Aquestos servidors funcionaran de manera independent proporcionant un socket de comunicació entre ells i el servidor web HTTP per tal de proporcionar les dades al Frontend demandades pel professional sanitari o el propi sistema.

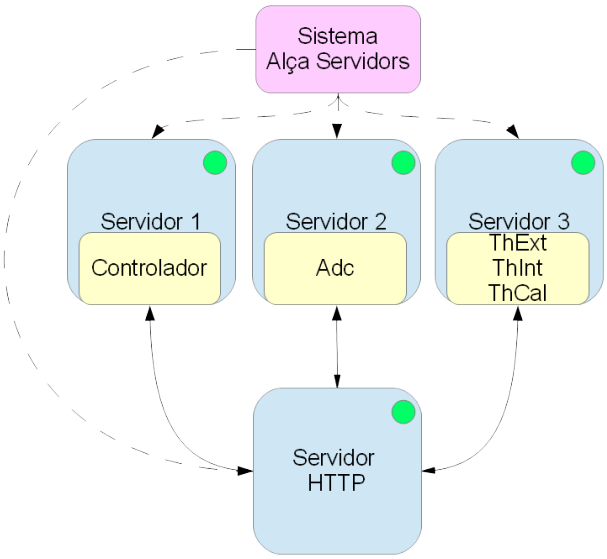


Figura 4.43: Diagrama de cas d'ús cridades a servidors.

El sistema, en iniciar sessió, alça els tres servidors com a tres processos independents. Per tal d'aconseguir-ho, es modifica el fitxer ~/.bash_profile com es pot observar a l'algorisme 4.19

Algorisme 4.19: Contingut del fitxer ~/.bash_profile

```
node /home/pi/enose/server/servidor1.js &
node /home/pi/enose/server/servidor2.js &
node /home/pi/enose/server/servidor3.js &
```

Diagrama de seqüència de la captura de dades

Les dades són capturades de manera asíncrona com es pot observar a la figura 4.44 on les crides *fetch()* es representen amb una línia amb punta d'arpó. La seqüència descrita per la figura representa un bucle on el professional sanitari observa els valors del Frontend i si són correctes, pot iniciar una captura de dades. Aquesta captura consisteix en obrir el pas de l'electrovàlvula per tal que la bomba d'aire espente els compostos volàtils cap a la càmera amb els sensors i tancar-la en els temps configurats. Per tal de controlar l'estat dels GPIO que controlen l'electrovàlvula, l'escalfador i la bomba en cada crida al servidor 1 s'envien tres bits i es comparen amb l'estat desat. No obstant, a diferència del funcionament normal quan es fa una captura de dades la bomba estarà en funcionament, el sensor de l'escalfador indicarà un valor de temperatura i humitat dins d'un rang preestablert i l'electrovàlvula s'accionarà un temps després de la captura i tornarà al seu estat abans d'acabar-la.

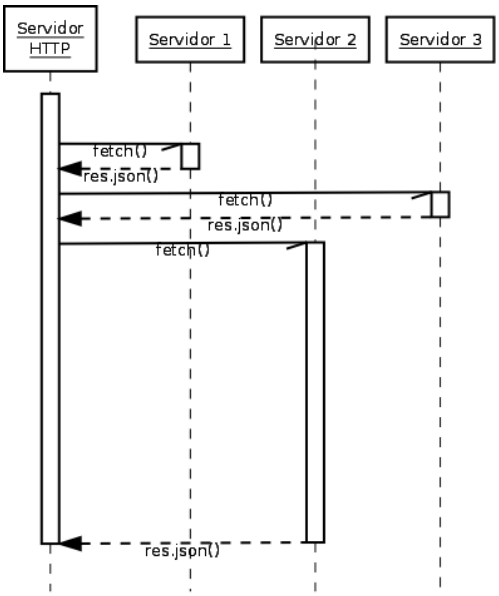


Figura 4.44: Diagrama de seqüència captura de dades.

Quan finalitza la captura, el professional sanitari ha de validar la mateixa i es procedirà a inserir les dades a la base de dades. A la figura 4.45 es representa el diagrama de seqüència entre el servidor HTTP i la base de dades.

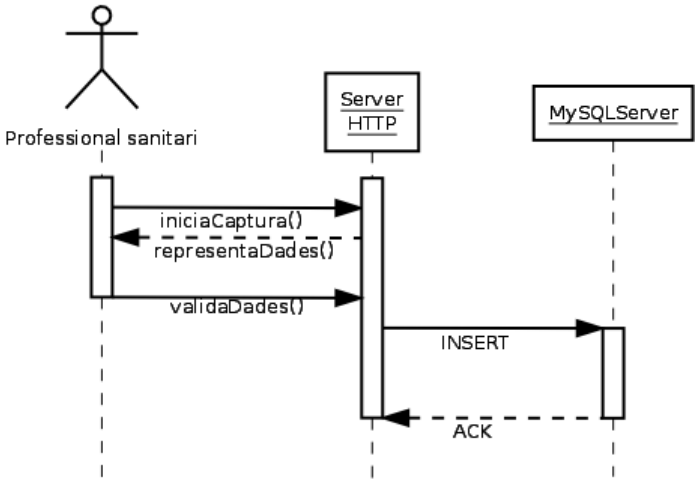


Figura 4.45: Diagrama de seqüència inserir dades en base de dades.

4.6 Interfície

Per al desenvolupament de la interfície o en anglés *Frontend* s'ha tingut en compte la ISO 9241-151:2008 Ergonomia de la interacció home-sistema. Concretament la part 151: Directrius per a les interfícies d'usuari Web [66]. Es tracta de garantir l'enteniment del funcionament del sistema per part del personal sanitari de manera ràpida i fàcil.
Es determinen quatre passos a seguir per tal de crear la interfície:

- Sketch
- Wireframe
- Mockup
- Prototip

Als apartats següents es detallen els passos esmentats que permeten definir un camí guiat i objectiu a l'hora de respondre a les necessitats del projecte.

4.6.1 Sketch

Sketch o esbós són les anotacions ràpides en forma d'idees que encara no s'han avaluat. Es tracta d'una tempesta d'idees on cap d'elles és descartada ja que pot portar a altra. Per tal de millorar la tècnica cal tenir una experiència real des d'on alimentar idees. No es seu a l'escriptori i la idea original apareix per art de màgia. Amb el primer axioma del mètode científic, l'observació, s'obtenen detalls que més tard poden ser implementats a una idea o aspecte formal. Per exemple, una textura d'un calçat podria formar part del fons de la interfície o una implementació de menús a una aplicació es podria adaptar o mesclar amb altra. No es tracta de copiar, si no d'un procés invisible previ de nutrició d'idees. Si el dissenyador no disposa d'aquesta experiència o *knowhow*, cal recórrer a tècniques de grup amb experts. Aquest procés requereix d'una posterior anàlisi on es recullen les idees més rellevants en una estructura resum. A la figura 4.46 es pot observar una mostra del mateix.

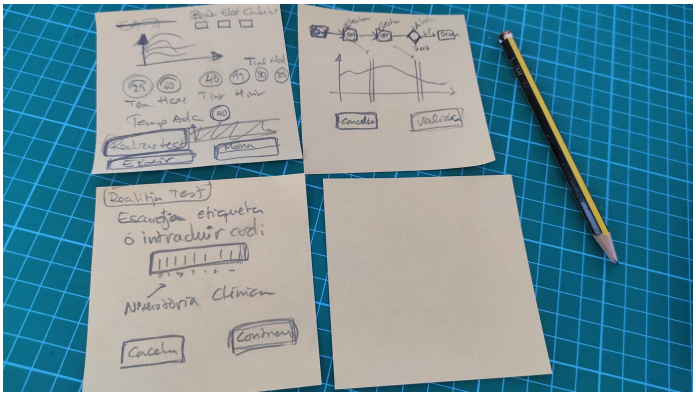


Figura 4.46: Procés del disseny de la interfície, esbossos.

4.6.2 Wireframe

Wireframe o estructura de filferro simbolitza l'andami centrat a l'estructura de l'aplicació sense tenir en compte colors, funcionalitat o imatges. Es centra amb allò que fa i no el que es veu i determina la graella d'elements, les grandàries, el disseny *responsive*, adaptatiu i funcional. Com es pot veure a la figura 4.47 es determinen els elements de la pantalla de login i la seva disposició per tal de fer que siga amigable i adaptatiu en funció del tipus de dispositiu i l'orientació de la pantalla. Per tal de no ser redundant s'han omés a propòsit la resta d'estructures que es detallen a la secció següent.

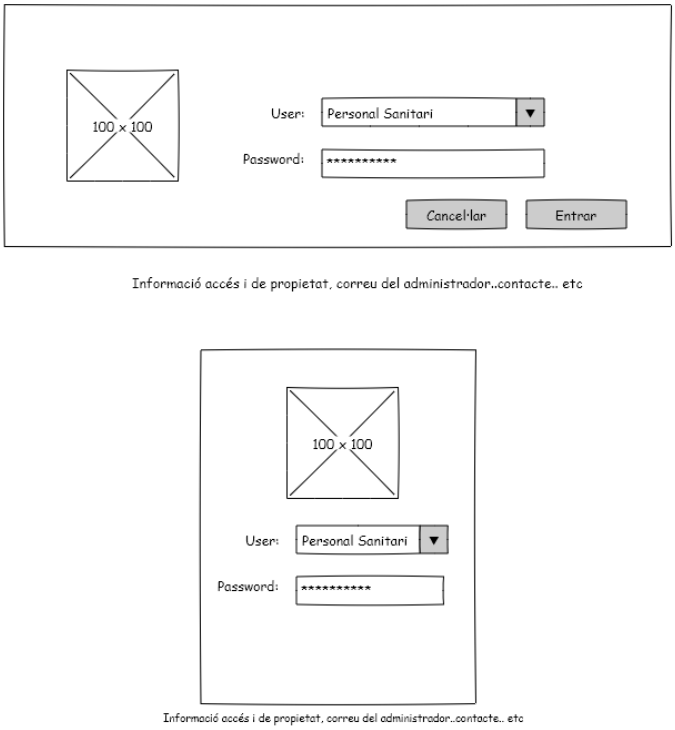


Figura 4.47: Procés del disseny del *wireframe*, accés a l'aplicació.

4.6.3 Mockup

Mockup o maqueta és la transformació del *Wireframe* en una estructura centrada amb l'aspecte visual.

Del *Wireframe* es parteix de l'estructura següent. En iniciar el dispositiu s'alçarà un servei que obri el navegador d'on s'accedeix al panell de control del eNas. Ací caldrà passar un control d'accés, on es demana usuari i contrasenya. Per al personal sanitari s'habilita un panell de control, on podrà observar el funcionament dels sensors i començar amb el test predefinit. A la figura 4.48 s'observen tres zones diferenciades. En primer lloc a l'esquerra es veu una imatge de la bomba d'aire i de la electrovàlvula. Si pel motiu que siga es necessita posar en funcionament o canviar la transmissió d'aire a la càmera, es podrà accionar un *CheckBox*. Un missatge indica si són els compostos volàtils (COVs) o l'aire net (Aire) si s'acciona el de l'electrovàlvula. Per tal d'accionar

l'escalfador s'utilitza un tipus *Button Switch* que emfatitza que està engegat (ON) o apagat(OFF). També apareixen cartells indicadors de temperatura que canvien de color en funció de la mateixa.

Per a la zona de la dreta es reserva una zona per a la càmera amb informació mitjançant cartells de colors amb la temperatura i humitat dins de la mateixa. Un cartell amb informació al respecte del contingut guiat fins la mateixa es disposarà de manera redundant quan estiga la bomba accionada. A la part inferior es mostraran les condicions del laboratori mitjançant cartells indicadors amb la informació de temperatura i humitat.

Finalment apareix un *Text input* amb un missatge que indica que cal introduir el codi del vial a analitzar i un botó amb l'etiqueta d'iniciar la captura com es pot observar a la figura 4.49. Aquest botó romandrà inoperable fins que es complisquen les condicions de contorn òptimes. Ací s'inicia la captura amb els valors predefinits per defecte. Per tal d'ajustar aquestos valors, cal iniciar el panell amb el rol d'Administrador.

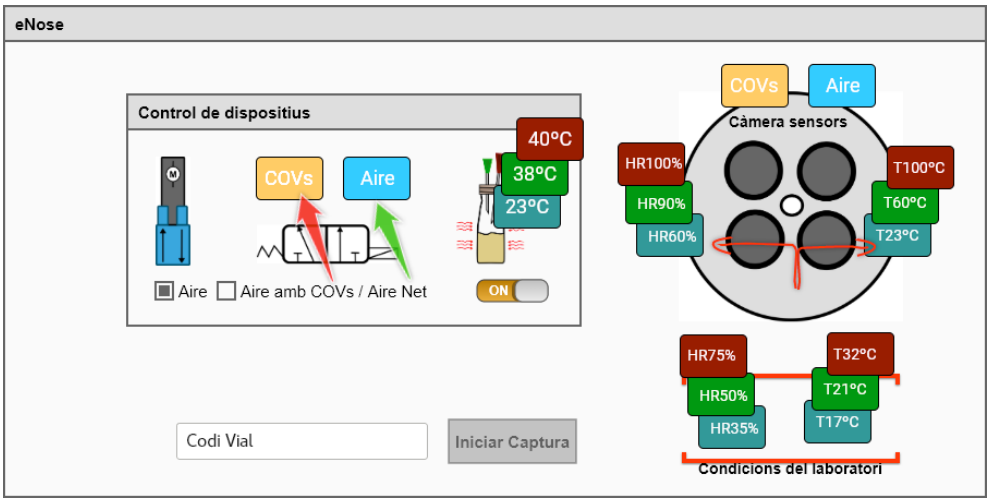


Figura 4.48: Interfície personal sanitari.

Una captura ve determinada per:

- Durada en segons. Per defecte 150 s.
- Número de sensors. Per defecte 4.

- Pas d'aire amb COVs a la càmera. Per defecte 18 s.
- Retorn de pas d'aire net a la càmera. Per defecte 80 s.
- Freqüència de mostreig. Per defecte 10 ms.
- Número de repeticions. Per defecte 5.

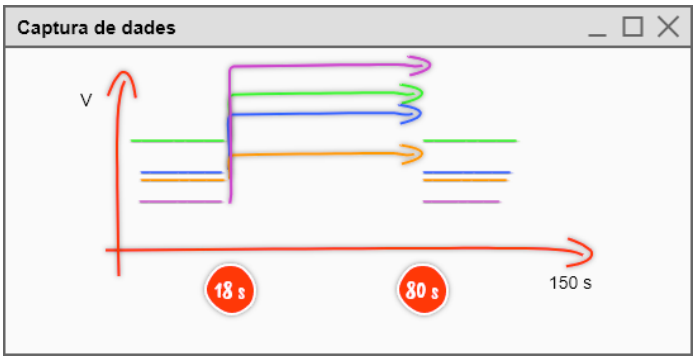


Figura 4.49: Captura de dades per part del personal sanitari.

Un missatge alertarà al personal sanitari de la informació recollida mitjançant el codi del vial introduït, la repetició, el número de pacient i el número de vial com s'observa al prototip de la figura 4.50. Una vegada s'ha iniciat la captura, aquesta sols es pot cancel·lar tancant la finestra que tornarà l'electrovàlvula al seu estat de deixar passar aire net a la càmera i la resta de dispositius com l'escalfador i la bomba romandran com abans d'iniciar la captura. No obstant, per a cada repetició es tornarà a mostrar l'opció d'iniciar captura on es podrà cancel·lar o continuar amb les mateixes.

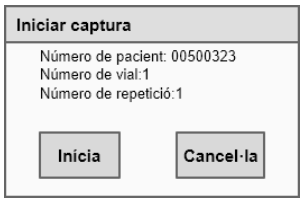


Figura 4.50: Iniciar captura.

Al finalitzar el temps determinat, s'enviarà un missatge al personal sanitari per tal d'acceptar la captura i incorporar les dades a la base de dades. Una

Progess bar indicarà el procés d'incorporació de les dades a la base de dades. A la figura 4.51 es pot veure el prototip. Una vegada finalitzada la incorporació, un missatge d'*incorporació realitzada amb èxit* durant dos segons informarà el personal sanitari i tornarà a la finestra inicial de control de dispositius.

Figura 4.51: Incorporar dades.

Per tal de contemplar que un vial es torne a mesurar amb una repetició que no ha eixit correctament, cal preveure la verificació contra la base de dades que el vial corresponent a aquest pacient no s'haja mesurat ja. Si ja té mesures, caldrà augmentar el número a la repetició. També caldrà permetre l'enviament de manera parcial de les repeticions que sí han estat correctes. És per això que s'ha habilitat una sèrie de *CheckBox* per tal de desmarcar aquelles que no es volen incorporar.

4.6.4 Prototip web

La maqueta es converteix en un prototip on poder interactuar i tenir una experiència d'usuari. Ací s'avaluen les necessitats i requeriments establerts verificant les funcionalitats del sistema, personal sanitari i administrador. Per això cal utilitzar el hardware i instal·lar tot el necessari i configurar les diverses ferramentes per tal de fer factible l'ús de l'e-Nose com una ferramenta de laboratori.

Instal·lació i configuració de la Raspberry Pi

Per a preparar una targeta SD amb el sistema operatiu necessari, a la web oficial de Raspberri Pi es descarrega el software Raspberry Pi Imager. Amb aquest software resulta trivial flashetjar la targeta SD amb la imatge del sistema operatiu Raspbian. A la figura 4.52 es pot observar la simplicitat de la ferramenta.

Figura 4.52: Raspberry Pi Imager.

Una vegada instal·lada la targeta a la Raspberry Pi es requereix la instal·lació i configuració de les llibreries per a fer possible el comandament del port GPIO i el funcionament dels diversos servidors. Per tal d'actualitzar i instal·lar es requereix d'una connexió a internet. Es proporciona un punt d'accés (AP) al que connectar-se amb un Identificador del conjunt de serveis (SSID) anomenat e-Nose. Aquest AP proporciona una adreça lògica a la xarxa (adreça IP) amb la qual establir una connexió segura entre dos dispositius, si està habilitat el servidor SSH a la Raspberry Pi. Per a habilitar el servei sols cal anar a la configuració i sel·leccionar-lo entre altres opcions que s'utilitzaran més endavant com el bus I2C i el SPI. A la figura 4.53 es poden observar les diferents opcions disponibles. També és possible variar el comportament inicial amb interfície gràfica o no en el moment de l'arranc o canviar el nom del dispositiu o les opcions d'inici de sessió entre d'altres. Amb una connexió SSH no reque-

Figura 4.53: Configuració interfícies de comunicació.

reix que el dispositiu e-Nose es connecte als perifèrics d'entrada i eixida com

pantalla, ratolí i teclat. És possible, fins i tot, connectar un entorn de desenvolupament integrat (IDE) com el *Visual Studio Code* per a programar-la en remot mitjançant el plugin RemoteSSH. Una vegada configurada la xarxa, es desactiva l'inici amb entorn d'escriptori per defecte i es procedeix a connectar per SSH a un PC d'on es continua amb la instal·lació i configuració de paquets de software. Per tal que no demane la contrasenya es generen claus públiques als dos dispositius i s'envien a cadascun dels equips. A l'equip destí també cal habilitar el servidor SSH. A l'algorisme 4.20 es defineixen els passos per tal de crear una clau pública i enviar-la a l'altra màquina. D'aquesta manera possibilita la comunicació SSH sense necessitat de credencials. Resulta necessari fer una primera connexió SSH manual per tal que s'afegisca l'equip a un fitxer d'equips de confiança.

Algorisme 4.20: Crear i enviar clau pública a Raspbian i Windows

```
pi@e-Nas: ~$ ssh-keygen -t rsa -b 2048
pi@e-Nas: ~$ scp .ssh/id_rsa.pub
  juan@192.168.1.38:.ssh/authorized_keys
...
PS C:\Users\Juan> ssh-keygen -t rsa -b 2048
PS C:\Users\Juan> cat  ~/.ssh/id_rsa.pub | ssh pi@192.168.1.40
   "mkdir .ssh;cat >> .ssh/authorized_keys"
```

Actualitzar el sistema operatiu de la Raspberry Pi és una de les primeres accions que resulten d'importància, tant per seguretat com per compatibilitat de paquets d'instal·lació. A l'algorisme 4.21 es descriuen les accions d'actualitzar la llista de paquets, actualitzar el sistema i per últim, instal·lar un instal·lador de paquets que resolga millor dels dependències que el que porta per defecte.

Algorisme 4.21: Actualitzar el sistema operatiu Raspbian

```
pi@e-Nas: ~$ sudo apt update
pi@e-Nas: ~$ sudo apt upgrade
pi@e-Nas: ~$ sudo apt install aptitude
```

Les últimes versions del Rasbian OS ja disposen de la majoria de llibreries i recursos Python, no obstant, es comprova que estan tots els paquets de software instal·lats mitjançant l'algorisme d'instal·lació de paquet vis a 4.22.

Algorisme 4.22: Instal·lar paquets requerits

```
pi@e-Nas: ~$ sudo aptitude install python3-rpi.gpio
 python3-pigpio python3-setuptools git python3-pip
   build-essentials i2c-tools libgpiod2 libi2c-dev
```

A Github existeix una còpia d'aquest projecte que conté les carpetes enose, server i public així com algunes llibreries. Si s'aplica l'algorisme 4.23, és possible descarregar una còpia.

