1. INTRODUCCIÓ

1.1. OBJECTIU DEL PROJECTE

La pell compleix nombroses funcions vitals pel nostre organisme, com són la regulació de la temperatura corporal, la percepció de les sensacions del tacte, la temperatura i el dolor, la defensa de l'organisme de les agressions externes, el manteniment dels líquids corporals i el creixement ossi adequat.

El sol emet nombroses radiacions, cada tipus de radiació produeix un efecte sobre la pell, així els raigs UVA travessen l'epidermis i arriben fins a la dermis, que és la capa més profunda de la pell, produint el bronzejat i l'envelliment prematur; mentre que els UVB es queden a l'epidermis, que és la capa més superficial de la pell, i son els principals causants de malalties, com són els càncers cutanis, entre els que destaquen els carcinomes i els melanomes.

Aquest projecte pretén dissenyar un aparell que faciliti l'estudi i l'anàlisi dels càncers de pell. En diverses investigacions científiques s'ha comprovat que certs tipus de càncers de pell, com els melanomes, provoquen un petit augment de temperatura a la zona afectada. Amb aquest motiu, es vol dissenyar un mecanisme que detecti aquests subtils canvis de temperatura i, d'aquesta manera, poder estudiar la relació que hi ha entre el creixement del càncer i l'augment de temperatura que provoca a la pell.

Per poder mesurar aquests canvis de temperatura es realitzarà el disseny d'un aparell que pugui escanejar la pell i adquirir les mesures tèrmiques dels diferents punts que formen la zona afectada. D'aquesta manera, s'obtindran un conjunt de mesures que sumades formaran la imatge tèrmica, les quals s'emmagatzemaran en un ordinador i

seran examinades, amb el seu corresponen programa de tractament de senyals, per un expert en aquest camp.

1.2. MOTIVACIÓ I JUSTIFICACIÓ

Aquest projecte forma part de la branca d'enginyeria biomèdica, en la qual m'he especialitzat al llarg de la carrera degut al profund interès que tinc per aquest camp, i ho he fet realitzant les diferents assignatures optatives d'aquesta intensificació.

La raó per la que m'interessa, en especial, aquesta branca, és el fet que per a mi l'enginyeria biomèdica és una temàtica certament apassionant, em resulta molt interessant i estimulant utilitzar els meus coneixements tècnics per poder ajudar en l'estudi i curació de les malalties. A més, com que es tracta d'un tema realment innovador i en constant evolució, encara es més fascinant.

El càncer de pell és una de les malalties més freqüents a nivell mundial, ocupant aproximadament, el 10% de tots els càncers. Existeix una relació directe entre la disminució de la capa d'ozó i l'augment del número de casos de càncer de pell, la Organització Mundial de la Salut (O.M.S.) ha estimat que a Europa es donen sobre uns 250.000 nous casos cada any.

Degut a aquest gran numero de persones afectades i a la disminució constant de la capa d'ozó, l'augment de la malaltia sembla inevitable i, per tant, el càncer de pell s'està convertint en una de les malalties més destacades que hi ha a l'actualitat, i dia a dia es fa més necessari trobar mecanismes que ajudin a eradicar-la.

Això, exactament, és el que es pretén fer en aquest projecte, dissenyar un instrument que faciliti l'estudi i l'anàlisi dels càncers de pell. Mitjançant la comparació d'imatges

tèrmiques preses al llarg del temps es podrà visualitzar l'evolució d'un cert càncer en relació a l'efecte que provoca l'aplicació de diferents fàrmacs.

1.3. ABAST I DEFINICIÓ DEL PROJECTE

Aquest instrument va destinat, principalment, a empreses farmacèutiques i laboratoris especialitzats que tenen una necessitat constant d'estudiar els processos de la malaltia, la seva evolució i quins progressos fa.

Per exemple, l'estudi de la relació que hi ha entre la velocitat de creixement de la malaltia amb l'activitat indicada per la temperatura, quines variables influeixen en aquest procés i de quina manera. També pot ser molt útil per a comprovar el nivell d'efectivitat que tenen els diferents productes o tractaments realitzats als pacients i, d'aquesta manera, poder-los millorar.

Altres aplicacions que pot tenir aquest projecte és pel diagnòstic d'aquesta malaltia o, una altra possibilitat, és que una vegada diagnosticada la malaltia i començat un tractament es pugui utilitzar per a les posteriors revisions periòdiques que s'hagin de realitzar per controlar i comprovar si la malaltia remet o avança.

Encara que aquestes dues últimes aplicacions descrites en el paràgraf anterior són viables físicament, econòmicament resulta extremadament cares, ja que es poden utilitzar altres mètodes més ràpids i econòmics per diagnosticar i revisar els progressos de la malaltia, fent poc factible, almenys de moment, aquestes dues últimes opcions.

També poden ser possibles altres aplicacions en diferents camps de la medicina, no només en la investigació del càncer de pell sinó que també pot arribar a ser útil en qualsevol tipus d'afecció que provoqui un canvi en la temperatura de la pell. De totes

maneres, es pretén centrar el projecte a una aplicació concreta per poder definir millor les necessitats que aquesta té i, d'aquesta forma, fer-lo més adequat a dita aplicació, encara que una vegada finalitzat el projecte es pot mirar d'adequar per altres utilitzacions mèdiques.

Aquest projecte es basa en el disseny d'un escàner de pell basat en imatge tèrmica el qual s'encarrega de recollir tot un seguit de mostres de temperatura d'una zona de la pell determinada. Es divideix principalment en dos parts, un és l'escàner de pell encarregat d'adquirir les mesures de temperatura i l'altra és el robot manipulador que controla i direcciona l'escàner.

El primer pas per a mesurar una variable física és la transformació d'aquesta variable en elèctrica. Els dispositius que s'encarreguen de fer aquesta conversió, són els sensors, en aquest cas concret s'utilitzen dos sensors d'infrarojos, un s'encarrega de mesurar la temperatura de la pell i l'altre de mesurar la distancia de l'aparell a la pell. El primer ho fa de manera directe mentre que el segon necessita d'un circuit complementari per a poder comunicar-se amb el sistema robòtic.

Dels diferents components que formen aquest escàner de pell, el primer i principal és el sensor d'infraroig que mesura la temperatura que hi ha a la pell i la transmet al controlador del robot. Per tal de poder-ho fer, el sensor escollit té inclòs dins el seu mecanisme una interface de tipus RS-232 que permet la connexió via sèrie directament amb el sistema robòtic sense necessitat de cap altre component.

Aquest sensor també disposa de forma gratuïta d'un programa informàtic anomenat InfraWin que permet executar-lo manualment a traves de l'ordinador de forma virtual, el fabricant és el que ha desenvolupat aquest programa junt amb la col·laboració de

Microsoft de manera que es totalment compatible amb qualsevol sistema informàtic actual.

De totes maneres, en aquest disseny no s'utilitza per a l'aplicació principal ja que per a aquesta aplicació concreta es fa més aconsellable dissenyar un programa que realitzi un seguit de processos de manera automàtica. Per altra banda, es útil per poder definir alguns paràmetres que només es poden ajustar mitjançant software, o fer-lo servir en aplicacions secundàries com són el calibrat de l'escàner de pell o si, en algun moment, s'ha de prendre alguna mesura puntual.

En segon lloc, és necessari la utilització d'un sensor de distància per saber, en cada moment, a quina distancia està el sensor tèrmic de la pell, per tal de que les mesures de temperatura que recull el sensor siguin el més precises i fidels a la realitat possibles i, a la vegada, també per a evitar les possibles col·lisions de l'aparell amb la zona corporal que s'estigui examinant.

Aquest sensor és del tipus infraroig, capaç de focalitzar i retornar una mesura de distancia força exacte, amb un marge d'error d'uns pocs mil·límetres. La sortida d'aquest detector és digital donant-nos un nombre de 8 bits que són transmesos a un microcontrolador el qual és l'encarregat de gestionar tota l'operació. Per tal de que aquesta informació arribi al sistema robòtic, la mesura és enviada des del microcontrolador fins al controlador del robot, a traves d'una altra interface de tipus RS-232.

El microcontrolador té dues feines bàsiques: realitzar la mesura de la variable de distancia i, posteriorment, enviar-la a l'ordinador. Aquest procés es produeix mitjançant un programa escrit en llenguatge ensamblador que realitza l'operació.

Aquest microcontrolador sempre realitza les mateixes funcions, per tant, no necessita variar les seves prestacions i, per aquesta raó, s'ha triat un microcontrolador PIC, concretament el PIC16F84. Aquest dispositiu s'adequa, perfectament, a les necessitats del projecte i és un dels més populars del mercat ja que té unes bones prestacions i dona molt bons resultats.

Tots els dispositius que formen l'escàner de pell s'han de manipular i controlar sincronitzadament, les possibles solucions son diverses però per a garantir una bona precisió en la presa de la mesura la millor opció és fer servir un braç robòtic.

El robot escollit és del tipus Scara i s'anomena Adept Cobra s350 CR/ESD, el robot és de quatre eixos i s'encarrega de moure i posicionar l'escàner de pell.

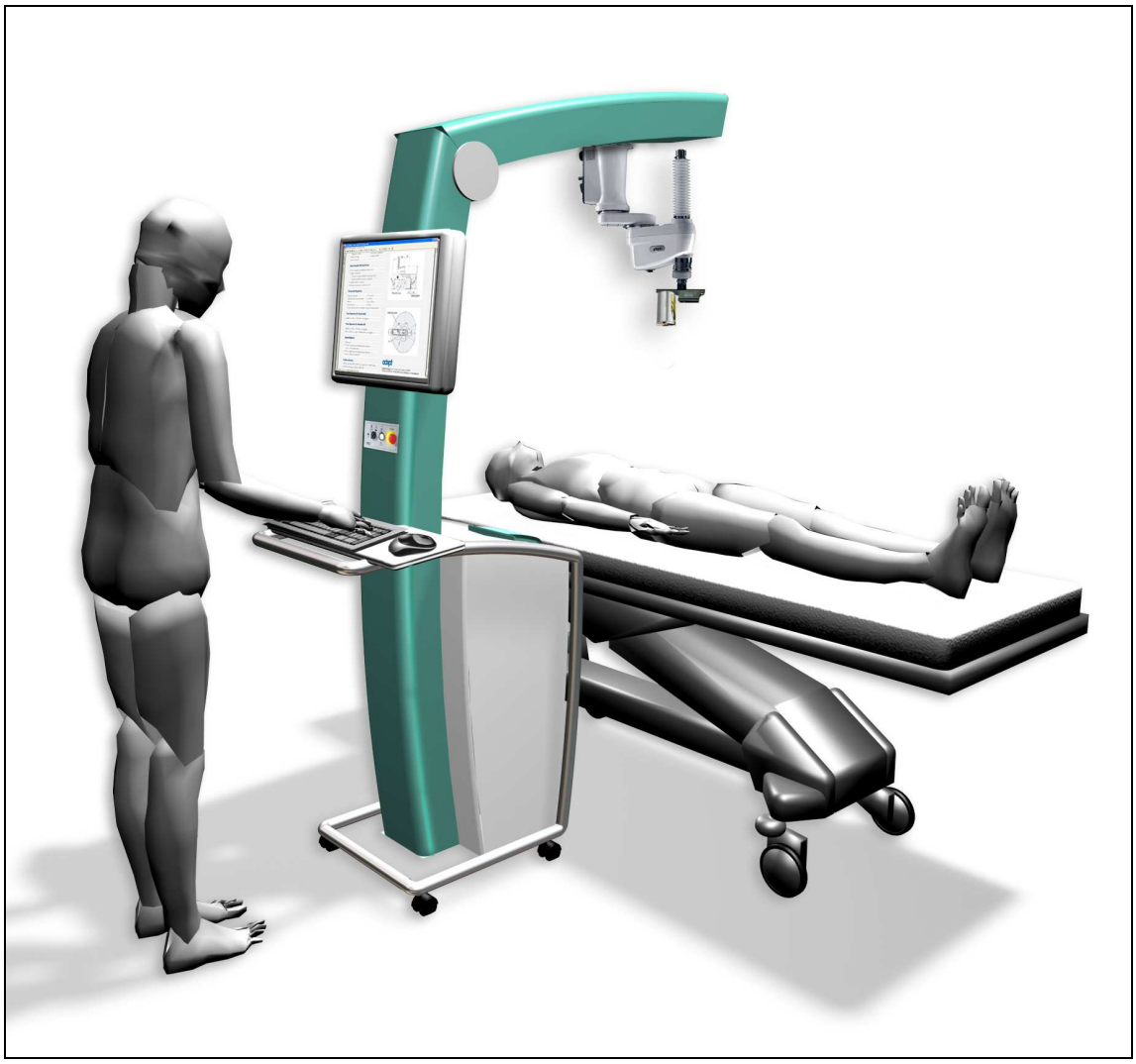
Aquest dispositiu necessita de dur un controlador que dirigeixi i supervisi tot el procés, i que a més, faci de connexió entre el robot, l'escàner de pell i el PC. Aquest controlador és l'Adept SmartController CX.

La connexió entre el controlador i els sensors de distància i de temperatura és fa a través dels seus ports de sortida sèrie RS-232. Per altra banda, la connexió entre el controlador i l'ordinador és fa a través del port de sortida Ethernet.

Per a coordinar tota l'aplicació s'ha dissenyat un programa que realitza tots els processos de mesura de manera automàtica a través d'un software anomenat V+ que és el llenguatge de programació que utilitza el controlador del robot manipulador.

Una vegada el controlador del robot ha recollit totes les mesures de temperatura realitzades, es pot transmetre la informació a un PC que serà l'encarregat de tractar les dades emmagatzemades, ja sigui per formar una imatge tèrmica de la zona escanejada

com per a, simplement, visualitzar les dades a la pantalla de l'ordinador, utilitzant un programa de tractament de dades adequat a cada aplicació concreta i tenint en compte sempre les necessitats del client.



Possible disseny del projecte.

2. ESPECIFICACIONS BÀSIQUES

2.1. REQUERIMENTS TECNOLÒGICS

Aquest projecte té unes funcions molt concretes, i per al seu disseny i realització es imprescindible tenir molt clars els requeriments tecnològics que precisa i, d'aquesta manera, poder implementar-ho adequadament. Acte seguit s'enumeraran cadascun dels elements que es fan necessaris per a la seva realització.

- Un dispositiu de mesura que pugui recollir diferents mostres de temperatura en un espai de temps no gaire elevat i sense contacte a una certa distància.

- Un sensor de distancia per determinar l'espai exacte que hi ha entre l'aparell de mesura i la pell. D'aquesta manera, es pot focalitzar correctament el sensor tèrmic i determinar amb precisió la temperatura real de la zona a diagnosticar.

- Els components que es fan necessaris perquè els dos sensors anomenats amb anterioritat funcionin i compleixin les funcions desitjades. Es evident, que això depèn en gran mesura del tipus de sensors que es triïn i de les característiques en que els comercialitzin els fabricants. A més, de precisar tots els elements que són imprescindibles per tal d'adquirir i emmagatzemar les mesures en un dispositiu digital, com pot ésser un ordinador.

- Un braç robot o algun tipus de dispositiu on poder dipositar l'escàner de pell i poder moure'l, d'una posició a una altra, tant verticalment com horitzontalment. L'escaneig tèrmic també es pot realitzar de manera manual sempre i quan es tingui present que s'ha de buscar la forma de fer-ho de manera precisa i acurada, cosa que és, realment difícil de realitzar.

- Un ordinador o qualsevol tipus de dispositiu digital que pugui emmagatzemar de forma senzilla i ràpida el conjunt de mesures recollides durant l'exploració feta al pacient i, d'aquesta manera, poder consultar les dades recollides de les diverses mesures de temperatura o poder formar una imatge digital tèrmica de la patologia examinada.

- Un programa adient que reculli i tracti les dades de manera correcta i les transformi o adeqüi a la necessitats requerides per a cada aplicació.

2.2. REQUERIMENTS FUNCIONALS

Un projecte d'aquest tipus requereix exactitud, seguretat i durabilitat, exigències indispensables en el camp de la medicina. Per aquesta raó, s'ha de dissenyar un mecanisme que sigui, suficientment precís, amb un alt nivell de fiabilitat i efectivitat.

Aquest escàner de pell ha de complir un seguit de condicions per tal de que la seva utilització sigui més eficaç:

- El sistema serà no invasiu, es a dir, que totes les operacions de preparació i mesura que es realitzin al pacient es faran de manera externa i no interaccionaran en cap moment amb cap organisme intern del pacient.

- La precisió i la resolució de l'escàner de pell ha de ser d'unes poques dècimes de grau centígrad de manera que es puguin veure les petites diferencies de temperatura que hi pugui haver entre la zona afectada per la malaltia i la zona sana.

- La temperatura habitual de la pell humana rondà entre els $29ºC$ i els $32ºC$,

de totes maneres, aquest rang de temperatura es força variable i depèn molt de les característiques concretes en que es trobi aquesta.

En estat natural depèn de la temperatura ambiental, de la humitat relativa i del vent, per tant, el pacient abans de l'exploració ha d'estar un temps tancat en una habitació amb unes condicions ambientals molt concretes i, d'aquesta manera, limitar el rang en el qual treballar. Per tal de prevenir possibles limitacions d'aplicació s'ha estipulat un rang de treball superior a la temperatura habitual a la que esta la pell, entre $18ºC$ i $43ºC$, aquest rang és el mínim en el qual haurà de poder treballar el sensor de temperatura per a que sigui apte per aquest projecte.

- L'aparell ha de ser força ràpid ja que el nombre de mostres a recollir es variable i pot ser molt elevat, tot depèn de la mida de la zona a escanejar. Si aquesta zona es molt gran i, a mes, esta en una zona incomoda o delicada d'inspeccionar pot arribar a ser molt molest pel pacient, al qual s'ha de tenir durant molt de temps seguit quiet. Per tant, es lògic pensar que el temps que s'ha d'utilitzar per a posicionar i realitzar cada captura de la mesura de temperatura ha d'ésser com a màxim d'uns centenars de mil·lèsimes de segons.

- El sensor de temperatura ha de poder focalitzar ja que l'àrea de mesura s'ha d'ajustar a la mida requerida per a cada píxel i, d'aquesta manera, poder formar una imatge tèrmica de la zona patològica que s'hagi explorat. La raó per la qual ha de tenir aquesta característica és pel fet de que serà una cosa habitual haver de comparar dita imatge amb altres imatges d'exploracions anteriors i/o posteriors, i així veure com es desenvolupa la malaltia.

- La zona a mesurar pot ésser força petita, com es el cas d'una piga, o ser una àrea

relativament extensa, i no té perquè ser totalment plana. Per aquesta raó, la posició del sensor de temperatura s'ha d'ajustar amb l'ajut del sensor de distancia i del robot per tal de ser capaços de mesurar zones amplies.

- L'usuari encarregat de fer les exploracions i, per tant, destinat a utilitzar aquest instrument, és evident, que ha d'ésser un expert en el camp de la medicina i, possiblement, tenir alguns coneixements en el tema d'adquisició i tractament de dades.

3. EXPOSICIÓ DETALLADA DE LA SOLUCIÓ ADOPTADA

3.1. PLANTEJAMENT D'ALTERNATIVES I DECISIÓ DE LA SOLUCIÓ

3.1.1. Sensor de temperatura

Una de les parts més delicades d'aquest projecte i més importants és la tria del sensor de temperatura, ja que l'aplicació a la que va destinat aquest sensor determina el tipus de mecanisme a utilitzar en funció del rang, l'exactitud, el disseny, el temps de resposta i la resistència necessària.

Al mercat estan disponibles una gran varietat d'elements sensors i de termòmetres per a cada aplicació. A la actualitat, existeixen dos sistemes òptims per a mesurar la temperatura d'un cos de manera precisa:

- Sistemes de contacte: són aquells sistemes en els quals el sensor s'ha de mantenir en contacte físic amb el cos a mesurar, com per exemple els termoparells, els termistors, les RTD's, etc.

- Sistemes de no contacte: són aquells dispositius que no necessiten mantenir cap contacte físic amb el cos a mesurar per a poder adquirir la temperatura de la zona desitjada, aquest és el cas dels circuits integrats que mesuren la temperatura ambiental, dels sensors infrarojos, dels sistemes termogràfics, etc.

En els propers apartats s'analitzarà amb més detall aquest dos sistemes de mesura i els diferents mecanismes de que disposa cadascun, per poder decidir quines de les diferents opcions que hi ha actualment disponibles en el mercat es més adient apte per a aquesta aplicació.

3.1.1.1 Sistemes amb contacte

La mesura de temperatura per contacte es pot realitzar utilitzant diversos sensors, els més destacats són:

1. Termistors (NTC): aquests sensors disposen d'una resistència sensible a la temperatura, de manera que depenen de l'escalfor que rep el cos, canvia el seu valor resistiu.

   Els termòmetres de resistència o termistors, tenen un coeficient de temperatura negatiu, és a dir, la resistència disminueix quan augmenta la temperatura. Per tant, detectant aquesta variació i quantificant-la es pot saber la temperatura a la qual es troba el cos analitzat.

2. Termoresistències (Pt100): aquests sensors, al igual que els anteriors, es basen en la variació de la temperatura en la resistència de l'element sensor. El material del que estan fetes sol ésser platí, per això també reben el nom de resistències de platí.

3. Termoparells (tipus K, J i T): aquests es basen en l'efecte termoelèctric, consisteixen en dos fils soldats de diferents metalls o al·legacions. El termoparell més freqüent és el NiCr-Ni (tipus K).

En termes generals, es pot dir que els sensors termoparells són més ràpids i tenen un rang de mesura més ampli que els altres, mentre que les termoresistències i els termistors són més lents però molt més precisos que els termoparells.

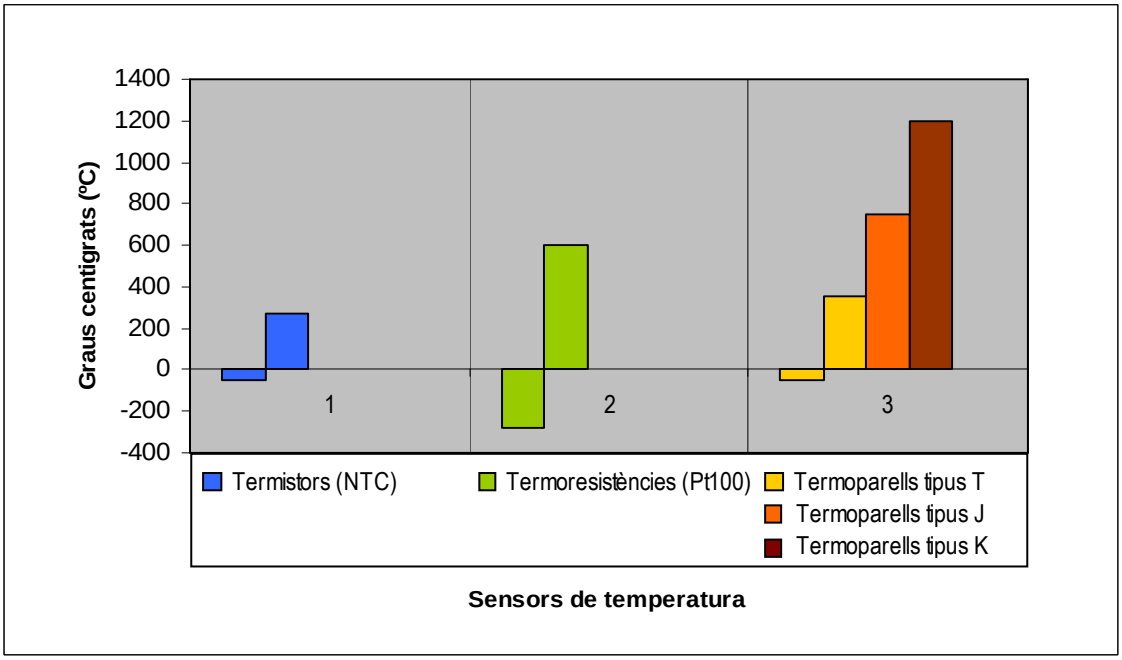


Fig. 1.- Rang d'aplicació dels sensors de temperatura per contacte.

- ***Avantatges i inconvenients***

Els termòmetres de contacte són molt precisos i tenen una resolució molt elevada, de dècimes o, fins i tot, centèsims de grau centígrad. El rang de temperatures que mesuren és força adient pel nostre cas, i la seva mida de dimensions reduïdes afavoreix la seva manipulació i l'ocupació de poc espai.

Per contra, són força lents i, per tant, l'estona que triguen en analitzar una zona molt petita és molt elevada i s'ha de tenir molta estona quiet al pacient cosa que dificulta l'anàlisi, sobretot en persones grans o nens petits.

A més, al utilitzar el contacte amb la pell no són gaire adients per alguns casos concrets en els quals la zona afectada pot estar ulcerada o, fins i tot, pot sagnar, ja que es pot empitjorar la ferida i pot ser dolorós pel pacient.

Aquests sensors no són gaire cars, però encara que siguin una de les opcions més

econòmiques que existeixen actualment en el mercat, no disposen de components interns que adquireixin, filtrin i memoritzin la temperatura mesurada i, per tant, es necessiten altres components externs que realitzin aquesta funció, encarint, d'aquesta manera, l'aparell.

El diàmetre del focus que mesuren és massa gros per aquesta aplicació, els més petits ronden els 5*mm*.

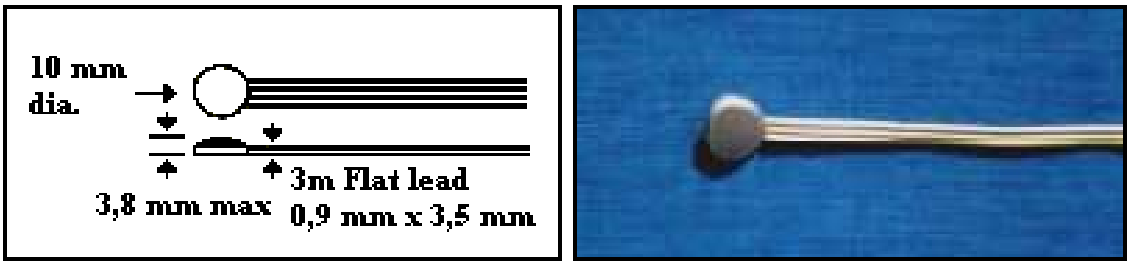


Fig. 2.- Sonda de temperatura de contacte per la pell, de l'empresa CESAMA, SRL (Uruguai).

Fig. 3.- Sensor de temperatura per contacte de tipus PT100 de l'empresa KOBOLD.

Les aplicacions típiques dels sensors de contacte es donen, principalment, en objectes amb relativa capacitat de calor i en objectes amb superfícies llises, que no és, precisament, aquest cas.

3.1.1.2 Sistemes sense contacte

En el camp de l'electrònica hi ha moltes classes diferents de sensors de temperatura de no contacte amb característiques molt variades, alguns d'ells es poden descartar directament sense necessitat d'aprofundir en el seu anàlisis.

Aquest és el cas dels circuits integrats, els quals mesuren la temperatura sense mantenir contacte però també sense permetre focalitzar la zona a analitzar. Aquest tret, evidentment, es eliminatori ja que no es disposaria d'un seguit de mostres que permetessin formar una imatge tèrmica, i per aquesta raó, no és poden tenir en consideració com a possible opció en aquest cas.

Els sistemes més utilitzats en el món de l'electrònica com a sensors de temperatura, i que reuneixen les característiques de no mantenir contacte algun amb el cos a analitzar i que, a més, permeten focalitzar, són els sensors piroelèctrics (piròmetres, sensors infrarojos, etc...), els quals s'aprofiten de la peculiaritat que tenen els cossos a emetre radiació, basant el seu funcionament en utilitzar la radiació emesa pels cossos per a mesurar la temperatura d'aquests.

Aquesta característica esta fonamentada en el fet de que tots els objectes emeten energia radiant, i que la intensitat d'aquesta radiació és funció de la temperatura. Per tant, a partir de la mesura de la intensitat de la radiació es pot deduir la temperatura superficial del cos en estudi.

Si a un objecte se li aplica una petita quantitat de radiació infraroja, una part de la radiació que arriba a l'objecte és reflexa (I_R), mentre que una altra part de la radiació és absorbida per l'objecte (I_A), i una altra és transmesa (I_T), es a dir, que travessa l'objecte i es transmet. La radiació que es reflexa (I_R) és la que utilitzarà el sensor tèrmic per deduir la temperatura a la que es troba la pell en funció de la intensitat de la radiació que retorna.

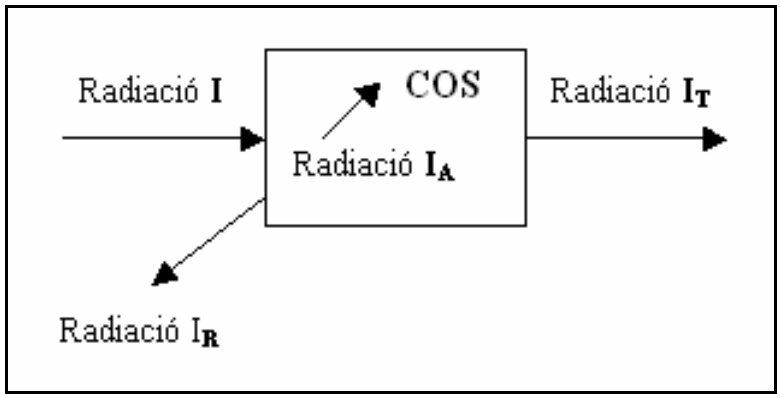


Fig. 4.- Esquema de la reacció que té un cos quan se li aplica radiació infraroja.