Algorisme 4.23: Descarregar projecte de Github.

```
pi@e-Nas: ~/enose/ $ git clone
 https://github.com/juatafe/enose
```

Pyhton té un gestor de paquets propi el qual es fa servir per a instal·lar la llibreria per al sensor SHT31D i una dependència necessària aplicant l'algorisme 4.24. No obstant, també es podria baixar i instal·lar com es veurà a l'algorisme 4.25.

Algorisme 4.24: Instal·lar llibreria sensor SHT31D.

```
pi@e-Nas: ~$ pip3 install adafruit-circuitpython-sht31d
   adafruit-circuitpython-busdevice
```

El sensor de temperatura i humitat HTU21D s'instal·la des de la font, seguint el procediment de l'algorisme 4.25.

Algorisme 4.25: Instal·lar llibreria sensor HTU21D.

```
pi@e-Nas:/enose/ $ git clone
```

```
 https://github.com/adafruit/Adafruit_CircuitPython_HTU21D
pi@e-Nas:/enose/ $ sudo python3
./Adafruit_CircuitPython_HTU21D/ setup.py install
```

Si es llista el bus I2C amb l'algorisme 4.26, es poden observar les tres adreces corresponents als tres sensors de temperatura i humitat. El valor 40 correspon a la càmera de sensors que és del tipus HTU21D, la 44 a l'escalfador i la 45 a l'exterior ambdós STH31D.

Algorisme 4.26: Llistar adreces hexadecimals dels sensors connectats al bus I2C.

```
pi@e-Nas: ~$  i2cdetect -y 1
     0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  a  b  c  d  e  f
00:                         -- -- -- -- -- -- -- --
10: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
20: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
30: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
40: 40 -- -- -- 44 45 -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
50: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
60: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
70: -- -- -- -- -- -- -- --
```

Com no existeix el mateix per al bus SPI. Cal fer una prova o monitoritzar els pins a un analitzador de senyal o oscil·loscopi. La llibreria "ADS1118.py"es descarrega de la font amb l'algorisme 4.27.

Algorisme 4.27: Descarregar llibreria Adc ADS1118.

```
pi@e-Nas:/enose/ $ git clone
 https://github.com/jonathanimb/ADS1118
```

El servidor de peticions web que executarà el codi Python requereix la instal·lació dels paquets nodejs i npm amb l'algorisme 4.28, seguint les instruccions de la web `https://github.com/nodesource/distributions`.

Algorisme 4.28: Descarregar i instal·lar nodejs.

```
root@e-Nas:/home/pi # curl -fsSL
  https://deb.nodesource.com/setup_17.x | bash -
  apt-get install -y nodejs
```

A la carpeta "~/enose/server" existeix un fitxer, "package.json" que conté la informació requerida de les dependències. Es tracta de l'algorisme 4.29 amb el que s'instal·len els mòduls necessaris per a que funcione el servidor node.

Algorisme 4.29: Contingut del fitxer package.json

```
{
  "name": "raspberry-pi-adc",
  "version": "1.0.0",
  "description": "Raspberry Pi monitoring ADS1118",
  "main": "grafica.html",
  "author": "JB <socjuan.jbt@gmail.com>",
  "dependencies": {
    "body-parser": "^1.19.0",
    "cors": "^2.8.5",
    "express": "^4.17.1",
    "nodemon": "^2.0.3",
    "require": "^2.4.20"
  },
  "devDependencies": {},
  "scripts": {
    "start": "nodemon serverADC.js",
    "test": "echo \"Error: no test specified\" && exit 1"
  },
  "license": "MIT"
}
```

Amb l'algorisme 4.30 es crearà un directori anomenat "node_modules" amb totes les llibreries. El fitxer javascript que executarà els fitxers Python requereix de permisos i per això s'apliquen permisos de lectura i execució al grup que pertany l'usuari *pi* i a tercers.

Algorisme 4.30: Instal·lació mòduls servidor node

```
pi@e-Nas: ~/enose/server $ sudo npm install
pi@e-Nas: ~/enose/server $ chmod 755 serverADC.js
```

Ara ja és possible iniciar el servidor que estarà escoltant al port 3000. Per tal que s'inicie automàticament existeixen diverses estratègies. S'opta per incloure el comand al fitxer "bash_profile"per a que inicie en iniciar sessió. Com que no existeix el fitxer cal utilitzar el comand ">" però si no és el cas caldria el doble comand ">>" per no borrar el fitxer. A l'algorisme 4.31 es resumeix l'estratègia optada.

Algorisme 4.31: Inici server node

```
pi@e-Nas: ~/enose/server $ echo node serverADC.js
pi@e-Nas: ~$ echo node /home/pi/enose/server/serverADC.js >
    ~./.bash\_profile
```

Una vegada reiniciat el sistema amb el servidor *node* estarà funcionant al port 3000. Tal i com s'observa a l'algorisme 4.32, amb el comand *curl* és possible obtenir una captura de la petició *get*. La resposta obtinguda mostra a la última línia d'el resultat els valors llegits pel sensor Adc.

Algorisme 4.32: Prova funcionament servidor node

```
pi@e-Nas: ~$ curl -v http://127.0.0.1:3000
*   Trying 127.0.0.1:3000...
* Connected to 127.0.0.1 (127.0.0.1) port 3000 (#0)
> GET / HTTP/1.1
> Host: 127.0.0.1:3000
> User-Agent: curl/7.74.0
> Accept: */*
>
* Mark bundle as not supporting multiuse
< HTTP/1.1 200 OK
< X-Powered-By: Express
```

```
< Access-Control-Allow-Origin: *
< Content-Type: application/json; charset=utf-8
< Content-Length: 109
< ETag: W/"6d-fCOL+YfoYsXyEsz9ZHefdd63jcU"
< Date: Fri, 31 Dec 2021 08:36:52 GMT
< Connection: keep-alive
< Keep-Alive: timeout=5
<
* Connection #0 to host 127.0.0.1 left intact
{"results":["43.6875 0.043 0.043 0.043 0.043\n"]}
```

Les cridades als fitxers Python es realitzen per peticions del tipus *get* i estan programades amb llenguatge javascript amb el mòdul Express `https://expressjs.com/es/`. A l'algorisme 4.33 s'observa la funció *get* de l'objecte de la classe Express *app*. Es passa la ruta '/' i una funció com a paràmetres. Dins la funció, amb la funció *exec* es passa el codi Python per tal d'executar l'acció de llegir de l'Adc les dades.

Algorisme 4.33: Resposta a petició get

```
app.get('/', function (req, res) {

        exec('python3 /home/pi/enose/Adc.py', function (err, stdout,
            stderr) {
                if (!err) {
                        if (stdout != '-1\n') {
                                res.json({ 'results': stdout.replace(
                                    '[', '').replace(']', '').split('
                                    ,') });
                                console.log(stdout.replace('[', '').
                                    replace(']', '').split(','));
                        }
                }
        });
})
```

Per al servidor web amb el que es controla l'aplicació s'utilitza un servidor Apache que s'instal·la al port 80. Aquest s'instal·la com un servei i arranca automàticament en iniciar el sistema operatiu. El fitxer *index.html* està situat al directori */var/www/html/* i requereix de permisos d'administració. Per tal d'instal·lar-lo s'aplica l'algorisme 4.50 que a més copia la carpeta *public* a la ubicació dels fitxer *html* per al servidor web.

Algorisme 4.34: Instal·lació servidor Apache

```
pi@e-Nas: ~$ sudo apt install apache2
pi@e-Nas: ~$ sudo cp -R \
  ./enose/html-copia/public2/ /var/www/html/
```

Una vegada instal·lat el servidor web ja es pot accedir amb l'adreça IP, per exemple 10.30.0.5/public2/index2.html

La funció asíncrona que realitza una petició *get* es coneix com promesa o *fetch*. El codi javascript embegut a la web de control realitza una petició al servidor *node* que respondrà amb un format de dades *json*. Com es pot observar a l'algorisme 4.35, la funció *obteDada* realitza aquesta promesa de rebre dades passant-li un *socket* de connexió que no és més que la IP, el port i la ruta. En aquest exemple es torna una matriu d'una fila i 5 columnes on la primera correspon al valor de temperatura del sensor integrat a l'Adc i la

resta els valors capturats pel mateix.

Algorisme 4.35: Crida asíncrona al servidor node

```
function obteDada() {
    fetch(socket)
        .then(res => res.json())
        .then(res => {
            results = res['results'][0];
            results = results.substring(0, results.length -
                2);
            result2 = results;
            return results;
        })
        .catch(function (err) {
            console.log('Fetch Error :-S', err);
            results = result2;
            return results;
        });
    return Array.from(results.split(" "));
}
```

Interfície web

Una vegada instal·lat el servidor web Apache al directori /var/www/html/-public3/ es situa el frontend o pàgina web. Al mateix directori es situa el *Document Object Model*[2](DOM), . Aquest esquema conté tots el nodes (TAGs) que composen una pàgina web i permet accedir al document des d'altres llenguatges. A la figura 4.54 es detalla la jerarquia de TAGs per a permetre l'ús d'estils, el títol, la codificació i el control de l'àrea visible de la pàgina web.

[2]El DOM és l'estàndard creat per la *World Wide Web Consortium* (W3C) que representa el document web en forma d'esquema.

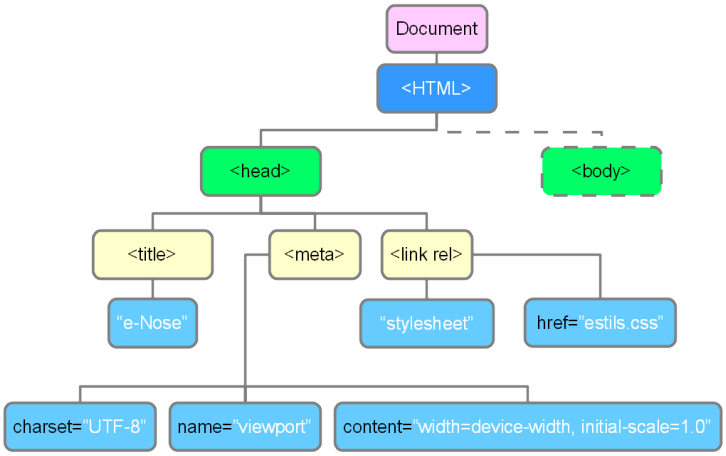


Figura 4.54: Representació parcial del TAG capçalera fitxer index.html.

La figura 4.55 representa el cos de la pàgina amb tres elements o TAGs diferenciats. Un script permet l'ús del llenguatge javascript associant un fitxer extern, un formulari permetrà la introducció d'elements com botons i caixes de control i per últim, un element divisor per tal d'implementar el peu de pàgina.

La representació en un gràfic de tots el elements requerits complica el mateix. És per això que s'utilitzen diverses figures per tal d'implementar tota la jerarquia de TAGs necessària per a modelar el disseny proposat a l'apartat 4.6.3 Mockup i la figura 4.48. A la figura 4.56 es mostra la implementació en llenguatge html de la representació de la bomba d'aire, la electrovàlvula i dues entrades del tipus casella de selecció per tal d'activar la bomba d'aire i accionar l'electrovàlvula respectivament.

A la figura 4.57 es representa la implementació en llenguatge *html* de la imatge del vial, un botó del tipus re-lliscador i una etiqueta per a mostrar la temperatura que té el vial.

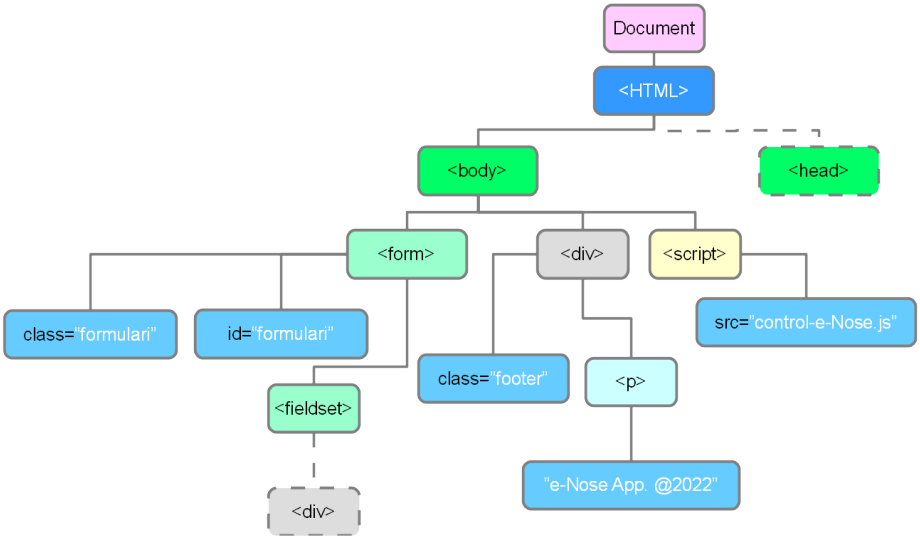


Figura 4.55: Representació parcial del TAG cos del fitxer index.html.

A la figura 4.58 es mostra un TAG per a una imatge en forma de càmera amb quatre sensors, altre per a l'etiqueta estàtica i finalment dues més amb la informació de temperatura i humitat.

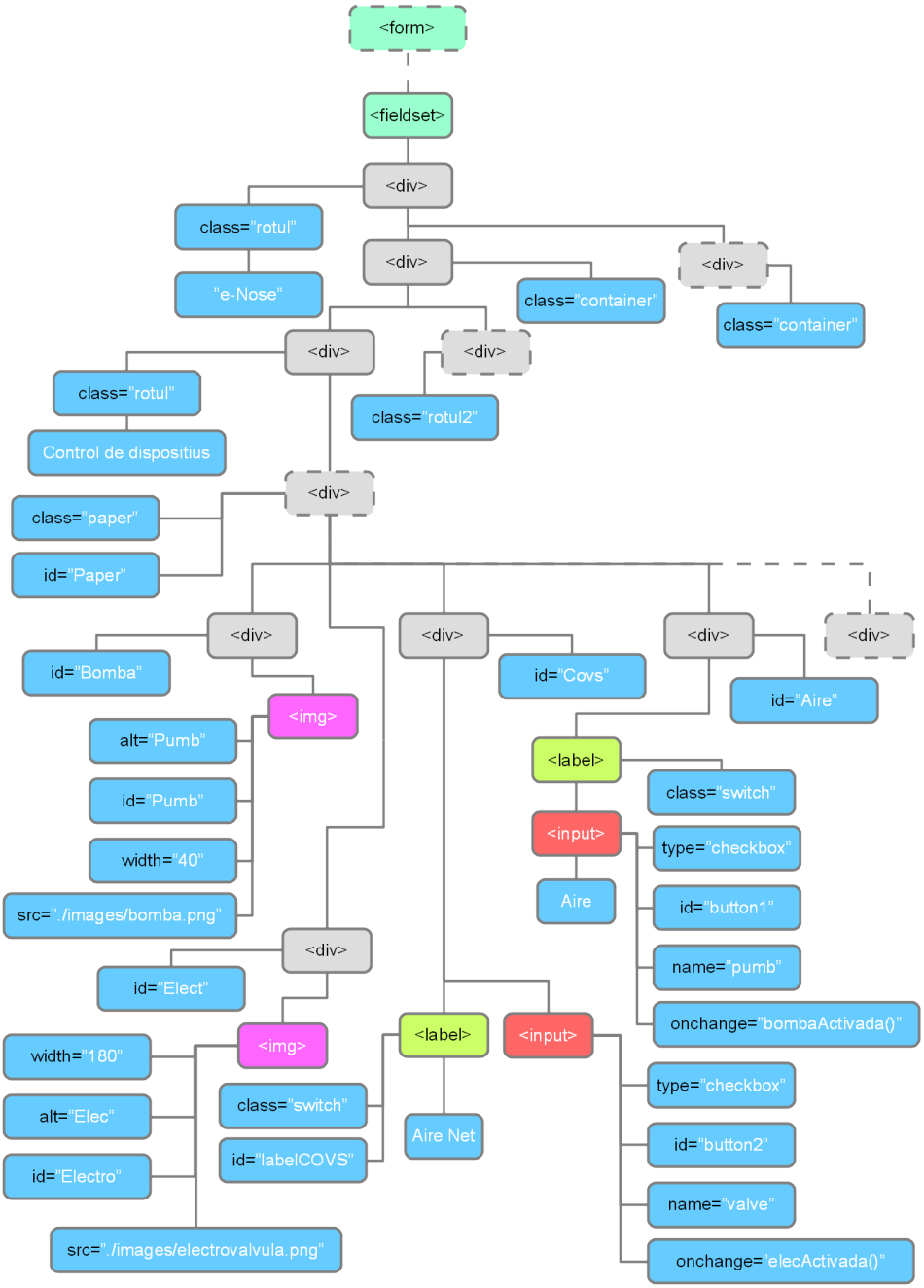


Figura 4.56: Representació parcial del TAG formulari del fitxer index.html.

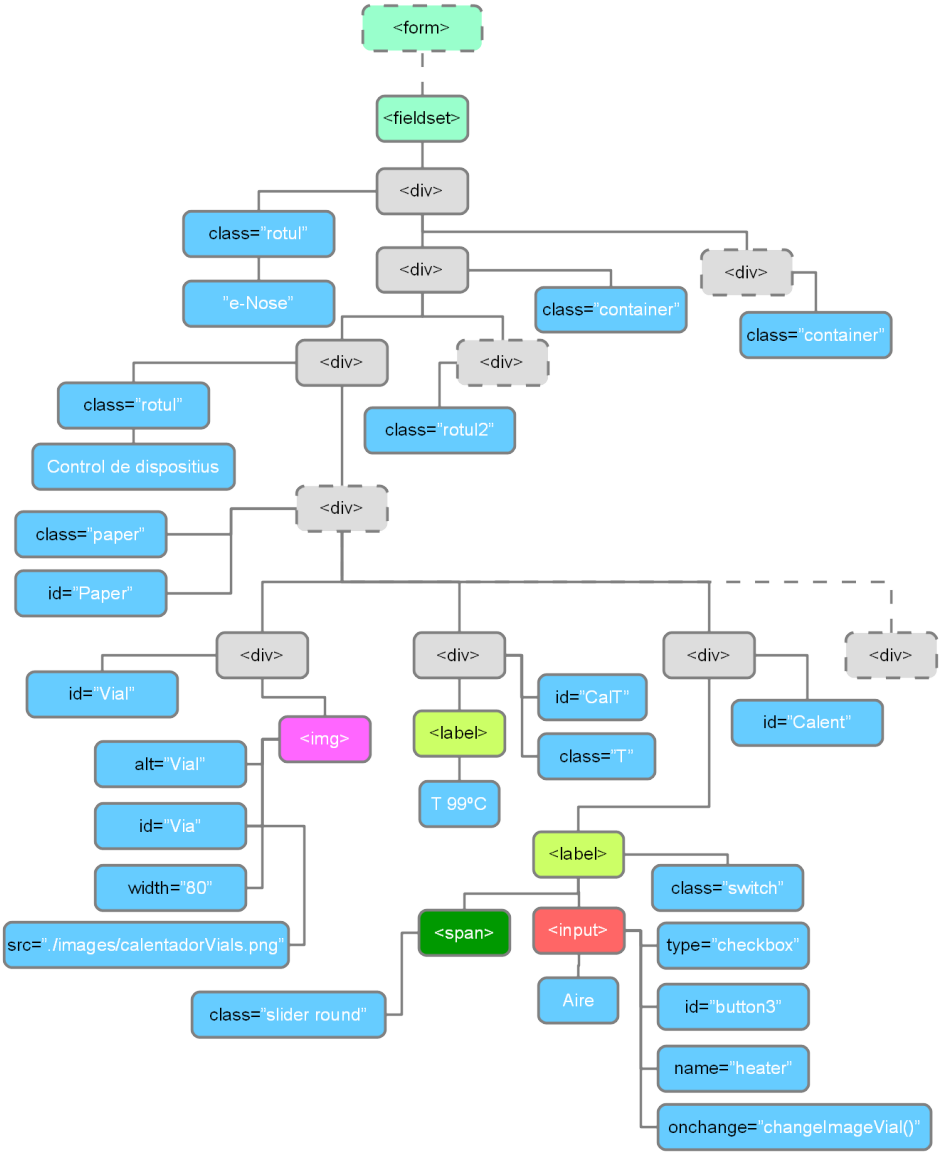


Figura 4.57: Representació dels TAG per al vial del fitxer index.html.

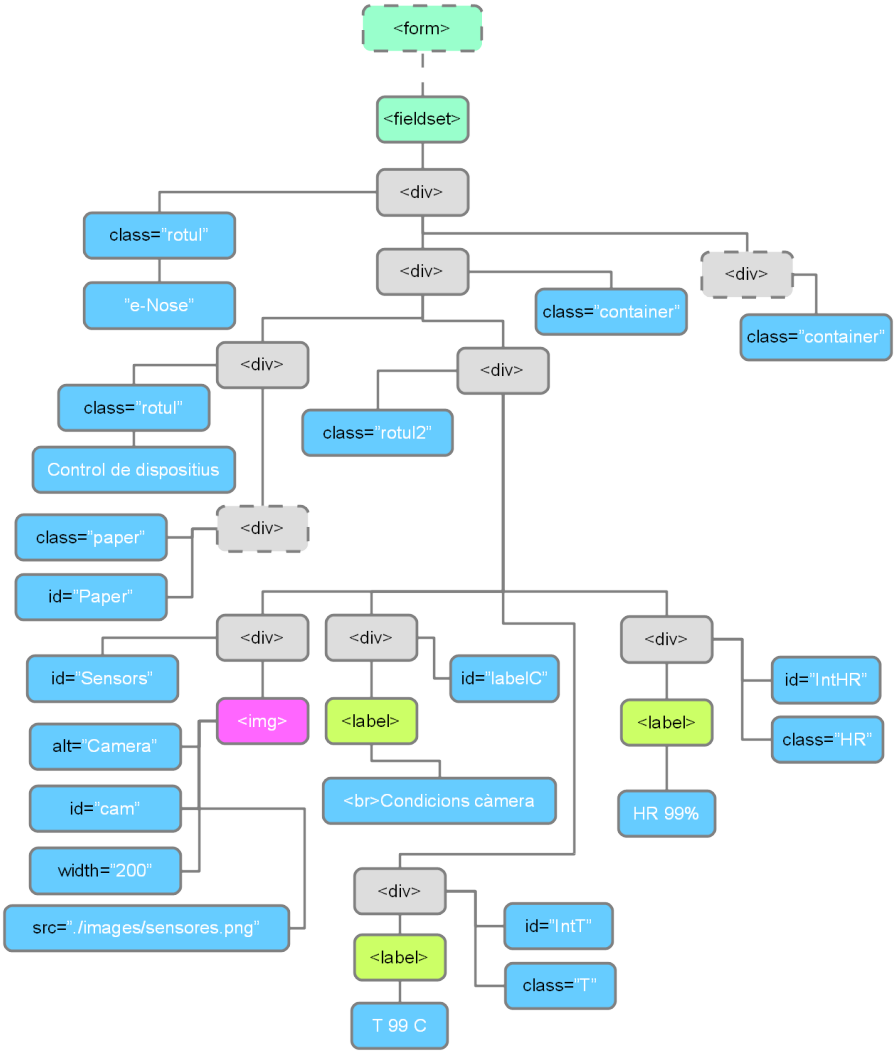


Figura 4.58: Representació dels TAG per al control de la càmera del fitxer index.html.

La figura 4.59 representa la implementació d'un botó per a iniciar la captura i recull un camp de text on introduir el codi del vial. Per tal de controlar

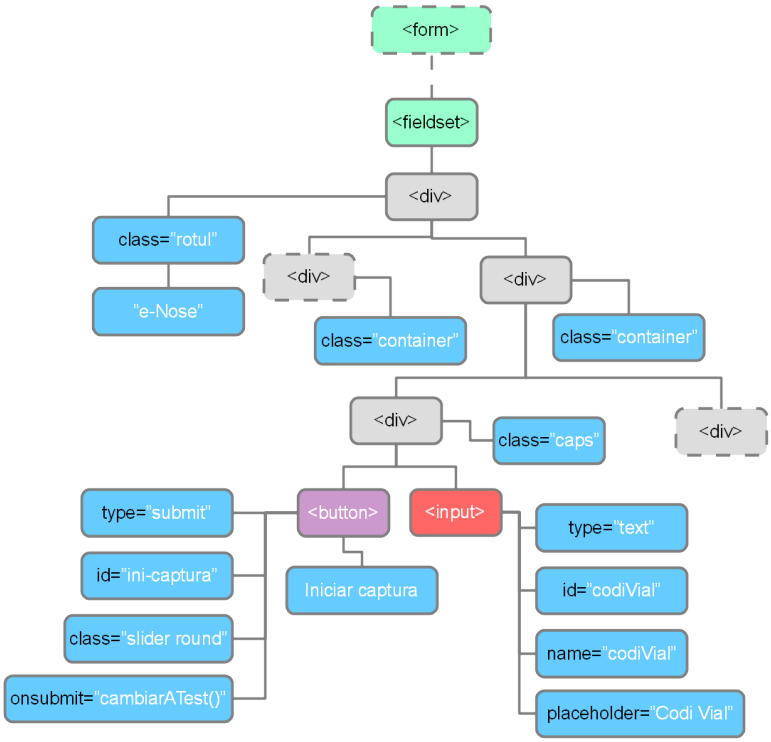


Figura 4.59: Representació dels TAG per a iniciar captura index.html.

les condicions del laboratori es creen diversos TAGs del tipus etiquetes. Un amb informació estàtica i altres dos amb la informació de temperatura i humitat respectivament. A la figura 4.60 es mostra la seva implementació amb llenguatge html.

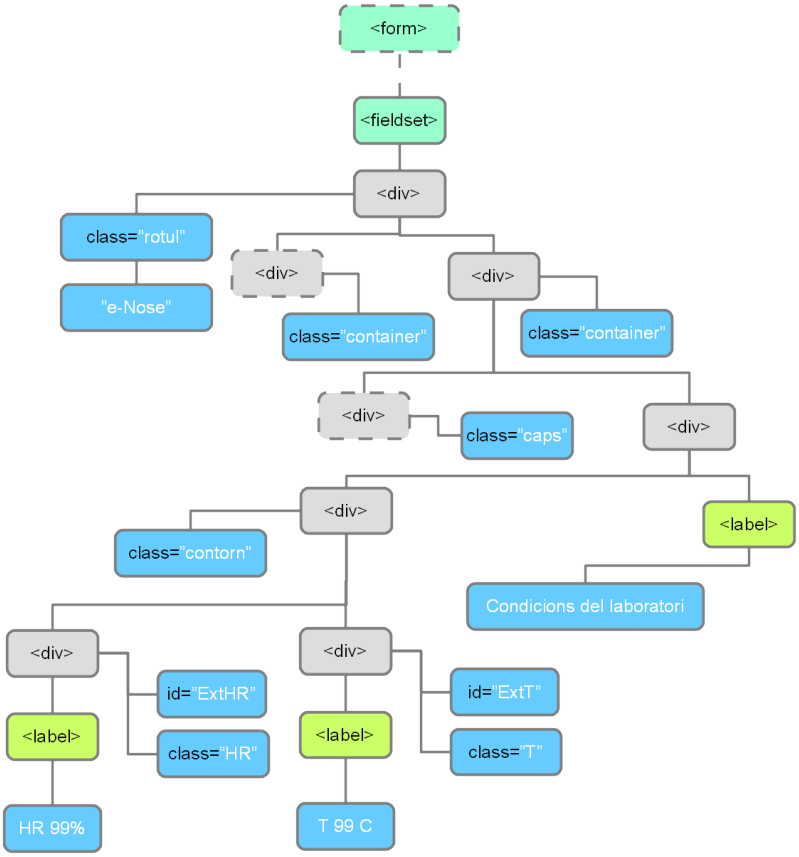


Figura 4.60: Representació dels TAG per a les condicions del laboratori del fitxer index.html part 1.

Una vegada iniciada la captura s'obri una pàgina nova on es mostra una gràfica i apareixen els valors de voltatge captats pels diferents sensors. Per tal d'implementar aquesta pàgina html s'han utilitzat diverses llibreries. A la figura 4.61 es mostra una simplificació del DOM html amb els TAGs requerits. A l'algorisme 4.36 es pot observar la resta d'informació al fitxer html.

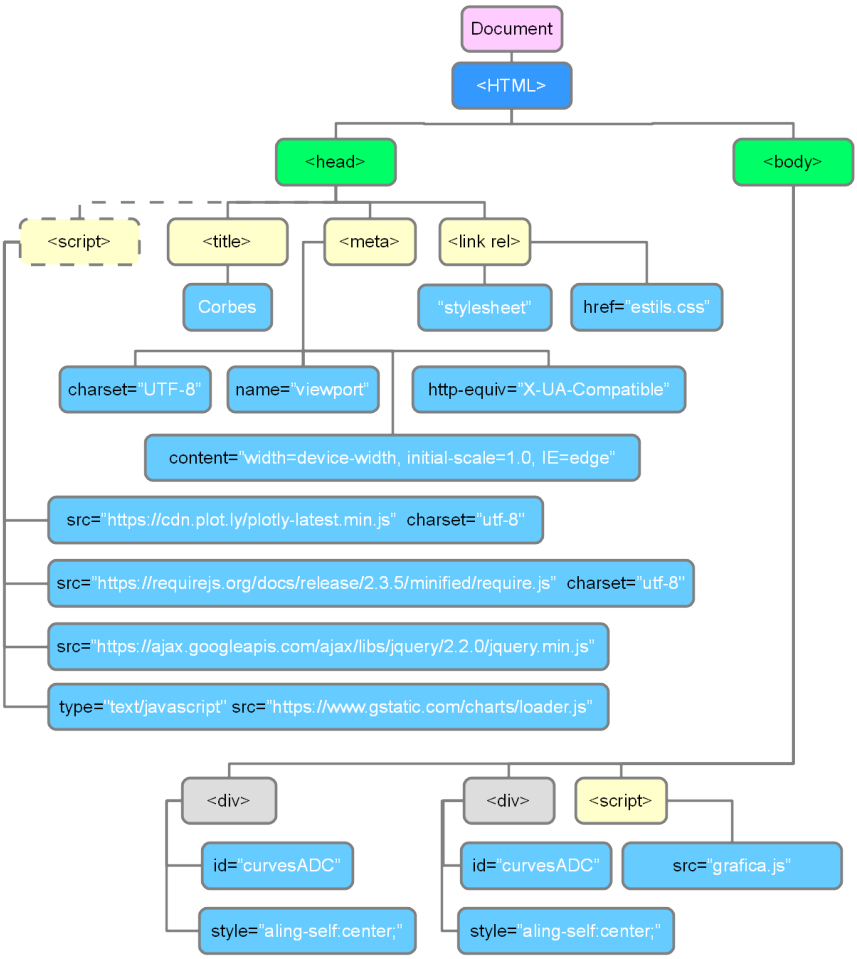


Figura 4.61: Representació dels TAG per a les condicions del laboratori del fitxer index.html part 2.

Algorisme 4.36: Fitxer grafica.html.

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
<head>
    <meta charset="UTF-8">
    <meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge">
    <meta name="viewport" content="width=device-width,
        initial-scale=1.0">
    <title>Corbes</title>
    <script src="https://cdn.plot.ly/plotly-latest.min.js" charset="
        utf-8"></script>
    <script src="https://requirejs.org/docs/release/2.3.5/minified/
        require.js" charset="utf-8"></script>
    <script src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/2.2.0/
        jquery.min.js"></script>
    <script type="text/javascript" src="https://www.gstatic.com/
        charts/loader.js"></script>

    <link rel="stylesheet" type="text/css" href="estils.css" />

</head>
<body>

<div id="curvesADC" style="align-self:center;"></div>
<div id="tempADC" style="align-self:center;"></div>
</body>
<script src="./grafica.js"></script>
</html>
```

Per a representar els TAGs d'una manera ordenada i sensible als canvis de tamany de la pàgina, s'utilitza un fitxer CSS que recull les normes que ha de complir la representació dels esmentats TAGs. A l'algorisme 4.37 trobem una definició per a tots els elements on li diu al navegador que tinga en compte el borde de l'element per a contar el tamany del mateix. També la propietat de marges automàtics per als quatre costats.

Algorisme 4.37: Fitxer d'estils css. Representació parcial 1.

```
* {
    box-sizing: border-box;
    margin: auto;
}
```

La representació del tauler de control porta associat un TAG de la classe *"rotul"* que conté a la resta. Per tal de donar-li el tamany i les propietats d'aspecte s'incorpora al fitxer d'estil l'algorisme 4.40.

Algorisme 4.38: Fitxer d'estils css. Representació parcial 2.

```
.rotul{
 font-weight:bold;
 background-color: rgb(194, 193, 193);
    width: auto;
    text-size-adjust: auto;
    border-style: solid;
    border-width: 1pt;
    min-width: 350px;
    max-width: 710px;
    padding-left: 1px;
}
```

Dins del TAG de la classe *"rotul"* existeixen dos contenidors de la classe *"container"*. Com es pot veure a l'algorisme 4.39 s'incorporen propietats del tipus flex. Açò permet que el comportament dels elements de dins dels contenidors

assenyalats a la figura 4.62 es comporten com caixes que es mouen, d'acord amb el model de flexbox[3]. Si la finestra del navegador canvia de grandària, es redistribueixen els ítems millorant les capacitats d'alineació.

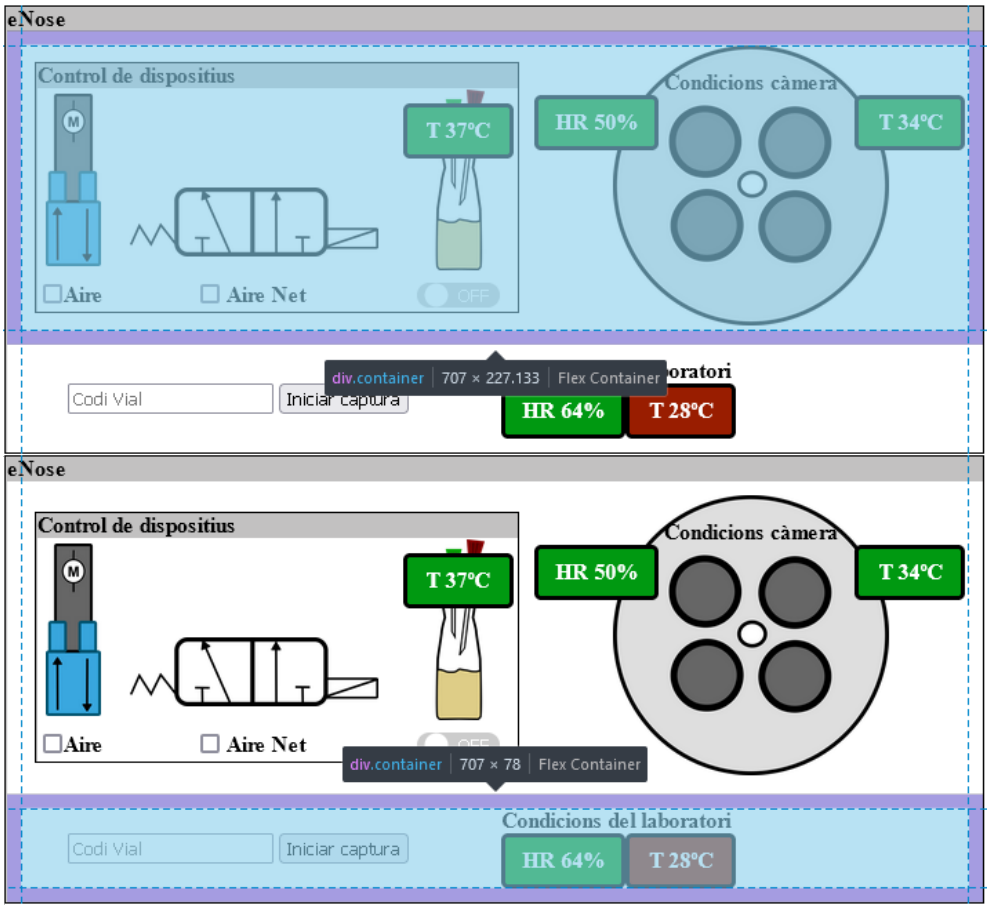


Figura 4.62: Representació pel navegador dels TAGs de la classe *"container"* a index.html.

[3]El Mòdul de Caixa Flexible, anomenat com a flexbox, va ser dissenyat com un model unidimensional de layout, i com un mètode que puga ajudar a distribuir l'espai entre els ítems d'una interfície i millorar les capacitats d'alineació.

Algorisme 4.39: Fitxer d'estils css. Representació parcial 3.

```
.container {
    display:flex;
    flex-flow:row wrap;
    justify-content: space-evenly;
    background-color: rgb(255, 255, 255);
    height: 200;
    margin: 20x auto;
    padding: 10px;
    width: auto;
    min-width: 352px;
}
```

Dins del TAG de la classe *"container"* de l'esquerre vist a la figura 4.62 trobem el TAG de la classe *"rotul"*. Aquest existeix per tal de tenir el títol de *"Control de dispositius"*. S'incorpora, doncs, l'algorisme 4.40 al fitxer d'estils.

Algorisme 4.40: Fitxer d'estils css. Representació parcial 4.

```
.rotul{
 font-weight:bold;
 background-color: rgb(194, 193, 193);
    width: auto;
    text-size-adjust: auto;
    border-style: solid;
    border-width: 1pt;
    min-width: 350px;
    max-width: 710px;
    padding-left: 1px;
}
```

Dins del TAG de la classe *"rotul"* trobem un TAG de la classe *"paper"*. Aquesta vegada s'ha optat per utilitzar Grid como a propietat d'alineació automàtica.

Grid permet dividir en àrea el contenidor i alinear elements en columnes i files. A la figura 4.63 es pot observar la divisió realitzada al incorporar l'algorisme 4.41 al fitxer d'estils.

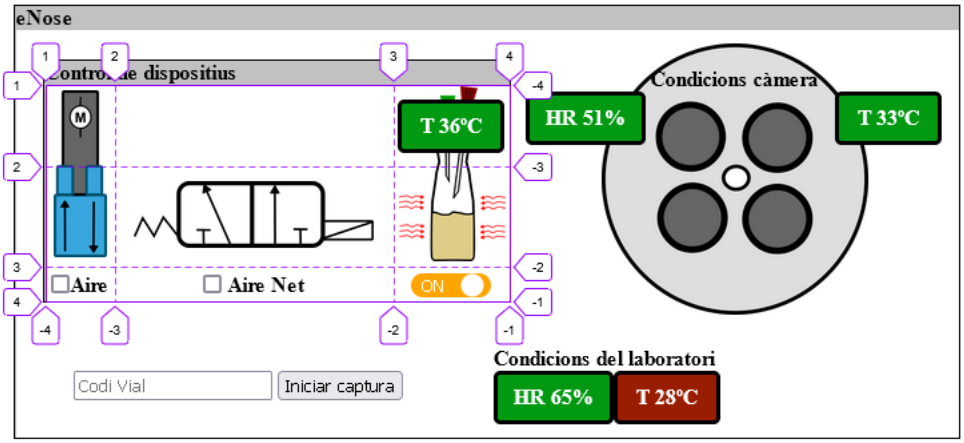


Figura 4.63: Representació pel navegador dels TAGs de la classe *"paper"* a index.html part 1.

Algorisme 4.41: Fitxer d'estils css. Representació parcial 5.

```
.paper{
    display: grid;
    align-content: center;
    justify-content: center;
    grid-template-columns: 15% 60% 25%;
    grid-template-rows:repeat(3,auto);
    grid-template-areas:
       "bomba elec vial"
       "bomba elec vial"
       "bomba elec vial";
    background-color: white;
    max-width: 100%;
}
```

Com s'ha vist a l'algorisme 4.41 es configuren tres columnes i tres files. A més, es creen tres àrees diferents que permeten unir parts de les files amb les columnes. Per al contenidor de la classe *"rotul2"* s'utilitza també Grid amb diferents percentatges com es mostra a la figura 4.64 i a l'algorisme 4.42 implementat al fitxer d'estils.

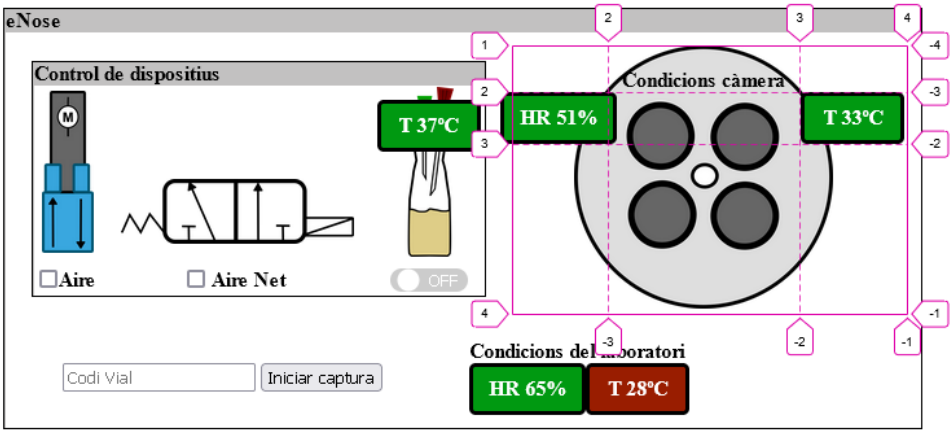


Figura 4.64: Representació pel navegador dels TAGs de la classe *"paper"* a index.html part 2.

Algorisme 4.42: Fitxer d'estils css. Representació parcial 6.

```
.rotul2{
  display:grid;
  align-content: center;
  justify-content: center;
  grid-template-columns: 28% 50% 28%;
  grid-template-rows:25% auto auto;
  /*width: 100;*/
  text-size-adjust: auto;
  text-align: center;
}
```

Per tal de situar els TAGs s'afig al fitxer d'estils per a cada item la referència Grid com a l'algorisme 4.43 per als ítems de la classe *"rotul2"* i com a l'algorime 4.44 per als items de la classe *"paper"*

Algorisme 4.43: Fitxer d'estils css. Representació parcial 7.