Els sistemes de termografia utilitzen aquest sistema i també l'utilitzen els termòmetres infrarojos, tots dos també compleixen les característiques de tenir capacitat de mesurar temperatures sense contacte físic amb l'objecte i de ser capaços de focalitzar. Per aquesta raó, en principi, són sistemes possibles i, per tant, s'han de tenir en consideració.

3.1.1.3 Decisió de la solució

Una gran diferencia entre els dispositius tèrmics de contacte i els de no contacte és el fet de que els sensors que mesuren a una certa distancia eliminen la possibilitat de dipòsits i obstruccions en el dispositiu mentre que els que toquen la superfície a examinar poden obturar degut a l'acumulació de residus, sobretot si la zona a tractar esta oberta i supurant. D'aquesta manera, sinó es manté contacte algun amb la zona a mesurar s'eviten els possibles problemes dels dispositius mecànics associats a aquest fet.

Aquest tret també afecta en un altre sentit, ja que si la zona patològica a examinar és una piga que no esta ulcerada ni sagnant no hi ha cap problema a utilitzar-lo, però si la zona a observar es una ferida oberta o ulcera, llavors no es aconsellable el seu ús i és més recomanable utilitzar un sensor sense contacte que evita qualsevol fricció amb la pell i, per tant, no provoca un empitjorament de la zona i una situació dolorosa pel pacient.

La mida de la zona que mesuren, en el cas dels sensors sense contacte, pot ser bastant petita, focalitzant i irradiant, exactament, un punt molt concret de l'objecte. Mentre que en el cas dels sensors de contacte, el diàmetre de la mostra a mesurar sol ésser bastant gran.

Els sensors sense contacte poden mesurar tot tipus de lesions a la pell, tant si són taques planes com si tenen relleu, i tant si està en una part del cos extensa i plana (com pot ser la esquena) com si està en una zona petita i arrodonida (com pot ser un dit), ja que al poder focalitzar i ser aquest focus d'un diàmetre força petit, es pot depreciar aquesta curvatura de la zona a mesurar, podent-la considerar plana encara que no sigui així.

El sensors sense contacte són molt precisos i tenen una resolució molt acurada, encara que no tant com els sensors de contacte, els quals tenen una resolució i una precisió més elevada.

En termes generals, el rang de temperatura a la que treballen els sensors de no contacte és molt gran en comparació amb els sensors de contacte. De totes maneres, encara que en la majoria dels casos es així, en alguns detectors això no es compleix i la diferencia entre uns i altres no es tan gran, podent, fins i tot, definir aquest rang, adequant-lo a les necessitats de cada aplicació. Per tant, encara que des d'aquest punt de vista els sensors de contacte són més adients, com que es poden trobar dispositius sense contacte que compleixen les condicions necessàries per aquest cas no es pot descartar aquesta opció.

La mida dels detector de no contacte, generalment, és bastant més gran que en el cas dels sensors de contacte però encara que això sigui cert i ocupin més espai, la seva grandària és acceptable i entra dintre dels marges desitjats.

Els sensors sense contacte, en general, són molt més cars que els de contacte, ja que utilitzen una tecnologia molt més complicada i avançada. De totes maneres, a vegades, aquests sensors incorporen en el seu interior mecanismes que faciliten l'adquisició i conversió de la temperatura, reduint el cost inicial del sensor ja que s'estalvia comprar altres dispositius a part. Això no sol passar amb els sensors de contacte els quals acostumen a tenir només la sortida analògica i necessitar d'amplificadors, convertidors i altres dispositius complementaris per a poder adquirir les variables de temperatura i podent comunicar-se amb el PC.

Els sensors de no contacte són molt ràpids, cosa que fa que el temps que triguen en analitzar una certa zona sigui, relativament, petit, contràriament al que passa en el cas dels sensors de contacte, ja que un dels seus principals defectes és la seva lentitud, ja que triguen molt temps en adquirir cada mostra.

Tenint en compte totes les característiques exposades, s'ha decidit que el sensor que, definitivament, es tria per a realitzar aquest projecte es un sensor de no contacte, i més concretament, un sensor d'infrarojos tèrmic. Seguidament, de forma molt resumida s'enumeren les raons per les quals s'ha triat aqu741esta opció:

- Eliminen la possibilitat d'obstruccions en el dispositiu, evitant els conseqüents problemes mecànics.

- S'evita qualsevol fricció amb la pell, eliminant la possibilitat de crear una situació dolorosa pel pacient i d'empitjorar la lesió.

- Poden focalitzar i el diàmetre d'aquest focus pot ser tant petit que la zona a mesurar, en qualsevol cas, es pot considerar plana.

- La seva precisió i resolució es elevada.
- El rang de temperatura, és bastant adient i, tot sovint, es pot adequar a les nostres necessitats.
- La seva grandària és acceptable i entra dintre dels marges desitjats.
- Són més evolucionats i, en molts casos, incorporen en el seu interior mecanismes que faciliten l'adquisició i conversió de la variable de temperatura.
- Els seu temps d'adquisició és força petit.

3.1.2. Sensor de distància

Els sensors de distancia existents poden mantenir o no contacte amb el cos a analitzar, però els de contacte es descarten inicialment, les raons per les quals no són aptes per a ser utilitzats en el cas del sensor de distancia son les mateixes que en el cas del sensor de temperatura, i per tant, no es necessari tornar-les a analitzar.

Hi ha molts sensors que estan preparats per a indicar la presencia d'un objecte concret en un interval de distancia específic o que fan una estimació de la distancia que hi ha entre el sensor i un objecte però són incapaços de determinar de manera precisa la distància entre ells, aquests sensors no són aptes per a aquest projecte i es poden descartar, directament.

Tanmateix, els sensors basats en un canvi d'inductància o sensors inductius es poden descartar directament ja que només identifiquen la presencia d'elements ferromagnètics, al igual que passa amb els sensors basats en l'efecte Hall.

En canvi, a diferencia dels sensors inductius i dels d'efecte Hall que detecten només materials ferromagnètics, els sensors capacitius són capaços de detectar tots els materials sòlids i líquids, però tampoc són adequats per aquest cas, ja que no són capaços de mesurar de forma acurada la distancia que hi ha entre el sensor i l'objecte.

El sensor de distancia que es desitja trobar ha de complir la condició de mesurar de manera precisa l'espai que hi ha entre un punt de referència (que sol estar en el propi sensor) i els objectes que puguin haver dins d'un determinat camp de referència, indistintament del material de que estiguin fets i, a més, ho ha de fer sense mantenir cap contacte amb el cos a mesurar. Per tant, els únics sensors que reuneixen aquestes condicions i que, en conseqüència, s'estudiaran amb més profunditat són els dos tipus següents:

1. Sensor d'ultrasons: Aquest sensor es basa en l'emissió d'ones ultrasòniques que quan xoquen amb un cos reboten i tornen a la mateixa font des on han vingut. Depèn del temps que triguen en tornar es sap la distància a la que està el cos mesurat.

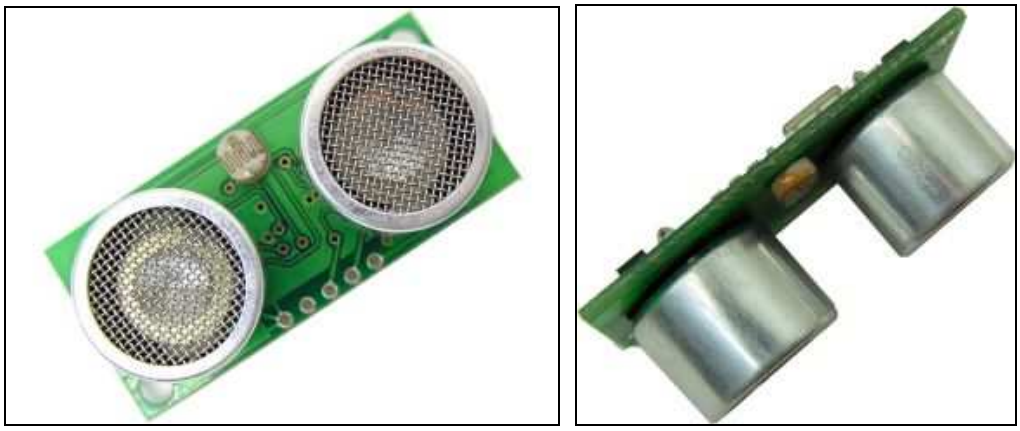


Fig. 5.- Sonar model SRF08, de l'empresa SHARP.

2. Sensor d'infraroig: Aquest sensor es basa en l'emissió de un feix de llum infraroja, que al xocar contra un objecte qualsevol, rebota i es captat de nou per un receptor que té el sensor, que mitjançant el mètode de la triangulació realitza un càlcul trigonomètric per mesurar la distància.

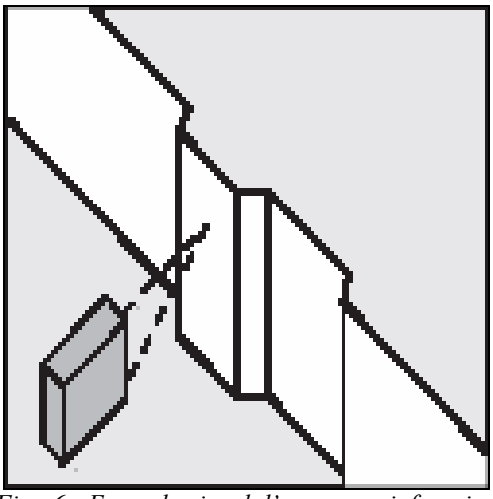


Fig. 6.- Exemple visual d'un sensor infraroig..

3.1.2.1 Sensor d'ultrasons

Els sensors d'ultrasons son vibracions de l'aire de la mateixa naturalesa que el soroll audible però d'una freqüència més elevada que parteix dels $2 \cdot 10^4 Hz$ fins als $5 \cdot 10^8 Hz$, els quals no són audibles per l'oïda humana ja que arriben a longituds d'ona que s'aproximen a la llum visible. Els ratpenat i els dofins l'utilitzen amb excel·lents resultants.

En l'estructura d'un transductor ultrasònic típic utilitzat per a la mesura de distàncies, l'element bàsic es un transductor electroacústica, freqüentment del tipus ceràmic piezoelèctric. Una capa de resina protegeix al transductor contra la humitat, la pols i altres factors ambientals i, també, actua com un adaptador de impedància acústica. Com que el mateix transductor es sol utilitzar per a la transmissió i la recepció del feix

ultrasònic, es necessita d'un amortiment ràpid de l'energia acústica per a detectar objectes a petita distància. Aquesta operació es realitza proporcionant absorbidors acústics i desacoblant el transductor del seu receptacle. Aquest últim està dissenyat de manera que produeixi un feix acústic estret per a una eficaç transferència d'energia i una millor direccionalitat del senyal. Per a produir aquestes vibracions es sol utilitzar les propietats piezoelèctriques del quars. El seu funcionament es bastant simple, utilitzant el mètode de la mesura del temps de vol.

En primer lloc, un transductor electroacústica emet unes ones ultrasòniques i, a continuació, es posa en mode de pausa i durant un cert temps, espera la tornada de les ones emeses cap a l'objecte. Si les ones no arriben, vol dir que no hi ha cap cos prop; si pel contrari, aquestes ones tornen es pot saber a quina distància està el sensor del cos. Això es pot deduir, mirant el temps de commutació del transductor, i depenent del temps que estat esperant, es sap a quina distancia està del cos.

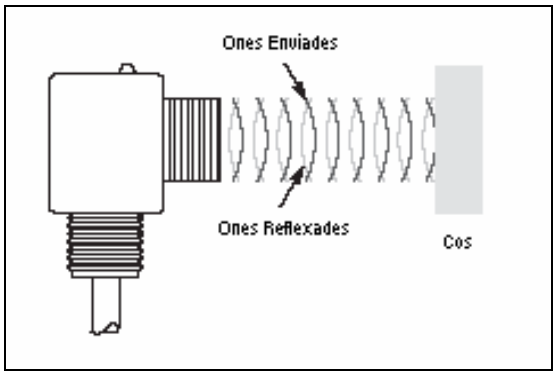


Fig. 7.- Funcionament del sensor de distancia per ultrasons.

El sensor disposa d'un controlador incorporat que quan emet la ràfega d'impulsos comença a contar el temps que triga en tornar l'eco. Aquest temps es tradueix en un pols d'eco d'amplada proporcional a la distància a la que es troba l'objecte.

3.1.2.2 Sensor d'infraroig

Un sensor d'infraroig mesura la distancia des d'un punt de referència, que sol estar en el propi sensor, fins a objectes en el camp d'operació del sensor. Els éssers humans estimen la distancia mitjançant un processament visual estereogràfic, en el cas dels sensors infrarojos un dels mètodes mes senzills per a mesurar la distancia a un objecte és per mitjà de tècniques de triangulació, les quals proporcionen una mesura puntual.

Aquest mètode és un dels més senzills per a mesurar la distància d'un punt a un cos. El sensor disposa d'un emissor i d'un receptor de llum, quan la font del sensor emet la llum infraroja, el cos s'il·lumina amb un estret feix de llum el qual incideix sobre l'àrea de la superfície que es pretén detectar i una part d'aquesta llum es reflexa cap al receptor.

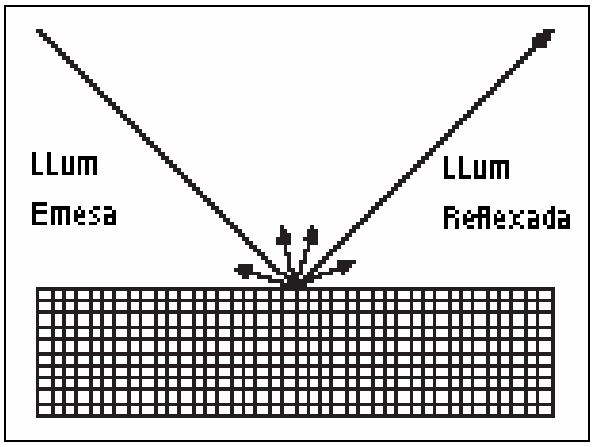


Fig. 8.- Esquema simplificat del camí que fa el raig de llum infraroig.

El receptor es l'encarregat de detectar la llum que ve de la superfície de l'objecte, si la llum no arriba vol dir que no hi ha cap objecte en el camp de visió del sensor, pel contrari, si detecta un raig de llum que ha retornat es pot calcular la distància de la part il·luminada del cos al detector amb una senzilla relació trigonomètrica, el càlcul de la distancia del sensor al cos ve definit pel pla que formen la línia que va des del cos fins al receptor i per a la línia que va des del receptor fins a l'emissor, formant un angle amb el qual es pot calcular la distància que hi ha entre el sensor i el cos.

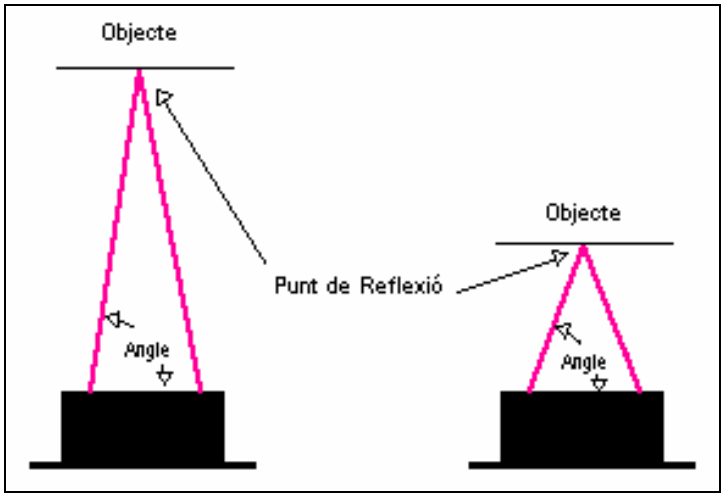


Fig. 9.- Plans definits per la llum infraroja en dos casos a diferent distància.

3.1.2.3 Decisió de la solució

Els sensors d'ultrasons són molt utilitzats degut, principalment, al seu baix cost i pel seu senzill mode d'operació. Encara que tenen el greu inconvenient de la falta de fiabilitat de la mesura, conseqüència fonamentalment de les limitacions que imposen els principis de l'acústica, i que es manifesta en problemes com l'amplada del feix ultrasònic, la reflexió especular i les fluctuacions del mitja. Quan es modelitza el comportament d'aquests sensors, normalment es realitza la simplificació de considerar que l'ona sònica dona lloc en l'espai a un con. El errors més comuns que es donen en aquest tipus de sensors són els següents:

- Poca focalització: El sensor emet una ona ultrasònica que incideix en un cos, que en aquest cas, ha d'ésser força estreta, ja que repercuteix en la mida de la mostra mesurada, sobretot quan el cos esta més lluny ja que el con s'obre més. Aquest cas, es dona, principalment, quan s'està a la fase inicial on el sensor està molt més distanciat de l'objecte. En canvi, quan es fan les mesures de distància entremig de les mesures de temperatura, aquestes distàncies estan en un rang

molt més petit, ja que el cos esta relativament prop i el con no s'obre tant, fent que la mida de la mostra mesurada sigui més petita.

Tot i havent buscat sensors d'ultrasons que acompleixin aquesta condició no s'ha pogut trobar un sensor que tingui el con suficientment estret. Per exemple, un dels sensors d'aquest tipus que acompleix moltes de les característiques necessàries per a aquest projecte, es el cas del sensor d'ultrasons SRF04.

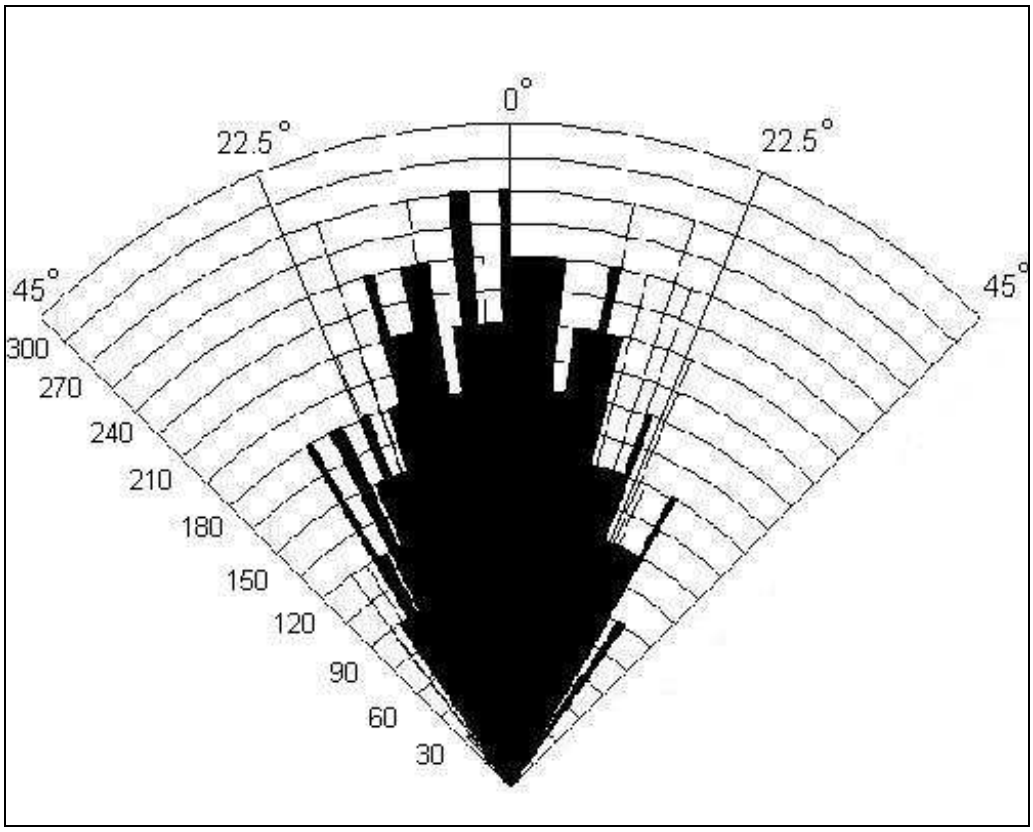


Fig. 10.- El rang efectiu del sensor d'ultrasons SRF04 es de 30º.

A la gràfica anterior es pot veure l'amplada del con per a diferents valor de distància, la mida de la mostra és força gran cosa que no és recomanable en aquest cas.

- Reflexions múltiples: En aquest tipus de sensors, també es pot donar el cas de que l'energia acústica que és reflexa vagi cap a una direcció que l'allunya del sensor, amb el que la mesura proporcionada pel sensor és errònia. Aquest efecte s'anomena reflexió especular, i és més comú quan les superfícies a mesurar són de dimensions mes grans i planes, com pot ser la detecció de parets llises.

- Condicions ambientals: La influència de les condicions ambientals en la propagació de l'ona, fonamentalment de la temperatura i de la humitat fa que encara hi hagi més incertesa en la seva mesura.

  Altres tipus de condicions ambientals que també afecten a aquests sensors són les ocasionades per les turbulències i les ràfegues d'aire que poden ocasionar problemes i errors en la presa de mesures.

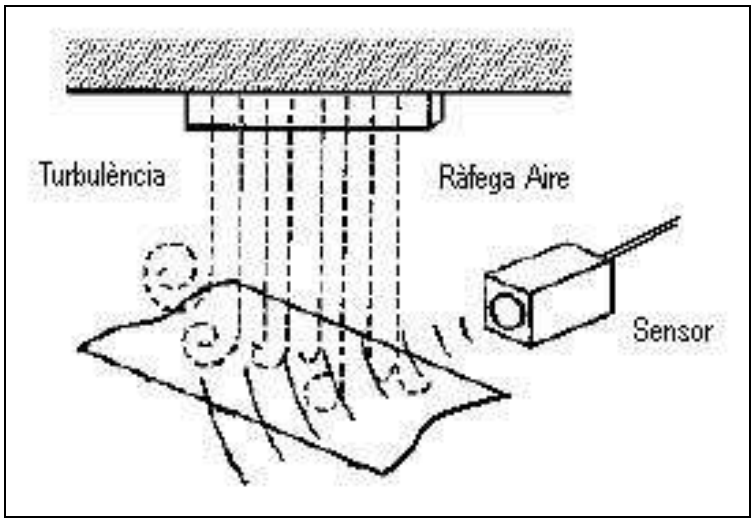


Fig. 11.- Exemple de l'influencia de les condicions ambientals en la detecció d'objectes.

En el cas dels sensors d'infrarojos les fonts d'error més freqüents s'especifiquen a continuació:

- Color i reflexivitat dels objectes: La reflexivitat de la llum varia amb el color, de

forma que quan més fosc és un objecte, més lluny aparenta estar. La precisió es degrada ràpidament amb la distancia, arribant inclòs a no poder detectar l'objecte.

- Il·luminació global: Degut a que la il·luminació que hi ha habitualment té un component en la banda infraroja, quant més brillant és la llum, més lluny aparenta estar el cos.

- Error de quantització: Si el sensor que es tria té sortida digital s'ha de considerar el tema de la conversió de la mesura a 8 bits. Aquesta conversió no és lineal en tota l'escala, de forma que quan més lluny està l'objecte menys precisa és la mesura.

Els sensors d'ultrasons son més independents del tipus de material i permeten la detecció d'objectes a majors distàncies, la resposta de molts sensors examinats depèn, en gran mesura, del material objecte de la detecció. Aquesta dependència es pot reduir molt utilitzant sensors ultrasònics.

Això en part es una avantatge ja que no tens que tenir tant present quin cos estàs mesurant, però per una altra part, s'ha de tenir en compte que en aquest cas concret això no es tant important ja que l'objecte a mesurar sempre serà el cos humà, més concretament el teixit dèrmic i, a més, que el sensor pugui mesurar distancies més grans tampoc no es necessari i l'únic que provoca és menys precisió en la mesura.

El fet de que els sensors d'ultrasons no focalitzin o focalitzin poc és un tret molt important per a aquest projecte ja que si la mesura es dispersa molt no serà tant exacta i el valor mesurat pertanyerà a una àrea massa gran, a més de provocar errors en la

mesura.

En el sensor ultrasònic SRF04 el valor de la mostra és massa gran. No cal dir que una mida de mostra superior a 3-4*mm* no és acceptable ja que pot haver-hi àrees a mesurar que poden ser de pocs mil·límetres i per molt que s'intenti reduir aquesta àrea de mesura és, pràcticament, impossible arribar a les exigències d'aquest escàner, ja que un sensor d'ultrasons mai pot fer una mesura puntual a diferència del sensor d'infraroig que només fa mesures puntuals.

El problema de les reflexions múltiples o reflexió especular en sensors d'ultrasons s'ha de considerar però no és tan greu com el de la focalització ja que les zones a mesurar habitualment no són molt grans, encara que en algun cas concret ho poden arribar a ser, com seria el cas de que la zona patològica a mesurar fos, per exemple, una àrea molt gran a l'esquena.

Respecte a la influència de les condicions ambientals en la propagació de l'ona, com es el cas de les variacions de temperatura i de humitat es pot solucionar mitjançant un calibratge previ al funcionament del sistema en les condicions de treball del mitja o condicionant les condicions de treball a les necessitats del sistema, com pot ser tenir un control d'humitat i de temperatura de la zona on es realitzin les preses de mesura.

El cas dels efectes provocats per les turbulències i les ràfegues d'aire també són solucionats ja que es pot fer exactament el mateix, fent que el sensor de temperatura estigui en una zona controlada, perfectament aclimatada i condicionada.

En el cas dels sensors d'infrarojos el tema de la reflexió es força important ja que pot passar que no s'arribi a detectar l'objecte o que la mesura adquirida sigui errònia. Per

aquesta raó, s'ha intentat trobar un sensor que, pel rang de distància que es precisa en aquest projecte, es minimitzi el màxim aquest problema.

Això no ha estat fàcil, però hi ha l'avantatge de que el rang de mesures en el que es mou aquest escàner és petit i el sensor està força proper al cos. El sensor d'infraroig GP2D02 acompleix aquesta condició ja que com es pot comprovar a la gràfica següent no té, en el rang de distancia de 100*mm* a 700*mm*, gairebé diferencia apreciable entre un blanc d'un 90% de reflexió (un blanc força pur) i un gris d'un 18% de reflexió (gairebé negre).

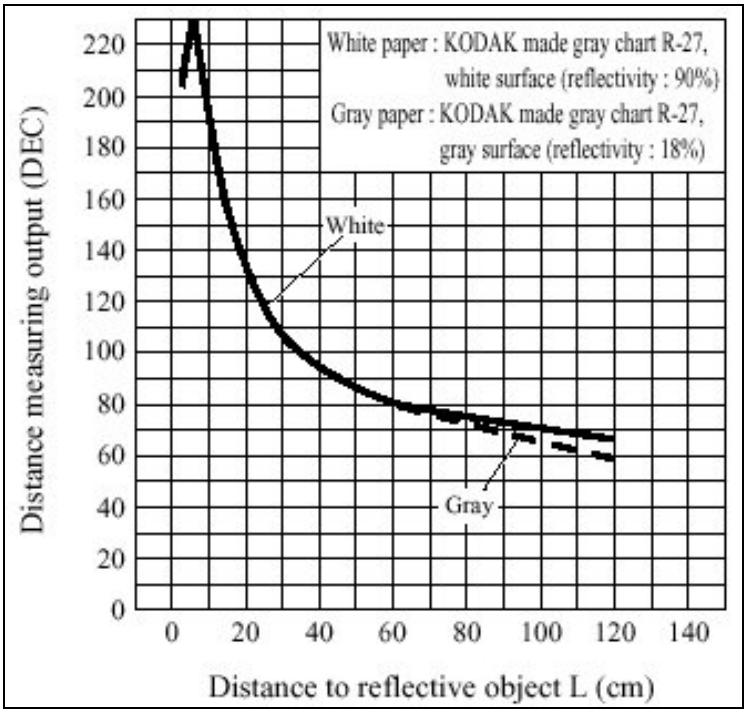


Fig. 12.- Diferencia entre dues mesures, una amb un alt nivell de reflexió i un altre amb un de baix.

L'error que pot provocar la llum habitual no es pot fer desaparèixer ja que té un component en la banda infraroja i això no es pot evitar però si minimitzar molt, habilitant les condicions de treball en les que es troba el sensor, al igual que s'ha dit en el cas de l'influencia de les condicions ambientals.

Com que en aquest sensor concret la sortida és digital, s'ha de tenir en compte l'error de quantificació, ja que la conversió no és lineal, però com que aquest fet afecta més a la precisió de mesures llunyanes i, en aquest projecte, aquests casos no es donen habitualment, doncs aquests tipus d'errors es poden depreciar.

Respecte al cost de cadascun dels sensors no difereix molt, són bastant semblants, amb una diferencia entre el SRF04 (24,61€) i el GP2D02 (26,34€) d'un parell d'euros, per tant, no condiciona de cap manera la decisió.

En definitiva, per a la realització d'aquest escàner de pell s'ha triat el sensor infraroig GP2D02 ja que els errors que pot arribar a donar s'han aconseguit minimitzar suficient, mentre que en el cas del sensor d'ultrasons hi ha un error que no s'ha aconseguit solucionar i és el de la focalització, que es considera massa important per a depreciar els seus efectes.

3.2. DESCRIPCIÓ DE LA SOLUCIÓ ADOPTADA

3.2.1. Sensor de temperatura

Per a la realització d'aquest escàner de pell s'ha triat un sensor de no contacte de tipus infraroig ja que reuneix les condicions necessàries de precisió, resolució, rang, temps de resposta, mida, etc., i també degut a les limitacions d'us que tenen els sensors de contacte.

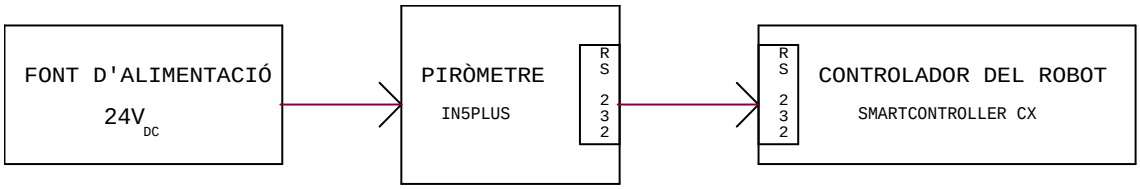
La raó principal d'aquesta elecció és que els sensors de contacte no es poden utilitzar en els casos en que la zona a escanejar és una ferida oberta o si la pressió aplicada pel

sensor provoca dolor al pacient i, si a més, l'àrea a mesurar té una mica de relleu no són tant exactes com els de no contacte. Per altra banda, al mesurar a una certa distancia s'impedeix la incrustació de dipòsits que obstrueixen el sensor.

Dels diferents components que formen l'escàner de pell, el primer i principal serà el sensor d'infraroig (model IN 5 plus) que mesurarà el diferents valors de temperatura que hi ha a la pell i els transmetrà al controlador del robot.

Per tal de poder-ho fer, aquest sensor té inclòs dins el seu mecanisme una interface de tipus RS-232 que permet la connexió via sèrie directament amb el sistema robòtic sense necessitat de cap altre component.

A continuació, es detalla la representació en diagrama de blocs del procés de mesura de la temperatura.



3.2.1.1 Característiques tècniques i funcionament

El sensor escollit és de tipus infraroig i, inicialment, era el model M67S versió 3 de l'empresa MIKRON, però posteriorment, s'ha trobat un sensor molt semblant a aquest, amb gairebé les mateixes prestacions i que és molt més econòmic. A més, aquest sensor té la dualitat de posseir una sortida analògica i una altra digital, que pot ser utilitzada segons convingui. En el cas d'utilitzar la sortida digital s'inclou un software, totalment gratuït, que s'encarrega de realitzar l'adquisició de les mesures de temperatura. Aquest software s'anomena InfraWin i és apte per a Windows.

Aquest sensor en comparació amb l'escolli't originàriament, és molt més econòmic, gairebé la meitat de preu i, per tant, és el que definitivament s'utilitza en aquest projecte. Es tracta del sensor d'infraroig tèrmic IN 5 plus, òptics 100 de l'empresa alemanya IMPAC Electronic GmbH.

Fig. 13.- Sensor IN 5 plus, òptics 100 de la casa IMPAC.

Per a aquest projecte s'utilitza la sortida digital, més concretament, la sortida digital amb una interface de connexió de tipus RS-232. Aquesta sortida va connectada, directament, al controlador del sistema robòtic que manipula l'escàner de pell.

Per a l'aplicació principal no es fa servir el software InfraWin ja que la realització de tot el procés de mesura ha de ser coordinada de manera conjunta i automàtica per tal d'optimitzar al màxim la presa de totes les variables, la de distancia, la de temperatura, etc., i fa inviable la utilització del software Infrawin proporcionat amb el sensor tèrmic.

De totes maneres, és interessant tenir l'opció de poder utilitzar aquest software ja que serà d'utilitat el seu ús en el calibrat inicial del sensor, per poder comprovar si la mesura

de temperatura és prou exacta o, en alguna altra ocasió, en que sigui pertinent fer una mesura puntual o un seguit de mesures periòdiques, en una zona concreta del cos, en un cert interval de temps.

Per altra banda, el software InfraWin és de gran utilitat per a l'ajustament de paràmetres com el temps de resposta, la velocitat de transmissió, el rang de temperatures, el tipus de sortida (analògica o digital), etc.

En el moment en que és vulgui utilitzar el software Infrawin, ja sigui per a fer alguna mesura puntual com si es per ajustar algun paràmetre, l'únic que s'haurà de fer és connectar directament el sensor de temperatura al PC a través de la connexió sèrie RS-232.

El rang de temperatura que utilitza el sensor escollit és més elevat del necessari ja que és difícil trobar un sensor que reuneixi totes les condicions exigides i, a més, tingui un rang de mesura petit, el seu rang de treball predeterminat es troba entre $-32ºC$ i $900ºC$ i, com que el rang necessari per a aquest escàner entra dins d'aquest marge preestablert doncs es pot utilitzar tal i com el venen. Si més no, cal destacar que, en aquestes condicions, el detector té molta menys precisió i, això, és un inconvenient que no fa factible una adquisició de les mostres tant acurada, cosa que no es aconsellable per a aquesta aplicació concreta.

Per tal d'evitar aquesta problemàtica, el que es pot fer, si el sensor ho permet, es delimitar el rang mitjançant hardware o software. En aquest sensor concret, això no representa cap problema ja que té la peculiaritat de permetre reduir el rang de treball de la temperatura mitjançant software i fer sub-rangs, sempre i quan es tingui present que la mida mínima del sub-rang ha d'ésser de $51ºC$. Tenint en compte aquestes exigències,

per aquest cas, s'ha determinat que el sub-rang de temperatura estigui entre 0*ºC* i 51*ºC*.

Encara que els sensors de no contacte són, per norma general, menys precisos que els de contacte, el sensor escollit està dins dels límits acceptables i, per tant, pot ésser utilitzat en aquest cas.

Aquest sensor de temperatura en un rang de treball, entre 0*ºC* i 300*ºC* té una precisió de 0,6% del valor mesurat, sempre i quan la temperatura ambient estigui entre 15*ºC* i 30*ºC*. Per altra banda, aquest detector de temperatura té una resolució de 0,1*ºC*.

Respecte al temps de resposta d'aquest sensor es pot dir que és molt més petit que el dels sensors de contacte ja que són extremadament lents per a aquesta aplicació i, per tant, el sensor d'infrarojos és molt més adequat, sobretot si la zona a escanejar és gran.

En concret, aquest sensor disposa de l'opció de poder determinar el valor del temps de resposta de la mesura. Aquesta selecció es pot fer tant directament en el dispositiu com per mitja del software, si es selecciona en l'aparell, ha de tenir un rang de 0,08*s* fins a 5*s*, mentre que si es selecciona mitjançant software està entre 0,08*s* i 30*s*.

Ajustant el temps de resposta es condiciona el nombre de mesures que s'agafaran, per tant, s'ha de coordinar aquest temps de resposta amb la velocitat del robot i amb la distancia que es desitja que hi hagi entre les diferents mostres.

La distància entre mostres serà la resolució de la imatge i vindrà fitxada per l'usuari, igualment el temps de resposta vindrà fitxat per l'usuari i d'aquest factor dependrà la precisió del sensor en la presa de les mesures de temperatura.

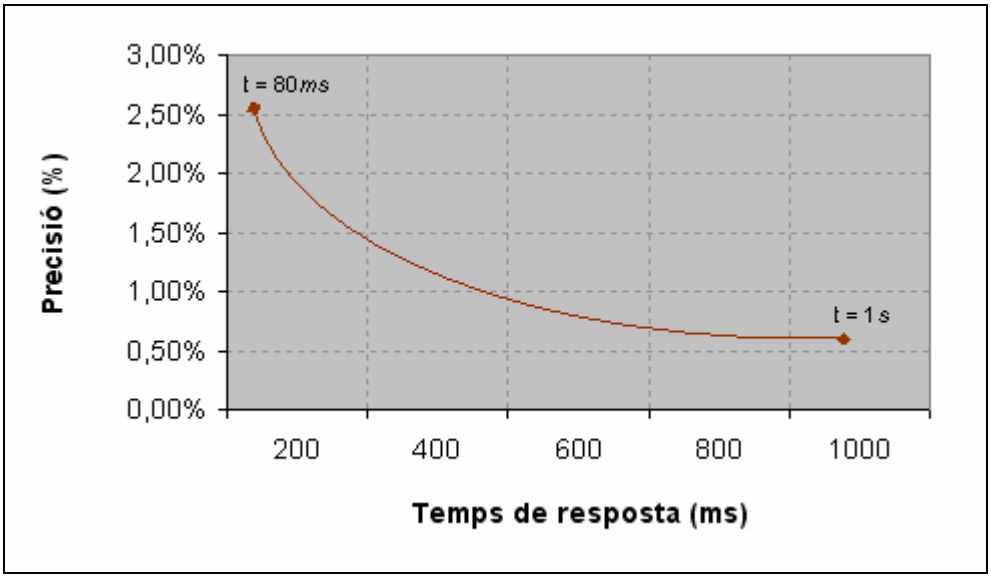


Fig. 14.- Gràfica on és relaciona la precisió de la temperatura amb el temps de resposta del sensor.

D'aquesta manera, una vegada definits aquests dos paràmetres és podrà saber la velocitat a la que haurà d'anar el robot per a que aquests s'acompleixin, tenint en compte que el braç robòtic té una velocitat màxima de desplaçament en l'eix X de 7,2*mm/s*. El càlcul que s'haurà d'implementar en el software del robot per a que pugui calcular la velocitat de moviment serà el següent:

$$velocitat\ robot = \frac{resolució\ imatge}{precisió\ temperatura}$$

La velocitat de transmissió del sensor és un altre paràmetre a tenir en compte ja que d'això dependrà que el sensor de temperatura transmeti les dades mesurades a la velocitat requerida pel programa V+, perquè estiguin en concordança s'ha de tenir en compte la velocitat de transmissió del sensor de temperatura, el tipus de comunicació que utilitzen el sensor i el controlador per comunicar-se i la velocitat màxima que admet el software V+ per l'entrada de dades.

Per una banda, la velocitat de transmissió d'aquest sensor tèrmic és un paràmetre

ajustable, es pot optar entre 1200*baud* i 19200*baud*, i el tipus d'interface que utilitza el sensor per a comunicar-se amb el controlador del robot és via RS-232, l'estàndard RS-232 especifica una velocitat màxima de 19200*baud*.

Per una altra banda, la velocitat màxima que admet el software del braç robòtic per a l'entrada de dades pel ports sèries del controlador és de també de 19200*baud*, cosa que determina en gran mesura l'elecció de la velocitat de transmissió de dades del sistema.

De totes maneres, s'ha de calcular si aquesta velocitat de transmissió que s'ha triat per al sistema és l'adequa't i no és excessivament ràpid per a transmetre totes les dades que envia el sensor.

El número de bits que es transmet per cada dada enviada és de 10*bit*, ja que el format d'un byte d'informació transmès en sèrie per una interface RS-232 conté, fonamentalment, un bit a '0' que indica al inici de la transmissió (START), seguit d'un número determinat de bits en sèrie en codi binari que composen la informació (DATA), és a dir, la mesura de temperatura (de 8*bit*) començant pel bit menys significatiu i, finalment, una transmissió de 1*bit* a '1' que indica que la transmissió ha finalitzat (STOP).

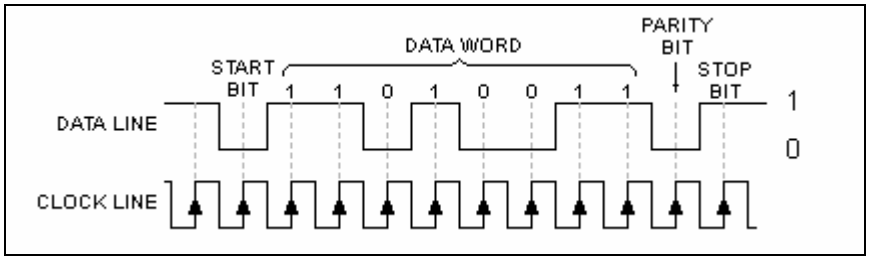


Fig. 15.- Diagrama de la seqüència de bits d'una transmissió a través de RS-232.

Si es mesura una mostra cada 0,08*s*, que és el cas en que s'han d'agafar més mostres per

segon i tenint en compte que una dada o mostra són 10*bit*, llavors el nombre de bits que envia el sensor en un segon és de 112,5 que són 11,25 dades per segon.

$$\frac{9bit \times 1s}{0{,}08s} = 112{,}5bit$$

El sensor a través de l'interface RS-232 a la velocitat predefinida de 19200*baud,* pot transmetre un màxim de 1745*dada/s*, és a dir, 19200*bit/s*, doncs no hi haurà cap problema en definir la velocitat de transmissió del sistema en 19200*baud*.

Tenint en compte tots els factors que s'han anat considerant, és defineix que la velocitat de transmissió òptima del sistema és de 19200*baud* i és la que s'utilitzarà en la realització d'aquest projecte.

La carcassa del sensor de temperatura és d'acer inoxidable, el seu pes és de 410*g* i les seves dimensions no són excessivament grans, la seva longitud és de 114,5*mm* i el seu diàmetre és de 49,5*mm*.

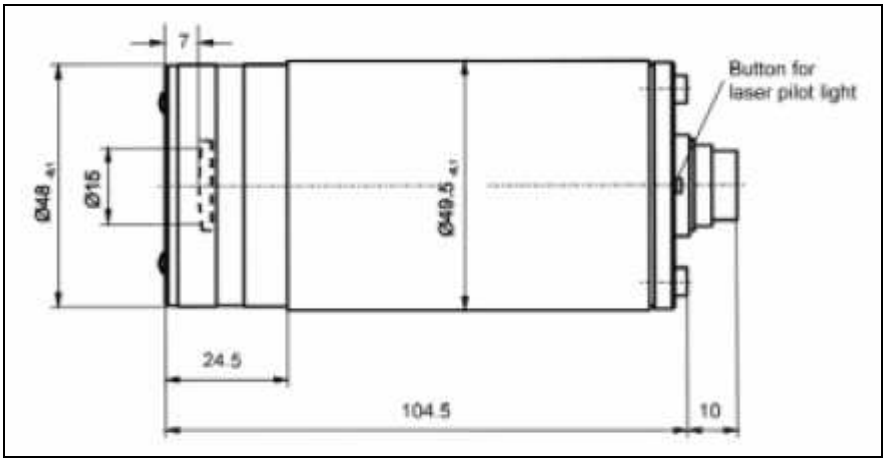


Fig. 16.- Dimensions del sensor que s'ha triat per a l'adquisició de la variable de temperatura.

La mida mínim del punt de focalització de cada mostra és força petit, el seu diàmetre és

de 2*mm,* i la distància que hi ha d'haver entre el sensor i la pell és de 100*mm*, sent aquesta la distància més petita possible.

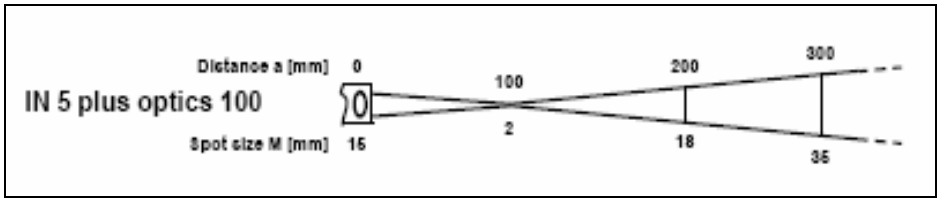


Fig. 17.- Camp de visió del sensor d'infraroig IN 5 plus, òptics 100.

Per tal de poder mesurar la temperatura de manera correcta és necessari saber, en tot moment, a quina distancia del sensor tèrmic està l'àrea de la pell que es vol escanejar. Per aquesta raó, s'ha col·locat un sensor de distància en el sistema, fitxant una distància concreta que sigui òptima pel sensor de temperatura i anar mesurant-la periòdicament.

D'aquesta manera, el braç robòtic farà una primera passada per tota la zona a escanejar abans de començar a mesurar la temperatura, i adquirirà els diferents valors de distancia que hi hagi entre el sensor de distancia i la pell, agafant mostres cada 2,5*mm* i memoritzant-les.

D'aquesta manera, quan el robot faci la segona passada per mesurar la temperatura només haurà de comprovar si l'eix Z en aquell punt concret ha de pujar, baixar o, simplement, mantenir-se a la mateixa alçada.

En aquest projecte la distancia ve definida pel piròmetre, ja que es vol que la mida de la mostra d'aquest sensor sigui el més petit possible, concretament 2*mm*, per tant, entre el sensor de temperatura i la pell hi ha d'haver una distancia de 100*mm*.

De totes maneres, la distancia entre la pell i el sensor de distancia no ha d'ésser

necessàriament la mateixa que pel sensor de temperatura ja que aquest sensor pot estar en una altra alçada sense cap problema. En aquest cas, la única qüestió a tenir en compte és que la distancia que hi ha entre el sensor tèrmic i el sensor de distancia ha de ser coneguda.

La distància a la que estarà el sensor de distància vindrà condicionada per les característiques físiques d'aquest detector i, també, per la diferencia de mida entre ambdós sensors, això s'exposarà amb profunditat en l'apartat 3.2.2.

El piròmetre IN 5 plus pot ser connectat de manera tradicional ja que disposa d'una sortida analògica que va de 0*mA* a 20*mA* o de 4*mA* a 20*mA*, que es pot seleccionar directament en l'aparell. També disposa d'una sortida digital que pot ser connectada directament al controlador del robot Scara de forma individual ja que ve equipada amb una interface, la qual es pot triar optant entre l'interface RS-232 i la RS-485, depenen de les necessitats del dispositiu. El cable de connexions que va assignat a aquest detector és dual, i pot ser utilitzat tant per la sortida analògica com per la digital, i la seva mida és de 5*m*.

Evidentment, tenint la possibilitat de triar entre els dos tipus de sortides s'escull la digital, perquè no encareix el preu del sensor ja que va inclòs en ell, perquè per a aquesta aplicació és suficientment adequada i, a l'hora, perquè simplifica les coses ja que incorpora en el seu interior els mecanismes necessaris per realitzar tot el procés. De l'altra manera, es necessitaria d'un circuit complementari que es comuniques amb l'ordinador, convertint la senyal rebuda, transformant-la, controlant-la i transmetent-la al sistema robòtic.

L'interface RS-485 no és necessària si no es tracta d'un entorn industrial ja esta preparada per integrar-se en un sistema de mesura automatitzat i monitoritzat de fins a 32 piròmetres en xarxa. Per tant, s'ha triat l'interface RS-232 perquè reuneix les característiques necessàries que precisa aquest projecte i, a més, és més adequada ja que aquest sensor també ha de poder anar connectat a un PC i, els connectors dels ports sèrie dels PC's són de tipus RS-232.

El sensor d'infraroig, també, necessita una font d'alimentació que li proporcioni energia. La tensió d'alimentació que precisa aquest piròmetre és de $+24V$ de tensió continua, per a aquest afer s'ha adquirit la font d'alimentació NG 0D ja que té un tensió de sortida d'aquest valor i, a mes, és la que esta designada per la empresa Impac per als piròmetres de la sèrie 5.

Aquesta font d'alimentació necessita una tensió alterna d'entrada de $+230V$ i té diverses sortides a $+24V_{DC}$ per a connectar els diferents dispositius del sistema. Evidentment, el sensor de temperatura va connectat directament a una de les sortides de la font però la resta de dispositius tenen que intercalar un regulador de tensió (LM7805) que doni una sortida de $+5V$ que és la que necessiten, aquest dispositius són el sensor de distancia GP2D02, el microcontrolador PIC16F84 i la interface de connexió RS-232.

Juntament amb aquest sensor hi cap la possibilitat d'adquirir un pilot làser de $650nm$ que indiqui on mesurarà el sensor de temperatura.

Aquest instrument es opcional però, en aquest cas si que es precisarà d'aquest làser de llum ja que la persona encarregada de realitzar tot el procés de mesuratge necessitarà d'algun dispositiu que l'indiqui on caurà el raig infraroig que emet el sensor de temperatura, i d'aquesta manera, poder posicionar el robot en el punt d'inici, cosa que fa

imprescindible la utilització d'un dispositiu visual. També pot ser d'utilitat quan es precisi fer els calibrats o comprovacions del sistema.

En canvi, no s'utilitzarà en el moment de fer les mesures de les diferents variables ja que no serà necessari que assenyali el lloc on esta fent el mesuratge perquè, en principi, aquest procés estarà controlat pel controlador del robot mitjançant software.

A més, un inconvenient que tindria aquest làser si estigues constantment encès es que podria escalfar la zona a escanejar i encara que fos un escalfament molt lleu podria afectar el valor de temperatura de les mostres i no serien tant fiables.

Com que el làser disposa d'un botó a la part posterior del sensor de temperatura per a connectar-lo o desconnectar-lo doncs només caldrà encendre'l inicialment, en el moment de posicionar el robot manualment, i posteriorment, quan el làser assenyali just el punt d'inici desitjat, apagar-lo abans de que comenci el procés de mesura.

En resum, les característiques tècniques més destacades per a la realització d'aquest projecte són les següents:

- Sub-rang de temperatura utilitzat: 0..51*ºC*.
- Resolució: 0,1*ºC*.
- Precisió mínima: 0,6% del valor mesurat.
- Temps de resposta: Ajustable entre 0,08*s* i 30*s*.
- Punt de focalització (radi de la mostra): 2*mm.*
- Distància del sensor a la pell: 100*mm*.

- Sortida digital: RS-232, 19200*baud*.

- Número de bits transmesos per mostra: 10*bit*.

- Software: Llenguatge d'alt nivell V+, per a les accions principals.
  Programa InfraWin, per a les operacions secundaries.

3.2.1.2 Software InfraWin

El software principal que s'utilitzarà per a la realització d'aquest projecte no és el designat per l'empresa Impac ja que es necessita d'un programa que permeti controlar, gestionar i coordinar tot el procés.

De totes maneres, el software de la casa Impac, és de molta utilitat ja que permet l'ajust d'alguns paràmetres del sensor, com es el cas dels sub-rang de temperatura, la selecció de la sortida, el temps de resposta, la velocitat de transmissió, etc.

A més, també es útil per comprovar si el sensor funciona correctament ja que es molt fàcil d'executar i, en un moment donat, es pot fer necessari realitzar una mesura puntual, una comprovació o simplement una revisió de manteniment, sense tenir que executar tot el programa, que es molt més complicat i no només s'encarrega de mesurar la temperatura sinó que realitza altres funcions que potser no es volen executar en aquell precís moment.

L'empresa Impac ha realitzat el programa InfraWin en col·laboració amb Microsoft, i ho ha fet pretenen dissenyar un software estàndard per a qualsevol aplicació, que permetés realitzar la programació, la visualització i l'arxiu de dades des de PC de les mesures recollides pel sensor tèrmic.

El software està en cinc llenguatges, entre les quals hi ha el castellà, i pot monitoritzat un o dos piròmetres, en aquest cas només es necessita monitoritzar un. La versió actual d'aquest programa i, per tant, de la que es disposa per aquest projecte és la InfraWin Ver. 3.08. Aquesta última versió del software es pot descarregar de manera totalment gratuïta des d'Internet, a traves de la pagina web de la casa IMPAC, l'adreça és la següent: www.ir-impac.com.

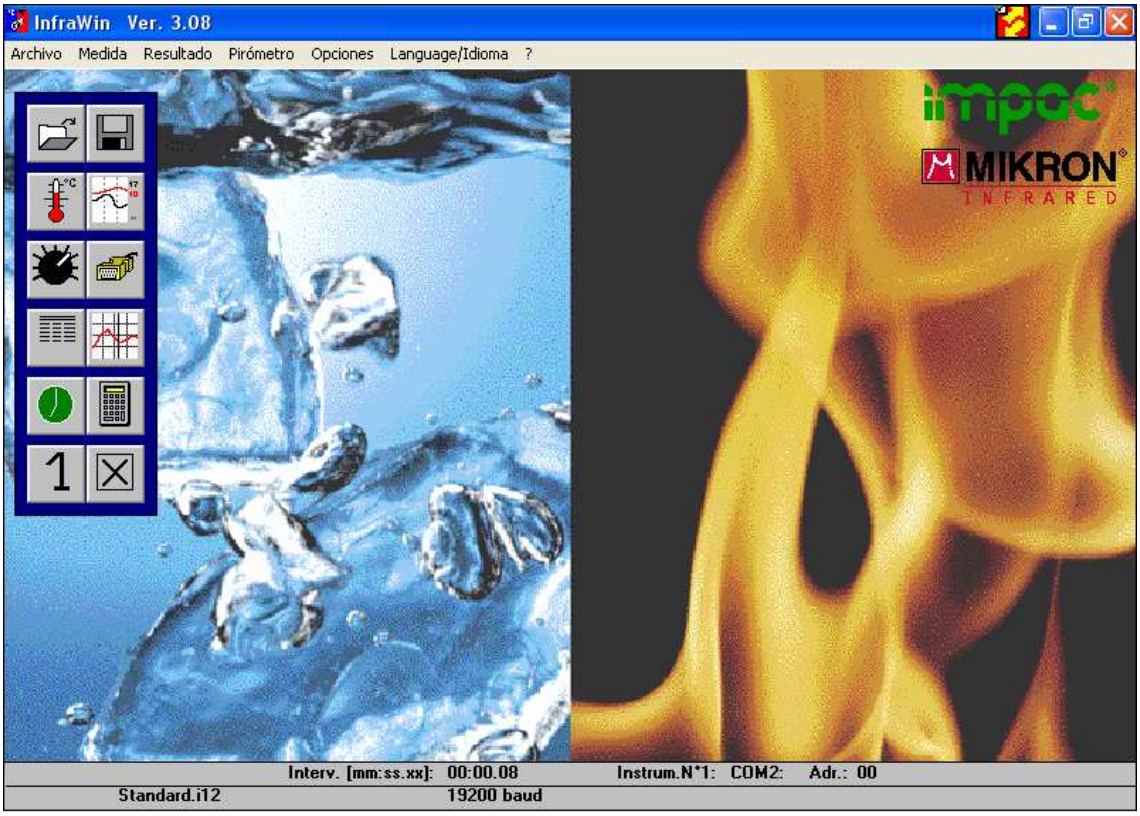


Fig. 18.- Pantalla principal del programa InfraWin.

Un vegada connectat el sensor d'infraroig al PC, hi ha alguns paràmetres que es poden ajustar directament en el dispositius, però d'altres han d'ésser ajustats mitjançant software. InfraWin es una bona eina per a fer canvis ràpids de control i protocol de mesures.

Un piròmetre digital de l'empresa IMPAC si es connecta a un PC és automàticament detectat per aquest software. Tots els paràmetres disponibles son variables, com és el cas del sub-rang de temperatura, del tipus de senyal de sortida (analògic o digital), el temps de resposta, el to de color del material utilitzat (més negre o més blanc), etc. Els canvis realitzats via software són transmesos directament al sensor tèrmic.

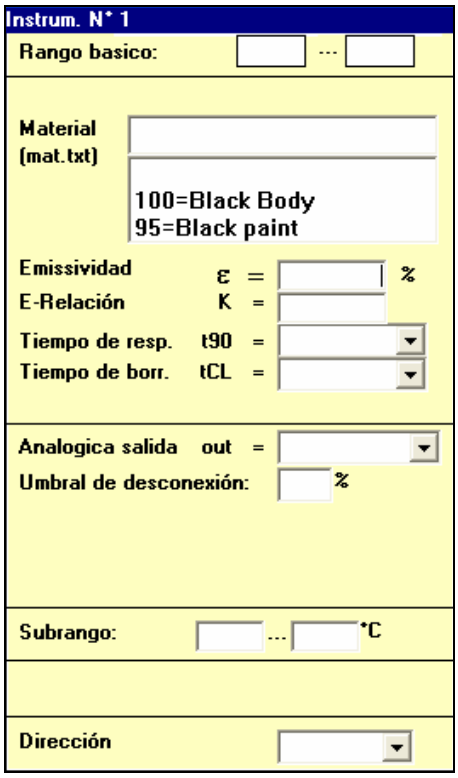


Fig. 19.- Pantalla d'ajustament de paràmetres del detector.

També té disponible una calculadora per calcular la mida de la mostra en diferents distancies de mesura. Realment, és molt fàcil d'utilitzar, només s'han d'entrar els diferents paràmetres òptics bàsics indicats al full de característiques, com es la mida de l'obertura del sensor, la distancia a la que els raigs es creuen i la mida de la mostra a aquesta distancia. Això es necessari perquè aquest software es apte per a molts piròmetres i per tant, l'usuari es el que ha d'especificar quines son les característiques del seu.