```
#labelC{
  grid-column: 2 /3;
  grid-row: 1 / 2;
}
#Sensors{
  grid-column: 1 / 4;
  grid-row: 1 / 4;
}
#IntHR{
  grid-column: 1 / 2;
  grid-row: 2 / 3;
}
#IntT{
  grid-column: 3 / 4;
  grid-row: 2 / 3;
}
```

Algorisme 4.44: Fitxer d'estils css. Representació parcial 8.

```
#Aire{
    grid-column: 1 / 2;
    grid-row: 3 / 4;
    max-width: 100%;
}
#Bomba{
   grid-column: 1 / 2;
   grid-row: 1 / 3;
   padding: 3pt;
   max-width: 100%;
}
#Elect{
   grid-column: 2 / 3;
   grid-row: 2 / 3;
   width: auto;
}
#Vial{
   grid-column: 3 / 4;
   grid-row: 1 / 3;
   padding:  0pt 30pt 0pt 0pt;
   max-width: 90%;
}
#CalT{
 grid-column: 3 / 4 ;
 grid-row: 1 /2;
 align-self: flex-end;
}
#Covs{
   grid-column: 2 / 3;
   grid-row: 3 / 4;
   padding: 3pt;
   max-width: 100%;
}
#Calent{
 grid-column: 3 / 4;
 grid-row: 3 / 4;
}
```

Es crea un estil base per a la classe *"HR"* i altre per a la classe *"T"* que es modificarà posteriorment en funció de la temperatura i humitat amb el javascript. S'incorporen els esmentats estils descrits a l'algorisme 4.45 al fitxer d'estils.

Algorisme 4.45: Fitxer d'estils css. Representació parcial 9.

```
.HR{
  border-radius: 5px;
  border:3px solid black;
  background-color: rgb(228, 218, 221);
  color: white;
  padding: 8px;
  width: 90px;
  text-align: center;
  justify-self: start;
}

.T{
    border-radius: 5px;
    border:3px solid black;
    background-color: rgb(228, 218, 221);
    color: white;
    padding: 8px;
    width: 80px;
    text-align: center;
    justify-self: end;
}
```

Per tal d'indicar que està entrant aire net o aire amb COVs es crea un estil per a la classe *"AireCovs"* i altre per a la classe *"AireNets"*. S'incorporen els esmentats estils descrits a l'algorisme 4.46 al fitxer d'estils. Aquest estils permetran generar etiquetes sobre l'electrovàlvula per a indicar si entra aire net o aire amb COVs com a la figura 4.65.

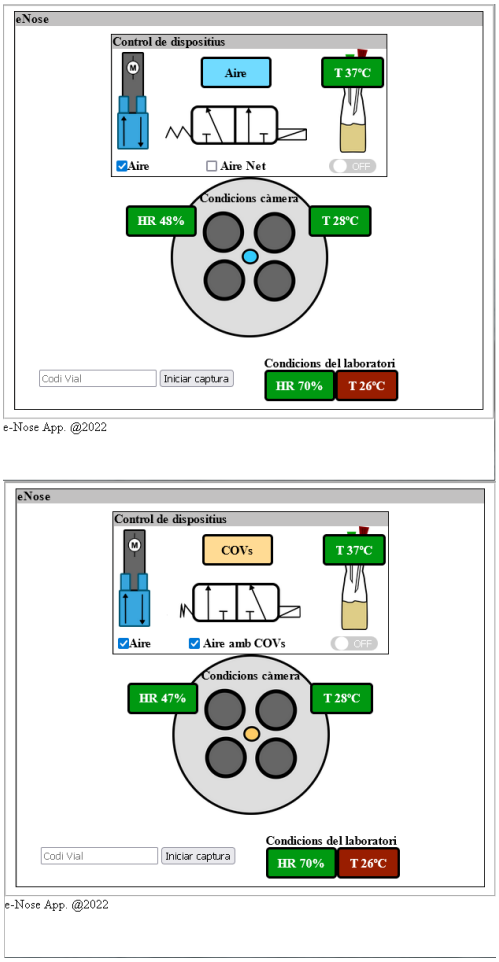


Figura 4.65: Representació pel navegador dels TAGs de la classe *"paper"* a index.html part 3.

Algorisme 4.46: Fitxer d'estils css. Representació parcial 10.

```
.AireCovs{
  border-radius: 5px;
  border:3px solid black;
  background-color: rgba(255, 204, 102, 0.699);
  padding: 8px;
  width: 90px;
  text-align: center;
  justify-self: start;
}

.AireNets{
  border-radius: 5px;
  border:3px solid black;
  background-color: rgba(51, 204, 255, 0.699);
  padding: 8px;
  width: 90px;
  text-align: center;
  justify-self: start;
}
```

Les dades de contorn contenides per la classe *"contorn"* s'incorporen al model dins del contenidor amb l'estil flex com es pot observar a l'algorisme 4.47

Algorisme 4.47: Fitxer d'estils css. Representació parcial 11.

```
.contorn{
    display:flex;
    flex-flow: row wrap;
    justify-self: space-around;

}
```

Per a modelar el comportament del re-lliscador del control de l'escalfador s'incorpora l'algorisme 4.48 al fitxer d'estils.

Algorisme 4.48: Fitxer d'estils css. Representació parcial 12.

```
#Calent input {
  appearance: none;
  width: 60px;
  padding: 1px 1px 1px 30px;
  border-radius: 10px;
  background: radial-gradient(circle 8px, white 100%,
      transparent calc(100% + 1px)) #ccc -16px;
  transition: 0.3s ease-in-out;
}
#Calent input::before {
  content: "OFF";
  color: white;
}
#Calent :checked {
  padding-left: 8px;
  background-color: orange;
  background-position: 16px;
}
#Calent :checked::before {
  content: "ON";
}
```

4.6.5 Servidor MySQL

Tenint en compte que el prototip pot estar a un Hospital o Centre de Salut i el servidor MySQL no estarà a la mateixa ubicació, es requereix d'una comunicació per Internet. Per tant, cal garantir la seguretat de les dades transmeses. Definir una estratègia de seguretat en etapes primerenques del Sistema d'autenticació a les diferents etapes del cicle de vida del desenvolupament del programari resulta essencial. Cal tenir en compte mecanismes de seguretat determinats per *Open Web Application Security Project* (OWASP) [67].

- Gestió d'usuaris (reinici de contrasenyes, etc.)
- Autenticació
- Autorització
- Confidencialitat de les Dades
- Integritat
- Comptabilitat
- Gestió de sessions
- Seguretat de Transport
- Segregació de Sistemes en Nivells
- Privadesa

Per tal de previndre un atac d'injecció SQL no es permetrà l'accés a la base de dades, excepte pel propi *loclahost*. Mitjançant una xarxa privada virtual (VPN) s'establirà un canal segur de comunicació. Dins d'aquest canal es prepara una missatgeria de text amb protocol criptogràfic *Transport Layer Security* (TLS). Aquestos missatges es recullen al servidor per un servei que els interpreta i insereix les dades a la base de dades. D'aquesta manera les possibles injeccions de missatgeria per un ciberdelinqüent no s'executen com a comandaments del sistema, sinó que s'interpreten com a dades, es descarten o es defenen d'un possible accés reiterat per a evitar un atac per força bruta.

El servidor estarà allotjat en un núvol o servidor extern. Mitjançant l'ús de la tecnologia de contenidors Docker resulta una manera àgil de disposar d'un

servidor MySQL i PhPmyAdmin per tal de gestionar una base de dades. Es crea un fitxer de configuració YALM amb el següent contingut:

Algorisme 4.49: Fitxer docker-compose.yml

```
version: '3'
services:
    mariadb:
        image: mariadb
        restart: always
        ports:
            - 3336:3336
        volumes:
            - ./dades:/var/lib/mysql
        environment:
            MYSQL_ALLOW_EMPTY_PASSWORD: "no"
            MYSQL_ROOT_PASSWORD: "root_pass"

    phpmyadmin:
        image: phpmyadmin
        restart: always
        ports:
          - 8081:80
        environment:
          - PMA_ARBITRARY=1
networks:
   default:
    external:
     name: openvpn_default
```

A la carpeta on es troba el fitxer es crea un directori anomenat dades i s'executa el comand sudo docker-compose up -d per arrancar-lo i sudo docker-compose down per a parar-lo. No obstant, la seqüència completa d'instal·lació i execució es detalla a continuació:

Algorisme 4.50: Instal·lació servidor MySQL i PhPMyAdmin

```
remote-server@e-Nas:sudo snap install docker
remote-server@e-Nas: sudo docker-compose up -d &
```

Per tal d'accedir al phpMyAdmin cal introduïr el socket IP-SERVIDOR:8081 al navegador i les dades d'inici de sessió de la taula 4.21

Taula 4.21: Inici de sessió phpMyAdmin.

Servidor	Usuari	Contrasenya
mariadb	root	root_pass

4.6.6 Servidor de missatgeria

Per tal d'enviar les dades, s'utilitza un servidor de missatgeria, el servidor de transport de telemetria per cola de missatges MQTT (Mosquito). Es basa en una subscripció a un servei i un publicador. Existeix un tòpic a què subscriure's i amb el qual publicar. Si aquest tòpic no coincideix amb el que estàs subscrit, el missatge no aplega. De la mateixa manera els missatges sols li apleguen als subscriptors que s'han subscrit al tòpic corresponent. Amb l'opció de qualitat de servei $QoS = 2$ permet entregar un missatge i sols un de manera confiable. La càrrega útil o *payload* màxim és de $250\,MB$. A la figura 4.66 s'ha simplificat el diagrama de comunicació entre el servidor MQTT o broker, un client o subscriptor i un publicador.

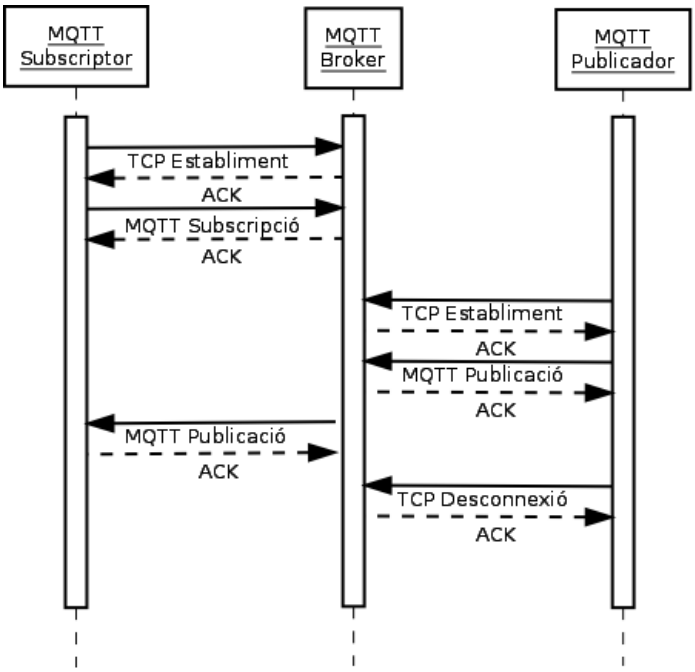


Figura 4.66: Diagrama de comunicació entre Broker, subscriptor i client.

Aquest servidor MQTT envia els missatges en text pla. Qualsevol que estiga observant (snifant) els paquets transmesos per la xarxa pot interceptar els missatges. A la figura 4.67 s'observen paquets del protocol MQTT. Es pot llegir la contrasenya i el nom d'usuari enviats en text pla.

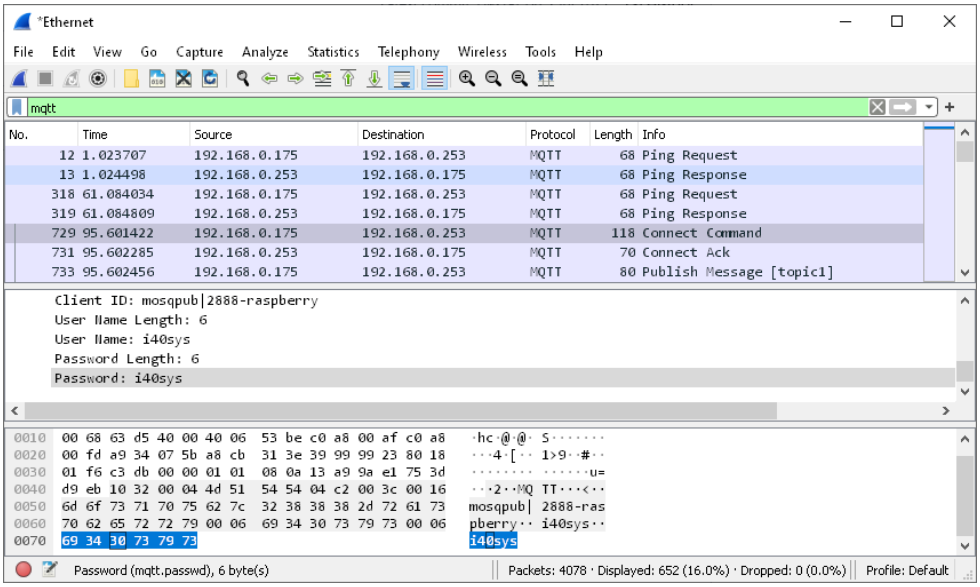


Figura 4.67: Captura password=i40sys amb Wireshark App.

Per tal d'oferir seguretat al la missatgeria MQTT és possible utilitzar el protocol *Transport Layer Security* (TLS). MQTT treballa a la capa de transport i permet la comunicació segura de extrem a extrem mitjançant el protocol segur de transport TLS i el xifrat de les dades. Així doncs, cal una entitat certificadora per a generar les claus privades i públiques que es faran servir a la comunicació. S'utilitza Openssl que és un paquet robust d'eines d'administració i biblioteques relacionades amb la criptografia desenvolupat per membres de la comunitat de codi lliure. Per tal d'organitzar les claus a generar convé estructurar un directori com el de 4.51

Algorisme 4.51: Estructura directori certificats

```
├── broker
│   ├── broker.crt
│   └── broker.key
├── ca
│   ├── ca.crt
│   ├── ca.key
│   └── ca.srl
└── client
```

```
        ├── client.crt
        ├── client.csr
        └── client.key
```

Entitat certificadora (CA)

Amb la instal·lació del paquet openssl es procedeix amb l'entitat certificadora. De tots els paràmetres que cal configurar, cal tenir especial atenció amb el *Common Name*, ja que no ha de ser el mateix que el dels clients. Tal i com es pot intuir del command emprat en 4.52 el certificat serà vàlid per a 365 dies i es generen dos fitxers.

Algorisme 4.52: Instal·lació Openssl i generar autoritat certificadora (CA)

```
mv@entitat-CA:~$ sudo apt update
mv@entitat-CA:~$ sudo apt install openssl
mv@entitat-CA:~/ca/$ openssl req -new -x509 -days 365 -extensions
    v3_ca -keyout ca.key -out ca.crt
```

Certificats Broker: L'arxiu ca.crt és el fitxer del certificat públic de l'entitat certificadora. Tots els clients i el broker tindran una còpia i l'utilitzaran per a verificar que formen part de la xarxa de confiança. Per contra el fitxer ca.key sols ha d'existir a la màquina certificadora ja que es tracta de la clau privada per a signar certificats. Resulta una bona praxis utilitzar una màquina virtual únicament per a signar certificats. D'aquesta manera es garanteix que aquesta està fora de l'abast de qualsevol atacant. A l'algorisme 4.53 es descriu el procediment per a crear i signar les claus pública i privada per al Broker.

Algorisme 4.53: Generar certificats per al Broker

```
mv@entitat-CA:~/broker$ openssl genrsa -out broker.key 2048
mv@entitat-CA:~/broker$ openssl req -out broker.csr -key broker.key -
    new
mv@entitat-CA:~/broker$ openssl x509 -req -in broker.csr -CA ../ca/ca
    .crt -CAkey ../ca/ca.key -CAcreateserial -out broker.crt -days
    365
```

Certificats Clients: El broker és la maquina que permet el servei de missatgeria. Com que coincideix en aquest projecte amb el subscriptor no cal generar més certificats que un client per a la màquina e-Nose (publicador) a més d'aquesta. A la màquina e-Nose caldrà instal·lar els paquets *mosquitto* i *mosquitto-clients* i copiar els fitxers de clau pública i privada generats a l'algorisme 4.54.

Algorisme 4.54: Generar certificats per al client

```
mv@entitat-CA:~/client$ openssl genrsa -out client.key 2048
mv@entitat-CA:~/client$ openssl req -out client.csr -key client.key -
    new
mv@entitat-CA:~/client$ openssl x509 -req -in client.csr -CA ../ca/ca
    .crt -CAkey ../ca/ca.key -CAcreateserial -out client.crt -days
    365
```

Broker MQTT: Per tal de desplegar el Broker s'utilitza la ferramenta de contenidors Docker. Aquesta requereix de dos fitxers. Un fitxer de configuració descrit a 4.56 i altre per a executar docker-compose del tipus Yalm descrit a 4.55.

Algorisme 4.55: Fitxer docker-compose.yml

```
version: '3.3'
services:
 mqtt:
  container_name: mqtt
  ports:
      - '8883:8883'
      - '9001:9001'
  volumes:
      - './etc/mosquitto.conf:/mosquitto/config/mosquitto.conf:ro'
      - './etc/mqtt_users:/mosquitto/config/mqtt_users:ro'
      - './data:/mosquitto/data'
      - './log:/mosquitto/log'
      - './certificats:/mosquitto/certificats'
  restart: always
  image: eclipse-mosquitto
```

El fitxer descrit a l'algorisme 4.55 permet descarregar una imatge si no s'ha fet ja, configurar els ports i relacionar els volums del contenidor amb els volums físics de la màquina. El fitxer de configuració 4.56 permet definir on es troben els fitxers per autenticar el Broker així com la versió del certificat TLS.

Algorisme 4.56: Fitxer mosquitto.conf

```
listener 8883
cafile /mosquitto/certificats/ca/ca.crt
certfile /mosquitto/certificats/broker/broker.crt
keyfile /mosquitto/certificats/broker/broker.key
tls_version tlsv1.2
require_certificate true
use_identity_as_username true
```

L'algorisme de creació i execució es descriu a 4.57 amb un simple comand. Cal observar que s'executa alliberant el terminal amb l'opció &. Com que s'ha configurat el docker-compose amb l'opció "always", quedarà en segon pla en cada reinici del sistema.

Algorisme 4.57: Crear i arrancar Broker MQTT

```
sudo docker-compose up &
```

Per tal de comprovar el correcte funcionament, cal un subscriptor al tòpic i un publicador al mateix, a l'algorisme 4.58 es descriuen els comands per a crear un subscriptor i un publicador respectivament. Cal tenir en compte que en aquesta prova s'utilitza la mateixa màquina com a subscriptor i publicador.

Algorisme 4.58: Crear subscriptor i publicador

```
$ sudo apt install mosquitto mosquitto-clients
$ mosquitto_sub -h 192.168.0.253 --cafile ./ca/ca.crt --cert ./client
    /client.crt --key ./client/client.key -t enose/dades
$ mosquitto_pub -h 192.168.0.253 --cafile ./ca/ca.crt --cert ./client
    /client.crt --key ./client/client.key -t enose/dades -m hola mon
```

A l'hora d'automatitzar el subscriptor capaç de fer injeccions SQL al servidor s'utilitza un intèrpret de missatgeria MQTT realitzat expressament per a tal efecte amb el llenguatge de programació Python.

4.6.7 Servidor de xarxa privada virtual

Donat que el dispositiu e-Nose i la base de dades estan en ubicacions diferents, l'enviament de dades sensibles pot ser interceptat per Internet. Per tal de mitigar la possibilitat que un atacant estiga capturant els paquets que viatgen cal establir una xarxa privada virtual. D'aquesta manera es garanteix un canal de comunicació segur entre els dos equips. L'esquema, per tant, conforma una capa de seguretat més. A la figura 4.68 es pot observar que les dades viatgen com a missatges de text que són xifrats amb una capa TLS i per dins d'una xarxa virtual.

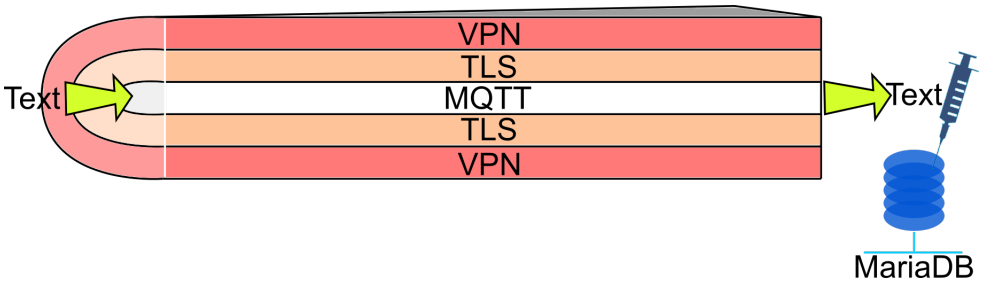


Figura 4.68: Esquema de comunicació entre client servidor.

A l'altre extrem un servei serà l'encarregat d'interpretar el text i introduir-lo a la base de dades. S'evita, així, que un atacant accedeix-ca de fora del servidor a les dades. Novament un contenidor docker permet configurar ràpidament aquest servei mitjançant un contenidor openvpn. A l'algorisme 4.59 es descriu el contenidor, el port i el volum de la configuració per tal de guardar-la de manera persistent.

Algorisme 4.59: Fitxer docker-compose.yml

```
version: "2"
services:
 openvpn:
  cap_add:
   - NET_ADMIN
  image: kylemanna/openvpn
```

```
    container_name: openvpn
    ports:
     - "1194:1194/udp"
    restart: always
    volumes:
     - ./openvpn-data/conf:/etc/openvpn
```

Amb un simple comand vist a 4.60 es configura el contenidor per al servidor. Si bé a l'apartat 4.6.5 es creava primer un fitxer de configuració, aquesta vegada s'ha optat per la creació automàtica.

Algorisme 4.60: Crear configuració vpn

```
sudo docker-compose run --rm openvpn ovpn_genconfig -u udp:
    //192.168.0.253
```

Es crea, per tant, el fitxer de configuració d'OpenVPN on cal modificar l'adreça ip del servidor i afegir la línia de configuració del client. A 4.61 es pot observar el fitxer resultant.

Algorisme 4.61: Fitxer openvpn-data/conf/openvpn.conf, representació parcial

```
server 10.8.0.0 255.255.255.0
verb 3
key /etc/openvpn/pki/private/192.168.0.253.key
ca /etc/openvpn/pki/ca.crt
cert /etc/openvpn/pki/issued/192.168.0.253.crt
dh /etc/openvpn/pki/dh.pem
tls-auth /etc/openvpn/pki/ta.key
key-direction 0
keepalive 10 60
persist-key
persist-tun
client-config-dir /etc/openvpn/ccd
proto udp
port 1194
dev tun0
topology subnet
```

```
status /tmp/openvpn-status.log
user nobody
group nogroup
comp-lzo no
push "block-outside-dns"
push "dhcp-option DNS 8.8.8.8"
push "dhcp-option DNS 8.8.4.4"
push "comp-lzo no"
%
```

De la mateixa manera que s'ha creat la configuració de manera automàtica, docker també permet crear les claus privades i públiques de manera automatitzada. A l'algorisme 4.62 es pot observar el comand requerit . Cal tenir en compte que s'ha de canviar el propietari dels fitxer per tal de tenir accés a les claus.

Algorisme 4.62: Crear configuració vpn

```
talens@talens: sudo docker-compose run --rm openvpn ovpn_initpki
talens@talens:~/e-nose/openvpn$ sudo chown -R $(whoami): ./openvpn-
    data
```

Per tal d'arrancar el contenidor, cal executar el comand vist a l'algorisme 4.63

Algorisme 4.63: Iniciar contenidor docker OpenVPN

```
sudo docker-compose up -d openvpn
```

La configuració del client passa per la creació de la configuració d'un client al servidor, la instal·lació del paquet openvpn al client, l'enviament del fitxer de configuració i el llançament del servei amb aquest fitxer. Aquestes operacions cal fer-les al servidor com es descriu a 4.64 i al client com es descriu a 4.67.

Algorisme 4.64: Creació i enviament del fitxer de configuració OpenVPN

```
talens@talens:~/e-nose/openvpn$ export CLIENTNAME=e-nose
```

```
talens@talens:~/e-nose/openvpn$ sudo docker-compose run --rm openvpn
    easyrsa build-client-full $CLIENTNAME
talens@talens:~/e-nose/openvpn$ sudo docker-compose run --rm openvpn
    ovpn_getclient $CLIENTNAME > $CLIENTNAME.ovpn
talens@talens:~/e-nose/openvpn$ scp e-nose.ovpn pi@192.168.0.175:/
    home/pi/openvpn/
talens@talens:~/e-nose/openvpn$ sudo echo "ifconfig-push 10.8.0.21
    255.255.255.0" | docker-compose run --rm openvpn tee /etc/openvpn
    /ccd/e-nose ifconfig-push 10.8.0.21 255.255.255.0
```

Per tal de tenir la IP estàtica es crea una carpeta al directori /etc/openvpn/ anomenada ccd, on un fitxer amb el nom del client que es crea al crear el certificat i que conté la configuració de l'adreça. Per tal de crear el fitxer s'executa el comand descrit a l'algorisme 4.65.

Algorisme 4.65: Creació fitxer configuració del client amb IP estàtica

```
talens@talens:~/e-nose/openvpn$ sudo echo "ifconfig-push 10.8.0.21
    255.255.255.0" | sudo docker-compose run --rm openvpn tee /etc/
    openvpn/ccd/e-nose ifconfig-push 10.8.0.21 255.255.255.0
```

Per tal de que no demane la contrasenya, cal proporcionar els fitxers ca.crt, e-nose.crt, e-nose.key i ta.key, però com que s'ha creat el client automàticament també s'han importat les claus al fitxer e-nose.ovpn . Sols cal afegir una línia per tal d'automatitzar el pas de la contrasenya. Aquesta romandrà a un fitxer anomenat e-nose.pass. Açò fa més vulnerable el sistema, però sols en el cas d'una intrusió.

Algorisme 4.66: Fitxer e-nose.conf, representació parcial

```
...

askpass /home/pi/openvpn/e-nose.pass

...
```

El client caldrà que tinga instal·lat OpenVPN i que l'inicie tenint en compte la configuració que s'ha generat al servidor amb l'arxiu e-nose.ovn, com es pot observar a l'algorisme 4.67.

Algorisme 4.67: Instal·lar i iniciar contenidor docker OpenVPN al client

```
pi@raspberry:~ $sudo apt install openvpn
pi@raspberry:~ $ sudo openvpn --config ./openvpn/e-nose.ovpn
```

Com que es pretén automatitzar el procés d'unió a la VPN, cal moure el fitxer e-nose.ovpn al directori /etc/openvpn/ amb el nom e-nose.conf. A més, cal editar el fitxer /etc/default/openvpn per a descomentar AUTOSTART="all". Amb aquestes modificacions es possible arrancar el servei i que romanga actiu quan es reinicie la màquina. A 4.68 es detalla el comand.

Algorisme 4.68: Iniciar servei OpenVPN

```
pi@raspberry:~ $sudo service openvpn start
```

4.6.8 Servei intèrpret de missatgeria

El servei intèrpret de missatgeria configura una capa més de protecció per no permetre que un intrús puga accedir a les dades mitjançant injecció SQL. Així doncs, sols un usuari tindrà accés a la injecció de dades de manera local. L'intèrpret serà un subscriptor MQTT que rep les dades i les injecta a la Base de dades. Per tal d'executar Python 3 i poder instal·lar paquets cal tenir el gestor de paquets pip que s'instal·la amb el comand descrit a 4.69.

Algorisme 4.69: Instal·lació paquet MQTT per a Python

```
remote-server@e-Nas:sudo apt install python3-pip
remote-server@e-Nas:sudo pip3 install paho-mqtt
remote-server@e-Nas:sudo pip3 install pymysql
```

Es defineix la classe BrockerClientMQTT que pertany a la classe mqtt.Client del paquet paho-mqtt. A la figura 4.69 es representa el diagrama UML que representa la mateixa.

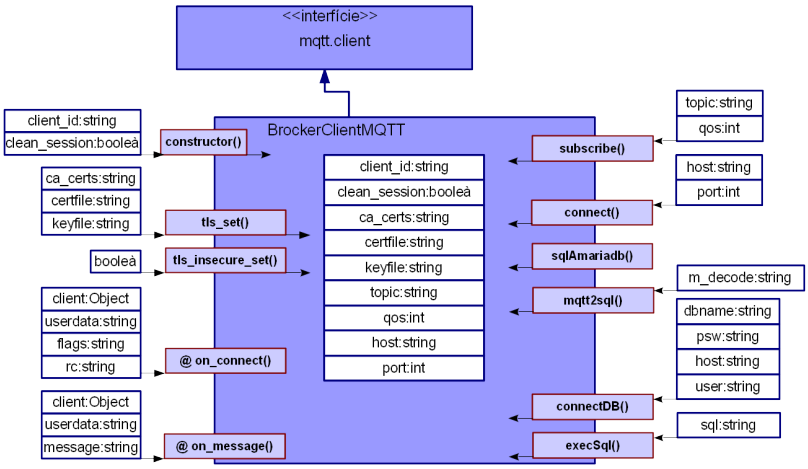


Figura 4.69: Respresentació de la classe BrockerCLientMQTT.

El client MQTT modifica el diagrama de seqüència per a inserir dades en la base de dades vist a la figura 4.45, actuant com a intermediari entre la base de dades i el e-Nose. Com que rep un únic missatge per cada transacció romandrà com un servei a l'espera per a procedir a la inserció. Per tal de facilitar un ACK, cal crear un subscriptor a l'e-Nose i una publicació, indicant que s'han realitzat correctament la inserció a la base de dades. Així doncs, caldrà que aquest missatge aparega a l'actor corresponent. A la figura 4.70 s'observa el diagrama de seqüència complet.

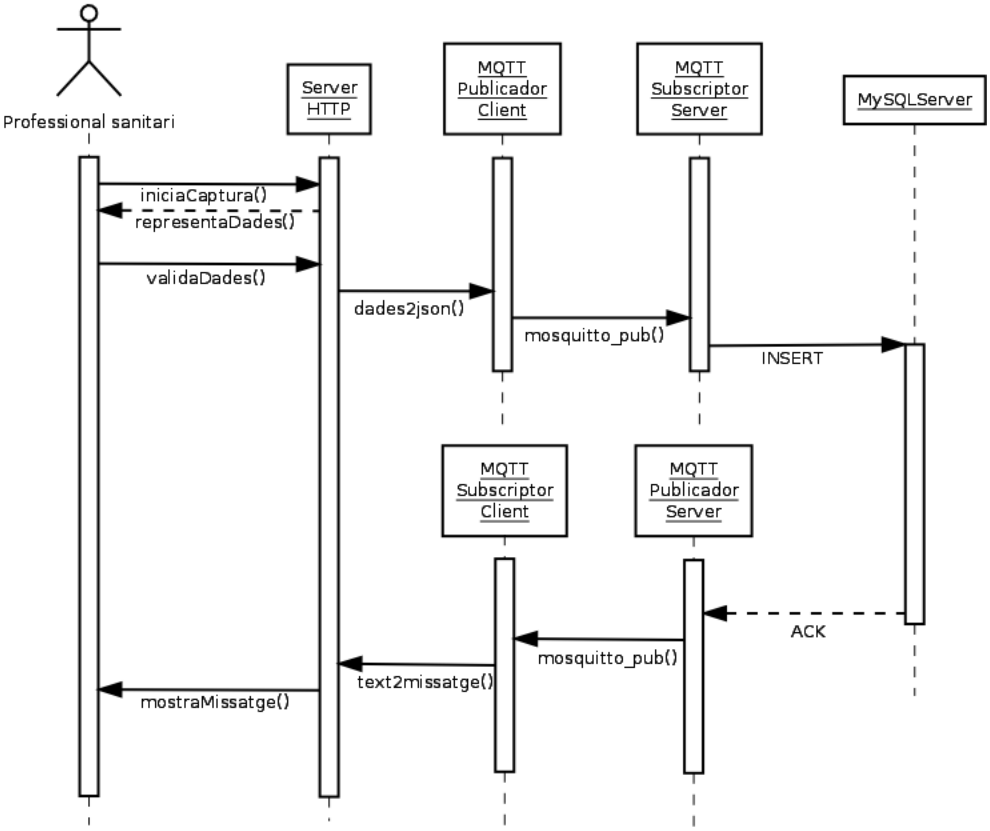


Figura 4.70: Modificació diagrama de seqüència inserir dades a la base de dades.

El servidor HTTP executarà la conversió de les dades a un format json més amigable d'on poder llegir al destí. A 4.71 es pot observar un exemple. El publicador ubicat a l'e-Nose enviarà al Broker (ubicat al servidor) mitjançant l'algorisme vist en 4.70 i aquest el remetrà al subscriptor que mitjançant l'al-

gorisme vist en 4.71 inserix a la base de dades les dades obtingudes.

Algorisme 4.70: Exemple publicador

```
$ mosquitto_pub -h 10.8.0.22 --cafile ./ca/ca.crt --cert ./e-nose/e-
    nose.crt --key ./e-nose/e-nose.key -t enose/dades -f missatge.
    json -q 2
```

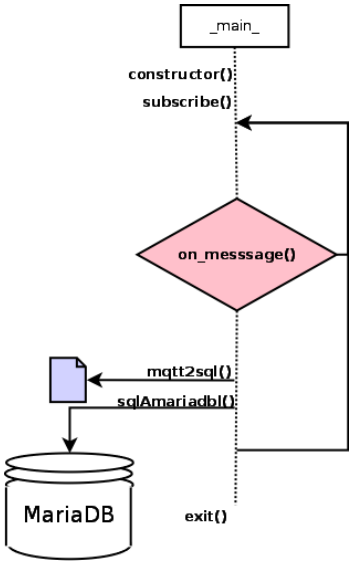


Figura 4.71: Algorisme funcionament del subscriptor que insereix les dades.

El resultat es torna mitjançant un tòpic diferent, aquesta vegada el publicador està al servidor i el subscriptor està ubicat a l'e-Nose. En rebre el missatge el subscriptor executa el codi corresponent per tal que el servidor HTTP mostre un missatge al Professional sanitari que està utilitzant l'e-Nose.

Algorisme 4.71: Dades encapsulades a un fitxer json

```
{
 "classe": "Z00",
 "fs":100,
 "tf":150,
 "humyE":50,
 "tempE":21,
 "humyV":30,
 "tempV":36,
 "humyS":90,
 "tempS":40,
 "num_sens": "G1",
 "rep":5,
 "num_v":4,
 "num_hist":"000000",
 "valors":[0.1223,0.4234,0.2312,...41.1234,45.213,67.412,]
}
```

El subscriptor ubicat al servidor que rep els missatges json, crea els fitxers sql i els inserta a la base de dades. S'executa mitjançant un servei al sistema que s'alça una vegada alçat el servei d'OpenVPN. A 4.72 es pot observar l'algorisme on es crea un enllaç simbólic i el servei que es carrega al sistema, s'habilita i es llança. En reiniciar el servei estarà actiu esperant un missatge del publicador.

Algorisme 4.72: Exemple creació de servei susbscriptor

```
talens@talens:$ sudo ln -s /home/talens/e-nose/mqtt/subscriptor.py /
    usr/local/bin/subscriptor.py
talens@talens:$ sudo nano /etc/systemd/system/subscriptor.service

[Unit]
Type=idle
[Service]
ExecStart=python3 /usr/local/bin/subscriptor.py
[Install]
WantedBy=default.target
talens@talens:$ sudo chmod +x /etc/systemd/system/subscriptor.service
```

```
talens@talens:$ sudo systemctl daemon-reload
talens@talens:$ sudo systemctl enable subscriptor.service
talens@talens:$ sudo systemctl start subscriptor.service
talens@talens:$ sudo nano /etc/systemd/system/subscriptor.timer
[Unit]
Description= Timer per al subscriptor
[Timer]
Unit=subscriptor.service
OnBootSec=5min
OnUnitActiveSec=15min
[Install]
WantedBy=timers.target
```

Per a la connexió segura amb el servei intèrpret de missatgeria es crea altre client a la vpn. Com que el servei està a l'equip on està el servidor vpn es crea i arranca un client com s'ha vist a 4.65, però aquesta vegada el nom del client com a *talens*. Cal comentar una línia ja que està a la mateixa màquina que el server, a 4.73 es pot observar que es comenta la petició de configuració de la xarxa. Per a l'automatització també cal fer el mateix procediment. Les adreces resultants es llisten a la taula 4.22.

Algorisme 4.73: Fitxer /etc/openvpn/talens.conf, representació parcial