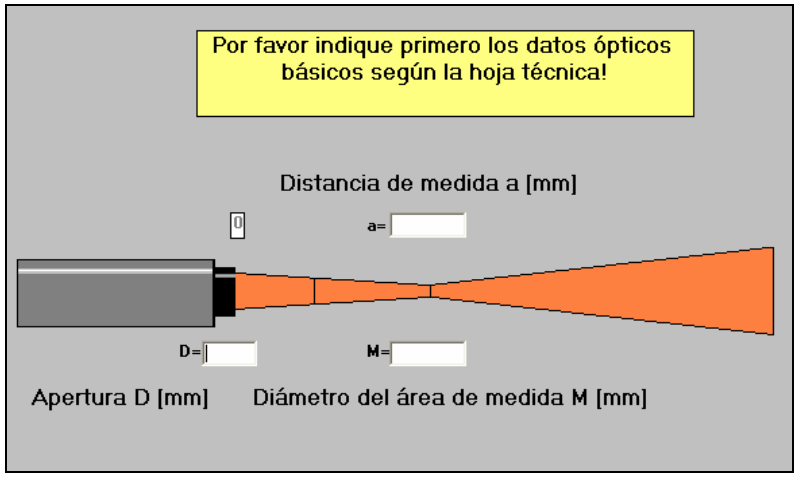


Fig. 20.- Visualització de la calculadora abans d'introduir els paràmetres òptics.

I després, ja es pot introduir el valor de la distancia a la que es vol col·locar el sensor, tenint en compte si aquest està posicionat abans o després de l'enforcall del raig, i llavors el software ho calcula automàticament.

En aquest escàner de pell, no és necessari fer aquests càlculs perquè normalment, es treballa a la distància de 100*mm*, que és una de les contemplades a les característiques tècniques del sensor, concretament, es la distancia en que la mida de la mostra és el més petita possible (2*mm*). De totes maneres, aquesta opció pot ser interessant en el cas que l'usuari volgués fer uns valors de mostra més grans.

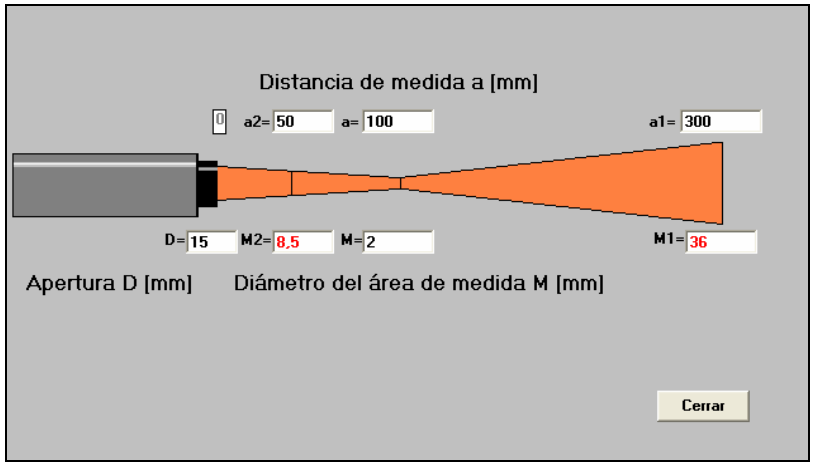


Fig. 21.- Resultats del càlcul de l'àrea de mesura a una distancia de 50mm i a una altra de 300mm.

Aquest software també ofereix la possibilitat de fer mesures consecutives, fixant un cert interval de temps. D'aquesta manera, el software fa una pausa entre mesura i mesura. La major velocitat de transferència s'obté amb l'ajust del interval de temps a zero, llavors el temps entre mesura i mesura només està limitat per la velocitat de transmissió (paràmetre que es pot seleccionar en el dispositiu), la velocitat del PC i del disc dur. Aquesta entrada no influència de cap manera la velocitat del piròmetre.

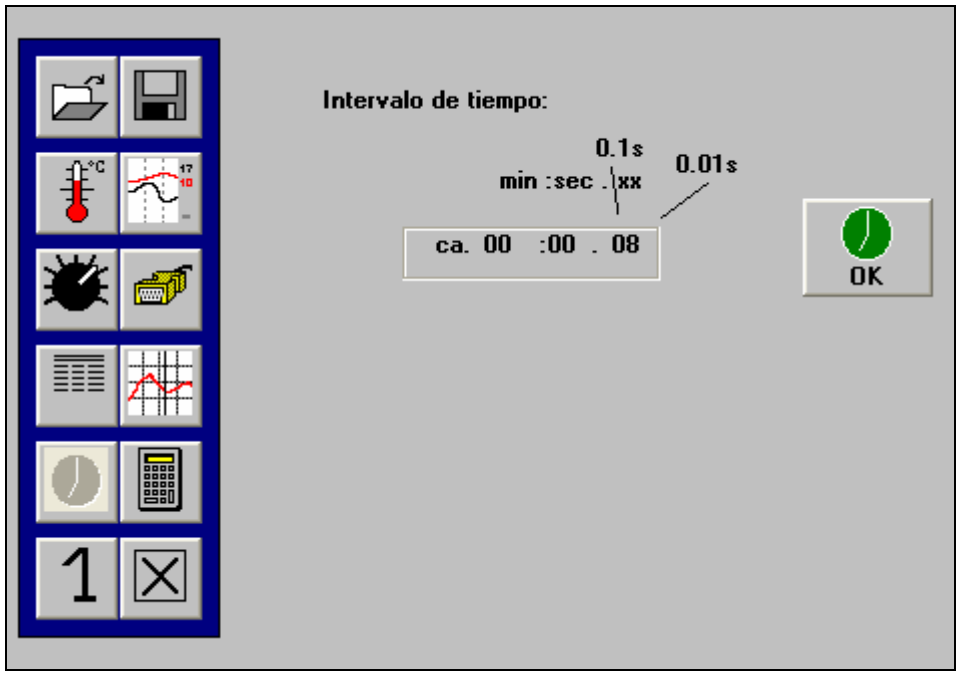


Fig. 22.- Pantalla per a la determinació d'un cert interval de temps entre dos mesures consecutives.

La finestra següent visualitza, gràficament en una certa escala de temps, les dades de temperatura recollides en un cas concret. Totes les dades es registren automàticament i poden ser emmagatzemades i guardades en un arxiu, després de la presa de les mesures.

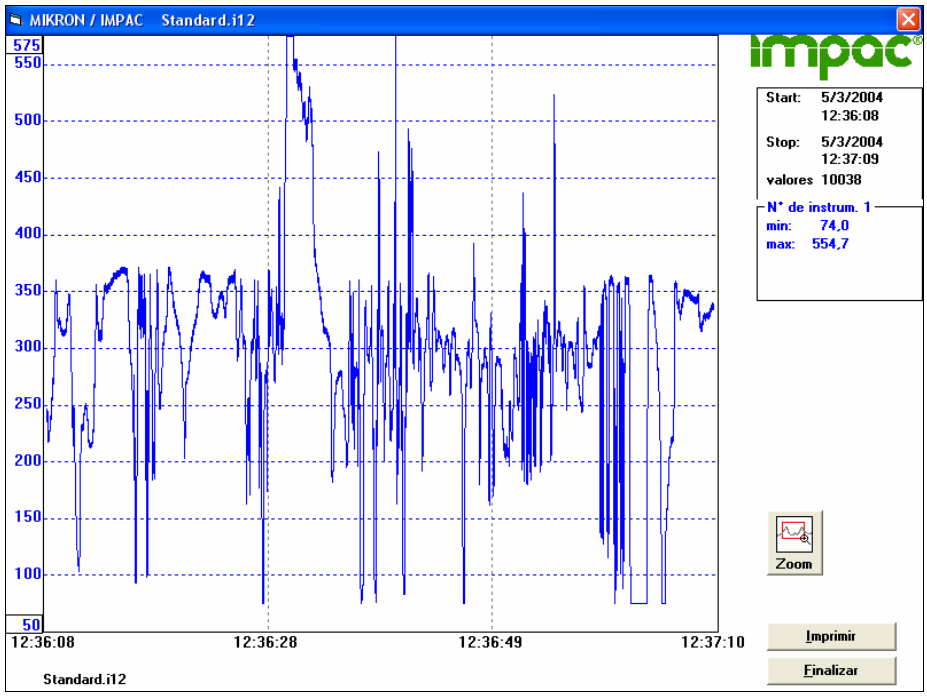


Fig. 23.- Exemple de visualització gràfica de les dades recollides en un cas concret.

Els valors de les mesures adquirides es poden també llistar en una taula i visualitzar-ho per pantalla o imprimint-ho de manera que resulti més fàcil el seu maneig.

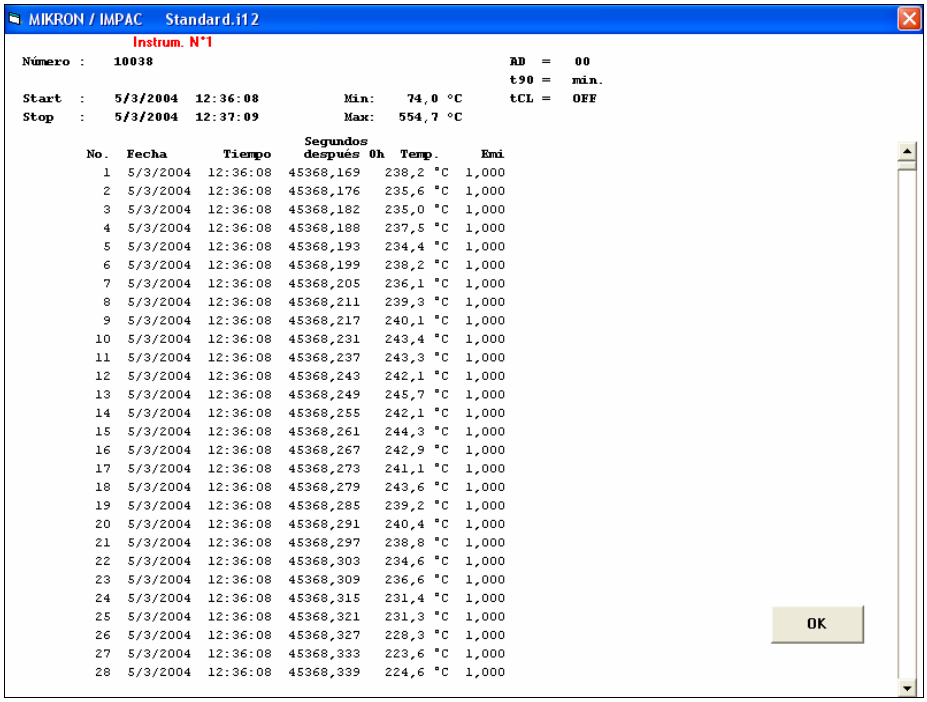


Fig. 24.- Llistat de mesures consecutives visualitzades per pantalla i imprimibles.

Aquest sensor ofereix la possibilitat de fitxar un límit mínim i màxim pel valor de temperatura el qual pot ser ajustat numèricament. Per a les temperatures que estiguin dins d'aquest límit, la barra de color es tenyeix de verd, mentre que per a altres valors és torna vermella. El valor mínim i màxim adquirit en la presa de dades s'indica a la pantalla, i també, la temperatura interior del piròmetre.

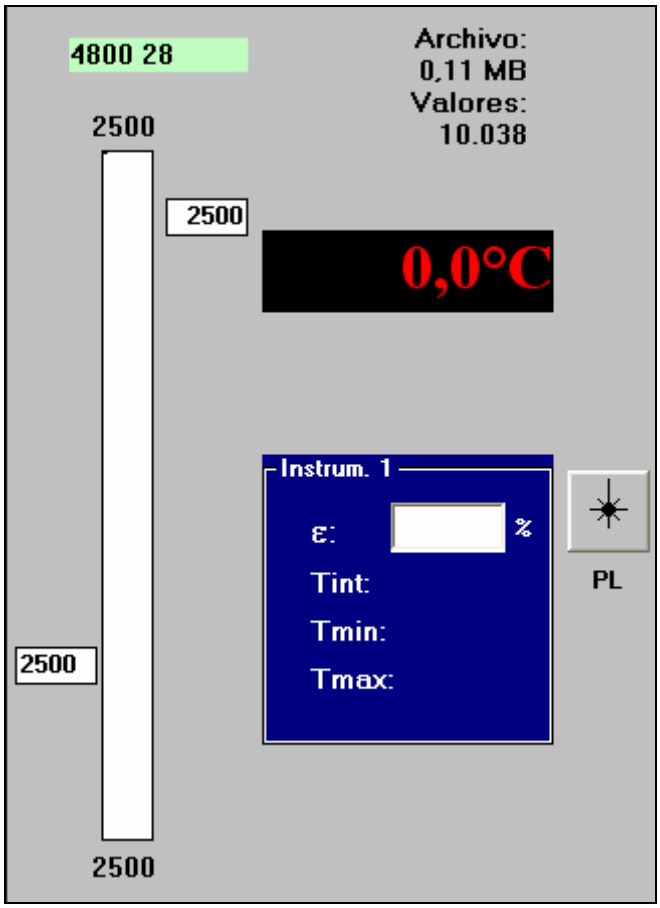


Fig. 25.- Pantalla de visualització, en format de barra de color, de les dades que es vagin adquirint..

La comunicació entre el sensor i l'ordinador es fa mitjançant l'interface RS-232, la selecció del port sèrie d'entrada / sortida d'informació es pot designar a través d'aquest software.

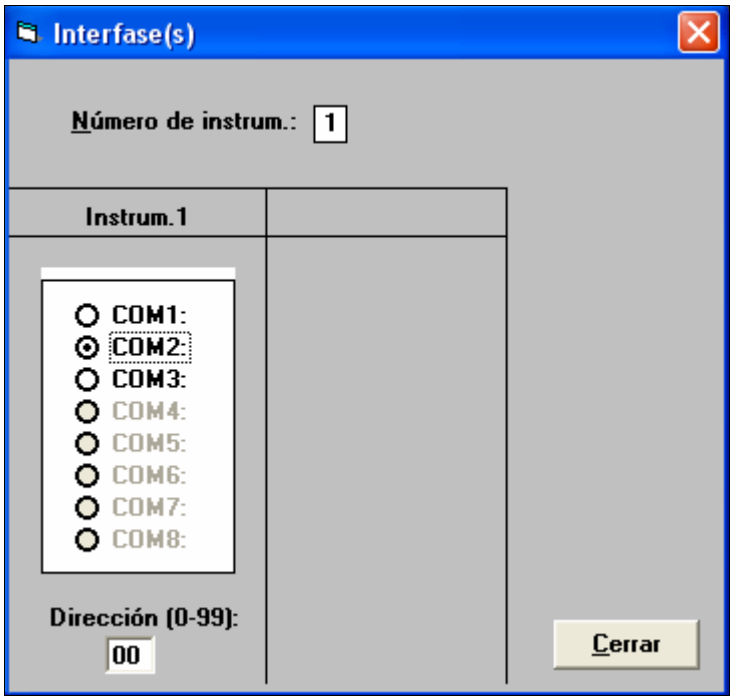


Fig. 26.- Pantalla d'assignació del port sèrie que utilitza el sensor.

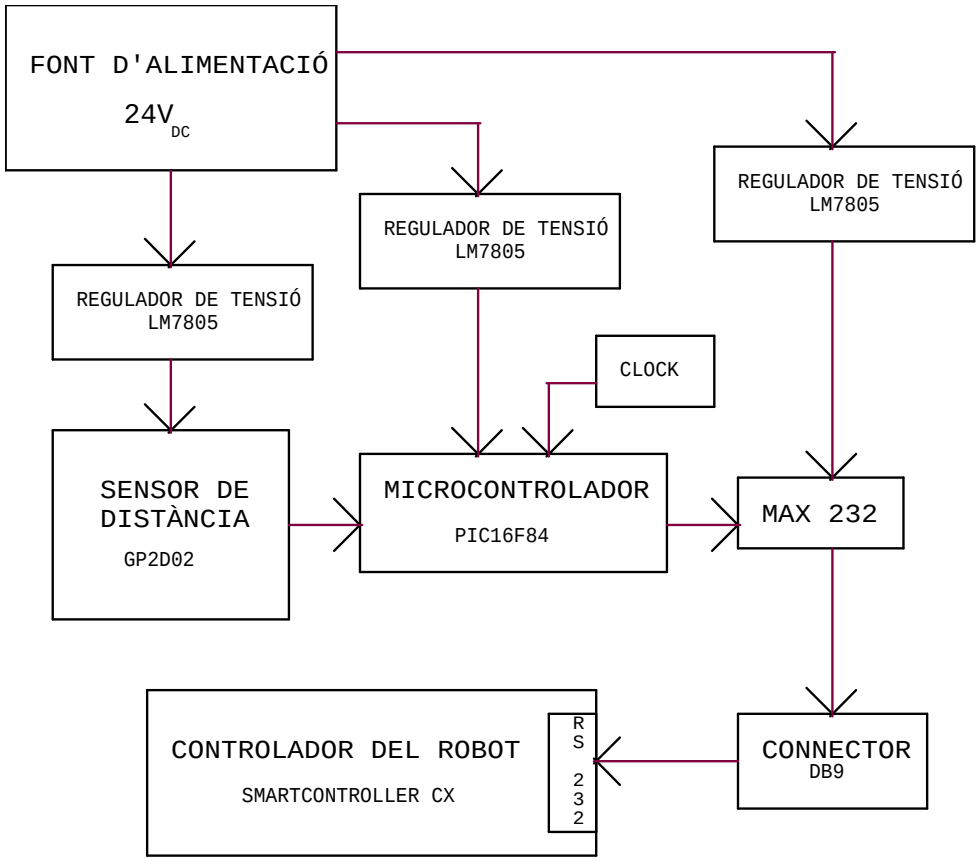
Les característiques més destacades d'aquest software són les següents:

- Ajustament i control estacionari de tots els paràmetres del piròmetre digital a través de l'ordinador.
- "Display" de temperatura amb barres de colors i gràfics "online".
- Avaluació i recull de les dades adquirides mitjançant taules, gràfics o arxius de text.
- Càlcul de la mida de la mostra en diferents distancies de mesura.
- Detecció automàtica del piròmetre digital.
- Disponibilitat de fer mesures consecutives a intervals de temps.
- Selecció del port sèrie d'entrada / sortida de la informació.

3.2.2. Sensor de distància

En aquest projecte es necessària la utilització d'un sensor de distància per saber quin espai hi ha entre el sensor tèrmic i la pell, per tal de que les mesures de temperatura que recull el sensor tèrmic siguin el més precises i fidels possibles i, a la vegada, per a evitar les possibles col·lisions de l'aparell amb la zona corporal que s'estigui examinant.

A continuació, es detalla la representació en diagrama de blocs del procés de mesura de la distància.



Aquest sensor de distancia és del tipus infraroig, capaç de focalitzar i retornar una mesura de distancia força exacte, amb un marge d'error d'uns pocs mil·límetres.

Per a poder transmetre la variable adquirida des del sensor de distancia al controlador, s'ha incorporat al disseny un microcontrolador, el qual s'ha programat per adquirir i

enviar les dades de mesura a través de una interface RS-232 cap al controlador del robot, el qual serà l'encarregat de gestionar i controlar tota l'operació.

3.2.2.1 Característiques tècniques, funcionament i muntatge

Per a la realització de la mesura de distància en aquest projecte s'ha elegit el model GP2D02, que és un dispositiu de reflexió per infraroig amb mesurador de distancia proporcional a l'angle de recepció del feix de llum que incideix en un sensor lineal integrat, i que té la sortida digital.

Aquest sensor d'infraroig ha estat fabricat per l'empresa SHARP i, la raó principal, per la que s'ha triat aquest en concret es perquè reuneix totes les qualitats que resulten indispensables per al bon funcionament de l'escàner de pell i, a més, el seu preu es força acceptable.

Els sensors de distància Sharp GP2D02 són de la família de sensors infrarojos per a la detecció d'objectes en un rang força ampli, el seu rang de treball és de 100*mm* a 800*mm*, oferint inclòs la informació força exacta de la distancia a la que es troba l'objecte. Per tant, per aquest projecte el rang de mesura de que disposa el sensor GP2D02 és òptim i es podrà utilitzar sense cap problema.

Per tal de poder mesurar la temperatura de manera correcta és necessari saber, en tot moment, a quina distancia del sensor tèrmic està l'àrea de la pell que es vol escanejar. Per aquesta raó, es col·loca aquest sensor de distància, fitxant una distància concreta que sigui òptima pel sensor de temperatura i anar mesurant-la periòdicament.

D'aquesta manera, el braç robòtic farà una passada per tota la zona a escanejar abans de començar a mesurar la temperatura, i adquirirà els diferents valors de distancia que hi

hagi entre el sensor de distancia i la pell, agafant mostres cada 2,5*mm*, discretitzant-les amb un marge d'error de ±5*mm* i memoritzant-les.

D'aquesta manera, quan el robot faci la segona passada per mesurar la temperatura només haurà de comprovar si l'eix Z en aquell punt concret ha de pujar, baixar o, simplement, mantenir-se a la mateixa alçada.

En aquest cas, aquesta distancia fixada ve definida pel piròmetre, ja que es vol que la mida de la mostra sigui el més petit possible, concretament 2*mm*, i per tant, entre el sensor de temperatura i la pell hi ha d'haver una distancia de 100*mm*.

Altrament, la distancia entre la pell i el sensor de distància no és la mateixa que pel sensor de temperatura ja que aquest sensor està a una altra alçada. En aquest cas, la única qüestió a tenir en compte és que la distancia que hi ha entre el sensor tèrmic i el sensor de distancia ha de ser coneguda.

Per tant, l'espai que hi ha d'haver entre el sensor de distància i la pell abans de començar a mesurar la variable de temperatura ha d'ésser la suma entre la distància a la que ha d'estar el sensor tèrmic per començar a mesurar la variable de temperatura i la diferencia de mida que hi ha entre el sensor de distància i el sensor de temperatura una vegada col·locats al seu suport.

$$d_{TOTAL} = d_{ST} + (l_{ST} - l_{SD})$$
$$d_{TOTAL} = 100mm + (104{,}5mm - 15{,}4mm)$$
$$d_{TOTAL} = 189{,}1mm$$

Aquesta distància que ha d'haver entre el sensor de distancia i la pell per a donar per bona la posició del sensor tèrmic i poder començar a mesurar la variable de temperatura

és aproximadament 189,1*mm*.

Evidentment, aquest valor s'haurà de mesurar de manera física directament en el dispositiu ja que una vegada implementat l'escàner aquesta distància pot variar uns mil·límetres.

Per poder saber la mida de la mostra s'haurà de tenir en compte l'alçada a la que estarà el sensor en el moment de mesurar. Aquest valor es pot saber observant la gràfica i l'esquema que es mostra a continuació.

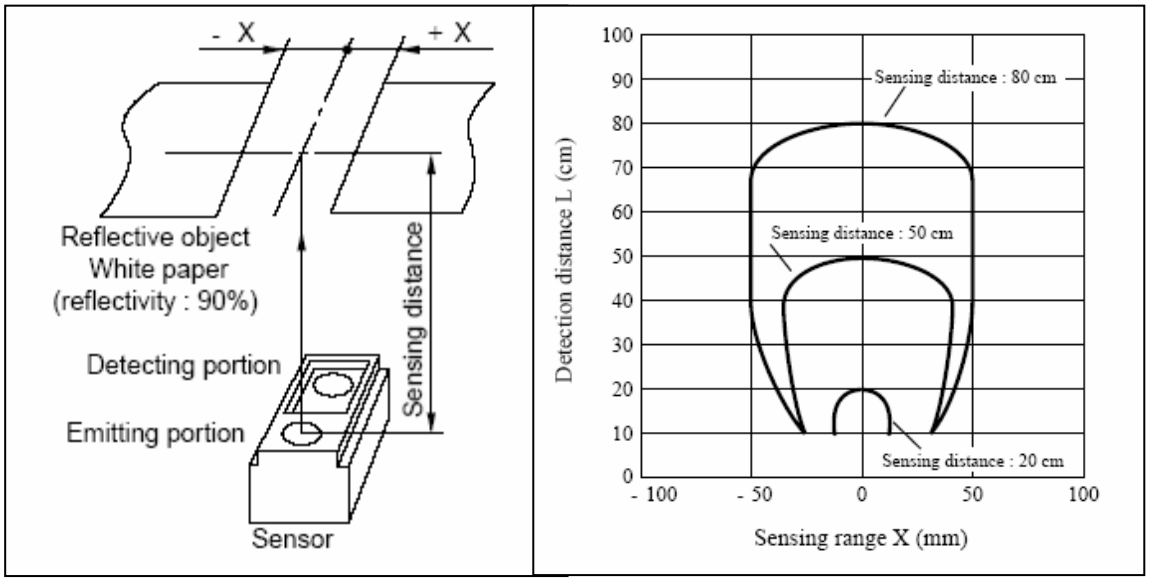


Fig. 27.- Gràfic i esquema que relaciona el valor de la distància mesurada i la mida de la mostra.

Si el valor de la distància entre la pell i el sensor infraroig està proper als 189,1*mm* en el moment de fer la mesura, que és el valor en el que es trobarà el sensor de distància en la majoria de mesuraments, llavors el valor de la mida de la mesura recollida, és a dir, el "spot", serà ±6*mm* aproximadament.

Per contra, quan el sensor mesuri la seva posició en el punt inicial com que aquest estarà més allunyat del valor desitjat, el seu punt de focalització serà més ampli. Per aquesta

raó, si es vol que la presa de mesures sigui més acurada, en aquesta situació s'hauran de prendre al menys dos valors de distància per a aquesta mateixa posició.

En la primera mesura es prendrà la distància des del punt on estigui el robot i es mourà l'eix Z del braç robòtic l'espai que sigui necessari perquè aquest estigui el més a prop possible dels 189,1*mm* que hi ha d'haver entre el sensor de distancia i la pell. Posteriorment, es farà una segona mesura la qual serà molt més dirigida i puntual que al anterior, determinant amb més exactitud la distància real a la pell.

Aquest tipus de sensors es basen en el mètode de triangulació i en un petit array CCD lineal per a determinar la distancia que hi ha als objectes dins al seu camp de visió. La idea bàsica de funcionament és l'emissió d'un pols de llum infraroja mitjançant un led emissor, que passa a través d'una lent que agrupa els raigs de llum formant un únic feix el més concentrat possible per a així millorar la directivitat del sensor.

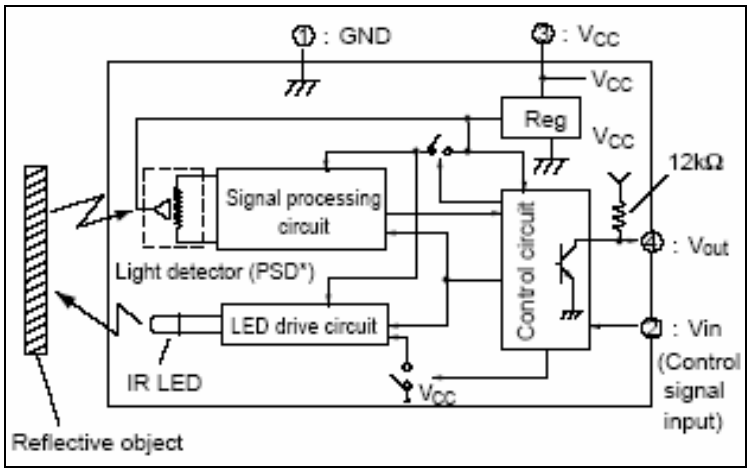


Fig. 28.- Diagrama de blocs intern del sensor GP2D02.

La llum va recta viatjant a traves de l'aire i quan ensopega amb un obstacle, una part d'aquesta llum rebota i retorna amb un cert angle d'inclinació depenen de la distància a

la que es troba el cos, poden saber d'aquesta manera, l'espai que hi ha entre el cos i el sensor. En canvi, si el feix de llum no xoca contra cap objecte, la llum no es reflexa i vol dir que no hi ha cap cos dins al seu camp de visió.

Si no hi ha cap objecte com que la llum no es reflexa mai, el sensor no rep cap senyal i, per tant, al cap de 70*ms* d'espera entén que no hi ha cap cos a prop i ho transmet al microcontrolador. Si per contra, la llum es reflexa, torna al receptor i crea un triangle entre el punt de reflexió, l'emissor i el detector. Els angles d'aquest triangle estan íntimament relacionats amb la distància a l'objecte.

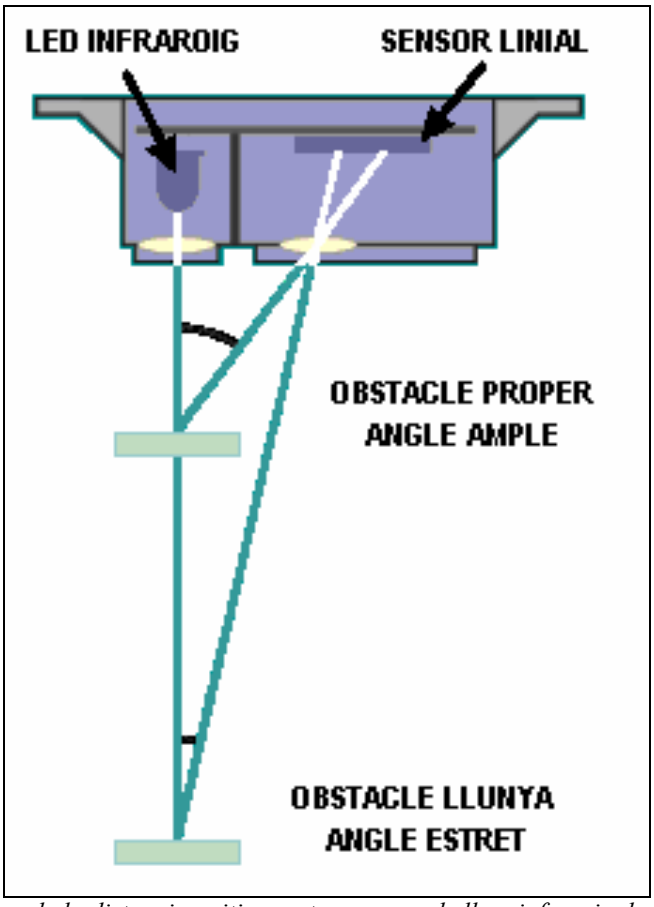


Fig. 29.- Mesura de la distancia mitjançant un sensor de llum infraroja de la sèrie GP2DXX..