```
...
#redirect-gateway def1
...
```

Taula 4.22: Adreces xarxa VPN.

CN(Nom comú)	IPv4	Màscara de subxarxa
Servidor	10.8.0.1	255.255.255.0
e-nose	10.8.0.21	255.255.255.0
talens	10.8.0.22	255.255.255.0

4.7 Disseny del model

En el disseny del prototip entren en joc diverses tècniques. En primer lloc cal donar-li forma a un objecte, aquest objecte conté l'electrònica, la pneumàtica i els elements que fan possible el seu ús o control mitjançant un software. Aquesta divisió que centràrem a l'apartat 4.1 l'estructura de treball culmina amb l'execució d'un prototip.

4.7.1 Fases del prototip

Per a aconseguir un prototip, cal passar per diferents estadis, en primer lloc cal resoldre la forma, en línies generals, que ha de contindre els elements però cal pensar com s'ha de fabricar i tenir present quan es dissenya. Per a construir el contenidor d'aquest prototip s'ha utilitzat la tècnica d'impressió 3D en FDM, l'electrònica s'ha dissenyat per a plaques de circuit imprés enviades a construir i s'han muntat i soldat els components al laboratori. Per a la pneumàtica s'han utilitzat elements de connexió com tubs o xeringues provinents de material mèdics. Amb el cablejat i els caragols es completa el material necessari per a la seva construcció.

Escalfador

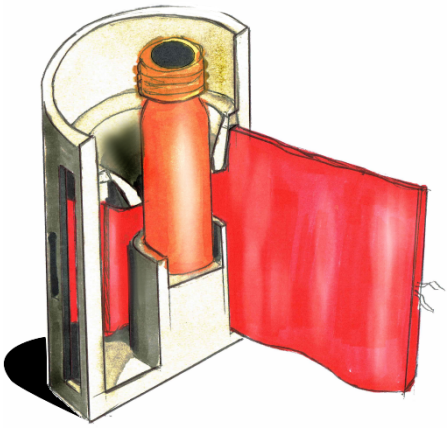


Figura 4.72: Sketch vista en tall disseny escalfador.

L'Escalfador ha de complir dues funcions; contindre el vial i permetre que es puga escalfar sense transmetre el calor cap a l'exterior. Es dissenya una

estructura tancada circular on, per una ranura també circular i allargada, s'introdueix una resistència flexible. Un suport manté el vial al centre de l'estructura i una càmera permet que, per radiació, es transmeta el calor de la resistència cap al vial. Com es pot observar a la figura 4.72 s'ha provist d'altra ranura per a situar un sensor de temperatura.

Tambutxo i clip

Per tal de punxar els vials de manera repetida es situen les agulles a un cilindre perforat com es veu a les figures 4.73 i 4.74. Aquest cilindre o tambutxo se li acopla un tapa o clip per tal d'evitar que les agulles ixquen quan es perfora el vial. S'incorpora també un mànec per tal de subjectar-lo quan s'està canviant de vial.

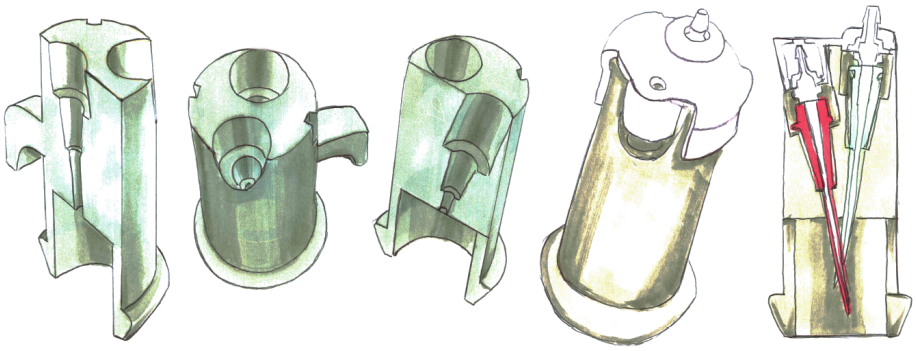


Figura 4.73: Sketch diferents vistes disseny tambutxo.

Campana sensors

Ubicar els sensor a una càmera li dóna temps als sensors a reaccionar amb el gas que s'aplica. Els sensors pel temps o per tal de fer ajustos, és possible que es vulguen canviar i s'ha pensat una rosca per tal de desmuntar-la i poder accedir als mateixos. A la figura 4.75 s'observa que està oberta per un extrem on acobla a un suport per als sensors que permet el pas del gas.

La condensació és un problema a tenir en compte i, per això, es va incorporar altra boca a la campana. Així una per a l'entrada d'aire i altra per a detectar condensació i poder intervindre. L'aire, per tant, passa a la càmera i a mesura que va entrant l'a travessa per a eixir cap al filtre com s'observa al circuit

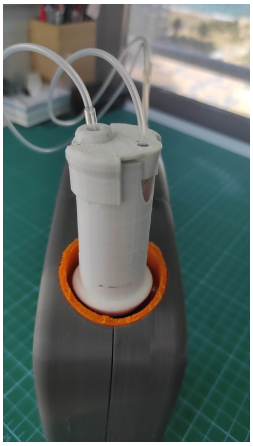


Figura 4.74: Tambutxo muntat al prototip.

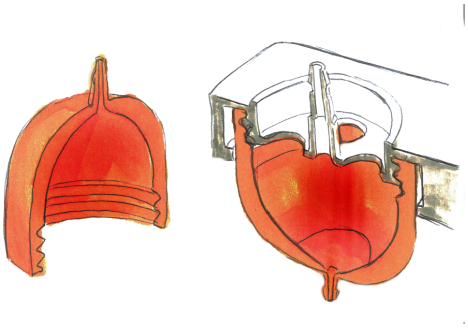


Figura 4.75: Sketch diferents vistes Campana.

de la figura vista en 4.18. Tot i que inicialment es practicava un orifici a un lateral de la campana, al disseny final s'implementa l'altra entrada a la part inferior. Així el fluxe és natural de baix a dalt i no directament als sensors o contra el sensor de temperatura i humitat ubicat a l'interior. A la figura 4.76 es pot observar que l'eixida de control està obturada amb una brida, l'entrada connectada a l'estructura i queda una connexió lliure que és l'eixida d'aire del circuit pneumàtic.

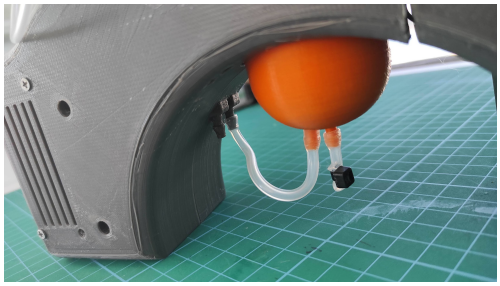


Figura 4.76: Campana muntada al prototip.

Raspberry Pi Zero 2

Amb l'aparició de la Rasperry Pi Zero 2 es va fer viable el seu ús i, per tant, s'utilitzà un disseny descartat anteriorment per tal d'optimitzar la seva implementació. En un primer lloc, es va optar per crear un *shield* per a la Raspberry i altra placa per als sensors. No obstant, es va portar tota l'electrònica del shield de la Raspberry Pi a la placa de sensors minimitzant així el nombre de plaques electròniques a dissenyar i fabricar. A la figura 4.77 es pot observar un dels prototips de la placa de sensors fabricat.

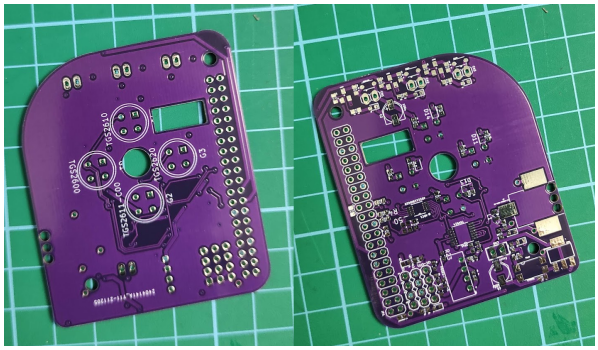


Figura 4.77: Protip placa de sensors.

Aquesta placa conté el *pinout* de Raspberry Pi per a fer més fàcil la seva connexió tot i no gastar tots els pins. Incorpora les connexions als diversos sensors de temperatura i humitat amb un bus I2C i permet l'anclatge a l'estructura així com la resta de components electrònics.

Per tal de mantenir el sistema i en cas de fallida, és probable que calga un accés a la targeta SD que incorpora la Raspberry Pi 2. Per tant, es practica una obertura a la part inferior com es pot observar a la figura 4.78.

Figura 4.78: Ranura accés a targeta SD.

L'alimentació de tot el conjunt també requereix del seu anàlisi. Es va implementar una connexió lateral directa a la placa de prototips però no resultà pràctic i, a més, impedeix la manipulació de la campana pel professional sanitari i pot causar confusió. Així doncs, es situa un port d'alimentació contigu als ports de la Raspberry Pi que es connecta de manera aèria a la placa de sensors com es pot observar a la figura 4.79 i 4.80.

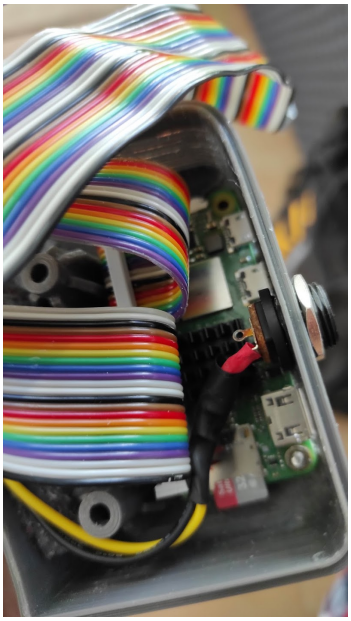


Figura 4.79: Connexió alimentació prototip.

Figura 4.80: Ports de connexió prototip.

Sensors de temperatura i humitat

Existeixen tres sensors de temperatura que situar al prototip. El sensor a l'exterior es situa a la part de dalt, al costat de l'entrada d'aire com es pot veure a la figura 4.81. Aquest sensor necessita una intervenció de soldadura, com s'ha actuat a la figura 4.82, per tal de connectar una entrada a alimentació. D'aquesta manera canvia la seva adreça.

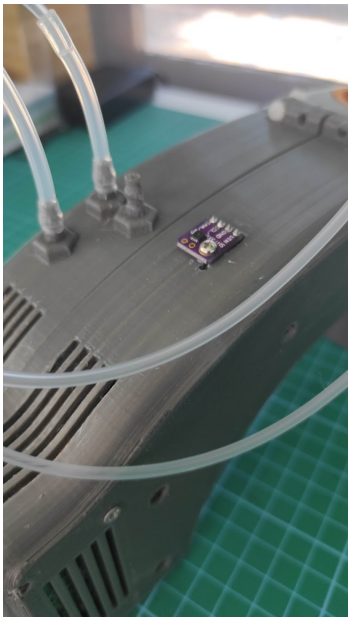


Figura 4.81: Detall sensor muntat al prototip.

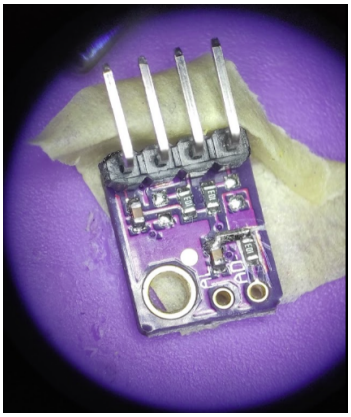


Figura 4.82: Rework per canviar l'adreça.

Dins la campana també cal tenir un sensor de temperatura i humitat que s'ubica a l'aire agafat del mateix bus de connexió com es veu a la figura 4.83. A la mateixa figura es pot observar els sensors de gas disposats al voltant de

l'eixida de gasos. Aquesta disposició facilita la intervenció als mateixos per a tasques de manteniment.

Figura 4.83: Disposició de sensors a la càmera.

L'escalfador incorpora altre sensor de temperatura i humitat. Malgrat que ací la humitat no és crítica, per tal de simplificar, s'utilitza el mateix sensor que per a l'exterior. Una vegada situada la resistència, es situa el sensor entre la mateixa i la pared de l'estructura. Com que la resistència incorpora un adhesiu es queda subjecte. A la figura 4.84 es pot observar la seva ubicació.

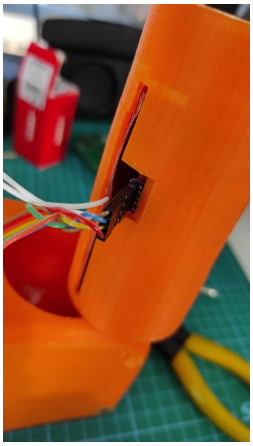


Figura 4.84: Disposició del sensor a l'escalfador.

Estructura, pneumàtica i conjunt

Poc a poc i amb els recursos propis d'una impresora 3D i mitjançant l'assaig error es dissenyen diferents peces que es van encaixant per tal de connectar la pneumática i situar els elements com la electrovàlvula i la bomba d'aire. A la figura 4.85 s'oberven detalls com la situació de l'electrovàlvula i les connexions incorporades al mateix xassis del prototip.

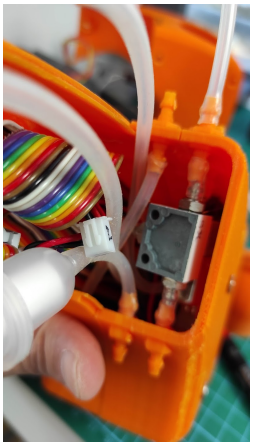


Figura 4.85: Imatge assaig de connexions i prototipat.

Imprimir en ABS amb una impresora FDM resulta una tasca complexa per l'estabilitat tèrmica que requereix el material. Però les prestacions tècniques del mateix el fan òptim per a utilitzar-lo com a material base per al prototip. Les estratègies per a la seva impressió passaren per utilitzar una impressora 3D tancada i fins i tot tapar la mateixa de manera que mantinguera una temperatura al voltant dels quaranta graus. Encara que rudimentari, imprimir en estiu i tapar la impressora fou clau per a l'èxit de la impressió en ABS. A la figura 4.86 es pot observar una de les impressores utilitzades ubicada a una cotxera[4] de l'autor.

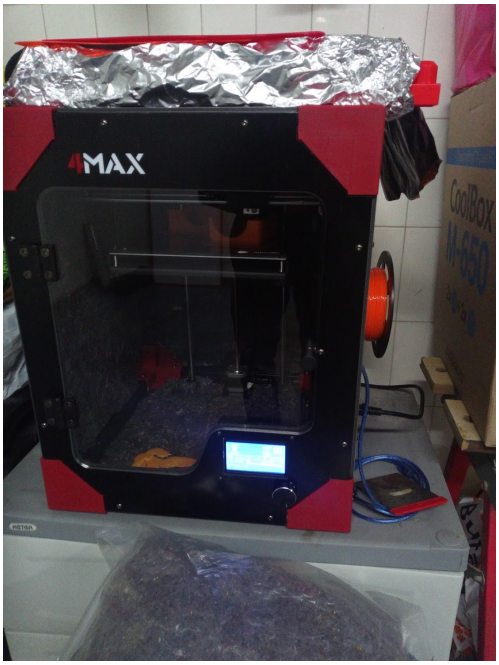


Figura 4.86: Impressora FDM Anycubic 4MAX.

Durant els anys posteriors, l'evolució d'aquesta tecnologia, l'aparició de nous materials per a la impressió i l'adquisició per la Universitat Politècnica de València a la seu de Gandia de noves impressores va fer possible que peces menys crítiques tèrmicament s'imprimiren en altres materials com PET. Les dimensions de les peces que composen l'estructura i les seves unions estan condicionades per les dimensions de les impressores 3D. Per al prototip es

[4]Imprimir en ABS desprén gasos nocius per al esser humà.

creen quatre parts que posteriorment es munten amb caragols. A la figura 4.87 es pot observar les quatre peces acabades d'imprimir.

Figura 4.87: Conjunt d'estructura imprés en PET.

En imprimir i muntar s'observen diferents ajustos a realitzar que requereixen de tornar a modelar en 3D i imprimir les peces. De vegades sols cal ajustar la mesura que per la contracció i dilatació o per la tècnica d'impressió no aconsegueix l'acabat necessari per a tancar o acoblar. En altres ocasions cal practicar un forat o desplaçar el mateix i en algunes peces s'ha observat que requerien un canvi de concepte per a poder fabricar-se.

4.8 Reflexions

L'esforç, la tècnica i el temps han estat clau en la construcció d'un prototip. L'aparició de la Raspberry pi Zero 2 amb el processador de la Raspberry pi 3 ha resultat clau per a l'elecció d'un sistema computador. Però mentre s'estudiaven les diverses opcions calia adoptar una configuració transparent a la resta de decisions. Es va optar, per tant, per la creació d'una placa de prototips amb el mateix bus de comunicació que la Raspberry Pi. Al voltant d'aquest hardware s'han escollit sensors i s'ha condicionat el disseny, tant físic com el de la interfície.

La necessitat d'adquisició de senyals analògiques i l'objectiu de minimitzar el disseny ha portat a escollir un ADC de quatre entrades, 16-bits, bus de comunicació SPI, amb referència incorporada, baix consum i tensió d'alimentació de 2 a $5.5\,V$.

Els sensors d'humitat i temperatura s'han escollit amb bus de comunicació I2C i no s'utilitza el mateix donada la impossibilitat de repetir més de dos adreces. La resta d'elements (electrovàlvula, bomba d'aire i escalfador) s'accionen mitjançant el bus de comunicació GPIO de la Raspberry Pi.

El circuit de la placa de prototips construïda s'ha dissenyat per a permetre la comunicació amb la Raspberry Pi d'una forma fiable i segura. S'han estudiat els efectes de les EMIs i ESD, la protecció dels propis circuits i el consum de cada component electrònic per optimitzar el disseny.

El circuit neumàtic s'ha pensat per a permetre el pas dels compostos volàtils a la càmera de sensors de gas mitjançant l'accionament d'una electrovàlvula i impulsats per una bomba d'aire. S'ha tractat d'utilitzar per a les connexions elements comuns que es troben als hospitals, com tubs i agulles. Tot i que amb altra electrovàlvula i altre disseny es podria eliminar la connexió en T vista a la figura 4.18, s'ha escollit una electrovàlvula de tres vies i dos posicions per ser més fàcil trobar-la al mercat. La bomba d'aire s'ha escollit per l'alimentació del motor a $6\,V$, que permet espentar els VOCs sense crear turbulències al fluid.

Per tal d'oferir al professional sanitari que utilitze el prototip un entorn amigable, s'utilitza un servidor web. Aquest és el que ofereix la comunicació

amb el hardware i la interfície per al control del nas electrònic construït. El prototip està pensat per a la consulta ambulatòria i dotar-lo d'una interfície lligada al sistema operatiu hagués requerit d'un monitor o pantalla, teclat i ratolí per al seu control. Amb aquesta solució, un telèfon mòbil, tableta o el propi ordinador de la consulta permet controlar el nas electrònic. Això sí, es requereix d'una connexió sense fil per al seu control i accés a internet per tal de comunicar-se amb altre servidor. En aquest cas, el servidor remot serà qui mitjançant una comunicació segura injectarà les dades a la base de dades.

La base de dades no ha estat dissenyada per al cas concret del nas electrònic per a malalties de pròstata. S'ha tractat d'estandaritzar-la el màxim possible per poder aprofitar-se per a altres patologies. És per això que s'explica i detalla, fins i tot, la seva implementació. Encara que el seu ús no resulta útil en aquest projecte, és la clau per a entrenar algorismes d'un multicèntric amb dades de diferents nassos electrònics repartits en diferents consultes.

Per tal d'aconseguir que el hardware responga a les ordres del professional sanitari que controla el nas electrònic, és necessari dissenyar un sistema de servidors. S'han definit els diagrames d'ús, de control i cridades a més dels procediments per a la seva instal·lació al sistema operatiu de la Raspberry Pi. A més d'aquest *backend*, es requereix un *frontend* per tal de fer amigable el control. S'ha detallat tot el procediment de disseny i creació de les interfícies d'usuari i control del nas electrònic. S'han utilitzat tècniques diferents de control de la interfície per fer de la mateixa un disseny *responsive*[5].

El disseny 3D de tot el conjunt ha canviat a mesura que es produïen modificacions, s'ha ajustat a la tècnica a l'abast per a prototipar. El més costós ha resultat imprimir amb material resistent a les temperatures. El material per excel·lència, el PLA, no resulta òptim com a prototip final per no suportar temperatures majors a 50 graus centígrads. S'ha tractat de minimitzar la forma i aconseguir un compromís entre funcionalitat i dimensions. S'han dissenyat els elements amb la restricció de tamany ($200\,mm$ x $200\,mm$) atenent al mètode de fabricació per impressió FDM. Per això les parts cal muntar-les i caragolar-les per afavorir la seva construcció a les impressores FDM actuals.

[5] No és el mateix utilitzar un telèfon que una tableta o un ordinador per a visualitzar els controls i l'aplicació ha d'adaptar-se d'una forma controlada.

Capítol 5

Desenvolupament d'estratègies al voltant de la temàtica

" Si una idea no és absurda a l'inici, llavors no paga la pena".
Albert Einstein

5.1 Introducció

Aterrar a un grup d'investigació, disposar de finançament per a poder dedicar el teu temps en allò que t'agrada són moments dolços per a un estudiant de doctorat. Trobar el camí correcte, escollir degudament i encertar, de vegades, són entrebancs més bé agres. Aquest capítol tracta de tres projectes que han protagonitzat el camí recorregut fins a depositar la tesi. El primer amb un caràcter financer i de creació de contactes per a la recerca, el segon de com un projecte de màster acabà en recerca científica i el tercer que, a mesura que avança la tesi i, augmenta el coneixement de l'autor sorgeixen idees o línies d'investigació derivades de la temàtica del projecte.

5.2 COST i H2020

Una acció COST és una xarxa de recerca interdisciplinària que reuneix investigadors d'un tema de la seva elecció durant quatre anys. Horizon 2020 fou el major programa de recerca de la Unió Europea durant el període 2014-2020. Com s'ha comentat, la recerca de finançament és clau a tota investigació. Establir una xarxa de jóvens investigadors al voltant dels nassos elèctronics va ser una idea que es volia dur a terme inicialment. L'equip d'acollida de la tesi no tenia la capacitat de liderar una proposta H2020, però sí de participar-hi. Pensàrem que el primer pas per a donar-se a conéixer era establir una xarxa amb investigadors de tot el món. La idea subjacent era democratitzar el nas electrònic per a dur-lo a xicotets centres d'investigació, és a dir, crear una xarxa per a treballar al voltant de la temàtica del nas electrònic que pogués inferir directament amb una temàtica per a la tesi doctoral. El primer punt era centrar-se a un tòpic d'actualitat on un nas electrònic fora d'utilitat.

5.2.1 Descripció del repte

La industria del menjar suposava una important demanda d'investigacions i un nas electrònic podia millora els processos de producció i control de qualitat. Seguretat, control, qualitat i caducitat són algunes de les qüestions que la indústria alimentària ha de tenir sota control. Internet de les coses (IoT) ens ofereix l'oportunitat d'obtenir dades dels sensors al voltant dels processos productius. De fet, les grans dades que podem processar i estudiar són realment enormes. La indústria alimentària és capaç d'entrar a la indústria 4.0 aplicant conceptes com l'aprenentatge automàtic gràcies a la mineria de dades que proporcionen els sensors. El repte és posar nassos electrònics dins de la indústria alimentària. Aquesta tecnologia és capaç de recollir les dades i prendre decisions en temps real dins de la línia de producció. Per tenir èxit és obligatori unir dos mons en una gran xarxa de la Comunitat Europea.

5.2.2 Rellevància

Els dos últims cicles *Hype Cycle* per a tecnologies emergents van posar l'aprenentatge automàtic al pic de les expectatives inflades i el desencadenant de l'IoT en la innovació. Les 10 principals tendències tecnològiques estratègiques per als propers anys parlen d'intel·ligència artificial, aprenentatge automàtic i objectes intel·ligents que prometen un futur intel·ligent. Ara la Indústria 4.0 és només un concepte que comença a aixecar les expectatives. El nas electrònic és una tecnologia antiga que comença a tornar gràcies a l'evolució de

les tecnologies de sensors i els nous mètodes dissenyats per al tractament de dades. El 2017 es varen publicar al voltant de 2100 articles sobre nas electrònic (eNose). El cinquanta per cent d'aquests estan relacionats amb aliments que també inclouen pinsos. En un món, on la visió per computador, és una realitat, cal utilitzar un altre sentit per a aconseguir l'activitat humana per a detectar les olors i aplicar-la a la indústria alimentària, que necessita la intervenció o supervisió humana. Aquesta xarxa d'experts crearà els estàndards i les necessitats de la futura tecnologia de nas electrònic aplicada a la indústria alimentària.

5.2.3 Objectius de coordinació de la recerca

Establir les sinèrgies necessàries per produir el feedback entre la indústria alimentària, la ciència i la tecnologia és l'objectiu principal per a construir els ponts i els enclavaments dins de la xarxa d'experts de coordinació de recerca amb l'objectiu d'aconseguir un grup transnacional i multidisciplinari d'investigadors que treballen en les necessitats tecnològiques de la ´ Indústria alimentària 4.0"".