El receptor del sensor és una lent de precisió que concentra la llum que ha retornat i transmet aquesta llum reflexa. Aquesta lent esta situada sobre un array de cèl·lules

sensibles a la llum infraroja, i que quan aquests raigs de llum incideixen en el receptor van cap a parts de l'array CCD lineal.

Depenent de l'angle d'incidència del feix, s'activa una o una altra cèl·lula de l'array el que permet estimar la distància a la que es troba el cos, obtenint un valor lineal i proporcional a aquest angle de recepció.

El sensor de distancia GP2D02 només utilitza una línia d'entrada i una altra de sortida per comunicar-se amb el processador central. El seu ús és tan fàcil com enviar un pols baix a l'entrada de control del sensor, esperar 70*ms* i una vegada llegit el valor d'aquesta distancia, enviar al microcontrolador els vuit polsos de rellotge amb la mesura.

A continuació, es pot veure el senyal que es necessari transmetre al sensor, a traves de l'entrada V_{IN}, i el senyal de resposta a través de la sortida V_{OUT} que transmet el sensor al microcontrolador durant tot el procés de lectura.

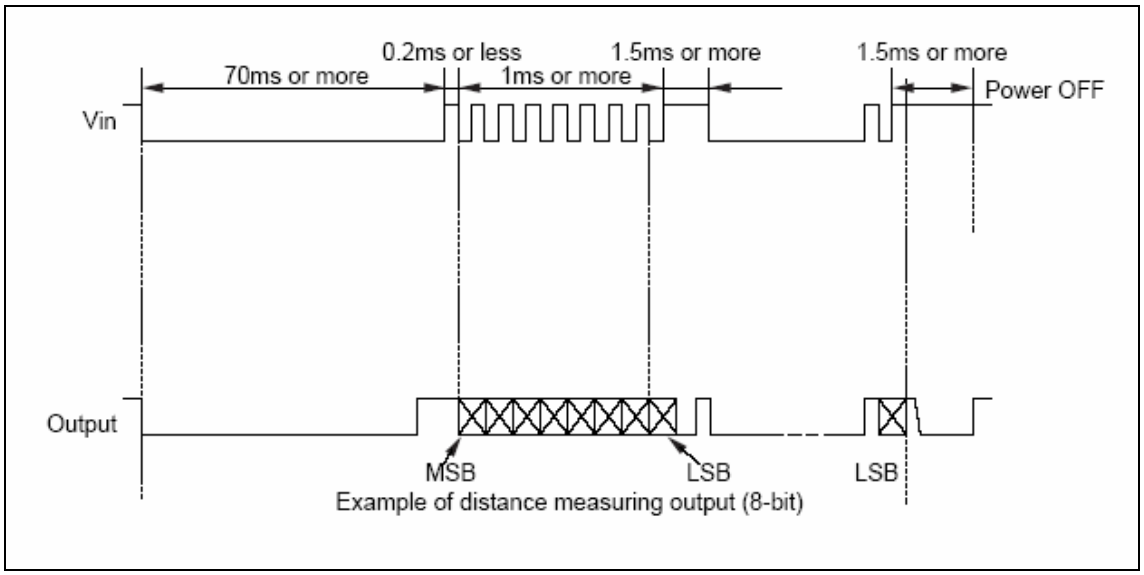


Fig. 30.- Senyal d'entrada V_{IN} i de sortida V_{OUT} que rep i emet el sensor de distància en cada mesura.

L'entrada V_{IN} ha d'estar inicialment a '1' per a mantenir el sensor inactiu, quan la senyal

baixa a '0', el sensor comença l'operació de mesura. El temps d'operació d'una mesura es de 70*ms*, pel que es necessari mantenir a '0' la senyal durant al menys aquest temps. Posteriorment, la senyal passa a '1' durant un període inferior a 0,2*ms* (recomanat 0,1*ms*) i, immediatament, s'ha de tornar a posar a '0'. En aquest flanc de baixada, el sensor posa a la sortida V_{OUT} el bit més significatiu del byte corresponent a la distància. Si es repeteix aquesta senyal quadrada set vegades més, s'obté el byte amb la distància mesurada, l'últim bit donat és el menys significatiu. Una vegada rebut l'últim bit (vuitè flanc de baixada), s'ha de tornar a posar l'entrada V_{IN} a '1', mantenint-la així fins a necessitar realitzar una altra nova mesura. Si es vol realitzar mesures consecutives, es necessari esperar amb l'entrada V_{IN} a '1' al menys 1,5*ms* abans de la següent mesura. Per tant, el temps mínim òptim que hi haurà per a realitzar tot un cicle de mesura serà de 73.8*ms*.

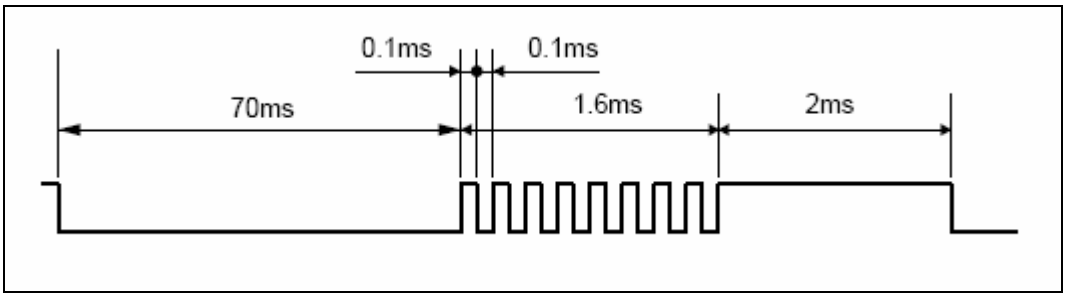


Fig. 31.- Temps mínim òptim que hi ha per a realitzar tot un cicle de mesura.

Aquest sensor té un consum global força baix ja que fa mesures puntuals i no continues, cosa que vol dir que quan està en funcionament el seu consum màxim és de 35*mA*, però quan està en repòs, que és tot sovint, el seu consum màxim és molt baix, de tant sols 8μ*A*.

El temps que està en pausa és elevat, per exemple, quan es mesura la temperatura el

sensor de distancia no està en funcionament, estalviant d'aquesta manera una potencia innecessària.

La sortida del sensor de distancia no es lineal respecte a la distancia mesurada, per aquesta raó, s'ha de fer uns càlculs per a poder saber la mesura de la distancia a la que realment està el cos, en mil·límetres. La relació que hi ha entre el valor mesurat i el real es pot apreciar a la gràfica que es mostra a continuació.

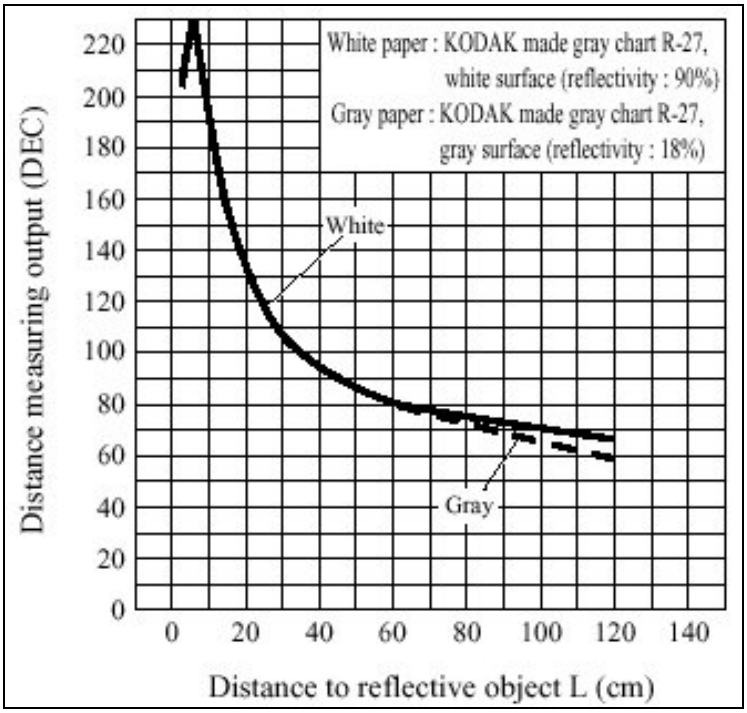


Fig. 32.- Relació entre la distancia donada pel sensor (DEC) i la distancia real (L).

El byte amb la distancia mesurada no es correspon amb la distància real, sinó amb el valor del DEC, eix Y de la gràfica anterior. Si s'obté el valor de l'eix X de la gràfica corresponent al valor del DEC mesurat, s'obté la distància real, L.

De totes maneres, aquest sistema no és eficient a l'hora d'implementar-lo al controlador. Per a aquesta raó, existeix una altra solució molt més efectiva. Es tracta d'implementar la fórmula que relaciona el DEC amb L:

$$DEC = \frac{1560}{(L + 0{,}5)} + C$$

La constant *C* s'ha de calcular, per això, es necessari situar un obstacle a una distancia coneguda i realitzar una mesura amb el sensor. Amb el valor del *DEC* obtingut i el valor de *L* que es coneix, s'aïlla *C* de l'equació, i es calcula. Aquest valor es pot utilitzar en els posteriors càlculs de *L* a partir del *DEC* obtingut en cada mesura. Aquest sistema permet caracteritzar el sensor i evitar possibles errors, i així cada sensor tindrà el seu propi valor de *C*.

El model de sensor GP2D02 precisa d'un connector de quatre cables, que es coneix per les inicials JST (Japan Solderless Terminal). Aquests quatre cables que s'han de connectar són: GND (massa), V_{IN} (entrada de rellotge), V_{CC} (tensió d'alimentació) i V_{OUT} (sortida al PIC), que es poden identificar d'esquerra a dreta, si es posa el sensor en posició horitzontal amb la cara on esta escrit el model cap a davant, tal i com es mostra a la figura següent.

Fig. 33.- Posició horitzontal del sensor per a la identificació de les seves connexions.

El dispositiu s'alimenta posant a +5*V* la pota V_{CC} i a 0*V* la pota GND, evidentment, aquest sensor no pot anar connectat directament a una de les sortides de la font d'alimentació que s'utilitza perquè aquesta font és de +24*V*. Per aquesta raó, s'intercala un regulador de tensió (LM7805) entre la font i el sensor, aquest regulador de tensió dona a la seva sortida una tensió de +5*V* que és la que necessita el sensor de distancia GP2D02. Al mateix passarà amb el microcontrolador (PIC16F84) i l'interface de

connexió RS-232 (MAX232) ja que també precisen d'una tensió d'alimentació de $+5V$.

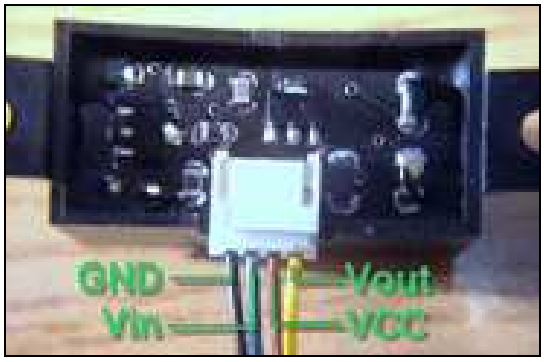


Fig. 34.- Connexió del sensor GP2D02.

El pin V_{OUT} del sensor de distància és la sortida de dades via sèrie que va al microcontrolador, i el pin V_{IN} es l'entrada del sensor de distància, amb la que es controla el inici del funcionament del sensor.

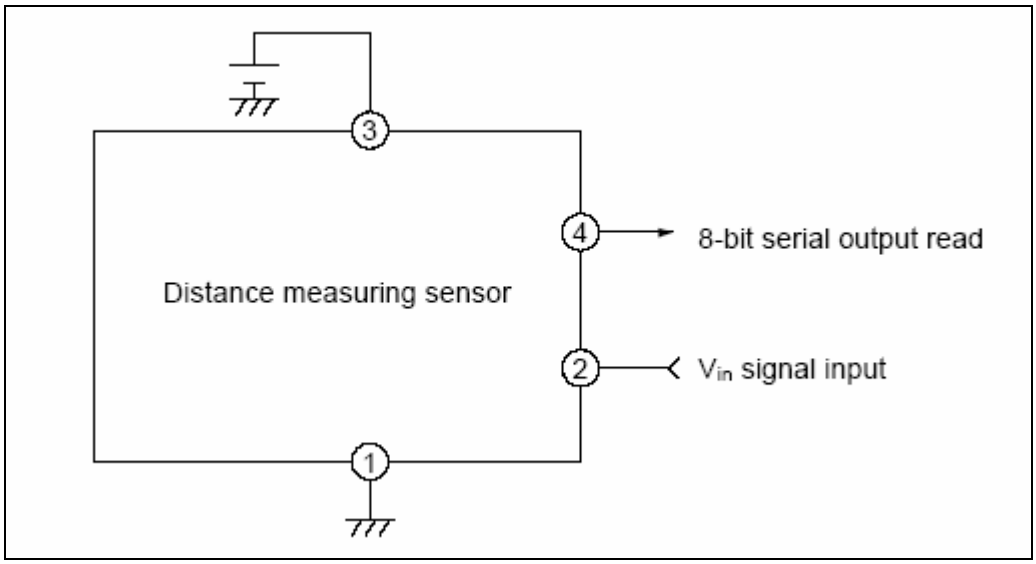


Fig. 35.- Esquema de les connexions de les diferents entrades i sortides del sensor de distància.

Aquest sensor de distància té unes seves dimensions força reduïdes, la seva longitud és de 45*mm*, l'amplada de 14*mm* i l'alçada de 15,4*mm*.

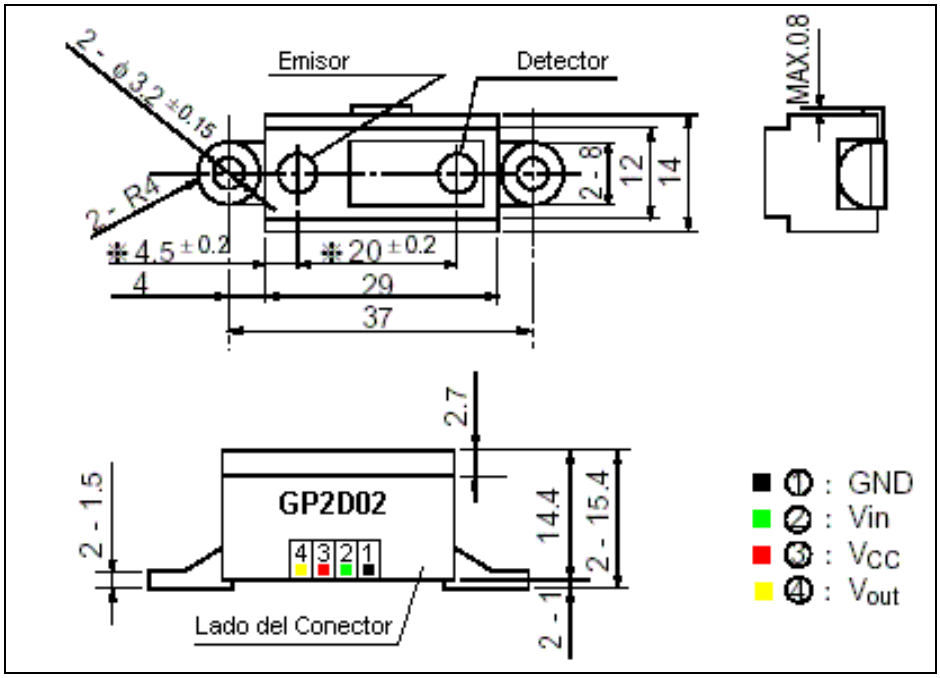


Fig. 36.-Dimensions i connexions del sensor de distància GP2D02.

El sensor de distància ha d'enviar les dades de les mesures al controlador del robot manipulador per a poder emmagatzemar-les, de manera que, quan el sensor de temperatura hagi de fer una mesura, abans de realitzar-la, pugui consultar les dades de distància emmagatzemades i d'aquesta manera, saber a quina distància de la pell està i si aquesta distància no és adequada ($\Delta Z \neq 0$) s'haurà de moure l'eix Z del braç robòtic el valor de ΔZ.

Per aquesta raó, el sensor de distància precisarà d'un sistema que controli tot aquest procés de realització de mesures, precisant d'un mecanisme adequat per a poder enviar al controlador del robot Scara totes les dades que hagi anat recollint.

Per aquest afer, s'utilitzarà un microcontrolador i una interface de connexió RS-232 entre el sensor i el sistema robòtic. Aquest circuit complementari s'encarregarà

d'adequar la senyal per a poder enviar del sensor al controlador les dades recollides i, també, per a poder transmetre les ordres que genera el controlador cap al sensor.

El model GP2D02 es força senzill d'utilitzar una vegada s'ha desenvolupat una subrutina capaç de generar la senyal V_{IN}. Els resultats obtinguts son sorprenents i encara que la precisió de la mesura depèn de molts factors (factor de reflexió de l'objectiu, una bona implementació de la fórmula, etc.), es pot considerar que la qualitat del sensor es molt bona.

En aquest model de sensor es pot considerar com a possible defecte el temps que es triga en realitzar una mesura, encara que en el nostre cas no representa cap problema perquè entre dintre dels marges permissibles.

Una avantatge del sensor de distancia GP2D02 es que només mesura quan es necessari i, per tant, es pot controlar millor el seu consum ja que quan no esta actiu aquest es molt reduït.

En conclusió, per a la implementació d'aquest sensor de distància s'hauran d'utilitzar, principalment, dos dispositius complementaris. En primer lloc, un microcontrolador que controli l'adquisició de les mesures de distància, el model que es fa servir és el PIC16F84. I en segon lloc, una interface de comunicació entre el microcontrolador i el controlador del robot manipulador, la qual serà de tipus RS–232.

Les característiques bàsiques més destacades que té el sensor d'infraroig GP2D02 són les següents:

- Rang de mesura: 100*mm* a 800*mm*.

- Temps mínim òptim d'un cicle de mesura: 73,8*ms*.
- Tensió d'alimentació: +5V_{DC} (regulador de tensió LM7805)
- Intensitat de corrent màxima: Mode ON ~35*mA* , Mode OFF ~8μ*A*.
- Activació de la lectura de la distancia mitjançant rellotge extern.
- Mode de funcionament amb lògica negativa.

3.2.2.2 Microcontrolador

Un microcontrolador és un circuit integrat programable que conté molts els components d'una computadora. S'utilitza per a controlar el funcionament d'una tasca determinada i, degut al seu reduït format, acostuma a anar incorporat al propi dispositiu que governa.

El microcontrolador en la seva memòria acostuma a residir un programa destinat a governar una aplicació determinada, les seves línies d'entrada/sortida suporten les connexions dels sensors i actuadors del dispositiu a controlar i tots els recursos complementaris disponibles tenen com a única finalitat atendre els seus requeriments. Un cop programat i configurat el microcontrolador només serveix per a governar la tasca assignada.

Un microcontrolador posseeix forces components d'una computadora, però amb unes característiques fixes que no poden alterar-se. Les parts principals d'un microcontrolador són:

- Processador.

- Memòria no volàtil per a contenir el programa.
- Memòria de lectura i escriptura per a guardar les dades.
- Línies d'entrada/sortida per als controladors de perifèrics.
- Recursos auxiliars.

Existeixen al mercat un tipus de microcontroladors molt populars als quals no se'ls pot afegir res, porten totes les seves parts integrades en un circuit que no és ampliable. Aquest tipus de microcontroladors són els anomenats PIC.

Els microcontroladors PIC destaquen per:

- Facilitat de maneig.
- Bona informació disponible.
- Cost comparativament inferior al de la resta de microcontroladors.
- Relativament elevada velocitat de funcionament.
- Joc d'instruccions reduït.
- Disseny ràpid.
- Programes compactes.
- Gran varietat de models.

Existeix una gran varietat de models de microcontroladors PIC, per a la realització d'aquest projecte s'ha triat, uns dels PIC més conegut i utilitzat, el PIC16F84.

El PIC16F84 és dels microcontroladors més petits de la seva família i s'ha triat perquè és pràctic, senzill i econòmic. A més, disposa d'un pin en col·lector obert, és el pin 4 del port A (RA4), el qual anirà connectat a l'entrada V_{IN} del sensor de distància, facilitant d'aquesta forma el seu muntatge.

Aquest model de PIC posseeix 1*k* de paraules de 14*bit* cada una del tipus *Flash*. Aquest tipus de memòria és elèctricament gravable i amb capacitat d'esborrar-se, el que permet escriure i esborrar el programa sota prova mantenint el microcontrolador en el mateix sòcol i utilitzant el mateix dispositiu per a gravar i esborrar. La memòria Flash és més ràpida i té un consum menor que la memòria EEPROM, no obstant, la EEPROM és capaç de suportar 1000000 de cicles d'escriptura/esborrat, davant dels 1000 de la Flash.

De totes maneres, per aquesta aplicació concreta el microcontrolador no necessitarà tenir tanta capacitat per suportar tants cicles d'escriptura – esborrat del programa del microcontrolador ja que un vegada dissenyat i implementat el software del microcontrolador no s'haurà de tornar a modificar, per tant, serà suficient amb els cicles que permet la memòria Flash.

Una altra avantatge del PIC16F84 en quant a simplificar el procés d'escriptura, esborrat i reescriptura de programes, tan necessari en la fase de disseny, és el seu sistema de gravat de dades, que es realitza en sèrie. Per a escriure un programa a la memòria s'envia la informació en sèrie utilitzant només dues potes: la RB6 (CLOCK INPUT) per al senyal de rellotge i la RB7 (DATA INPUT/OUTPUT) per als bits de dades en sèrie.

A continuació es mostren les característiques principals del PIC16F84:

- Memòria de programa, FLASH: 1*k* x 14*bit*.

- Memòria de dades, RAM: 68 *byte*.
- Memòria de dades, EEPROM: 64 *byte*.
- Encapsulat: 18 potes, de plàstic DIP.
- Línies d'E/S digitals: 13 (5 port A i 8 port B).
- Tensió d'alimentació (V_{DD}): $2V_{DC}$ a $6V_{DC}$.

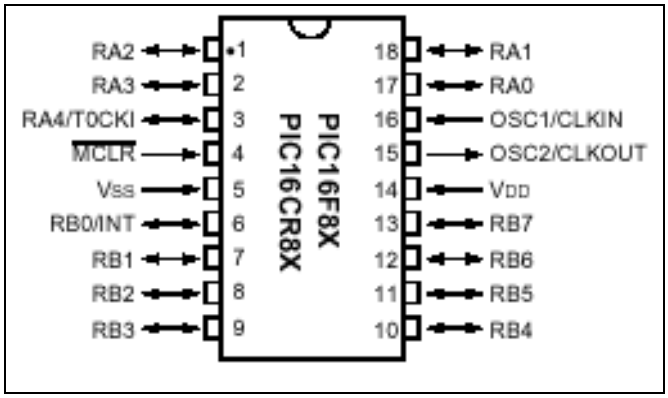


Fig. 37.- Diagrama de pin del PIC16F84,.

El PIC16F84 disposa de 18 potes que es connecten als dispositius d'entrada i sortida. Per a alimentar el microcontrolador es disposa de dos pins, V_{DD} (tensió d'alimentació positiva) i V_{SS} (tensió d'alimentació negativa). Com que el PIC ha d'anar alimentat a $+5V$, connectarem la pota V_{DD} a $+5V$, tensió que subministra la font d'alimentació gràcies al regulador de tensió LM7805, i la V_{SS} a terra.

Per a fer funcionar el PIC i marcar una freqüència de funcionament, es necessita la connexió d'un oscil·lador extern. S'utilitza un oscil·lador del tipus XT a una freqüència de $4MHz$. Aquest tipus d'oscil·lador va connectat a les potes 16 (OSC1/CLKIN) i 15

(OSC2/CLKOUT) del microcontrolador.

Per a que no es pugui produir un *reset* a causa d'interferències, es connecta la pota 4 ($\overline{MCLR}$) a una tensió de +5V.

El microcontrolador ha d'intercanviar informació amb el sensor de distancia, aquest dispositiu ha d'anar enviant els polsos de rellotge perquè el sensor retorni els bits en sèrie resultat de la presa de la mesura.

Per a poder seleccionar el sensor i enviar-li els polsos de rellotge necessaris per a poder realitzar la mesura es connecta l'entrada V_{IN} a la pota RA4 del microcontrolador (bit 4 del Port A). El sensor de distancia li retornarà els vuit bits sèrie amb el valor mesurat a través de la sortida V_{OUT} del sensor a la pota RA3 del microcontrolador (bit 3 del Port A).

L'interface de connexió entre el microcontrolador i el controlador del robot manipulador es realitza mitjançant el dispositiu MAX232. La pota T1IN del MAX232 es connecta a la pota RB4 del PIC (bit 4 del port B) i el T1OUT del MAX232 a la pota RB5 del microcontrolador (bit 5 del port B).

Les potes restants del microcontrolador es deixen a l'aire, no es connecten. Aquestes potes corresponen als bits 0, 1 i 2 del Port A i als bits 0, 1, 2, 3, 6 i 7 del port B.

3.2.2.3 Interface RS-232 per connexió amb el PC

La recomanació RS-232 fou publicada per l'EIA el 1969, les lletres RS signifiquen *Recomended Standard*, el número 232 és un número d'identificació.

La RS-232 defineix la interfície entre l'equip terminal de dades DTE (*Data Terminal Equipment*) i l'equip de comunicació de dades DCE (*Data Communication Equipment*).

La RS-232 s'aplica a les comunicacions binàries en sèrie entre DTE i DCE, amb velocitats inferiors a 20000*bit/s*, per tant, els 19200*bit/s* és la velocitat més gran normalitzada a la que pot aplicar-se la recomanació RS-232. En el present projecte la velocitat utilitzada per a la transmissió de dades és de 19200*baud* i, en conseqüència, és inferior a la màxima permesa.

Des del punt de vista mecànic les característiques del connector associat són definides a la norma ISO 2113. El DCE ha de portar un connector femella i el DTE un connector mascle. Per tant, el cable de interconnexió ha de portar connector mascle a un extrem i femella a l'altre.

En quan al cable, les normes especifiquen un cable amb una capacitat distribuïda màxima de 2500*pF*, aquesta capacitat és la que limita el temps de pujada del senyal. La norma limita el temps que pot romandre a la regió indefinida, quan el senyal passa de 0 a 1 o al inrevés, a un 4% del temps de bit. Aquest requeriment és el que posa un màxim a la capacitat distribuïda del cable, com que normalment els cables que s'utilitzen a la RS-232 tenen una capacitat distribuïda de 130*pF/m* a 170*pF/m*, la longitud del cable està limitada a 15*m*.

Les característiques elèctriques dels senyals que es requereixen pel procés són les següents:

- Una línia per a la transmissió i una altra per a la recepció, referides a una única

línia de massa (Senyal Single Ended).

- En el transmissor el '1' lògic es transmès mitjançant una tensió de línia entre $-5V$ i $-15V$ i, el '0' lògic es transmet amb una tensió entre $+5V$ i $+15V$.
- En el receptor és entès com '1' lògic tota aquella tensió compresa entre el rang de $-3V$ i $-15V$ i, com '0' lògic els nivells de tensió compresos entre $+3V$ i $+15V$.
- Hi ha d'haver només un transmissor i un receptor per línia de comunicació.

El problema més important de la RS-232 es troba en que s'utilitza una massa comú per a tots els senyals o fils de cable. Aquest mètode, denominat transmissió no equilibrada, presenta un mal funcionament quan hi ha diferències de potencial entre els dos extrems del cable existint la possibilitat de que s'interpreti malament el senyal.

Les entrades i sortides del microcontrolador PIC tenen un nivell de tensió TTL, per a la transmissió sèrie de les dades es necessiten els nivells de tensió que especifica la norma RS-232. Per tant, s'han de condicionar aquests nivells de tensió i passar-los de TTL a RS-232 i a l'inrevés.

El MAX232 de la casa MÀXIM disposa de dos canals d'entrada i de dos canals de sortida per als nivells TTL, que són el T1IN i el T2IN per a l'entrada del senyal i el T1OUT i el T2OUT, com a sortida del senyal dels quals s'utilitzarà un de cada per a la connexió amb el microcontrolador (T1IN i T1OUT). Igualment, posseeix dos canals de sortida i dos canals d'entrada per als nivells RS-232, que són el R1OUT i el R2OUT, per a la sortida i el R1IN i el R2IN per a l'entrada del senyal que són els que van connectats al controlador del robot, de les quals s'utilitzarà un de cada per a la connexió amb el controlador (R1OUT i R1IN).

Per a alimentar el MAX232 es disposa de dues potes, la V+ (tensió d'alimentació positiu) i la V– (tensió d'alimentació negativa). Com que ha d'anar alimentat a +5*V*, es connectarà la pota V+ a la tensió que subministra la font d'alimentació intercalant un regulador de tensió LM7805 perquè aquesta tensió sigui de +5*V*, i la tensió V– es connectarà a terra.

Una línia de sortida del PIC (TxD), la pota 4 del port B, aplica la informació (TTL) a transmetre per la pota T1IN del MAX232, aquesta informació surt per la pota R1OUT, però convertida a nivells RS-232, enviant-se per la pota 3 (TxD) d'un connector que és estàndard per a les interfaces RS-232 cap al controlador del robot. Aquest connector és de 9pins i s'anomena DB9.

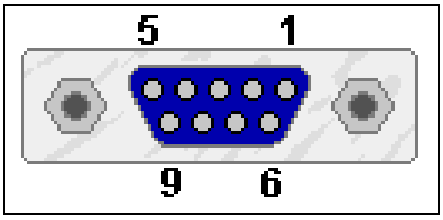


Fig. 38.- Connector RS-232 femella.

La línia d'entrada RS-232 (TxD) correspon a la pota 2 del DB9, la informació que es rep des del controlador s'introdueix per la pota R1IN del MAX232, que la converteix a nivells TTL, i aquesta informació surt per la pota T1OUT a la pota 5 del port B del PIC, per a la transmissió de la informació des del controlador del robot cap al microcontrolador.

A continuació, es mostren les connexions que es realitzen al MAX232, així com els condensadors necessaris per a que realitzi la transformació de nivells de tensió TTL a RS-232 i al invers.

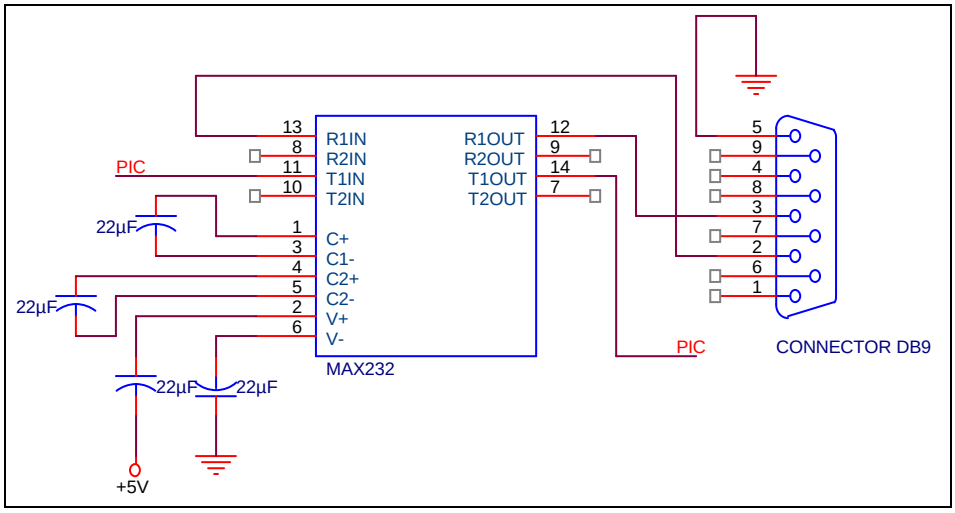


Fig. 39.- Esquema de les connexions del MAX232.

3.2.3. Robot manipulador

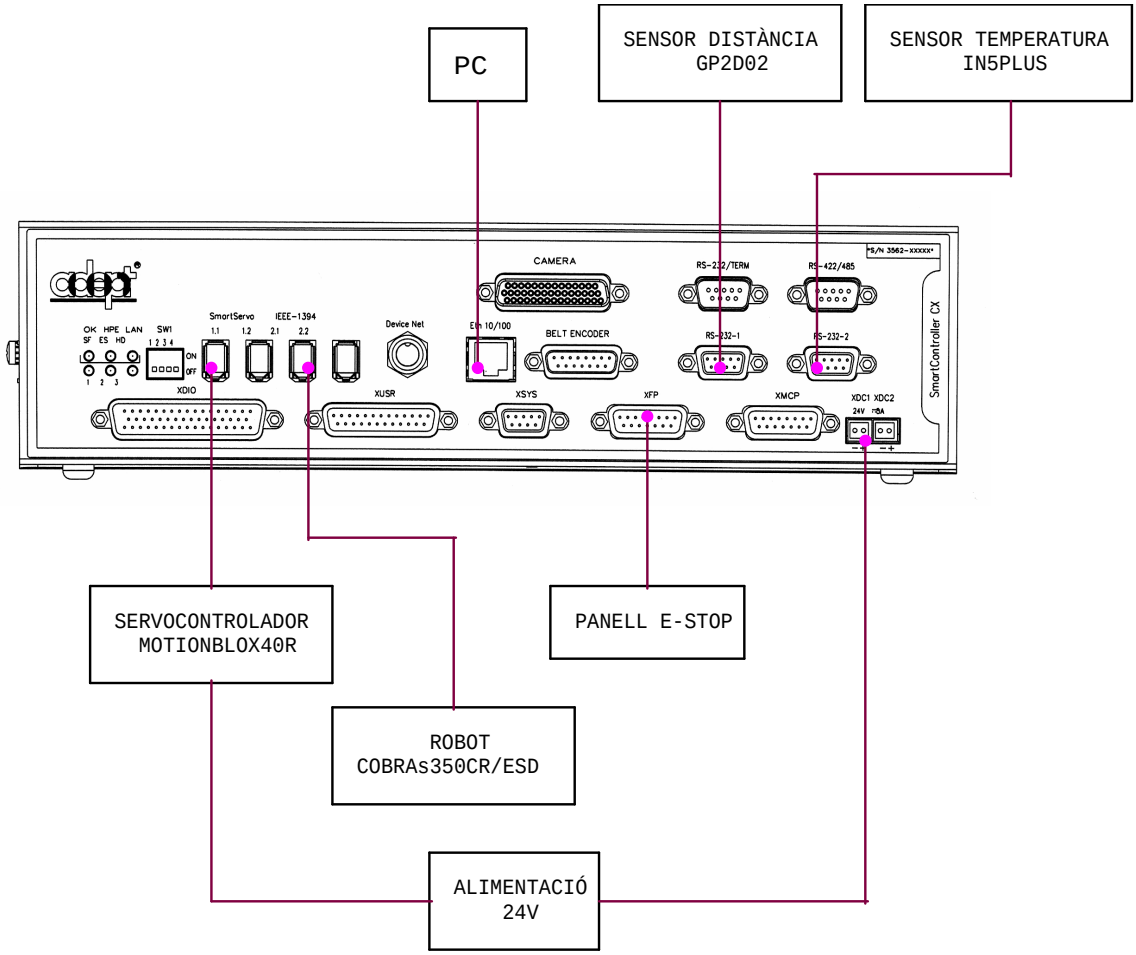
Per a la manipulació de la pinça tèrmica s'utilitza un petit braç robòtic que mou i posiciona aquest escàner de pell.

Aquest robot ha de dur un controlador que dirigeixi i supervisi tot el procés, i que a més, farà de connexió entre el robot, l'escàner de pell i el PC.

La connexió entre el controlador i els sensors de distància i de temperatura és fa a través dels seus ports de sortida sèrie RS-232, per altra banda, la connexió entre el controlador i l'ordinador és fa a través del port de sortida Ethernet.

Per a coordinar tota l'aplicació s'ha dissenyat un programa que realitza tots els processos de mesura de manera automàtica a través d'un software anomenat V+ que és el llenguatge de programació que utilitza el controlador del robot manipulador.

A continuació, es detalla la representació en diagrama de blocs de les connexions necessàries per a realitzar tot el procés de manipulació de l'escàner de pell.



3.2.3.1 Característiques tècniques, funcionament i muntatge

Per a suportar i manipular tot el mecanisme de l'escàner de pell s'utilitza un petit robot de quatre eixos del tipus Scara, més concretament, el Adept Cobra s350 CR/ESD, el fabricant d'aquest robot és l'empresa americana Adept Technology, Inc.

El plantejament inicial per a la manipulació de l'escàner de pell era utilitzar un mòdul lineal de 3 eixos que realitzes tot el procés, ja que, en realitat, tecnològicament el sistema no precisa d'un robot de més de 3 eixos per al seu bon funcionament.

Posteriorment, i després de mantenir diverses converses amb l'empresa que comercialitza els mòduls lineals i els robots de la casa Adept tecnology, es va arribar a la conclusió que aquests tipus de robots en aquesta aplicació concreta serien massa grans i massa pesats, ja que un mòdul lineal de 3 eixos té un pes aproximat de 80*kg*, mentre que el robot Scara que s'utilitza en aquest projecte té un pes de 20*kg*.

Fig. 40.- Imatge del robot Adept Cobra s350 CR/ESD.

La utilització d'aquests mòduls en aquestes condicions resultaria poc practica ja que a part d'ocupar massa espai també faria inviable la possibilitat de poder moure aquest robot mitjançant un carretó mòbil. Això provocaria que les dimensions d'aquest mòdul haguéssim de ser força més grans que les del disseny actual, perquè al no poder moure's

el robot i haver d'estar clavat al terra en una posició fixa, la mida d'aquest hauria de ser més gran per a poder arribar a totes les parts del cos del pacient, encarint d'aquesta manera el cost total del projecte. A més, aquests mòduls tenen unes inèrcies bastant elevades i augmenten si el mòdul és més gran.

Per una altra banda, aquests mòduls lineals són molt més sorollosos que els robots Scara el qual no seria molt adequada si s'hagués d'instal·lar el robot en un hospital o centre sanitari.

A més, el robot Adept Cobra s350 que s'utilitza en aquest projecte posseeix un model que se'n diu Sala Blanca (referència amb les sigles CR/ESD) especialment dissenyat i adaptat per a aplicacions mediques.

Aquest robot ha de dur un controlador que dirigeixi i supervisi tot el procés, i que a més, farà de connexió entre el robot, l'escàner de pell i el PC. Aquest controlador és l'Adept SmartController CX el qual precisa d'una tensió d'alimentació de $+24V_{DC}$ i té un consum màxim de 5A.

Fig. 41.- Controlador del robot manipulador.

La connexió entre el controlador i els sensors de distància i de temperatura és fa a través dels seus ports de sortida sèrie RS-232, els ports són el RS-232-1 i el RS-232-2, respectivament.

La connexió entre el controlador i l'ordinador és fa a través del port de sortida Ethernet, connector que dur el nom d'Eth 10/100.

Les dades de temperatura una vegada adquirides i emmagatzemades seran enviades pel controlador al PC que és el que s'encarregarà de processar-les i tractar-les de la manera més pertinent segons siguin les aplicacions i necessitats del client.

Per a poder realitzar aquesta transmissió es precisa d'un software específic d'Adept Technology que fa d'interfície entre el controlador i el PC, aquest software és el Adept Windows.

El sistema operatiu i el llenguatge de programació que utilitza aquest controlador, el SmartController CX, és el V+. Com a llenguatge de programació és bastant senzill i fàcil d'utilitzar, encara que precisa d'una certa formació, per aquesta raó, s'ha pressupostat un període de formació de vuit hores per a l'aprenentatge de la programació del software V+, que imparteix l'empresa subministradora.

El robot també necessita d'un mòdul anomenat MotionBlox-40R que farà de servocontrolador i d'amplificador per al Cobra s350. Aquest servocontrolador va connectat al controlador SmartController CX mitjançant un dels seus dos ports destinats aquest afer, el SmartServo 1.1. Aquest servocontrolador precisa d'una tensió d'alimentació de $+24V_{DC}$ i té un consum màxim de $6A$.

Fig. 42.- Servocontrolador i amplificador pel Cobra s350 CR/ESD.

El sistema robòtic ha de dur, inevitablement, un panell frontal que dugui una parada d'emergència per tal de poder aturar l'operació de mesura en qualsevol moment.

Fig. 43.- Panell de control del robot.

Aquest panell de control disposa de diferents mecanismes, una parada d'emergència (5) per si de cas es necessària la seva utilització, un boto d'encesa (4) que dona corrent als motors del robot, una clau (3) per a poder indicar el mode de funcionament del robot, de manera manual o automàtica, i un led (2) que indica si el panell de control esta alimentat, és a dir, si rep o no la tensió d'alimentació de +5V que precisa i que li ha de transmetre el controlador.

La connexió del panell de control al controlador es fa a través d'un cable de connexió (1) que subministra el fabricant que va al connector XFP del SmartController.

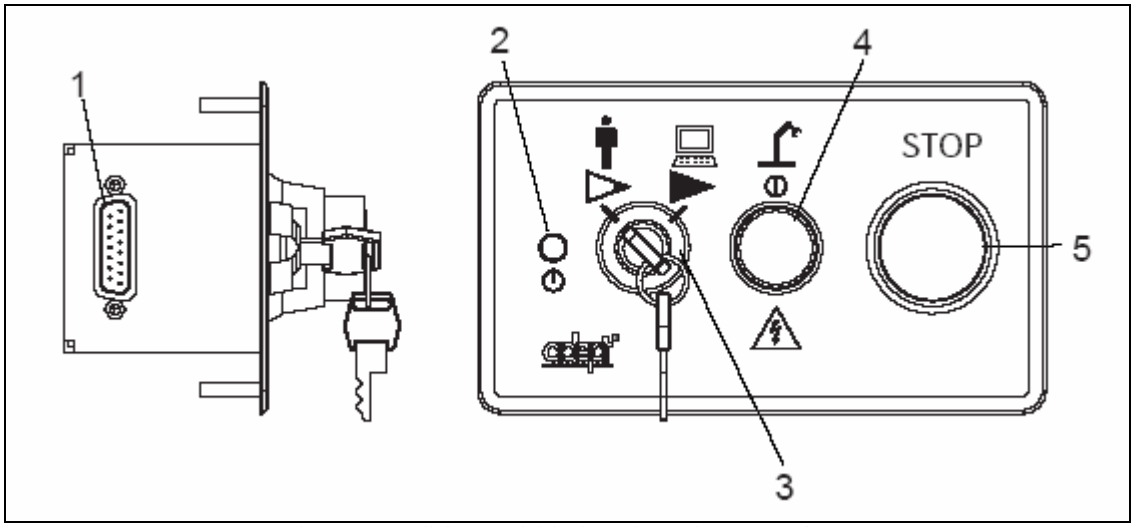


Fig. 44.- Pannell de control del robot Adept Cobra s350 CR/ESD.

Per a alimentar tot aquest mecanisme s'ha d'utilitzar una font d'alimentació adequada a aquests dispositius, ja que el controlador i el servocontrolador precisen d'una tensió d'alimentació en continua de +24*V*. Per a poder satisfer aquestes necessitats el sistema robòtic utilitza una font d'alimentació que dona una tensió continua de sortida de +24*V* que té inclosa el sistema.

3.2.4. Altres dispositius

Aquest robot pesa relativament poc, 20*kg* aproximadament, cosa que facilitat la seva manipulació. Perquè aquest robot no hagi d'estar fix en un mateix lloc s'ha dissenyat un carretó amb rodes el qual dura muntat el robot a sobre seu, i d'aquest manera, facilitarà el seu trasllat i no serà necessari agafar un model de robot més gran i més car per a que poguí tenir accés a totes les parts del cos del pacient.

El robot està pensat perquè una vegada muntat i fitxat a sobre del carretó amb rodes, es poguí moure de banda a banda d'un dels laterals del llit articulat ja que la mida que té

l'eix X del robot és 350*mm*. A més, serà aconsellable que és mogui sempre en un mateix lateral ja que facilita la connexió del cablejat del robot a la xarxa elèctrica. Tanmateix, es podrà moure en qualsevol moment si es precisa la seva utilització en un altre lloc.

El disseny del braç s'ha realitzat així perquè el pes del robot sigui el menor possible per a una millor manipulació manual per part del professional encarregat d'utilitzar-lo i, també perquè el seu preu sigui el més reduït possible. A més, s'ha dissenyat un carretó que pugui plegar el seu braç per tal de fer més adequat el seu trasllat.

Disseny del carró amb el braç estès i amb el braç plegat per al seu trasllat.

El llit que s'haurà d'utilitzar per a la realització de les mesures haurà de ser un llit articulat ja que l'eix Z del robot té un abast de 200*mm* i encara que el carretó té el seu braç articulat no és tant fàcil de regular com un llit.

3.2.5. Font d'alimentació

Tots els dispositius elèctrics que formen el disseny d'aquest projecte precisen d'una tensió d'alimentació que els hi proporcioni energia. El sistema robòtic té la seva pròpia font d'alimentació però els dispositius que formen la part de l'escàner de pell precisen d'una font d'alimentació externa i que serà comuna a tots ells.

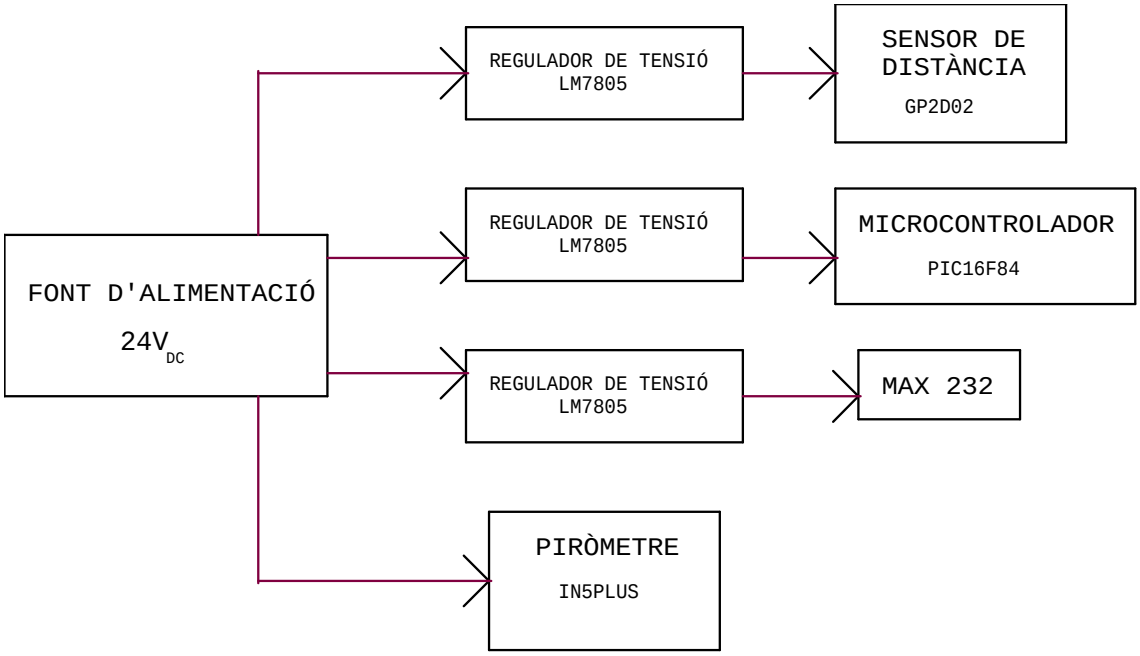
La tensió d'alimentació que precisa el piròmetre és de +24V de tensió continua mentre que la resta de dispositius precisen d'uns nivell de tensió inferiors, per a aquesta raó, s'ha adquirit la font d'alimentació NG 0D que té una tensió de sortida de +24V_{DC}.

Fig. 45.- Font d'alimentació NG 0D.

Aquesta font d'alimentació necessita una tensió alterna d'entrada de +230V, té diverses sortides a +24V per a connectar els diferents dispositius del sistema i el seu consum màxim és de 600mA, el qual serà suficient per a alimentar tot l'escàner.

Evidentment, el sensor de temperatura va connectat directament a una de les sortides de la font però la resta de dispositius tenen que intercalar un regulador de tensió que doni una sortida de $+5V$ que és la tensió d'alimentació que necessiten els altres components, com són el sensor de distancia GP2D02, el microcontrolador PIC16F84 i l'interface de connexió RS-232.

A continuació es pot veure un esquema general dels dispositius alimentats per aquesta font d'alimentació.



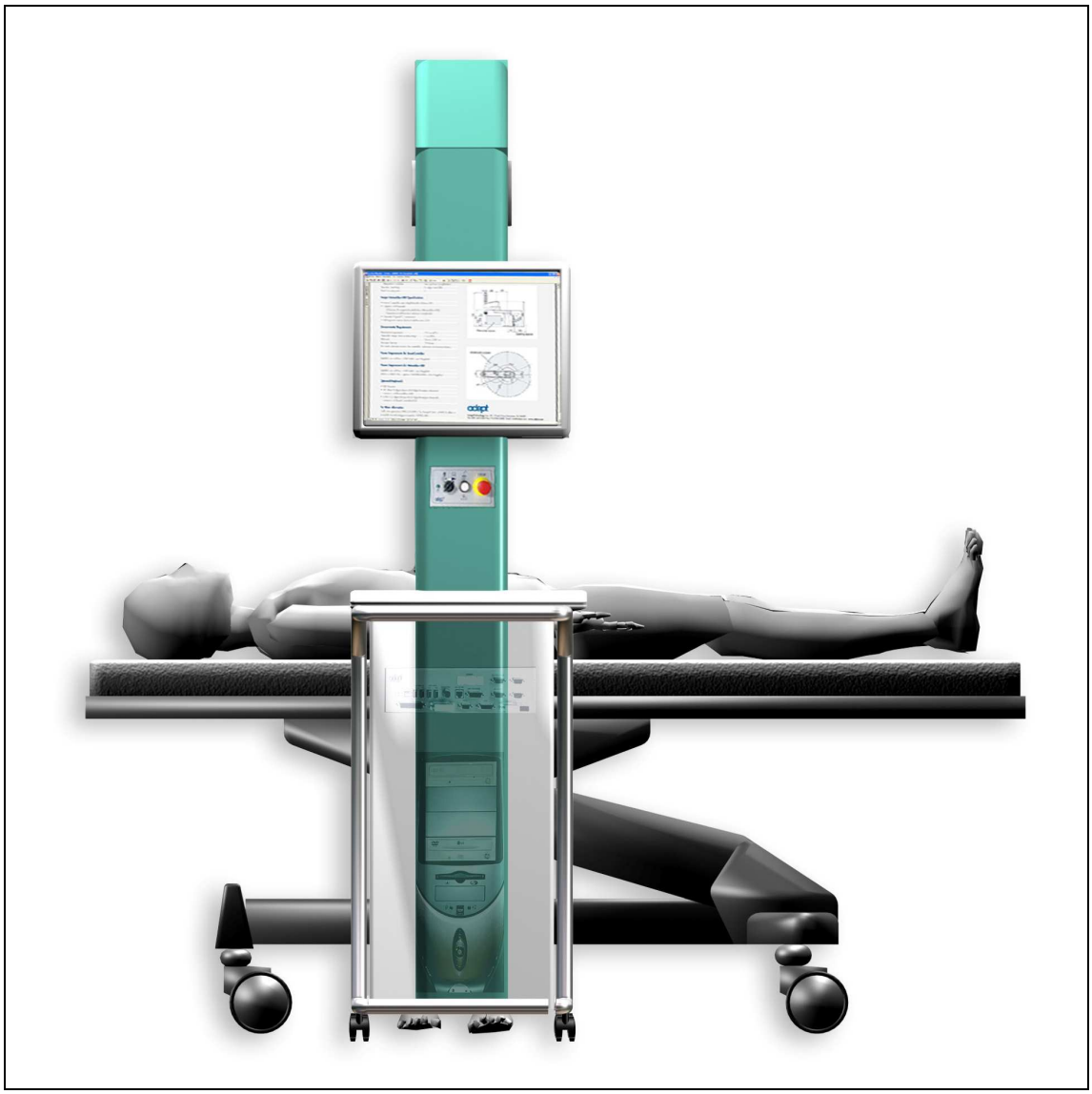
3.3. ESQUEMES GENERALS

3.3.1. Estructura física del sistema

L'estructura física de l'escàner de pell pot ser diversa, fins i tot, pot haver-hi una estructura més senzilla i econòmica, i una altra de més luxosa, depenen de les preferències del client.

A continuació, es mostra un possible disseny del sistema per a l'edició de luxe.

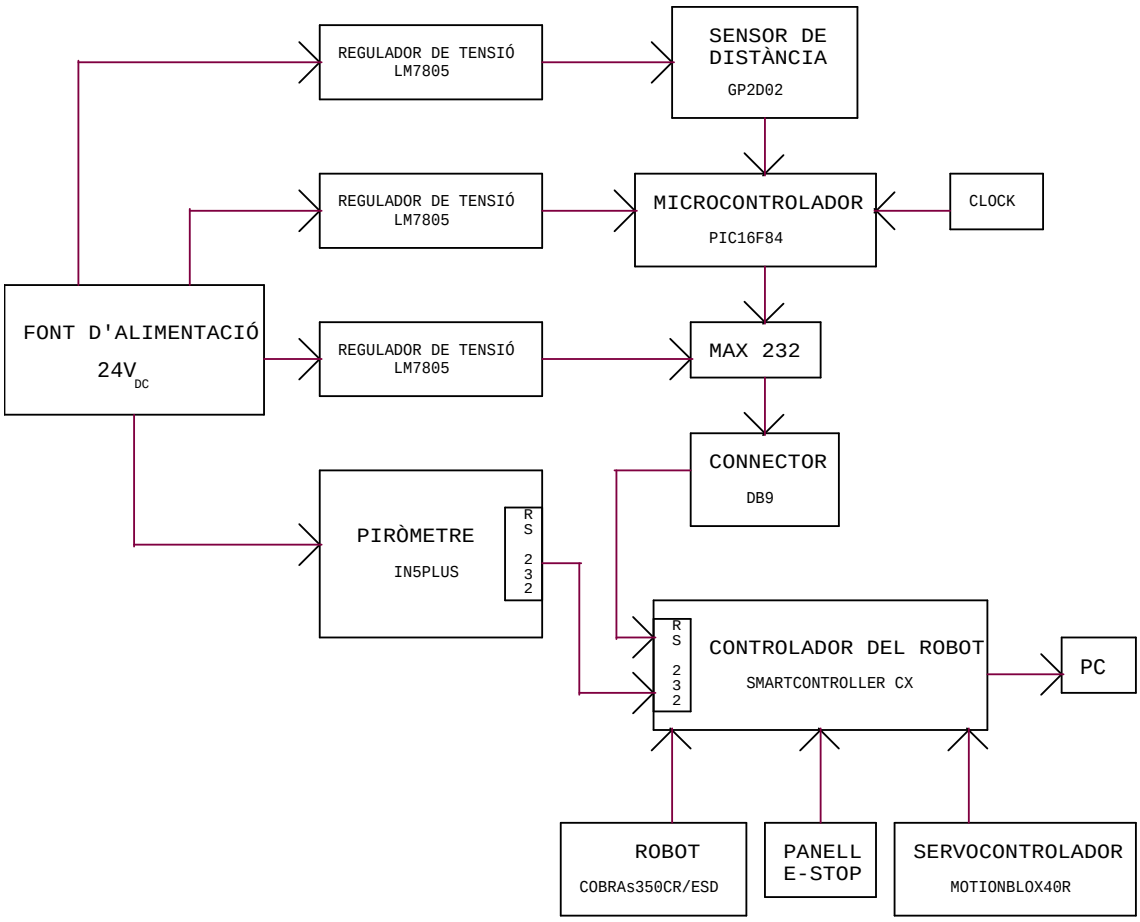
Vista de perfil de l'edició de luxe de l'aparell robòtic.



Vista frontal de l'edició de luxe de l'aparell robòtic.

3.3.2. Esquema detall dels mòduls de Hardware

A continuació, es mostra l'esquema en diagrames de blocs de la part de hardware del sistema dissenyat.



3.3.3. Esquemes detall dels mòduls de Software

3.3.3.1 Software del microcontrolador

Les tasques a realitzar per part del microcontrolador per a la realització d'una mesura de distància es poden resumir, principalment, en dues:

- Obtenció de la variable de distància.
- Enviament de la mesura al controlador del robot.

L'obtenció de la mesura de distancia es realitza cada vegada que el controlador del robot envia una senyal d'inici al microcontrolador. Un cop ha estat feta la lectura de la mesura de la distància, aquesta es enviada al controlador del braç robòtic.

A continuació, tenint present el disseny del mecanisme que s'ha triat, s'indicaran les passes que s'han de seguir per al bon funcionament del dispositiu en l'obtenció d'una variable de distància:

1. Quan s'inicia la presa de mesura l'entrada V_{IN} ha d'estar en repòs, això és, a nivell lògic alt amb el que el diode bloquejarà aquest estat i només quan es posi a nivell lògic baix serà quan el sensor rebi l'ordre de mesurar. Per tant, quan es vulgui iniciar una captura el microcontrolador haurà de posar a nivell lògic baix el pin V_{IN} i mantenir-se en aquest estat baix durant un temps mínim de 70*ms*, quan hagi transcorregut aquest temps, s'ha de tornar a posar V_{IN} a nivell lògic alt.

   Una vegada realitzada aquesta operació, el sensor tindrà la dada llesta per a ser transmesa i com que el bus de sortida es sèrie es té que sincronitzar l'entrada V_{IN}

i la sortida V_{OUT}, per aquesta raó, en cada flanc de baixada de la senyal V_{IN}, el sensor haurà de posar a la sortida V_{OUT} un dels bits a transmetre al microcontrolador, començant pel bit més significatiu.

2. Una vegada passats els 70*ms* i posada l'entrada V_{IN} a nivell lògic alt s'ha d'esperar com a màxim 0,2*ms* per a iniciar el primer flanc de baixada.

3. Posteriorment, s'ha de posar V_{IN} a nivell lògic baix amb el que s'inicia el primer flanc de baixada de la senyal i el sensor ens respon posant el bit de major pes (MSB) a la sortida V_{OUT}.

4. S'ha de llegir el bit carregat a V_{OUT} i emmagatzemar-lo degudament en el bit 7 del registre de 8 bits assignat per a guardar les dades de distància per a completar el byte corresponent.

5. Una vegada guardada aquesta dada s'ha de posar l'entrada V_{IN} a nivell lògic alt durant un temps aproximat de 0,1*ms*.

6. Posteriorment, s'ha de repetir set vegades més les passes que van des del punt 3 al 5 tenint en compte que s'ha de tardar un mínim d'1*ms* en llegir els 8 bits de la mesura ja que si es fa molt ràpid el sensor no respondrà correctament.

7. Una vegada llegits els 8 bits si el sensor encara no esta a la distancia adequada s'haurà de tornar a obtenir una altra variable de distancia, per a això, es tindrà que esperar un mínim de 1,5*ms* per a poder ordenar al sensor que s'activi i realitzi una nova mesura.

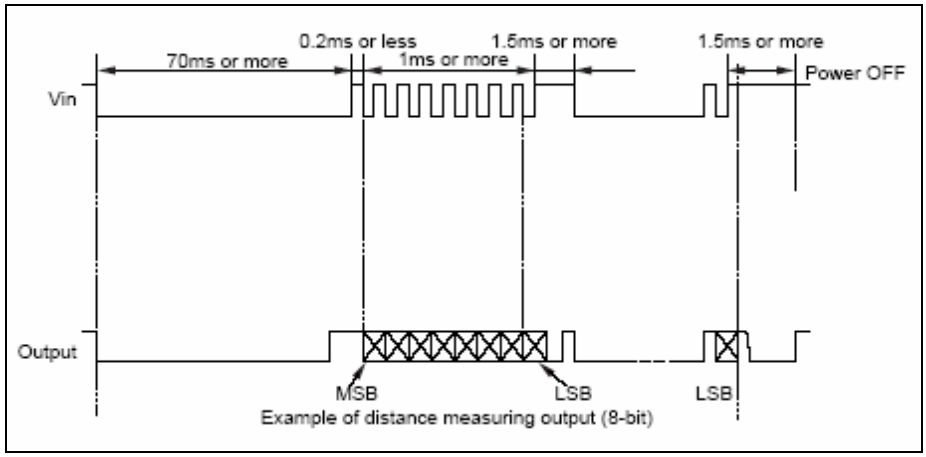


Fig. 46.- Cronograma de la tensió de sortida (V_{OUT}) i de la tensió d'entrada (V_{IN}).

El primer pas per a l'obtenció d'una variable es que el controlador del robot sol·liciti aquesta mesura activant la pota R1IN del dispositiu MAX232. Aquesta demanda serà sol·licitada al microcontrolador el qual serà l'encarregat de controlar tot el procés.

Per a començar la comunicació amb el sensor de distància i poder-li sol·licitar la variable desitjada, el microcontrolador haurà de seleccionar el dispositiu, i per a fer-ho haurà d'enviar un '0' a l'entrada V_{IN} del sensor i mantenir-la així durant un període de 70*ms*. El sensor en rebre aquest senyal a nivell baix començarà a mesurar fins que l'entrada V_{IN} torni a estar a nivell alt.

Per enviar i rebre bits del sensor al microcontrolador i del microcontrolador al controlador del robot s'hauran de realitzar diferents subrutines de retard per a adequar l'enviament o lectura de senyals a les necessitats de cada dispositiu.

A tall d'exemple, a continuació es mostra el diagrama de blocs i el llistat de programa corresponen a la realització de la lectura de la variable de distància i de l'emmagatzematge del primer bit transmès del sensor al microcontrolador.

Aquest bit és el més significatiu, és a dir, el bit 7 del registre DISTANCIA, que és on es guarda la mesura de distància:

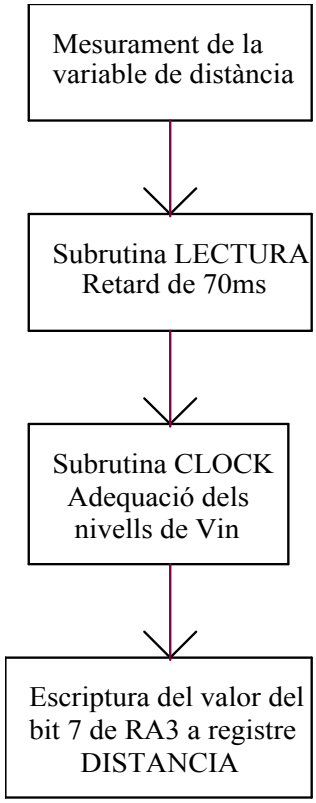


Fig. 47.- Diagrama de blocs de l'obtenció de la variable de distància.

```
;OBTENCIÓ DE LA VARIABLE DISTANCIA

        bsf     PORTA,4         ;Vin a '1'
        call    RETARD1         ;crida subrutina RETARD1 de 1,5ms
        bcf     PORTA,4         ;Vin a '0', sol·licita una mesura
        call    LECTURA         ;crida subrutina LECTURA, retard de 70ms
        call    CLOCK           ;crida subrutina CLOCK
        btfss   PORTA,3         ;explora Vout i salta si val 1
        goto    ZERO7           ;salta a la línia ZERO7
        bsf     DISTANCIA,7     ;posa un '1' al bit 7 de DISTANCIA
        goto    BIT6            ;salta a la línia BIT6
ZERO7   bcf     DISTANCIA,7     ;posa un '0' al bit 7 de DISTANCIA
BIT6    call    CLOCK           ;crida subrutina CLOCK
```

La subrutina LECTURA és, simplement, un retard de 70ms que necessita el sensor per a tenir temps per a adquirir una mesura de distància, mentre que la subrutina CLOCK és per adequar els nivells de l'entrada V_{IN} a les necessitats que té el sensor per a poder col·locar el bit corresponen en la sortida V_{OUT}. A continuació, és mostra aquesta subrutina.

```
CLOCK   bsf     PORTA,4         ;Vin a '1'
        call    RETARD2         ; crida subrutina RETARD2 de 0,1ms
        bcf     PORTA,4         ;Vin a '0'
        call    RETARD2         ; crida subrutina RETARD2 de 0,1ms
        return                  ;torna a on s'ha fet la crida
```

Una vegada emmagatzemats a la memòria de dades (RAM) tots els bits de la variable de distància haurà d'enviar aquesta dada al controlador del robot, a través del dispositiu MAX232.

Abans de començar a enviar les dades de la mesura s'haurà d'enviar pel port de sortida RB4 un bit a '0' que indicarà al controlador el començament de l'enviament (START). Una vegada s'ha finalitzat l'enviament de dades s'haurà d'enviar un altre bit però aquesta vegada a nivell alt, que indicarà la finalització de la transmissió (STOP).

Les dades han d'ésser enviades via sèrie, seguint el protocol RS-232, per a que això sigui possible s'han d'adequar les tensions i el nombre de bits enviats per segon a la norma. L'adequació de les tensions, es realitza mitjançant el MAX232 i l'adequació del temps entre bit i bit transmès es fa mitjançant retards.

Les dades han de ser enviades bit a bit, a continuació es mostra el diagrama de blocs i el llistat de programa de l'enviament d'un bit de la variable de distància emmagatzemada:

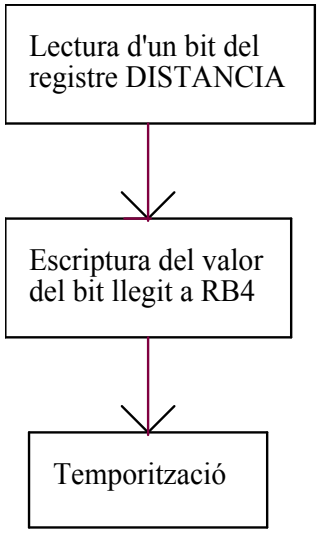


Fig. 48.- Diagrama de blocs de l'enviament d'un bit al controlador del robot.

```
;ENVIAMENT DE LA DISTANCIA AL CONTROLADOR DEL ROBOT
        btfss   DISTANCIA,0     ;explora el bit 0 de DISTANCIA i salta si val 1
        goto    NUL0            ;salta a la línia NUL0
        bsf     PORTB,4         ;envia un '1' pel port 4
        goto    ENVIA1          ;salta a la línia ENVIA1
NUL0    bcf     PORTB,4         ;envia un '0' pel port 4
ENVIA1  call    RETARD3         ;crida subrutina RETARD3 de 52µs
```

Després de l'enviament d'un bit de la distància per la pota 4 del port B del microcontrolador, s'ha de fer un retard abans d'enviar el següent bit. El temps d'espera necessari es dedueix de la freqüència que s'utilitza per a enviar els bits, la velocitat d'enviament és de 19200*baud*, que és el que permet la norma RS-232 i el software del controlador del robot.

La velocitat a la que s'envien les dades en sèrie a través d'una línia de comunicació, és a dir, la velocitat de bauds s'expressa en unitats de bit per segon. Una connexió RS-232 amb una velocitat de 19200*baud*, com és la que s'utilitza en aquest projecte, té la capacitat d'enviar 19200 bits de dades en un segon.

Si es pot enviar com a màxim 19200*bit/s*, fent al invers d'aquesta velocitat es sabrà el temps de bit, és a dir, el període d'un bit.

$$t_{bit} = \frac{1}{Velocitat\ \ transmissió} = \frac{1}{19200baud} = 52\mu s$$

Com que el microcontrolador i el controlador del robot es connecten a 19200*baud*, el microcontrolador haurà d'enviar un bit de la variable de distància cada 52µs, i aquest serà el temps que tindrà el controlador del robot per a llegir i emmagatzemar aquest bit de la dada enviada. Per aquesta raó, s'ha realitzat el RETARD3 i s'ha adequat per a que hi hagi un temps mínim de 52µs entre bit i bit.

3.3.3.2 Software del robot

El robot Scara serà l'encarregat de manipular l'escàner de pell i de controlar tot el procés d'adquisició de la presa de mesures, ja sigui la de temperatura com la de distància. Però abans de que aquest estigui activat i pugui exercir les seves funcions s'haurà que acomodar al pacient en un llit articulat i col·locar-lo adequadament per a que el robot pugui adquirir les dades.

Per aquesta raó, inicialment s'haurà de desconnectar el servocontrolador manualment, mitjançant un botó que treu l'alimentació del servocontrolador i permet moure el robot de manera mecànica. D'aquesta manera, es podrà moure el robot i el llit articulat per a poder posicionar-lo en el punt d'inici desitjat.

Una vegada col·locat el pacient i els dispositius en la posició òptima, l'usuari donarà l'ordre per a començar tot el procés d'adquisició pitjant el botó d'encesa del panell de control, el qual s'encarregarà de donar tensió als motors.

A continuació, es mostra un esquema general dels passos que s'han de seguir per a iniciar el procés de mesura.

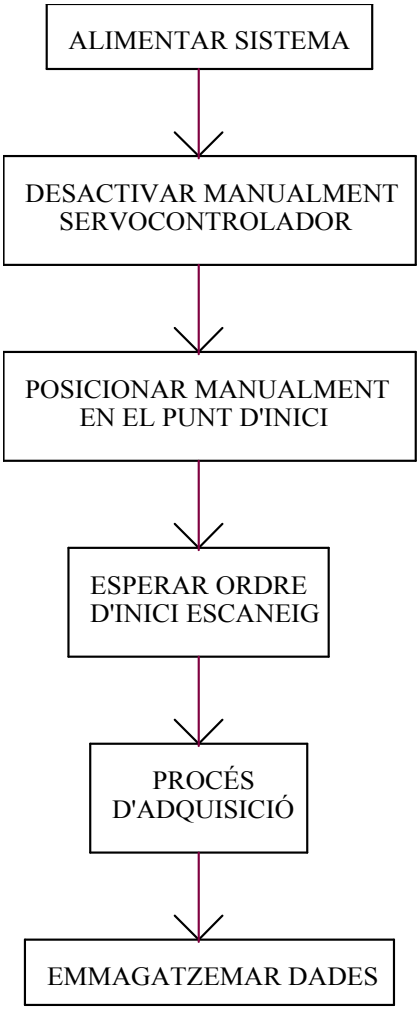
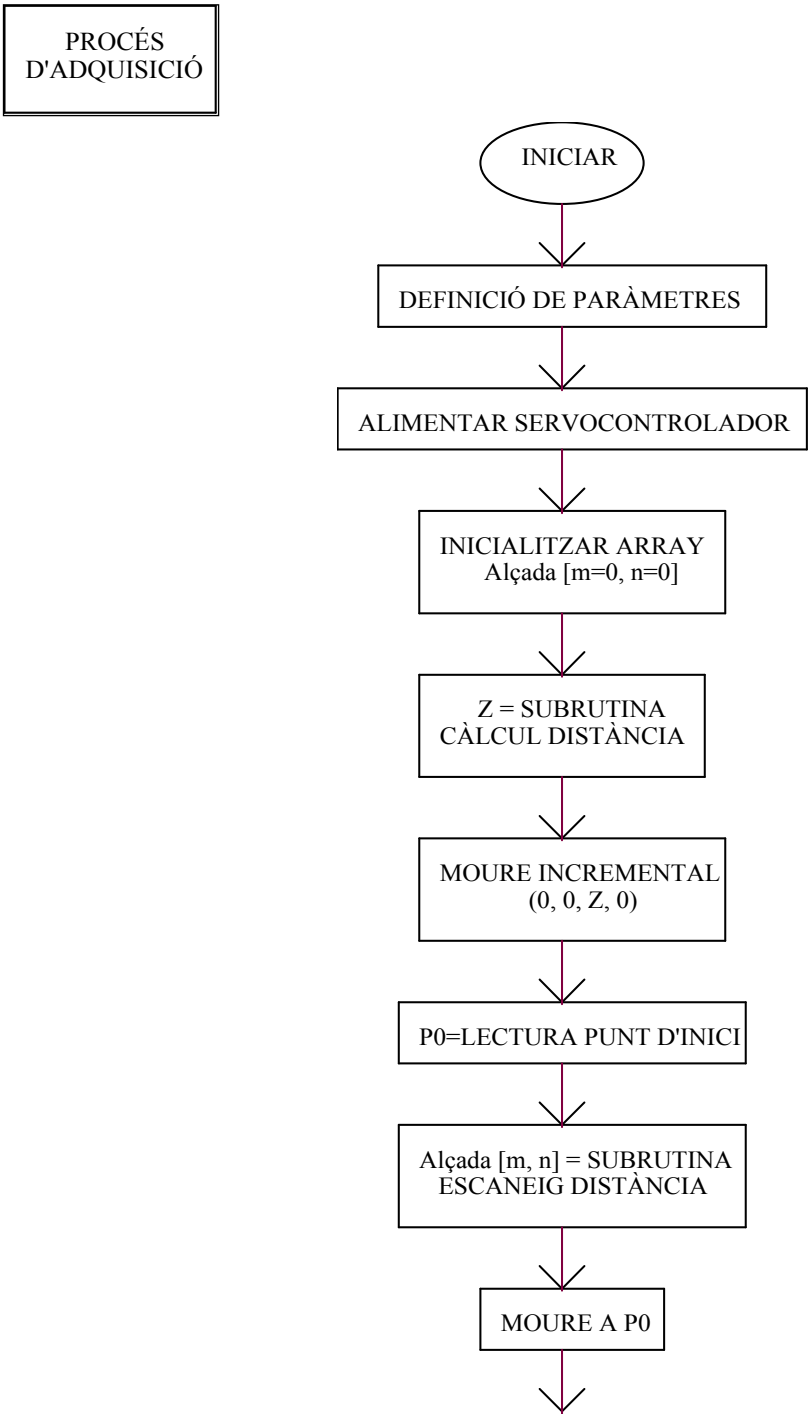


Fig. 49.- Diagrama funcional general.

Una vegada realitzades les operacions manuals començarà el procés d'adquisició, executant de manera automàtica el programa emmagatzemat al controlador dissenyat per a aquest afer.

Aquest programa estarà compost de diferents blocs dirigits pel programa principal, i englobarà totes les variables, les constants, els registres, etc., necessaris per a la realització de tot el procés. També disposarà de diversos subprogrames, els quals seran

cridats per a la realització del mesuratge de les diferents variables. Acte seguit, es mostra el diagrama funcional del programa principal del procés d'adquisició.



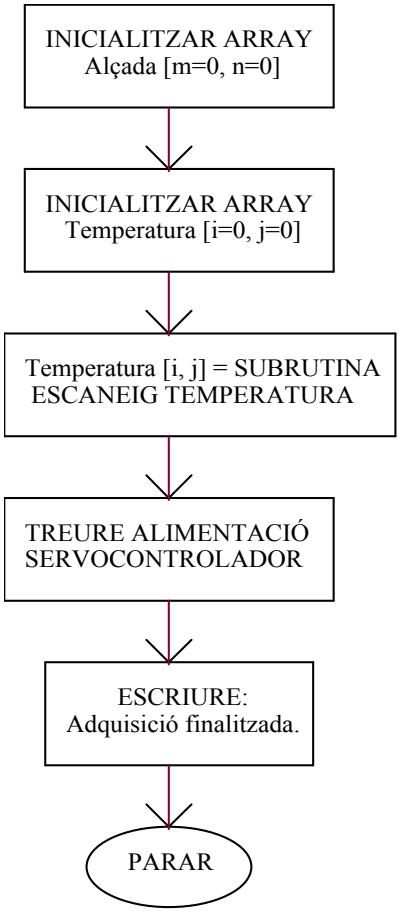


Fig. 50.- Diagrama funcional del programa principal.

Abans de començar qualsevol acció de mesuratge s'han de definir els paràmetres del procés, tal i com són la mida de la zona a escanejar, la distància entre mostres, és a dir, la resolució de la imatge i la precisió de la variable de temperatura.

Aquests paràmetres són fitxats per l'usuari el qual, al inici del programa, se li pregunta un per un quin vol que siguin aquests valors, i una vegada adquirits tots ells s'emmagatzemen a les variables pertinents. D'aquesta manera, una vegada definits aquests és podrà saber la velocitat a la que haurà d'anar el robot per a que aquests s'acompleixin, realitzant el càlcul que relaciona la resolució i la precisió amb la velocitat de moviment del robot.

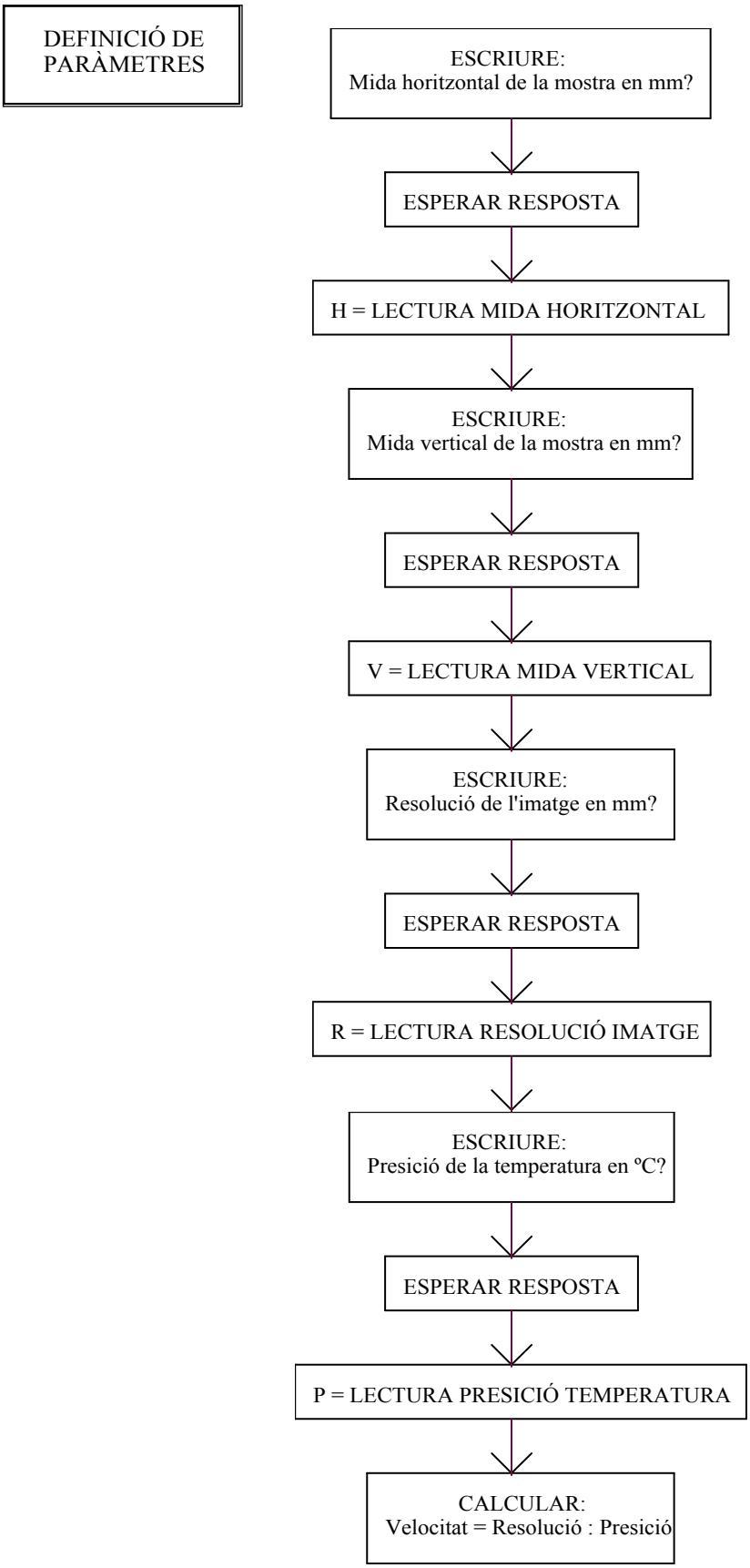


Fig. 51.- Diagrama funcional de la definició de paràmetres.

Per a la realització de les mesures de temperatura primerament s'haurà de fer una primera passada amb el robot per a determinar la distància que hi ha entre el sensor de temperatura i la pell, prenen mostres puntuals de la zona a escanejar.

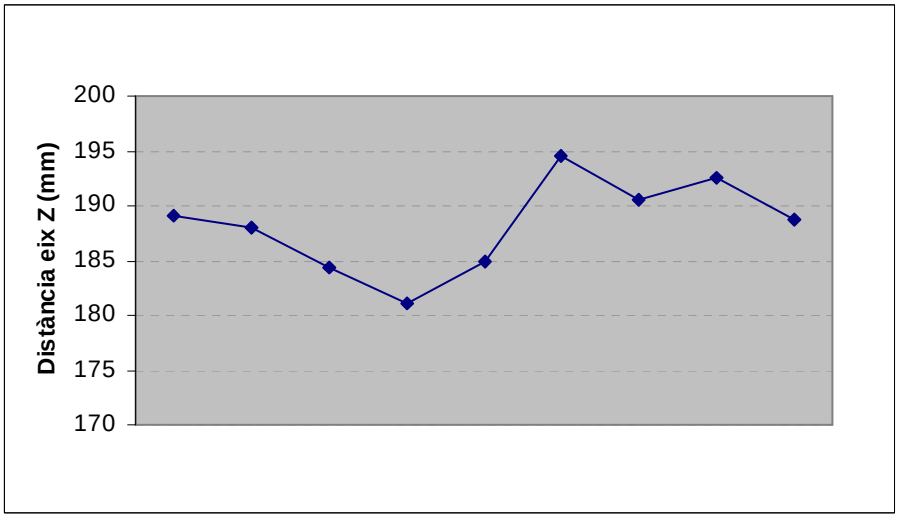


Fig. 52.- Exemple de les distàncies mesurades en una possible exploració.

Aquestes mostres s'aniran adquirint cada 2,5*mm* i seran emmagatzemades en un array bidimensional una vegada discretitzades. El marge d'error serà de ±5*mm*, pel qual es considera que el gradient de l'eix Z (ΔZ) és 0.

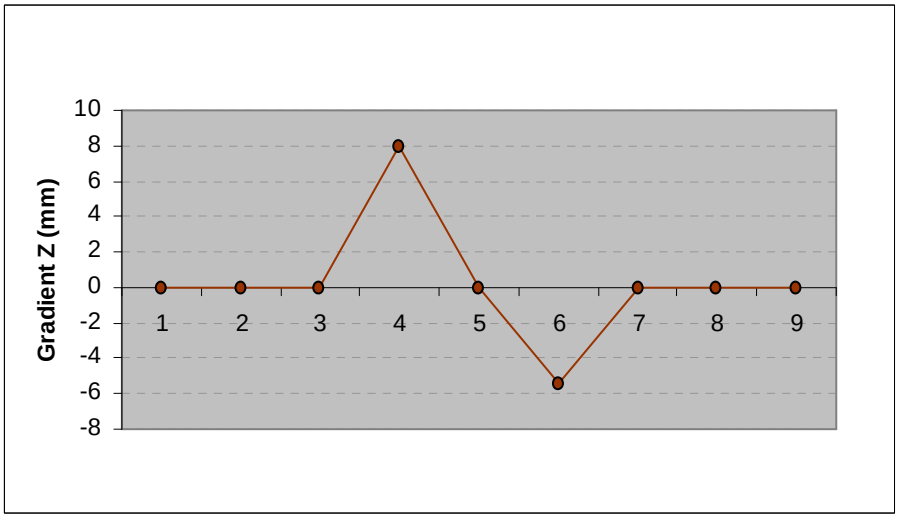
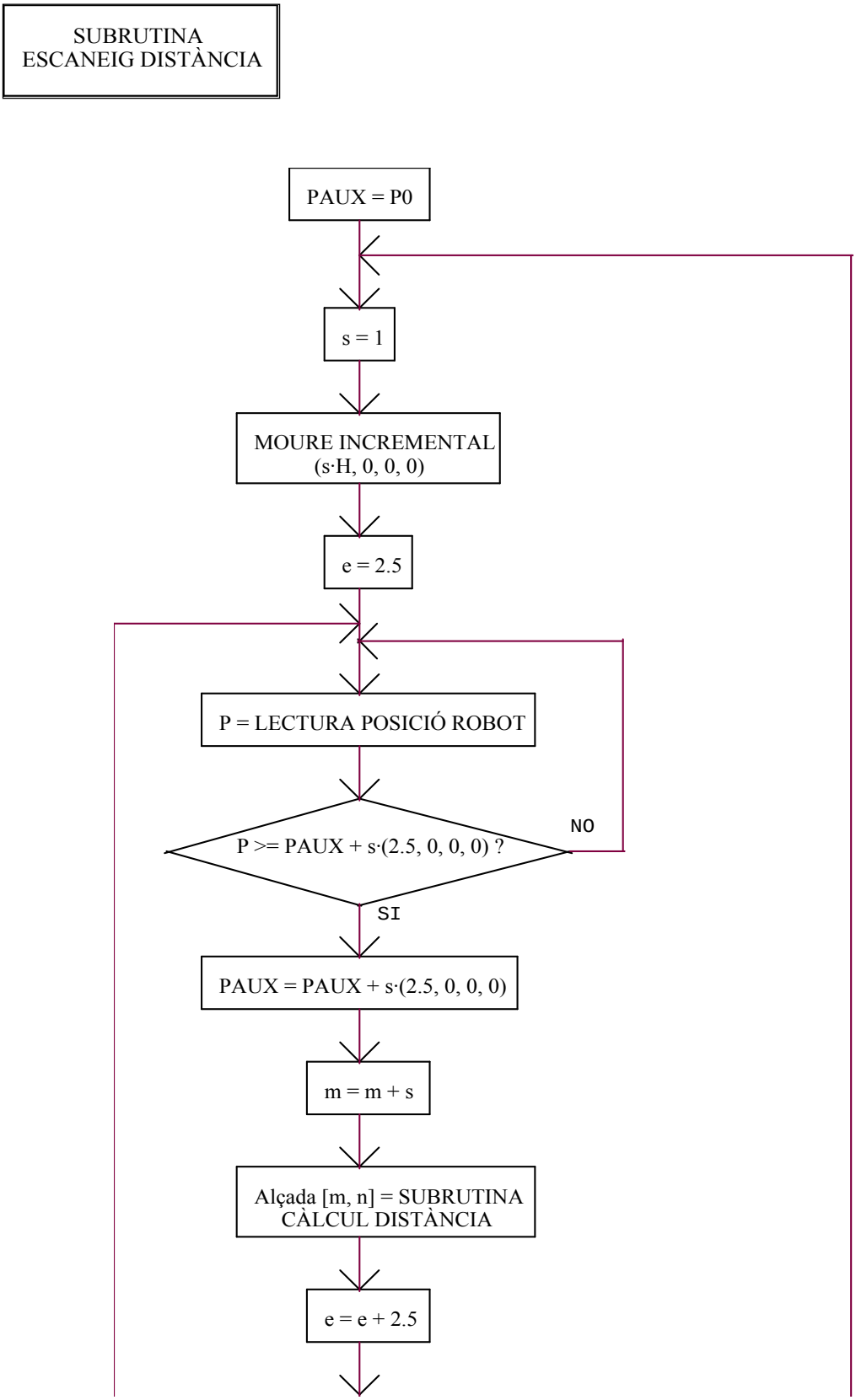


Fig. 53.- Gradient de l'eix Z després d'ésser discretitzades les dades mesurades.

A continuació es mostra la subrutina per a realitzar l'escaneig de distància.



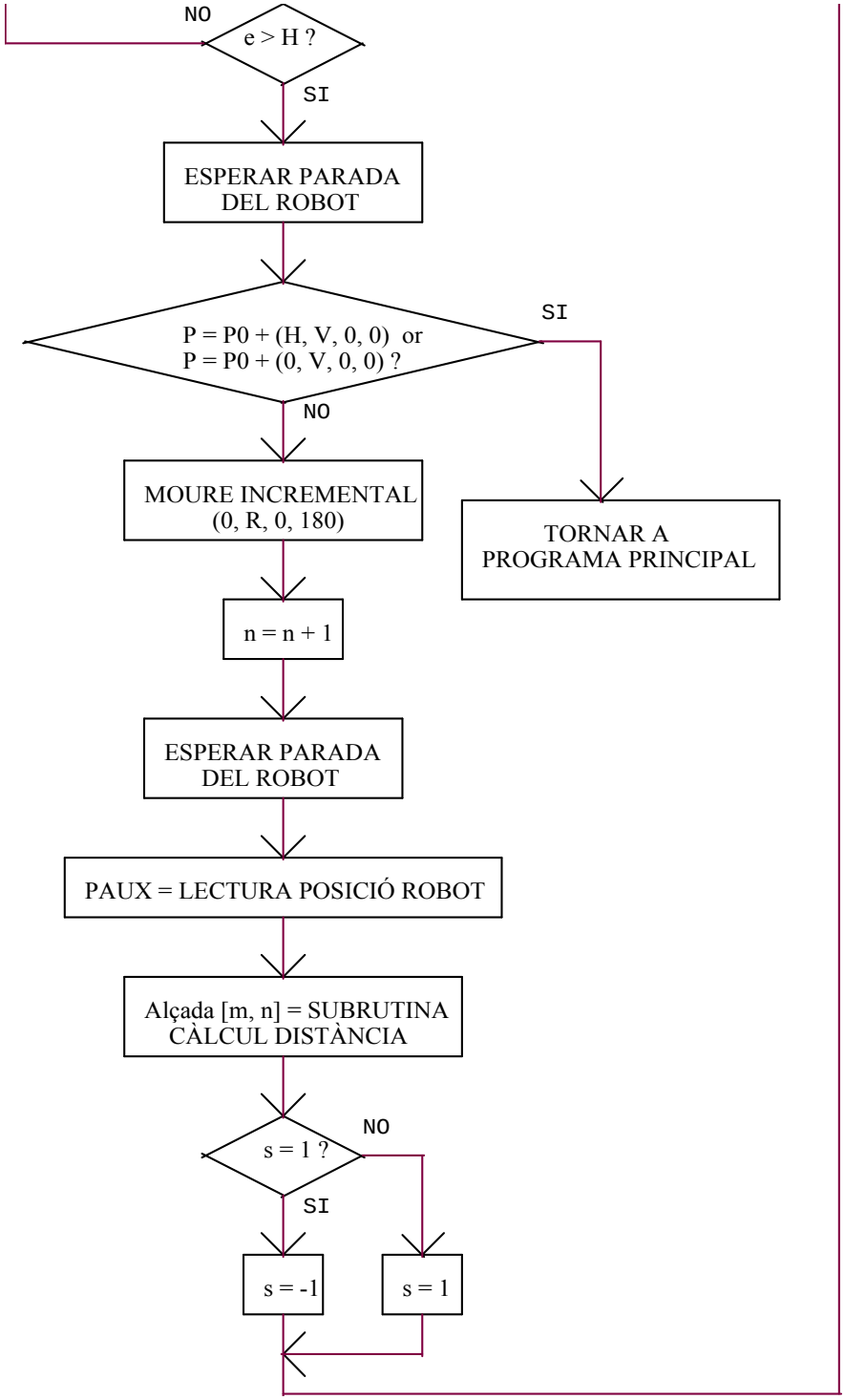


Fig. 54.- Diagrama funcional de la subrutina Escaneig distància.

Dins del subprograma Escaneig distància es pot trobar un altre subprograma anomenat Càlcul distància que s'encarrega d'activar el microcontrolador del sensor de distància a través del port de sortida sèrie del controlador, per a que realitzi el procés d'adquisició de les mesures de distància. Una vegada adquirida i enviada la dada mesurada, aquest subprograma s'encarrega de discretitzant-la i s'ha emmagatzemarà a l'Array Alçada.

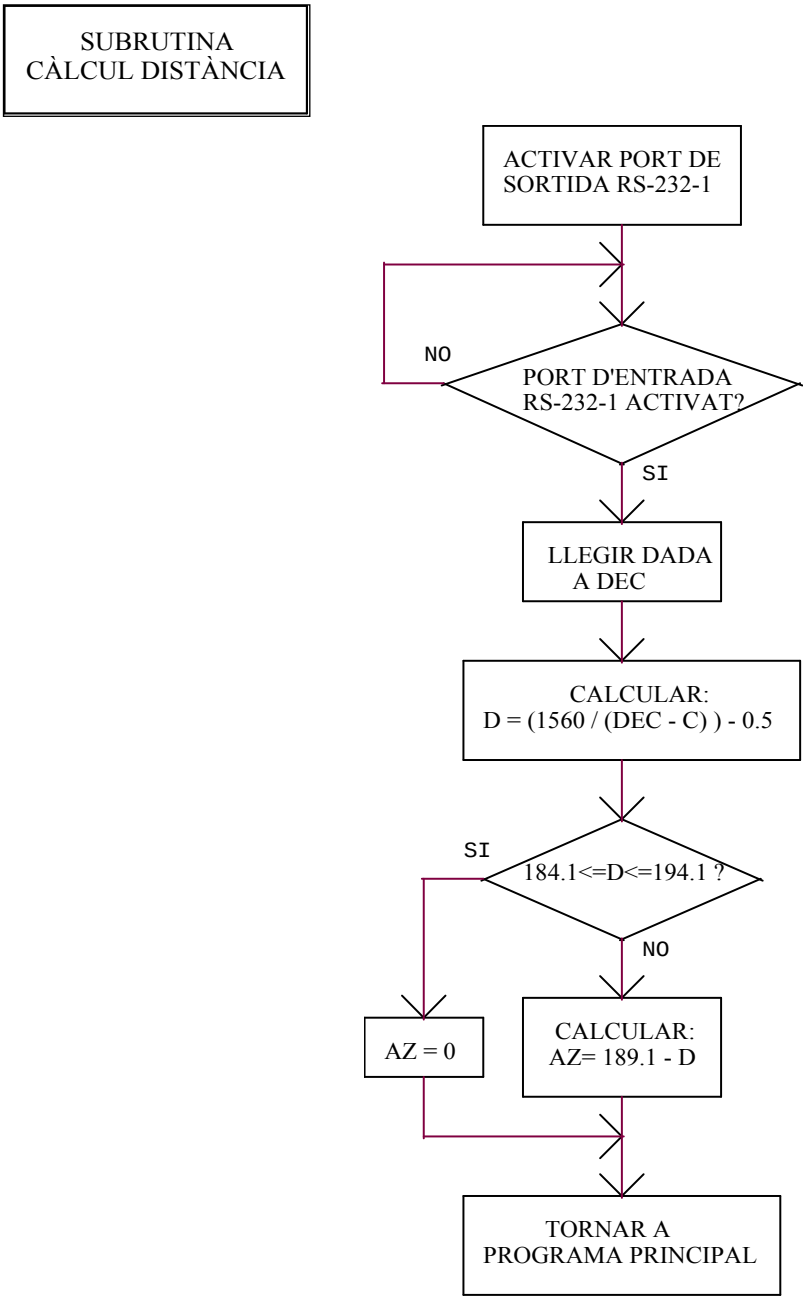


Fig. 55.- Diagrama funcional de la subrutina Càlcul distància.

El robot no s'aturarà per a realitzar les mesures de temperatura ni les de distància, ja que aquesta adquisició és tant ràpida que no cal. Només caldrà que s'aturi quan arribi als extrems de l'eix X, en els quals haurà de moure l'eix Y el valor designat per a la resolució i girar 180º l'escàner de pell ja que, d'aquesta manera, el sensor de distància quedarà en primera posició i el sensor de temperatura en segona.

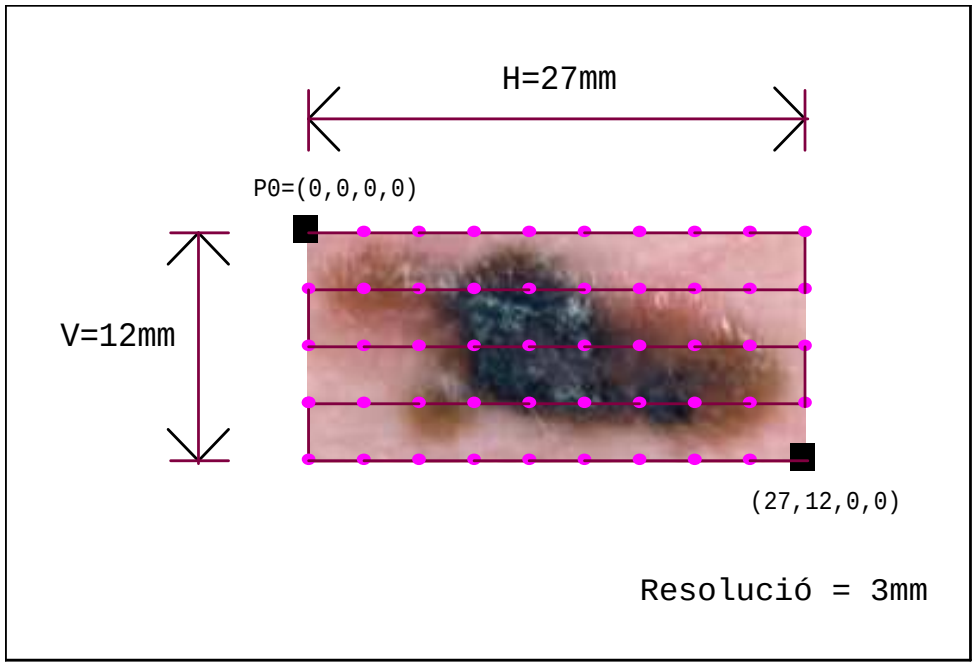
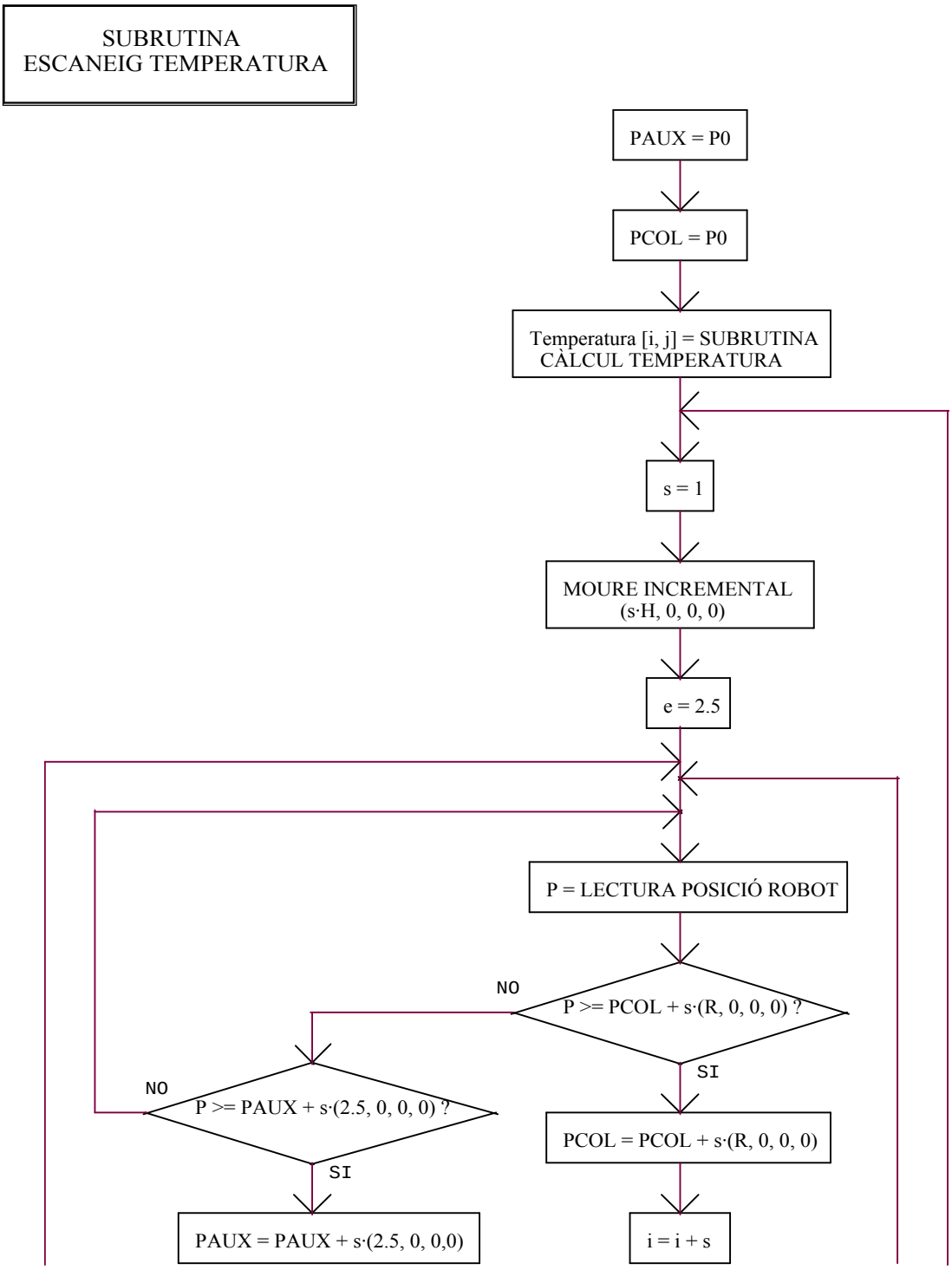


Fig. 56.- Mesuratge de temperatura en l'escaneig d'un melanoma a una resolució de 3mm.

Una vegada realitzada les mesures de distància es retorna al punt inicial (P0) i es fa per segona vegada el recorregut, aquesta vegada però per prendre les mesures de temperatura que són les que realment interessen. El moviment del robot és el mateix que en el cas de l'escaneig de distància.

La distància que hi ha entre mostres en la presa de la temperatura és la resolució que inicialment ha fitxat l'usuari i que ha estat guardada a la seva corresponen variable, al igual que passa amb la precisió de les mesures de temperatura.

A banda d'això, també s'hauran de tenir en compte les dades de distància del sensor a la pell que han estat mesurades amb anterioritat, i per tant, s'hauran de consultar durant l'exploració per a poder verificar si el robot ha de fer algun moviment en el eix Z o si s'ha de mantenir en el lloc.



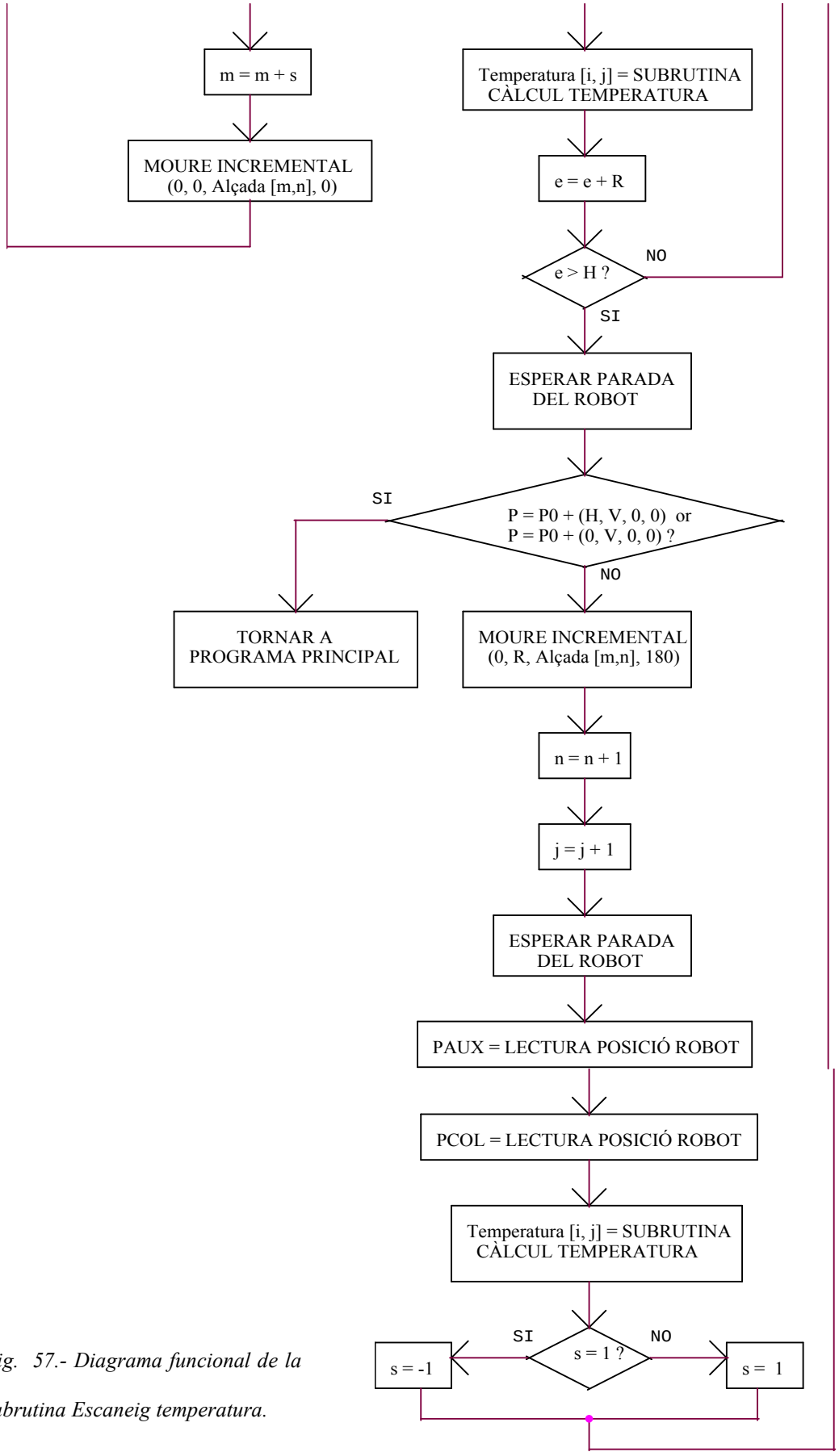


Fig. 57.- Diagrama funcional de la subrutina Escaneig temperatura.

Finalment, al igual que passava amb l'adquisició de la variable de distància, la subrutina Escaneig temperatura té dins del seu subprograma una altra subrutina anomenada Càlcul temperatura, a la qual crida quan es el moment per a que ordeni el mesurament de la variable de temperatura i fent la corresponen lectura de la variable mesurada i emmagatzemant-la en un Array anomenat Temperatura.

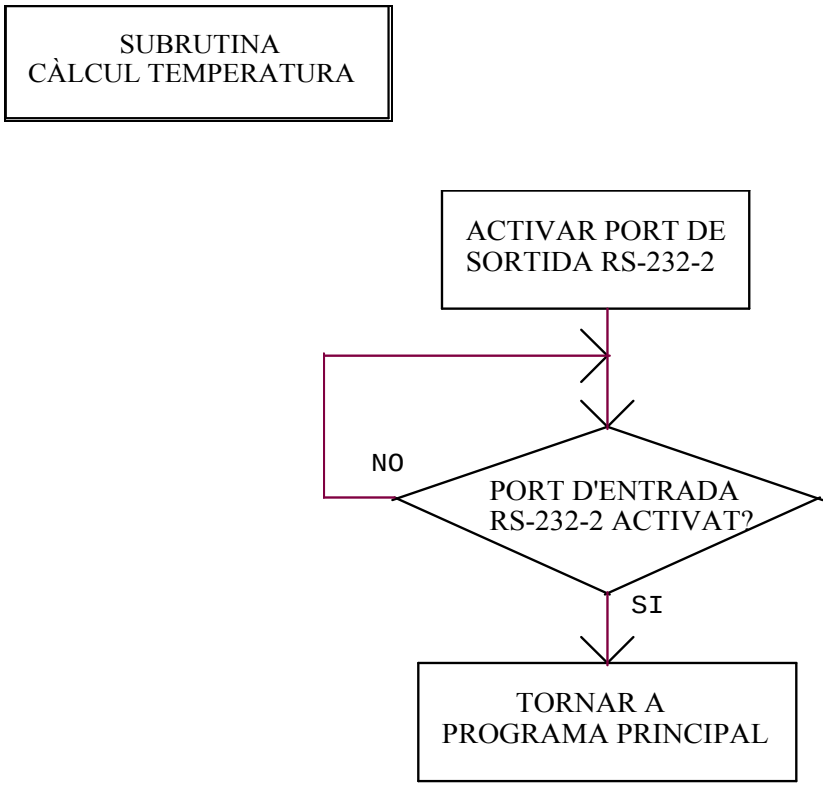


Fig. 58.- Diagrama funcional de la subrutina Càlcul distància.

4. DETALL DEL IMPORT TOTAL DEL PRESSUPOST

El pressupost serà realitzat considerant que es tracta d'un prototip, i només es contemplarà la fabricació d'una unitat. Constarà dels següents apartats:

- Despeses d'enginyeria
- Despeses de materials
- Despeses de mà d'obra

No hi ha despeses de maquinària, ja que no fa falta adquirir nova maquinària per a realitzar el disseny del prototip, i tampoc fa falta realitzar l'adquisició de cap element extra de suport de la pròpia maquinària ja existent. La maquinària de que disposa l'empresa és suficient per a realitzar tot el disseny.

4.1. DESPESES D'ENGINYERIA

S'aplicarà el procediment de centres de costos, on tenint en compte que es tracta d'un prototip, es determinaran els nivells d'imputació dins la oficina tècnica responsable del projecte, i que s'identificaran mitjançant les primeres lletres del abecedari, guardant relació amb el treball que cada tècnic i nivell efectua en el projecte.

A Director de divisió

B Director de projecte

C Tècnic especialista

D Director projectista

E Delineant

P Treball d'ofimàtica

Cada nivell tindrà un preu per hora directa de feina realitzada que caldrà determinar, i el qual es modificarà amb un factor γ que engloba dos aspectes:

El coeficient δ de despeses indirectes ha d'estar entre 1,35 i 1,40, en aquest projecte el valor que s'ha considerat més adequat tenint en compte d'incidència que tenen aquests paràmetres per a aquesta activitat concreta és de 1,35. A continuació és desglossen aquestes despeses indirectes:

- Personal d'estructura (gerència, administració,etc.)
- Local
- Despeses comercials
- Materials diversos (oficina, etc)
- Impostos (IVA)
- Temps per desplaçaments generals

El coeficient α de despeses indirectes són aquelles hores no productives que genera el personal directiu, és a dir, els nivells A, B i C. Aquestes hores suposen entre el 75-85% del total, i engloba entre d'altres paràmetres els conceptes següents:

- Parades tècniques.
- Absències.

- Faltes de treball.
- Malalties.
- Temps en viatges i desplaçaments.
- Formació del personal.

Per aquest projecte, el valor del coeficient α més idoni és el de 1,18 ja que el tipus de projecte que es realitza implica que el nombre d'hores del personal directiu sigui el més elevat de tots els nivells, i per tant, el 85% del total.

$$\alpha = \frac{1}{0{,}85} = 1{,}18$$

Així doncs, el coeficient γ resultarà el següent:

$$\gamma = \alpha \cdot \delta = 1{,}18 \cdot 1{,}35 = 1{,}6$$

I el preu per hora de cost total de cada nivell serà el següent:

$$\text{Cost}_{\text{nivell}} = \text{Preu}_{\text{nivell}} \cdot \gamma$$

Per tant, el cost total de tot el projecte serà la suma de tots els preu/hora de cada nivell.

$$\text{Cost}_{\text{Total}} = \sum [\text{Cost}_{\text{nivell}}]$$

Taula 1. Paràmetres dels costos d'enginyeria.

Nivell	Dept. Enginyeria Prèvia	Dept. Planificació i Instrumentació	Dept. Processos i Maquinaria	Dept. Estudis Econòmics	€/h	Hores Totals
A	23	8	5	5	33	41
B	97	15	5	5	28	122
C	97	7	6	5	21	115
D	5	4	4	3	15	16
E	4	3	3	3	12	13
P	7	5	3	5	12	20
TOTAL	243	42	26	26	-	327

Taula 2. Cost de realització.

Nivell	**Hores totals**	**Preu hora directa**	**Coeficients**	**Despeses de realització per nivells**
A	41	30	$\gamma = 1,6$	1968
B	122	25	$\gamma = 1,6$	4880
C	115	20	$\gamma = 1,6$	3864
D	16	15	$\alpha = 1,18$	283,2
E	13	12	$\alpha = 1,18$	184,08
P	20	12	$\alpha = 1,18$	283,2
TOTAL				**11462,48**

4.2. DESPESES DE MATERIALS

Els materials que son necessaris per a realitzar el prototip es defineixen clarament en la memòria del projecte, així clarament queda clar les prestacions i accions a realitzar, els materials empleats són considerats directes, és a dir, s'obtenen de la adquisició directa, no es fabriquen ni es realitza cap tractament amb els, simplement s'adquireixen, i s'implementen. Tindrem que afegir uns costos de materials per la seva implementació valorant-los com a materials indirectes. El cost del material inclou IVA, i transport fins a l'empresa per part del proveïdor.

Taula 3. Cost dels materials emprats en el prototip.

Identificació	Model	Quantitat	Preu unitari (€)	Cost total (€)
Robot	Adept Cobra s350CR/ESD	1	39560	39560
Sensor temperatura	IN5Plus	1	1888,64	1888,64
Sensor de distància	GP2D02	1	30,25	30,25
Equip informàtic	CAD Robòtica	1	1709,87	1709,87
Font d'alimentació	NG 0D	1	253,85	253,85
Microcontrolador	PIC16F84A	1	4,79	4,79
Cristall quars	XT0400	1	0,48	0,48
Convertidor de Tensió	MAX232	1	2,93	2,93
Connector DB9 femella	DB9	1	0,47	0,47

Connexió pin a pin DB9	CX040	1	1,94	1,94
Regulador de tensió	L7805	3	0,22	0,66
Condensador	C = 22μF	4	0,04	0,16
TOTAL				**43454,04**

4.3. DESPESES DE MÀ D'OBRA.

En les hores de mà d'obra s'inclouen les despeses de Seguretat social, la previsió per vacances retribuïdes i els impostos imputables.

A l'hora de valorar els costos de mà d'obra originats en la fabricació d'un prototip, es distingiran per categories dels empleats i es determinarà la quantitat d'hores necessàries que cal dedicar-li per cada categoria laboral.

Es determinaran 4 categories laborals per la mà d'obra, que intervindran en el procés de implementació del prototip.

Taula 5. Despeses de la mà d'obra.

Categories	Hores imputables	€/hora	Cost per categoria
Cap Tècnic	10	24	240€
Tècnic	40	16	640€
Integradors	32	14	448€
Ajudants	25	10	250€
TOTAL	107	**TOTAL**	1578€

4.4. PRESSUPOST GLOBAL

Taula 5. Pressupost global.

Tipus de despesa	Concepte
Enginyeria	11462,48
Materials	43454,04
Mà d'obra	1578
IVA 16%	9039,12
PRESSUPOST FINAL	**65533,64**

5. POSSIBLES MILLORES DEL PROJECTE

Aquest disseny esta pensat per a aplicacions en les quals el mesuratge de la temperatura es realitza i s'emmagatzema per una banda i, posteriorment, es realitza el corresponen tractament de les dades per una altra. De totes maneres, es podria realitzar una aplicació en la qual es realitzes la presa de les mesures de temperatura a l'hora que es visualitzen per la pantalla de l'ordinador (online).

Una altra possible millora és la reducció de costos ja que al utilitzar un robot comercial s'encareix el pressupost, podent comprar els eixos individualment i confeccionar el robot. Si es realitzes aquest robot s'haurien de comprar tres eixos de tipus lineal que són els que necessita el disseny.

Per últim, es podria incloure en el carretó, que dur el robot manipulador i l'escàner de pell, una bateria que subministres l'energia necessària per a poder realitzar tot el procés de mesuratge autònomament sense necessitat de tenir cables pel mig que puguin molestar o provocar una caiguda dels usuaris, a més, d'aquesta manera es facilitaria la seva mobilitat.