Els objectius del grup d'experts són:

- Revisar les tecnologies actuals de sensors.
- Crear nous estàndards tecnològics per e-Nose per a la indústria alimentària.
- Proposar arquitectures de xarxa i protocols per a xarxes de sensors e-Nose.
- Implicar l'empresa en el procés realitzat pel grup d'experts.
- Creació de relacions futures per a provar les tecnologies futures derivades d'aquesta acció en escenaris reals.

Per tal d'integrar els nassos electrònics a la indústria alimentària, es requereixen algunes branques de la ciència. En primer lloc, la química i la nanotecnologia ens proporcionen sensors més petits i sensibles. El segon pas és l'entorn electrònic que permet prendre senyals elèctrics amb el sensor. Aquestes senyals necessiten un filtratge i una conversió digital per a poder utilitzar-les en un ordinador com a dades potencials. El tractament de les dades pren el saber

fer de gegants com Bayer o Laplace i aplica la informàtica amb llenguatges de programació emergents.

Malgrat l'esforç i de les tecnologies avançades per tal de tenir èxit, la ciència de l'alimentació ha de guiar tot el procés donant les necessitats i transformant els requisits del mercat en objectius.

5.2.4 En relació al repte

El paper del doctorant fou el de crear la xarxa, establir els vincles entre el proposants i escriure la proposta. Així doncs, es va convertir amb el *Main Proposer*. La referència de la mateixa és OC-2017-1-22019. Aquesta xarxa va reunir socis d'àmbits complementaris de la ciència, investigadors de 10 països COST i 4 institucions de països propers que reuneixen alguns dels equips més importants i complementaris que treballen en el nas electrònic i la indústria alimentària a tot el món. Aquesta xarxa va establir el primer pas per a unir-se als millors investigadors del nas electrònic i els Investigadors de la carrera inicial (*Early Career Investigators* ECI) en la direcció de la indústria alimentària. Es presentava com el mecanisme més adequat per a coordinar els esforços entre les diferents institucions per tal de posar la indústria alimentària en la indústria 4.0 i deixar que les noves sinergies guiaren els joves investigadors en el futur.

A causa de la necessitat de treballar en xarxa per a aquesta investigació, una Acció COST suposava el millor finançament per als passos principals. En segon lloc, un cop establerts els coneixements bàsics, la xarxa d'experts pretenia continuar la recerca amb altres finançaments europeus, com ara "Reptes socials", i influint en la definició del 9è Programa Marc, i amb l'objectiu de preparar propostes per a temes de recerca alineats.

A l'acció eNoseFOOD COST era de màxima importància establir una xarxa sòlida amb l'objectiu de preparar propostes fortes i sòlides.

5.2.5 Xarxa en conjunt

La xarxa eNoseFOOD COST Action preveia reunir els investigadors més rellevants de laboratoris importants amb els primers investigadors i estudiants. La proposta permetria als investigadors novells ocupar llocs rellevants sota la guia i l'experiència dels 14 laboratoris reconeguts internacionalment de 10 països COST. La distribució geogràfica pressuposava i, alhora, estimulava una intensa col·laboració internacional, que assegurés una àmplia difusió i explotació dels resultats arreu d'Europa.

La xarxa comptava amb dues empreses de la indústria alimentària i dues empreses de nas electrònic implicades en l'acció. Hi participarien els principals científics d'enginyeria electrònica que treballen en nassos electrònics d'arreu d'Europa. Aquesta era la primera vegada que reuneixen una massa crítica d'investigadors en el camp. Representava el 31,8% de la xarxa. Dues ECI de dues *Near Neighbour Countries* NNC i una sènior i dues ECI de l'estat cooperant de COST estaven implicades en aquesta acció. Aquesta col·laboració proporcionaria un entorn excel·lent per a formar estudiants investigadors i contribuir a l'aparició d'una nova generació d'investigadors. La preparació d'una conferència en un país ITC portaria al grup de treball a establir els coneixements que permeten al país créixer en l'entorn de la recerca. El diversos grups de treball que es formarien dissenyarien les *Short-term Scientific Missions* STMS i les escoles de formació al voltant de dos camps diferents aplicats a la indústria alimentària. Aquests grups tindrien en compte la promoció de l'equilibri de gènere, la qual cosa permetria als investigadors primerencs (ECI) ampliar la inclusió geogràfica.

Els antecedents dels socis i les seves competències en l'Acció són molt complementàries i ajudarien l'acció a assolir els seus objectius i l'àrea d'enfocament d'una manera excel·lent. Els socis es complementen en diversos aspectes, fent possible la recerca visionària a llarg termini, així com la transferència de tecnologia.

Taula 5.1: Xarxa de la proposta.

País	Institució	Afiliació COST
Albania	University of Tirana, Faculty of Natural Sciences	NNC
Bosnia and Herzegovina	University of Sarajevo Institute for Genetic Engineering and Biotechnology	COST Full member
Denmark	Voodoometrics	COST Full member
France	National Institute of Agronomical Research (INRA)	COST Full member
Israel	Technion - Israel Institute of Technology	COST Cooperating Member
Italy	National Research Council, Italy - Institute of Byophisics	COST Full member
Italy	Università degli studi di Roma Tor Vergata	COST Full member
Morocco	International University of Rabat	NNC
Palestine	Palestine Technical University - Kadoorie (PTUK)	NNC
Poland	University of Warmia and Mazury in Olsztyn	COST Full member
Portugal	International Iberian Nanotechnology Laboratory	COST Full member
Romania	Politehnica University of Bucharest	COST Full member
Spain	Universitat Politècnica de Valencia	COST Full member
Spain	Institute for Bioengineering of Catalonia	COST Full member
Spain	Spanish National Research Council - CSIC	COST Full member
Spain	Galician Institute of Technology	COST Full member
Spain	Asociació Valenciana d'Agricultors (AVA-ASAJA)	COST Full member
Sweden	University of Gavle	COST Full member
Sweden	Sahlins Brygghus AB	COST Full member
Ukraine	Kharkiv National University of Radioelectronics	NNC

5.2.6 El resultat

La proposta fou desestimada. Li calien 60 punts i va obtenir 29. Analitzar el que va motivar la baixa puntuació és una de les tasques que cal fer després de sofrir un colp desmotivador com aquest i prendre nota per a millorar aquells aspectes que la feren no elegible. Caldria destacar una de les respostes dels revisors que resumeix, en part, el motiu de la baixa puntuació a la pregunta *el repte és rellevant i oportú?*

La proposta aborda aquesta qüestió d'una manera molt bona.

Punts forts principals:
Els proposants aborden un problema que és rellevant i oportú, però la força de la seva explicació és feble. El problema és com utilitzar els coneixements adquirits sobre nassos electrònics a la indústria alimentària. La complexitat del problema de tenir aliments segurs és gran i la pràctica industrial actual és cara i sovint oportuna. Els proposants assenyalen la necessitat d'integrar diversos sensors per tal d'aconseguir la informació desitjada sobre la qualitat dels aliments en temps real així com la necessitat de trobar solucions tecnològicament acceptables amb despeses raonables. Els autors també es van adonar de la necessitat de normalització en el camp.

La proposta es beneficiarà de certes millores:

S'hauria de millorar l'anglés del diari. En molts paràgrafs d'aquesta proposta el revisor només pot endevinar el que realment volia dir el text i el judici no es pot fer bé sobre hipòtesis del revisor.
En particular a la solidesa del repte, en lloc d'elaborar la possible solució amb fets específics i rellevants per a la indústria alimentària, els proposants elaboren la seva proposta utilitzant generals formulacions, probablement aplicables a qualsevol indústria.

El fet subjacent era que la proposta l'havia escrita l'autor de la tesi, un alumne de Màster amb apenes un nivell B2 d'anglés. En aquell moment col·laborava al grup de recerca d'acollida, treballava a una entitat externa sense relació i estudiava de forma parcial el Màster de sistemes electrònics. No obstant això, havia aconseguit el vist i plau de 23 investigadors amb una mitjana de 14 anys de doctorat, 10 ECI, 23 institucions i 14 països. Però sols amb el vist i plau no era suficient, calia el compromís d'elaborar la proposta conjuntament però, érem ja una xarxa? eixa era la qüestió. La necessitat de crear un vincle venia imposada pel finançament i el finançament requeria d'un lideratge i cohesió que en aquell moment no podia oferir ni l'estudiant ni la xarxa. A la següent convocatòria la xarxa es va diluir i molts dels que havien acceptat participar simplement deixaren de manifestar interès. Amb aquesta tessitura no es presentà cap proposta.

Malgrat no seguir amb la proposta la llavor estava sembrada al subconscient i aquesta idea va dur a centrar els projectes futurs en construir un nas electrònic que poguérem portar a altra part del món, democratitzar-lo com un element d'estudi de noves formes d'anàlisi.

5.3 DE1-SOC ADC enose

La idea d'utilitzar xarxes neuronals per a la classificació va estar damunt la taula des de l'inici del projecte. Al llarg del Màster en Enginyeria de Sistemes Electrònics l'estudiant rep diversos continguts relacionats amb components electrònics, sensors i processament del senyal. Treballa en diversos llenguatges de programació, programari i configuració de maquinari. Les situacions es plantegen des d'un punt de vista pragmàtic, on l'entorn real juga el paper protagonista i media entre la solució teòrica i la real més òptima. L'elecció d'un projecte final de Màster que englobe la tècnica i l'aprenentatge no resulta trivial. Més encara, si al mateix temps, permet fer un estudi científic per a

aplicar a un element pràctic del dia a dia i que, al seu torn, estableix les bases del treball futur. No obstant això, l'autor va voler realitzar un TFM centrat en un objectiu concret però que permetera explorar diversos temes que, al seu parer, requereixen més atenció. És per això que s'abordà l'adquisició analògica de senyals procedents del medi físic, però implementant un convertidor digital analògic (ADC) mitjançant pins digitals Senyalització diferencial de baixa tensió (LVDS) d'una *Programable Gate Array* (FPGA). Aquesta tècnica contribueix a minimitzar la dificultat a l'estudi d'un projecte científic i ofereix la possibilitat d'estudiar a fons un tema interessant i motivador per a l'autor. Aquest TFM va derivar a un article publicat [68]:

> "Low Complexity System on Chip Design to Acquire Signals from MOS Gas Sensor Applications"

Els senyals analògics dels sensors de gas s'utilitzen per a reconèixer tots els tipus de COV, com ara gasos tòxics, tabac o etanol. Els processos per reconèixer les substàncies inclouen l'adquisició, el tractament i l'aprenentatge automàtic per a la classificació, que poden ser totes implementades de manera eficient en una matriu de porta programable de camp (FPGA) amb l'ajuda de baixa tensió Senyalització diferencial (LVDS). Aquest article proposa un nombre efectiu de bits d'11 bits de baix cost (ENOB). Convertidor analògic a digital (ADC) sigma-delta, amb un SNR de 75,97 dB i un SFDR de 72,28 dB, la sortida del qual es presenta a la pantalla en temps real, gràcies a l'ús d'un Linux System on Chip (SoC) sistema que permet el paral·lelisme, la programació d'alt nivell i proporciona un entorn de treball per al tractament científic dels senyals dels sensors de gas. L'alta freqüència aconseguida per l'ADC implementat permet multiplexar la captura de diversos senyals analògics amb una resolució òptima. A més, es poden implementar diversos ADC a la mateixa FPGA de manera que es poden digitalitzar diversos senyals analògics en paral·lel.

Amb aquesta publicació resulta factible la millora del nas electrònic propietat del grup MOOSY32, i a més, proporciona una ferramenta de treball per a una línia d'investigació. Aquest producte intel·lectual com ara l'ADC integrat a la FPGA en un *System On Chip* (SoC) pot implementar-se a un projecte futur d'un sistema portable que incorporen els nassos electrònics del futur. A la figura 5.1 es pot observar una síntesis del *set up* del projecte.

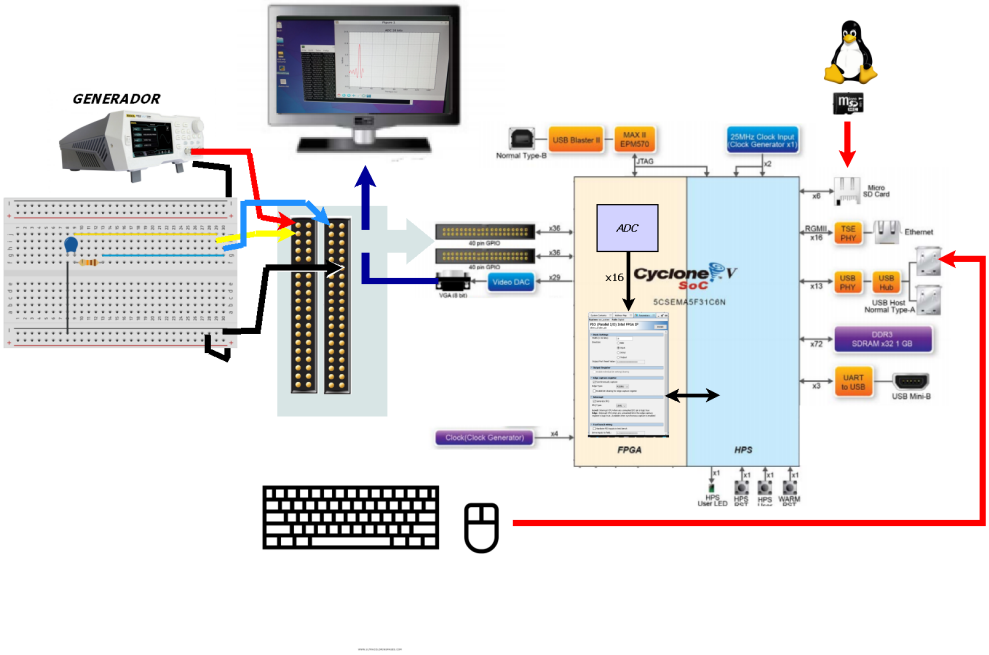


Figura 5.1: Set up convertidor ADC ΣΔ en FPGA dissenyat.

5.4 Detecció de tumors

Una de les problemàtiques descrites és la biòpsia de pròstata. La tècnica implica randomitzar l'extracció de les mostres. En saber de la problemàtica, de seguida va torna a la ment de l'autor una idea que, per falta de temps, va quedar relegada a un calaix. Es tractava d'un detector de lactat. A l'estudi del rendiment físic un valor interessant a mesurar és l'índex de lactat en sang. Actualment es realitza mitjançant extraccions d'una mostra al lòbul de l'orella. Si l'augment del lactat ve lligat a la presència d'Hidrogen no es desgavellat pensar que amb una detecció del mateix es podrà aproximar la quantitat de lactat en sang. No obstant degut al fet que cal detectar l'hidrogen associat a un altre element l'estudi passa per una espectrometria del compost. Així es podria determinar la resposta en freqüència per a abordar les longituds d'ona a treballar. Amb una llum a la freqüència correcta és possible mesurar l'absortivitat de forma no invasiva. Ací entra en joc una possible aplicació com la incorporació d'un detector de nivell de lactat a un rellotge esportiu. El funcionament bàsic seria el mateix que un mesurador d'oximetria però canviant les

longituds d'ona. A [69] trobem que el NADH té un pic a 340nm i que el NAD+ altre a 260 nm. Arribat a aquest punt, es susciten diverses preguntes. Seria possible aplicar aquesta llum a la pell d'una persona? El cicle de Kreps és un cicle complexe, si està menjant o està fent esport, seria possible determinar el nivell relatiu de NAD+ i NADH? caldria dissenyar un *set up* per a fer un estudi inicial però, amb què es fan les proves?. Tots aquestos dubtes i el preu de les llums UV requerides va fer desestimar aquesta idea inicialment.

La problemàtica de la biòpsia podria solventar-se si al mateix dispositiu s'incorpora una llum que, de forma no invasiva, facilite la mesura de la absortivitat. Una cèl·lula cancerígena té una major producció de lactat que una sana[70]. Per tant, si s'aconsegueix mesurar el lactat, encara que siga de forma relativa, podria validar un detector de tumors per a guiar el professional sanitari a realitzar la biòpsia.

Durant la pandèmia, els dispositius UV per a eliminar microorganismes van tenir un augment mundial i això va fer que s'abaratiren els leds UV. Amb la possibilitat d'adquisició de dos leds amb les longituds d'ona necessàries, el projecte va eixir novament del calaix. Però calia definir el test, què mesurar i com. Amb temps per a pensar i comentar amb professionals de la biologia, a la fi va sorgir una idea per a un test.

Disseny del test d'anàlisis de lactat

Les sardines, com altres animals, disposen de fetge i múscul. Si es realitza una biòpsia de les dues parts, s'obtenen dues mostres que contenen una diferència substancial entre NAD+ i NADH. Sota aquest principi, es dissenya un dispositiu capaç de mesurar l'absortivitat després d'aplicar diferents llums Ultra Violeta (UV). Es dissenya a una xicoteta placa un prototip per a connectar-lo a un ESP8266 amb una comunicació sèrie amb el PC. Es tracta de minimitzar l'esforç i els recursos per a un estudi previ. A la figura 5.2 es pot observar la PCB dissenyada.

Per a fer les proves, cal introduir la mostra en plaques d'assaig i es dissenya una caixa per a contenir la PCB, el sensor UV i el ESP8266 tot connectat a una protoboard. A la figura 5.3 a l'orifici per a inserir la mostra, es pot observar el sensor UV oposat a la PCB dissenyada.

Figura 5.2: Muntatge PCB suport llums Ultra violeta.

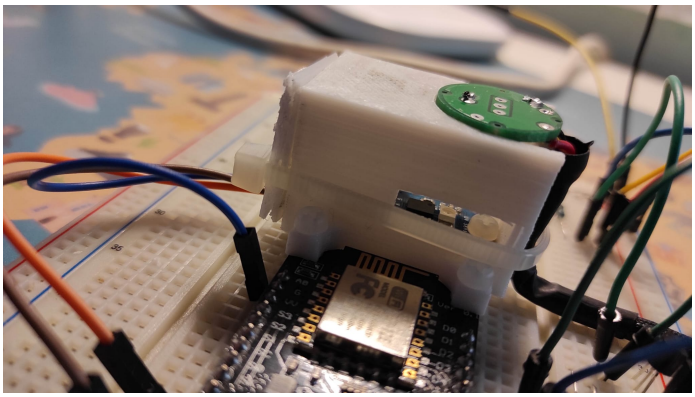


Figura 5.3: Conjunt per al test d'anàlisi de lactat.

Afortunadament el *lockdoor* va finalitzar i amb ell el projecte va tornar al calaix per prioritzar amb la tesi. No obstant, és una aportació de millora davant les necessitats detectades.

5.4.1 Reflexions

El model actual de formació per al doctorant no garanteix la igualtat de condicions a l'hora d'accedir a subvencions. Tot i que sembla que el sistema és just en valorar al candidat, l'èxit té una dependència del grup d'investigació i l'escola on es realitza. Un exemple clar són les beques FPU o FPI on la valoració del grup d'acollida és clau per aconseguir-la. A més, dins de la institució existeixen organismes amb major capacitat que l'alumnat o el propi grup amb un perfil organitzatiu per tal de redactar propostes Europees, assessorar i acompanyar al doctorant en la seva carrera investigadora. En resum, en el moment de donar per finalitzat el projecte del COST i abandonar la idea, l'autor estava preparat per a iniciar la seva redacció.

El projecte de la placa DE1-SoC ha suposat un endarreriment i una frustració en trobar fallides que, de primeres, semblaven que no es podrien superar. Açò ha condicionat la tesi. D'haver aconseguir trobar els diversos *bugs*, el prototip hagués pogut derivar en un sistema integrat amb un processador i una FPGA que implementara la xarxa neuronal. Com que la solució va aplegar més tard es va descartar com a base per al prototip.

Tot i que a la fi s'han aconseguit resultats bons amb el nas electrònic no sempre ha estat així. Han existit moments en els quals l'autor pensava en desistir, en que no anava a obtenir resultats. Què podia aportar al projecte, si els resultats no eren els esperats? La detecció de tumors mitjançant llum UV va suposar un moment relaxat, deixar anar la imaginació en un context de pandèmia. Aplicar allò que estava aprenent mentre realitzava la tesi en un projecte inicialment més menut. La dedicació a aquest projecte va desbloquejar l'autor a la vegada que aportava altra idea innovadora en la lluita contra la malaltia del càncer. En retornar a la temàtica principal, les idees fluïren d'altra manera i el projecte va seguir el seu curs.

5.5 Treball futur

Per a poder aconseguir augmentar el coneixement de la humanitat, cal fer públic el teu treball, aplegar al major nombre de llocs possibles. Per tant, el treball futur esdevindrà en publicar els resultats a una revista científica, publicar aquesta tesi en forma de llibre-manual, pujar els fitxers a github, els models 3D a thingiverse i publicar una entrada a Instructables, a més a més, de fer resó a diferents xarxes socials. Aquesta tasca, probablement, siga la

major aportació a la ciència. Compartir el prototip per a què, si tenim sort, altres el milloren i espenten el mateix cap a una verdadera democratització del nas electrònic.

Al títol de tesi es parla del càncer de bufeta, però no s'ha fet cap prova amb mostres de pacients d'aquesta patologia per manca de temps i mostres. No obstant, remarcar que s'ha pensat un nas electrònic per analitzar el bio-fluïd de l'orina i, per tant, el prototip i tot el treball realitzat és idèntic en ambdós patologies. Una de les tasques futures seria fer un estudi previ per avalar els possibles resultats i repetir el que s'ha assajat amb pròstata per a la bufeta.

Capítol 6

Conclusions

"De vegades crec que hi ha vida en altres planetes i de vegades crec que no. En qualsevol dels dos casos la conclusió és sorprenent".
—Carl Sagan.

No s'ha trobat una relació concreta entre els VOC's i les malalties de càncer de pròstata i bufeta però sí ha sigut possible classificar-les. Amb l'extracció de la resposta als VOCs de l'orina de pacients amb càncer i pacients amb hiperplàsia benigna de pròstata s'ha pogut entrenar una xarxa neuronal capaç de distingir entre ells.

S'han estudiat i caracteritzat els sensors de l'empresa Figaro per a tenir un tamany susceptible de ser embegut a un dispositiu ambulatori. S'han caracteritzat, s'ha creat una representació gràfica per a explicar el seu funcionament i s'ha elaborat un mètode per a extraure les parts per milió de la substància sensible del sensor. S'ha estudiat el nas electrònic del grup d'acollida, s'han proposat millores i s'ha creat un prototip amb una FPGA que permetrà substituir el sistema electrònic actual. A més, s'ha creat un entorn de desenvolupament per a futurs projectes que s'utilitza actualment al Grau de Sistemes de Telecomunicacions Imatge i So a l'Escola Politècnica Superior de Gandia (EPSG) i al màster universitari de Sistemes Electrònics Digitals de la UPV (MUISE). Abans del paper no utilitzaven SoCs al pla d'estudis.

No s'ha correlacionat el contingut espectral de les mostres analitzades al cromatògraf. Les mostres dispensades no disposen d'aquest anàlisis. Una estratègia podria haver estat utilitzar el cromatògraf de la EPSG, però no s'ha disposat ni del finançament ni del temps per a aprendre a utilitzar el cromatògraf i poder realitzar l'anàlisi el propi autor de la tesi.

El disseny tèrmic sempre ha estat present a l'hora d'elaborar el prototip. S'ha analitzat la ubicació dels components i l'extracció de calor. S'ha preparat el prototip per a incorporar ventilació forçada, modificat el disseny per a incorporar extracció de fluids provocats per la condensació. S'han realitzat assajos amb diferents materials com ABS, PP, PET i altres materials que s'han provat a imprimir i que resultaren molt complicats d'imprimir o requerien de modificacions a la impresora 3D. És el cas del PEEK que requeria imprimir amb un extrusor que permeta temperatures de 350 graus centígrads. Un material car i que no permet la democratització del nas electrònic.

S'han tractat els senyals, acondicionant-los, filtrant-los i observant les dades estadístiques així com la seva afectació per la disposició i el tipus de sensor. S'han aportat solucions per tal de millorar la seva adquisició. S'ha validat un sistema robust d'obtenció de big data amb menys quantitat de pacients per entrenar un algorisme. S'han analitzat en conjunt els senyals i caracteritzat aquells que provenen d'un tipus de pacient i d'altre. Si bé és cert que sols s'ha actuat amb pacients de càncer de pròstata i hiperplàsia benigna de pròstata, s'ha preparat el prototip per atendre mostres provinents de pacients de càncer de bufeta en el futur.

S'ha trobat un sistema de classificació automàtic, entrenat i exportat un model de xarxa neuronal per a ser utilitzat en prototips de classificació ambulatoris.

S'ha creat un sistema de transport i conservació de vials amb contenidor anti contaminació entre el IILS La Fe i la EPSG. S'ha millorat el protocol d'extracció de dades, el sistema d'emmagatzematge de dades amb un servidor i una base de dades. La base de dades SQL s'ha definit per a un nas electrònic concret, però s'ha realitzat tenint en compte el seu ús en altres tipus de pacient. Per això s'ha preparat de forma genèrica per a poder introduir noves patologies fàcilment i ser capaç de replicar la mateixa en altres estudis. A més, s'ha dissenyat un sistema segur de transmissió de dades entre el prototip i el servidor extern que evitarà que les dades sensibles dels pacients puguen ser

interceptades per un ciber criminal.

Crear un prototip funcional d'un nas electrònic és una de les tasques més difícils a què s'ha enfrontat l'autor. Ha calgut investigar al voltant de tecnologies provinents de diferents camps. L'electrònica centra aquesta tesi com a tòpic, però per a fer-la funcionar, per a fer funcionar el hardware cal un software amb el qual ha d'interactuar un professional sanitari. S'ha d'integrar a una situació concreta d'actuació, ha de ser accessible, resultar atractiu, de fàcil gestió, robust, fiable, segur entre d'altres. Tot açò, ha propiciat a l'estudi, la investigació i l'assaig en tecnologies emergents com ara raspbian, python3, openvpn, docker, mqtt, grid, javascript, nodejs, api-rest,keras, tensorflow, ect.

En línies generals, aquesta tesi ha ajudat a l'autor a desenvolupar-se professionalment, gràcies a tants entrebancs i tan ambiciós projecte. Ha adquirit les competències suficients per aconseguir el seu actual treball com a professor de sistemes i aplicacions en la formació professional a la Generalitat Valenciana.

Bibliografia

[1] M. B N Tchetgen i J. E. Oesterling. *The effect of prostatitis, urinary retention, ejaculation, and ambulation on the serum prostate-specific antigen concentration.* 1997. DOI: 10.1016/S0094-0143(05)70374-8 (v. la pàg. 2).

[2] Yakup Bostanci et al. "Correlation between benign prostatic hyperplasia and inflammation." A: *Current opinion in urology* 23 (2013), pàg. 5-10. ISSN: 1473-6586. DOI: 10.1097/MOU.0b013e32835abd4a (v. la pàg. 2).

[3] D P Ankerst et al. "Serial Percent-Free PSA in Combination with PSA for Population-Based Early Detection of Prostate Cancer". A: *J Urol* (2016). ISSN: 0022-5347. DOI: 10.1016/j.juro.2016.03.011 (v. la pàg. 2).

[4] R L Siegel, K D Miller i A Jemal. "Cancer statistics, 2016". A: *CA Cancer J Clin* 66.1 (2016), pàg. 7-30. ISSN: 1542-4863. DOI: 10.3322/caac.21332. arXiv: 9809069v1 [arXiv:gr-qc] (v. la pàg. 2).

[5] Elena Campos-Sánchez i César Cobaleda. *Tumoral reprogramming: Plasticity takes a walk on the wild side.* 2015. DOI: 10.1016/j.bbagrm.2014.07.003 (v. la pàg. 2).

[6] Alphus D Wilson. "Advances in electronic-nose technologies for the detection of volatile biomarker metabolites in the human breath". A: *Metaboli-*

tes 5.1 (2015), pàg. 140 - 63. ISSN: 2218-1989. DOI: 10.3390/metabo5010140 (v. la pàg. 2).

[7] Julian W Gardner i Timothy A Vincent. "Electronic Noses for Well-Being: Breath Analysis and Energy Expenditure." A: *Sensors (Basel, Switzerland)* 16.7 (2016), pàg. 947. ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s16070947 (v. la pàg. 2).

[8] Marco Santonico et al. "Chemical sensors for prostate cancer detection oriented to non-invasive approach". A: *Procedia Engineering* 87 (2014), pàg. 320 - 323. ISSN: 18777058. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.11.672 (v. la pàg. 2).

[9] Xue Mei Jia et al. "A New Method Combining KECA-LDA with ELM for Classification of Chinese Liquors Using Electronic Nose". A: *IEEE Sensors Journal* PP.99 (2016). ISSN: 1530437X. DOI: 10.1109/JSEN.2016.2606163 (v. la pàg. 2).

[10] Ya-qi Jing et al. "A Bioinspired Neural Network for Data Processing in an Electronic Nose". A: 65.10 (2016), pàg. 2369 - 2380 (v. la pàg. 2).

[11] M. Sreelatha, G.M. Nasira i P. Thangamani. "Pattern Recognition for Toxic Gases Based on Electronic Nose Using Artificial Neural Networks". A: *2016 International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)* (2016), pàg. 3075 - 3079 (v. la pàg. 2).

[12] Fengchun Tian et al. "Suppression of strong background interference on e-nose sensors in an open country environment". A: *Sensors (Switzerland)* 16.2 (2016). ISSN: 14248220. DOI: 10.3390/s16020233 (v. la pàg. 2).

[13] A S N Chakravarthy. "Electronic Noses: Forestalling Fire Disasters". A: (2015) (v. la pàg. 2).

[14] Alphus D. Wilson i Manuela Baietto. "Advances in electronic-nose technologies developed for biomedical applications". A: *Sensors* 11.1 (2011), pàg. 1105 - 1176. ISSN: 14248220. DOI: 10.3390/s110101105 (v. la pàg. 2).

[15] David Tin Win. "The Electronic Nose – A Big Part of Our Future". A: 9.1 (2005), pàg. 1 - 8 (v. la pàg. 2).

[16] Antti Roine et al. "Detection of Prostate Cancer by an Electronic Nose: A Proof of Principle Study." A: *The Journal of urology* 192.1 (2014), pàg. 230-235. ISSN: 1527-3792. DOI: 10.1016/j.juro.2014.01.113 (v. la pàg. 2).

[17] Holly Cave. *Electronic noses could help sniff out disease | Horizon: the EU Research and Innovation magazine | European Commission.* 2015 (v. la pàg. 2).

[18] *Screening for Prostate Cancer Starting at Age 50-54 Years. A Population-based Cohort Study.* 2016. DOI: 10.1016/j.eururo.2016.03.026 (v. la pàg. 3).

[19] Waikato. *Weka 3 - Data Mining with Open Source Machine Learning Software in Java* (v. la pàg. 7).

[20] Alain Destexhe i Diego Contreras. "Neuronal Computations with Stochastic Network States". A: *Science* 85.October (2006), pàg. 85-90. ISSN: 0036-8075. DOI: 10.1126/science.1127241 (v. la pàg. 7).

[21] AndréC M. Ran. "Minimal square spectral factors". A: *Systems and Control Letters* 24.5 (1995), pàg. 307-316. ISSN: 01676911. DOI: 10.1016/0167-6911(94)00037-V (v. la pàg. 7).

[22] Jan Koenderink. "To Bayes or not to Bayes ???" A: *Perception* 45.3 (2016), pàg. 251-254. ISSN: 03010066. DOI: 10.1177/0301006615619309 (v. la pàg. 7).

[23] Selda Guney i Ayten Atasoy. "Discrimination of different fish species by E-nose". A: *2015 38th International Conference on Telecommunications and Signal Processing, TSP 2015* (2015), pàg. 1-5. DOI: 10.1109/TSP.2015.7296458 (v. la pàg. 7).

[24] Cueto Belchi i Daniel Garcia Rodriguez. "Multi-sensor Olfactory System Using temperature modulation". A: (2012) (v. la pàg. 9).

[25] A. Del Cueto Belchi et al. "Sensor characterization for multisensor odor-discrimination system". A: *Sensors and Actuators, A: Physical* 191 (2013),

pàg. 68 - 72. ISSN: 09244247. DOI: 10.1016/j.sna.2012.11.039 (v. la pàg. 9).

[26] Maria Cupane. "Food Industry Production". A: (), pàg. 27 - 33 (v. les pàg. 9, 26).

[27] Cupane M i Pelegri Sebastia J. "Application of MOOSY32 eNose to Assess the Effects of Some Post Harvest Treatments on the Quality of 'Salustiana' Orange Juice". A: *Journal of Biosensors and Bioelectronics* 06.04 (2015), pàg. 4 - 7. ISSN: 21556210. DOI: 10.4172/2155-6210.1000184 (v. la pàg. 9).

[28] J. Chilo et al. *Electronic nose ovarian carcinoma diagnosis based on machine learning algorithms*. Vol. 5633 LNAI. 2009, pàg. 13 - 23. ISBN: 3642030661 | 9783642030666. DOI: 10.1007/978-3-642-03067-3_2 (v. la pàg. 9).

[29] György Horvath, José Chilo i Thomas Lindblad. "Different volatile signals emitted by human ovarian carcinoma and healthy tissue." A: *Future oncology (London, England)* 6.6 (2010), pàg. 1043 - 1049. ISSN: 1479-6694. DOI: 10.2217/fon.10.60 (v. la pàg. 9).

[30] A. Sharma et al. "Sense of Smell: Structural, Functional, Mechanistic Advancements and Challenges in Human Olfactory Research". A: *Curr Neuropharmacol* 17.9 (2019), pàg. 891 - 911 (v. les pàg. 14, 17).

[31] Idan Segev. "What Changes in the Brain When We Learn". A: (ag. de 2021) (v. la pàg. 14).

[32] M. Emin Tagluk i Ibrahim Isik. "Communication in nano devices: Electronic based biophysical model of a neuron". A: *Nano Communication Networks* 19 (2019). ISSN: 18787789. DOI: 10.1016/j.nancom.2019.01.006 (v. la pàg. 15).

[33] I. Segev. "Taming time in the olfactory bulb". A: *Nat Neurosci* 2.12 (1999), pàg. 1041 - 1043 (v. la pàg. 17).

[34] D.C. Dorman. "13.15 - Olfactory System". A: *Comprehensive Toxicology (Second Edition)*. Ed. de Charlene A. McQueen. Second Edition. Oxford:

Elsevier, 2010, pàg. 263-276. ISBN: 978-0-08-046884-6. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-08-046884-6.01316-6 (v. la pàg. 18).

[35] R. T. Gordon et al. "The use of canines in the detection of human cancers". A: *J Altern Complement Med* 14.1 (2008), pàg. 61-67 (v. la pàg. 18).

[36] G. Horvath, H. Andersson i S. Nemes. "Cancer odor in the blood of ovarian cancer patients: a retrospective study of detection by dogs during treatment, 3 and 6 months afterward". A: *BMC Cancer* 13 (2013), pàg. 396 (v. la pàg. 18).

[37] C. M. Philpott, A. Bennett i G. E. Murty. "A brief history of olfaction and olfactometry". A: *J Laryngol Otol* 122.7 (2008), pàg. 657-662 (v. la pàg. 18).

[38] C. Guest et al. "Feasibility of integrating canine olfaction with chemical and microbial profiling of urine to detect lethal prostate cancer". A: *PLoS One* 16.2 (2021), e0245530 (v. la pàg. 18).

[39] M. Rendine et al. "Decomposing Human Blood: Canine Detection Odor Signature and Volatile Organic Compounds". A: *J Forensic Sci* 64.2 (2019), pàg. 587-592 (v. la pàg. 18).

[40] S. Angeletti et al. "COVID-19 sniffer dog experimental training: Which protocol and which implications for reliable sidentification?" A: *J Med Virol* 93.10 (2021), pàg. 5924-5930 (v. la pàg. 18).

[41] M. Hag-Ali et al. "The detection dogs test is more sensitive than real-time PCR in screening for SARS-CoV-2". A: *Commun Biol* 4.1 (juny de 2021), pàg. 686 (v. la pàg. 18).

[42] Richard J. Ablin. "The Great Prostate Mistake". A: *The NYT* (2010). ISSN: 0362-4331 (v. la pàg. 21).

[43] J.M. Alapont Alacreu et al. "PSA y hK2 en el diagnóstico de cáncer de próstata ". es. A: *Actas Urológicas Españolas* 32 (juny de 2008), pàg. 575-588. ISSN: 0210-4806 (v. la pàg. 21).

[44] Alan Pomerantz et al. "The possibility of inventing new technologies in the detection of cancer by applying elements of the canine olfactory apparatus". A: *Medical Hypotheses* 85.2 (2015), pàg. 160 - 172. ISSN: 0306-9877. DOI: `https://doi.org/10.1016/j.mehy.2015.04.024` (v. la pàg. 23).

[45] A. T. John et al. "An Outlook of Recent Advances in Chemiresistive Sensor-Based Electronic Nose Systems for Food Quality and Environmental Monitoring". A: *Sensors (Basel)* 21.7 (2021) (v. la pàg. 24).

[46] *TGS 2611-C00 - for the detection of Methane.* TGS 2611-C00. Rev. 04/22. FIGARO USA, INC. (v. les pàg. 58, 61, 92, 101, 122).

[47] *TGS 2611-E00 - for the detection of Methane.* TGS 2611-E00. Rev. 07/18. FIGARO USA, INC. (v. les pàg. 61, 92, 101, 122).

[48] *TGS 2600 - for the detection of Air Contaminants.* TGS 2600. Rev. 09/13. FIGARO USA, INC. (v. les pàg. 61, 92, 101, 122).

[49] *TGS 2610-C00 and TGS 2610-D00 - for the detection of LP Gas.* TGS 2610. Rev. 03/22. FIGARO USA, INC. (v. les pàg. 62, 92, 101, 122).

[50] Ian H. Witten et al. *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques.* 2016. DOI: `10.1016/c2009-0-19715-5` (v. la pàg. 64).

[51] Xavier Glorot, Antoine Bordes i Yoshua Bengio. "Deep sparse rectifier neural networks". A: vol. 15. 2011 (v. la pàg. 74).

[52] Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever i Geoffrey E Hinton. "2012 AlexNet". A: *Advances In Neural Information Processing Systems* (2012). ISSN: 10495258 (v. la pàg. 74).

[53] Martín Abadi et al. *TensorFlow: Large-Scale Machine Learning on Heterogeneous Systems.* Software available from tensorflow.org. 2015 (v. la pàg. 74).

[54] Lutz Roeder. *Netron, Visualizer for neural network, deep learning, and machine learning models.* Vers. 1.2.0. 4 de des. de 2017. DOI: `10.5281/zenodo.5854962` (v. la pàg. 75).

[55] Barry W. Boehm. *A Spiral Model of Software Development and Enhancement*. 1988. DOI: 10.1109/2.59 (v. la pàg. 82).

[56] *HTU21D(F) RH/T SENSOR IC Digital Relative Humidity sensor with Temperature output*. HTU21D. Rev. 05/17. TE CONNECTIVITY SENSORS (v. la pàg. 85).

[57] *SHT3x-ARP Humidity and Temperature Sensor IC*. SHT31D. Rev. 09/18. SENSIRION AG (v. la pàg. 85).

[58] *ADS1118 Ultrasmall, Low-Power, SPI-Compatible, 16-Bit Analog-to-Digital Converter with Internal Reference and Temperature Sensor*. ADS1118. Rev. 2021. Texas Instruments Incorporated (v. la pàg. 85).

[59] *Ferrite MPZ2012S300AT000*. MPZ2012S300AT000. Rev. 08/22. TDK Corporation (v. les pàg. 87, 88).

[60] DesignSoft - Texas Instruments. *TINA The complete electronic lab*. Vers. 9.3.150.4 SF-TI. 4 de gen. de 2016 (v. les pàg. 88, 89).

[61] *Surface Mount Power Resistor*. D2TO035C1R000GRE3. Rev. 11/21. Vishay Intertechnology, Inc. (v. la pàg. 88).

[62] *DC/DC-Converter*. RO-55-5S. Rev. 0/14. RECOM Power GmbH (v. la pàg. 89).

[63] *Quad, 5.5-V, 8-MHz, RRIO operational amplifier*. TSV914. Rev. D 2019. Texas Instruments Incorporated (v. la pàg. 90).

[64] Ministerio de Sanidad Servicios sociales e igualdad. *Clasificación Internacional de Enfermedades. 10ª Revisión. Modificación Clínica. CIE-10-ES. Tomo I: Diagnósticos*. 2018, pàg. 1492. ISBN: 978-84-340-2438-0 (v. la pàg. 101).

[65] Jordi Bataller Mascarell. "Visual help to learn programming". A: *ACM Inroads* 2.4 (2011), pàg. 42 - 48. ISSN: 21532184. DOI: 10.1145/2038876.2038891 (v. la pàg. 133).

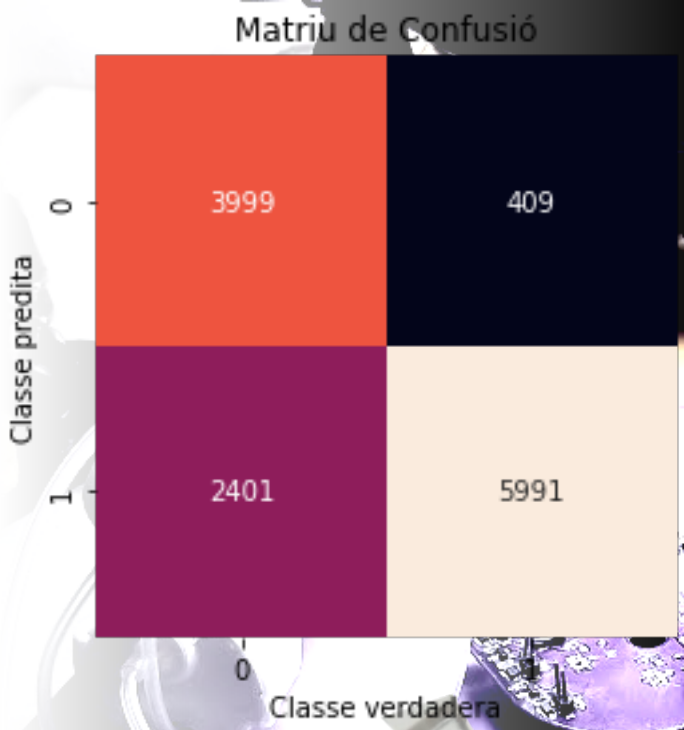
[66] ISO Central Secretary. *Ergonomics of human-system interaction – Part 151: Guidance on World Wide Web user interfaces.* en. Standard. Geneva, CH, 2008 (v. la pàg. 141).

[67] The OWASP Foundation. *GUÍA DE PRUEBAS OWASP 2008 V3.0.* 2002, pàg. 372 (v. la pàg. 176).

[68] Juan B. Talens, Jose Pelegri-sebastia i Maria Jose Canet. "Low complexity system on chip design to acquire signals from mos gas sensor applications". A: *Sensors* 21 (19 2021). ISSN: 14248220. DOI: `10.3390/s21196552` (v. la pàg. 214).

[69] R. B. McComb et al. "Determination of the molar absorptivity of NADH". A: *Clinical Chemistry* 22 (2 1976). ISSN: 00099147. DOI: `10.1093/clinchem/22.2.141` (v. la pàg. 216).

[70] Jun Fan et al. "Tyrosine Phosphorylation of Lactate Dehydrogenase A Is Important for NADH/NAD + Redox Homeostasis in Cancer Cells". A: *Molecular and Cellular Biology* 31 (24 2011). ISSN: 0270-7306. DOI: `10.1128/mcb.06120-11` (v. la pàg. 216).



TESI DOCTORAL

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA