UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa

Treball Final de Grau

CONTROL DE QUALITAT DE COMPONENTS ELECTRÒNICS DEL VEHICLE MITJANÇANT VISIÓ ARTIFICIAL

Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

Curs 22/23

Autor: Jordi Campà Pons

Director: Victor Barcons Xixons

Data: 06/10/2023

Localitat: Manresa (Bages)

Resum del projecte

En aquest projecte es farà recerca, anàlisi i explicació sobre el control de qualitat de components electrònics del vehicle mitjançant visió artificial.

Es farà primer un recorregut per la informació més genèrica sobre components electrònics pels vehicles, el control de qualitat en la industria de l'automòbil i les bases de la visió artificial.

Un cop s'hagin vist les tres parts generals que constitueixen aquest treball, utilitzant tota la informació analitzada s'explicarà com es plantejaria el disseny pel control de qualitat de components electrònics del vehicle mitjançant visió artificial.

Se'n farà un exemple per un possible cas d'implementació, en aquest cas per PCBs. Es farà una proposta de com es definiria el seu disseny per fer un procés de control de qualitat eficient i se'n detallarà el processament d'imatges ja que n'és la part més important a l'hora d'utilitzar la visió artificial per aquest tipus de control.

Finalment es definirà com haurien de ser les possibles proves prèvies a la implementació del sistema dissenyat i es farà una proposta de proves reals que podrien ser útils pel cas dissenyat en aquest projecte.

Project Summary

In this project, research, analysis and explanation will be done about the quality control of electronic components for the vehicle using artificial vision.

We will first go through the most generic information on electronic components for vehicles, quality control in the automotive industry and the basics of artificial vision.

Once the three general parts that make up this project have been seen, using all the information analysed it will be explained how the design for the quality control of electronic components of the vehicle using artificial vision would be considered.

An example will be made for a possible case of implementation, in this case for PCBs. A proposal will be made on how its design would be defined to make an efficient quality control process and its image processing will be detailed as it is the most important part when using artificial vision to this type of control.

Finally, it will be defined what the possible tests should be prior to the implementation of the designed system and a proposal for real tests will be made that could be useful for the case designed in this project.

Índex

1. Introducció 6
1.1. Objectius 8
1.2. Metodologia 8
2. Marc teòric 10
2.1. Components electrònics en la indústria de l'automòbil 10
2.2. Control de qualitat en la industria de l'automòbil 12
2.3. Visió artificial en la industria de l'automòbil 13
2.4. Tècniques de control de qualitat amb visió artificial 15
2.5. Bases teòriques de la visió artificial 17
2.6. Comparativa entre control de qualitat utilitzant i sense utilitzar la visió artificial 19
3. Disseny d'un sistema de control de qualitat per a PCBs mitjançant visió artificial 21
3.1. Software 22
3.2. Hardware 23
3.3. Programació 26
3.4. Proves prèvies a la implementació 30
4. Conclusions 34
5. Bibliografia 36

Índex de figures

Figura 1.....10

Figura 2.....11

Figura 3.....14

Figura 4.....19

Figura 5.....21

Figura 6.....25

Figura 7.....30

Figura 8.....31

Figura 9.....33

1. Introducció

La indústria de l'automòbil és un dels mercats més importants del món degut als grans moviments econòmics que comporta, a la gran quantitat de llocs de treball que genera i per la seva significativa contribució en el desenvolupament tecnològic.

El control de qualitat en aquesta indústria s'ha convertit en un procés fonamental per poder garantir la seguretat, el rendiment i la qualitat dels vehicles. Per millorar aquest procés, s'ha desenvolupat una tècnica innovadora i eficient com és el control de qualitat mitjançant la visió artificial. Aquest mètode necessita càmeres i programes especialitzats per dur a terme la inspecció i detectar qualsevol defecte, anomalia o desperfecte durant la seva fabricació.

L'objectiu d'aquest treball és profunditzar en l'estudi del control de qualitat de components electrònics per l'automòbil mitjançant la visió artificial. Es descriuran i s'analitzaran les diferents tècniques i eines que es fan servir en el procés de qualitat, com també la seva aplicació en la industria de l'automòbil.

L'elecció d'aquest tema ha esdevingut de diferents factors. En primer lloc es va contemplar la proposta de treball del tutor, Miquel León, la qual tractava sobre el disseny d'un mòdul de control de qualitat a partir de la visió artificial. L'atracció principal per aquesta proposta era la temàtica sobre la visió artificial, ja que és un àmbit que s'ha vist de manera molt breu durant el grau i hi havia l'interès de saber-ne més ja que és un camp molt important en l'actualitat per a diferents sectors, i també és un tema d'interès personal.

Un cop es va parlar sobre les intencions del treball, es va decidir fer un treball de caire explicatiu per tal de fer recerca i comprendre millor el tema de la visió artificial, i concretant més en aquest àmbit que utilitza aquesta tècnica pel control de qualitat. Es va escollir detallar més en el control de qualitat de components electrònics pel vehicle ja que he estat fent les pràctiques a l'empresa DENSO i d'aquesta manera es podia fer la recerca i l'estudi d'una temàtica que simultàniament se'n podia anar veient la seva implementació en la indústria real.

L'objectiu personal a l'hora de fer aquest treball de forma més explicativa com a recerca i estudi d'aquest àmbit, és amb la intenció que serveixi a altres estudiants i a qualsevol persona per informar-se i entendre millor tot el que implica la visió artificial i la seva implementació en el control de qualitat en la indústria, ja que és un tema rellevant i d'actualitat en el sector de l'enginyeria, i requereix coneixements específics per garantir-ne el bon funcionament en la seva aplicació.

En aquest treball es destacarà la utilitat de la visió artificial en el procés de control de qualitat per components electrònics de l'automòbil. Aquesta tècnica aconsegueix una inspecció més precisa i ràpida, i això acaba comportant més eficiència a les línies de producció com també la reducció de costos en aquest procés. Concretant en aquest control per aquest tipus de components, s'estudiarà la influencia que té aquest procés en la seguretat i rendiment dels vehicles, ja que l'electrònica és cada vegada més important en els automòbils de l'actualitat i del futur, és imprescindible garantir que funcionin correctament per evitar errors de funcionament i accidents.

També s'analitzaran les principals tècniques i eines que s'utilitzen en aquest control de qualitat, com la inspecció amb rajos X, la inspecció amb ultrasons i la inspecció amb làser.

En resum, aquest treball donarà una visió completa de parts més generals sobre visió artificial, control de qualitat i components electrònics per l'automòbil, com també les parts específiques sobre aquest control per aquests components mitjançant la visió artificial.

1.1. Objectius

L'objectiu global, com ja s'ha esmentat, és estudiar i entendre el control de qualitat de components electrònics per l'automòbil mitjançant la visió artificial. Per tal d'aconseguir aquest objectiu principal, es buscarà assolir els següents objectius concrets:

- Analitzar tècniques i eines que s'utilitzen en el procés d'aquest control de qualitat.
- Estudiar l'aplicació pràctica d'aquestes tècniques i eines en la indústria de l'automòbil.
- Analitzar com influeix el control de qualitat dels components electrònics en la seguretat i rendiment dels vehicles.
- Conèixer els tipus de defectes que poden aparèixer en aquests components, com també les mesures que es poden aplicar per corregir aquests defectes.
- Profunditzar en la importància que té la visió artificial en aquest procés de control de qualitat.
- Contribuir en la informació i comprensió del lector sobre l'àmbit desenvolupat en aquest treball.
- Oferir una visió completa i detallada del control de qualitat dels components electrònics per l'automòbil mitjançant la visió artificial.

1.2. Metodologia

La metodologia que s'utilitzarà en aquest treball és una revisió bibliogràfica i documental sobre el control de qualitat, els components electrònics per l'automòbil, la visió artificial, i la unió d'aquests diferents punts per tal de comprendre de manera general i específica el control de qualitat de components electrònics per l'automòbil mitjançant visió artificial.

S'utilitza aquesta metodologia ja que la revisió bibliogràfica és una eina clau en la investigació científica, perquè permet obtenir informació important sobre el tema que s'estudia a partir de recol·lectar i analitzar la informació les diverses

fonts seleccionades. Així doncs, la metodologia d'aquest treball es basa principalment en recopilar, seleccionar i analitzar informació fonamental i fiable sobre el tema exposat per tal de desenvolupar de manera correcta aquest projecte.

Per dur a terme aquesta revisió bibliogràfica s'utilitzaran diverses fonts d'informació com poden ser llibres, articles, revistes especialitzades, informes tècnics o pàgines web. Aquestes fonts es seleccionaran segons la seva proximitat al tema d'investigació i en base a la seva rellevància.

2. Marc teòric

2.1. Components electrònics en la indústria de l'automòbil

Els components electrònics són peces imprescindibles pel funcionament dels vehicles de l'actualitat. Aquests components, com els que es poden veure en la Figura 1, són els que fan possible una gran varietat de funcions com la seguretat, la il·luminació, la gestió del motor, el control dels frens, la transmissió de dades, entre altres.

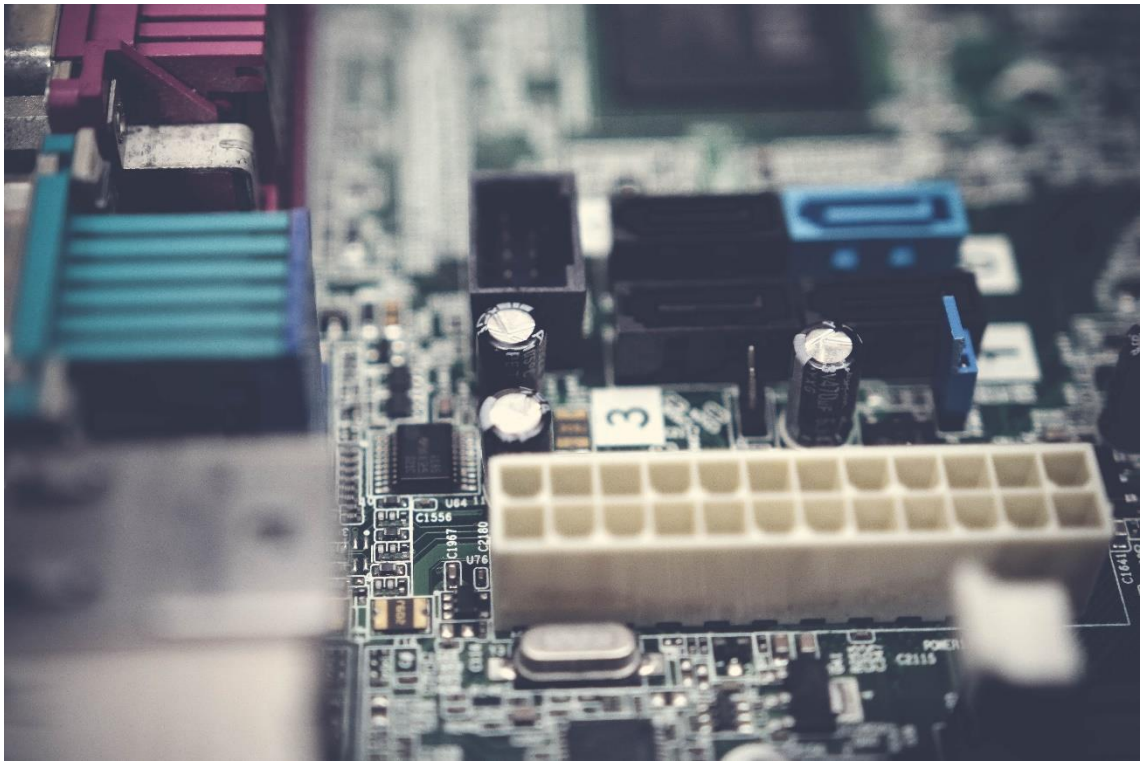

Figura 1 - Components electrònics després de ser muntats en PCB

Uns dels components més habituals són els sensors. Aquests dispositius tenen la funció de mesurar i transmetre informació sobre una gran varietat de paràmetres del vehicle, com poden ser la velocitat, la posició, la temperatura o la pressió. Els sensors són fonamentals pel correcte funcionament de l'electrònica en els automòbils moderns, ja que permeten la monitorització dels diferents sistemes inclosos en cada vehicle i la detecció anticipada de possibles averies o errors d'aquests sistemes.

Un altre component important són les unitats de control electrònic (ECU), aquests són els dispositius encarregats de gestionar el funcionament dels diferents sistemes del vehicle, com per exemple el panell de control de velocitat i rpm del vehicle anomenat tècnicament com a “Meter” que es pot observar a la Figura 2. Les unitats de control reben informació dels sensors i prenen decisions en base a la programació que han rebut i a la informació obtinguda, activant o desactivant diferents actuadors per permetre el correcte funcionament del vehicle.

Figura 2 - Meter d'un vehicle convencional

També són els components electrònics els què permeten influir sistemes de navegació i entreteniment en l’automòbil, com són les ràdios, els sistemes de so, pantalles de visualització i sistemes de navegació GPS. Tots aquests sistemes són cada vegada més rellevants en els vehicles moderns per donar informació útil sobre el vehicle o sobre el viatge, i també per proporcionar comoditat i entreteniment als passatgers.

Per la fabricació d’aquests components s’utilitzen diferents materials i tecnologies per aconseguir-ne les característiques adients i poder garantir-ne l’eficiència i la durabilitat.

Els materials més comuns per la fabricació de components en aquesta indústria són el silici, el germani i l'arsenur de gal·li. Són materials semiconductors que es fan servir sobretot en la fabricació de xips i circuits integrats.

Per altre banda, les tecnologies utilitzades inclouen tècniques de micro-fabricació com la litografia, la deposició de capes i el gravat de circuits en superfícies de silici o vidre. Aquestes tècniques permeten la creació de components cada vegada més petits i eficients, i això es tradueix en un augment de la durabilitat i fiabilitat d'aquests components.

2.2. Control de qualitat en la industria de l'automòbil

La industria de l'automòbil és una de les més importants si parlem d'economia i tecnologia a nivell mundial, i el control de qualitat dels seus components és fonamental per garantir el rendiment i la seguretat dels vehicles. Per aquests motius s'ha desenvolupat una tècnica innovadora com és el control de qualitat mitjançant la visió artificial, la qual utilitza càmeres i softwares especialitzats per la inspecció dels components i la detecció de qualsevol defecte o anomalia en la seva fabricació.

El procés de control de qualitat és molt important en els components electrònics, ja que aquests són cada vegada més importants en la fabricació d'automòbils moderns. Els components electrònics fan possible una gran varietat de funcions en els vehicles de l'actualitat, per aquest motiu és imprescindible que aquests components compleixin amb els estàndards de qualitat per tal d'evitar errors en els vehicles i conseqüentment accidents.

Per garantir el control de qualitat d'aquests components, s'utilitzen varies tècniques i eines, com la inspecció per rajos X, la inspecció per ultrasons o la inspecció per làser. Aquestes tècniques són importants per tal d'aconseguir una inspecció detallada i detectar qualsevol error en la seva fabricació i muntatge.

Cal destacar que aquests processos de control de qualitat són complexos i requereixen formació i especialització per part dels enginyers i tècnics que ho porten a terme. És també molt important que aquests professionals estiguin

actualitzats en les ultimes tecnologies i en les tècniques de fabricació per tal de gestionar aquests processos de control de qualitat de manera òptima.

El control de qualitat en la industria de l'automòbil no es limita només als components electrònics, també engloba tots els aspectes del vehicle com pot ser assegurar que la carrosseria no té defectes de fabricació, que els sistemes de frens i suspensió funcionen adequadament, que les llums estan ben ajustades o que el sistema d'airbags està en un correcte estat. Per confirmar aquests aspectes, s'utilitzen tècniques de proba i anàlisi, com les probes de xoc, vibració i fatiga. Aquestes tècniques ajuden a simular condicions extremes a les que poden estar exposats els automòbils, per així detectar errors de disseny i fabricació.

És important remarcar també que el procés de control de qualitat no es limita només a la fase de producció, ja que aquest és necessari també en la fase de postvenda. Els fabricants han de garantir el bon estat dels vehicles durant la seva vida útil, per això es realitzen inspeccions periòdiques i també campanyes de manteniment i reparació.

2.3. Visió artificial en la industria de l'automòbil

Els avanços en la tecnologia de la visió artificial han permès que la inspecció durant els controls de qualitat sigui més precisa i eficient. Aquesta inspecció és de gran importància per la qualitat i la seguretat, i la visió artificial ha millorat significativament el procés de control de qualitat.

La visió artificial consisteix en l'ús de càmeres i softwares especialitzats per la inspecció i detecció de defectes i anomalies en l'etapa de fabricació. Aquesta tècnica és de gran ajuda per aconseguir una inspecció més ràpida i precisa que els mètodes tradicionals, i això, juntament amb les automatitzacions de les línies de producció com es veu en la Figura 3, es tradueix en un augment de l'eficiència de les línies de producció i també en una reducció de costos.

Figura 3 - Línia de producció per vehicles automatitzada

A part dels components electrònics, la visió artificial també controla la inspecció d'altres aspectes dels automòbils, com la detecció de possibles defectes en la pintura o l'estructura de la carrosseria, o també la confirmació del correcte estat dels neumàtics.

Una altre aplicació de la visió artificial en la industria de l'automòbil, que no està relacionada al control de qualitat, és la detecció d'objectes i persones al voltant del vehicle i és de gran servei per augmentar la seguretat en la conducció. Els sistemes d'assistència al conductor com el control de creuer adaptatiu i el sistema de frens automàtics d'emergència, fan servir la visió artificial per tal de fer possibles les seves funcions necessàries.

2.4. Tècniques de control de qualitat amb visió artificial

Com s'ha mencionat anteriorment, les principals tècniques que s'utilitzen en aquest control de qualitat a partir de la visió artificial, són la inspecció amb rajos X, la inspecció amb ultrasons i la inspecció amb làser.

La **inspecció per rajos X** consisteix en l'ús de radiació electromagnètica d'alta energia per penetrar en els objectes i mostrar imatges detallades de la seva estructura interna. En la industria de l'automòbil aquesta inspecció es fa servir per examinar elements com els motors, transmissions, sistemes de frens, components electrònics i soldadures. Algunes aplicacions comuns són les següents:

- Detecció de defectes de soldadura: Els rajos X poden penetrar en les soldadures i detectar qualsevol defecte, com esquerdes, porositats, boles de soldadura o ponts. Això ajuda a garantir la resistència i durabilitat de les unions de soldadura.
- Verificació de la qualitat dels components: Permeten la inspecció dels circuits impresos i altres components electrònics per detectar problemes com curtcircuits o connexions incorrectes.
- Avaluació de la integritat dels components fosos: Els components fosos com els blocs de motor o peces de transmissió, poden inspeccionar-se per detectar si s'han ajuntat amb materials estranys durant la seva fabricació o per veure si hi ha fractures internes que en poden comprometre el rendiment.
- Inspecció de qualitat dels materials: També s'utilitzen aquests rajos X per analitzar la qualitat dels materials que es fan servir per la fabricació de components, com la detecció de inclusions de metall, bombolles d'aire o imperfeccions en els materials compostos.

Aquesta inspecció per rajos X ofereix molts beneficis en el control de qualitat per aquesta indústria. Permet la avaluació no destructiva dels components ja que permet no haver de desmuntar o fer malbé les peces inspeccionades.

La **inspecció per ultrasons** es basa en el principi de l'emissió i recepció d'ones sonores d'alta freqüència que es propaguen a través dels materials i generen informació de la seva estructura interna

Aquesta inspecció s'aplica en diverses àrees com les que es descriuen a continuació:

- Detecció d'esquerdes i defectes de es peces: Els ultrasons poden identificar esquerdes, fissures, inclusions d'aire o discontinuïtats en els components metàl·lics i no metàl·lics. S'utilitzen sondes ultrasòniques que emeten ones sonores i registren els ecos que generen en trobar irregularitats o discontinuïtats.
- Mesura de l'espessor dels components: S'utilitza per mesurar espessor en panells de carrosseria, discos de frens o tubs. La tècnica es basa en la mesura del temps que tarda una ona ultrasònica en viatjar des de la superfície fins el fons del material i tornar.
- Avaluació de la qualitat de les soldadures: Detecten possibles defectes com la falta de fusió, falta de penetració o porositats en les soldadures. Això assegura que les unions de soldadura compleixen amb els estàndards de qualitat i la resistència que requereixen.
- Inspecció de peces foses: Avaluen la qualitat d'aquestes peces foses com els blocs motor i les peces d'alumini. Detectes inclusions d'aire, segregacions o porositats internes que poden afectar la integritat i rendiment de les peces.

Com la tècnica d'inspecció per rajos X, la inspecció per ultrasons és no destructiva ja que no perjudica ni altera els components sotmesos a aquests ultrasons.

La **inspecció per làser** es basa en l'ús d'un feix de llum làser per escanejar i analitzar les superfícies dels objectes, permetent obtenir dades tridimensionals i detectar-ne anomalies.

Algunes aplicacions de la inspecció per làser en la industria de l'automòbil són les següents:

- Mesura dimensional: Els sistemes de mesura per làser obtenen mesures precises de dimensions crítiques en parts de l'automòbil com poden ser les parts de la carrosseria. El làser escaneja la superfície dels objectes i recopila dades en temps real per tal de proporcionar informació detallada sobre la dimensió i la forma d'aquestes parts.

- Detecció de defectes i deformacions: Escanejar amb làser pot identificar defectes superficials com bonys, rascades o marques. També detecta qualsevol tipus de deformació i irregularitat en les superfícies.
- Verificació dels assemblatges: S'utilitza també per escanejar les unions i els punts de soldadura per detectar discrepàncies en la alineació, separacions, soldadures incompletes o defectuoses, entre altres punts crítics per la integritat de les estructures.
- Control de qualitat de pintura i acabats: El làser també permet detectar imperfeccions com bombolles, rallades o variacions en l'espessor de la capa de pintura, assegurant així una aparença de gran qualitat de l'automòbil.

De la mateixa manera que les dues tècniques anteriors, la inspecció per làser també és un mètode no destructiu d'inspecció i capaç de recopilar dades tridimensionals detallades, permetent així la detecció de petits defectes i la generació d'informes molt complets.

Les tres tècniques descrites són molt precises i eficients, però també són costoses i requereixen equips especialitzats i personal capacitat per implementar-ho correctament.

L'elecció d'una tècnica de control de qualitat dependrà del tipus de component o part del vehicle que s'estigui avaluant, així com també dels requisits específics de qualitat de la industria i de cada empresa.

2.5. Bases teòriques de la visió artificial

La visió artificial és una disciplina dins de la intel·ligència artificial que s'enfoca en desenvolupar algoritmes i tècniques perquè les màquines siguin capaces d'interpretar i analitzar imatges i vídeos. Aquests algoritmes estan basats en principis matemàtics i estadístics, com també en tècniques de processament de senyals i patrons.

Un dels conceptes fonamentals de la visió artificial és la imatge digital. Una imatge digital és una representació numèrica d'una imatge en la quan cada

píxel es representa a partir d'un valor numèric. Aquests valors es guarden en una matriu on cada fila i columna correspon a una ubicació de la imatge.

Un altre concepte important és la segmentació d'imatges. Quan es parla de segmentació es refereix al procés de dividir una imatge per regions o components més petits i significatius. Això s'aconsegueix a través de l'ús d'algoritmes de "clustering" que són algoritmes d'agrupació, detecció de relleus i tècniques de llindarització d'intensitat en les imatges. La detecció de relleus és un dels mètodes més utilitzats en la segmentació d'imatges. Aquests relleus són las transicions sobtades en els valors dels píxels. Aquests algoritmes busquen aquests canvis de valors i els remarquen com a relleu. Per altre banda, el mètode de llindarització es basa en el procés de convertir una imatge en una imatge binaria on els píxels es classifiquen segons si pertanyen a l'objecte o al fons. Es diferencia entre l'objecte i el fons depenent de la intensitat que es detecta a cada píxel.

L'extracció de característiques és un altre punt clau de la visió artificial. Això es refereix al procés d'identificar patrons i característiques d'una imatge, com relleus o formes. Alguns algoritmes que permeten aquesta extracció de característiques poden ser l'algoritme de Haris o l'algoritme de Hough. L'algoritme de Haris funciona a partir de la detecció de cantonades d'una imatge. Les cantonades es defineixen com punts on hi ha canvis de direcció dels relleus. Aquest algoritme calcula una matriu d'estructura de la imatge i fa servir els seus valors per determinar si un punt és una cantonada o no. En canvi, l'algoritme de Hough és utilitzat per detectar formes específiques com

línies rectes o cercles. Converteix les diferents punts de la imatge en una representació paramètrica i mira unions de punts que siguin corresponents a les formes que es busquen.

La classificació d'imatges és un altre camp important. Per classificació es refereix al procés d'assignar etiquetes o categories en base a les característiques que s'han obtingut prèviament. Això es fa a través d'algoritmes d'aprenentatge automàtic, com les xarxes neuronals i els arbres de decisions. Les xarxes neuronals utilitzades per aquests processos estan dissenyades específicament per processar imatges i extreure'n característiques, i els arbres

de decisions són de molta utilitat en aplicacions que necessiten una classificació ràpida i en temps real.

2.6. Comparativa entre control de qualitat utilitzant i sense utilitzar la visió artificial

El procés de control de qualitat que no utilitza la visió artificial es basa en la inspecció visual realitzada pels operaris de la línia de producció, els quals detecten qualsevol irregularitat en els components o parts utilitzats en la fabricació i els separen del procés de producció ja sigui perquè no són aprofitables o per enviar-los a una estació de reparació com es pot veure en la Figura 3, on es solucionarà el problema que hagi aparegut en cada un. Aquest procés depèn en gran part de l'experiència i habilitat dels operaris, i pot estar afectat per factors com la fatiga, la distracció o la falta de concentració. A part, aquest procés no és capaç de detectar defectes que no siguin visibles per la vista humana per les seves dimensions o bé perquè es troben en zones de difícil accés.

Figura 4 - Operaris reparant manualment un producte defectuós

Per aquests motius, el control de qualitat a partir de la visió artificial és tant important en l'actualitat ja que ha demostrat ser una eina eficaç per detectar defectes amb major precisió i eficiència. Com ja s'ha comentat, la visió artificial utilitza càmeres d'alta resolució i qualitat que permeten capturar detalls molt més precisos que la vista humana.

Els resultats obtinguts en varis estudis permeten observar una millora significativa en la detecció de defectes en la implementació de la visió artificial comparant-la amb els processos de control de qualitat que no utilitzen aquesta innovadora tecnologia. En un estudi realitzat per la companyia Bosch, s'observa que l'ús de la visió artificial en aquests controls permet una detecció de defectes un 20% més precís en comparació al control de qualitat sense visió artificial.

Per altre banda, aquesta tecnologia permet més velocitat i eficiència en el procés de producció, millorant la productivitat i reduint els costos de producció.

Es redueixen els temps d'inspecció i classificació de parts defectuoses en comparació amb el mateix procés portat a terme per un operari.

Cal remarcar que l'ús de la visió artificial per aquests controls de qualitat no implica eliminar la inspecció visual realitzada pels operaris. Aquesta tecnologia pot ser utilitzada com una eina complementaria en la inspecció visual per millorar-ne encara més l'eficiència. També cal considerar la inversió inicial necessària per poder implementar un sistema de control de qualitat basat en visió artificial. Aquests sistemes requereixen una gran inversió en les tecnologies de processament d'imatges, càmeres d'alta resolució i qualitat, com també pels diferents algoritmes necessaris. No obstant això, aquesta inversió és recuperable a llarg termini degut a la millora de qualitat i eficiència en la producció dels productes de cada empresa.

3. Disseny d'un sistema de control de qualitat per a PCBs mitjançant visió artificial

En aquest apartat es mostrarà el procediment per dissenyar un procés de control de qualitat. Per aquest projecte, el procés de control de qualitat serà pel control de PCBs (plaques de circuit imprès) i es portarà a terme mitjançant visió artificial, utilitzant la plataforma Matlab i els seus "toolboxes" que fan possible la programació per processos que utilitzen la visió artificial.

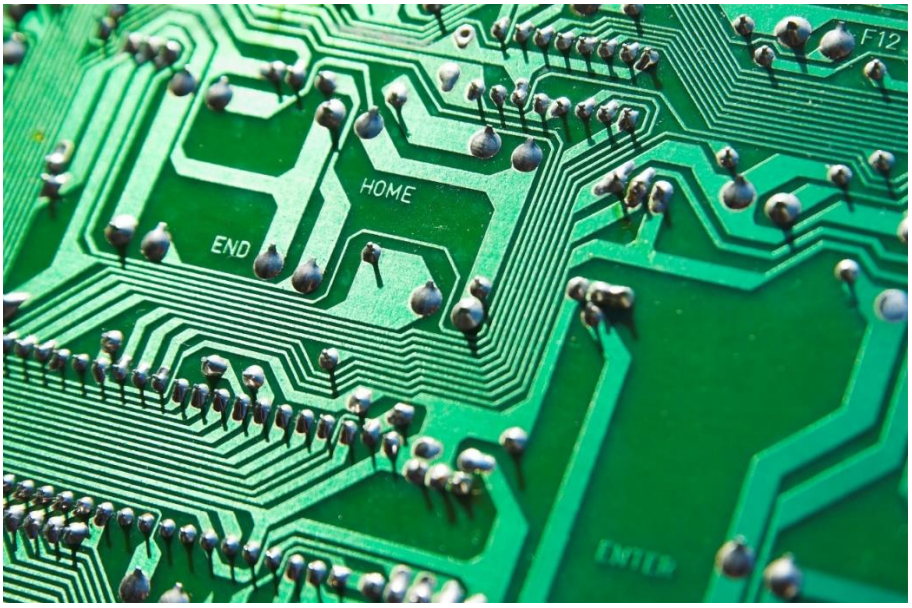

Figura 5 - PCB (Placa de Circuit Imprès)

Els passos principals per aconseguir dissenyar un procés com l'esmentat seran els següents:

1- Software: Explicació del Software necessari per la funcionalitat del procés i dels seus "toolboxes".
2- Hardware: Explicació del Hardware necessari i exemples de productes reals que es podrien utilitzar.
3- Programació: Mostra del codi de programació utilitzat per aquest disseny i explicació dels passos del programa .
4- Proves: Definició de possibles proves necessàries per poder implementar el procés dissenyat amb èxit.

A continuació es detallarà cada pas necessari pel disseny del procés.

3.1. Software

Per poder implementar el nostre sistema de control de qualitat mitjançant visió artificial, és necessari utilitzar un software potent i flexible que sigui capaç de suportar processaments complexes amb imatges i dades.

La plataforma escollida per aquest sistema de control de qualitat és Matlab. L'elecció es deu a la utilització d'aquesta plataforma durant el grau universitari per part de l'autor. La part que conté Matlab per poder utilitzar funcions de visió artificial, es va veure molt breument durant el grau universitari. Per aquest motiu s'ha volgut aprofundir més en aquestes funcionalitats disponibles del programa.

Tot seguit s'explica breument perquè ens pot ser útil la plataforma Matlab pel nostre disseny, i també es mostraran les diferents "Toolboxes" que conté aquest programa, les quals són imprescindibles si es vol utilitzar aquest Software per treballar amb visió artificial.

MATLAB

Els algoritmes de visió per ordinador es poden implementar de manera eficient utilitzant MATLAB per la seva integració en el processament d'imatges i eines d'aprenentatge autònom en una plataforma d'alt nivell.

MATLAB proporciona nombroses funcions per a la segmentació d'objectes, l'anàlisi d'imatges i l'extracció de característiques, així com la implementació d'algoritmes de classificació. A més, la seva integració amb maquinaria i la seva sintaxi intuïtiva contribueixen a facilitar-ne l'ús.

Toolbox de Processament d'Imatges

A part de les seves funcions de conversió, filtratge, binarització i segmentació de color a escala de grisos, aquesta caixa d'eines també inclou la possibilitat de millorar la qualitat de la imatge i identificar objectes d'interès.

Els usuaris poden aprofitar les seves operacions morfològiques, com poden ser dilatació, erosió i extracció de contorns, per fer aquestes tasques més eficients.

Toolbox de Deep Learning

Essencial per a l'aprenentatge profund i la implementació en aplicacions avançades. Aquesta caixa d'eines és imprescindible pel tipus de procés de control que es dissenya en aquest projecte.

Ofereix capacitat per avaluar i entrenar altres arquitectures d'aprenentatge profund i xarxes neuronals convolucionals (CNN). La part de detectar patrons complexos o defectes subtils en la PCB és més fàcil que mai amb aquesta eina.

Eines d'Anàlisi Estadístic

Les eines estadístiques són essencials per analitzar les dades recopilades durant els processos de control de qualitat. MATLAB proporciona funcions per realitzar anàlisis estadístics, com ara anàlisi de variància (ANOVA), regressió i anàlisi de tendències.

Aquests anàlisis proporcionen informació valuosa sobre la variabilitat de les dades i ajuden a identificar àrees de millora en el procés de fabricació.

Eines d'Interfície Gràfica d'Usuari (GUI)

Les interfícies gràfiques són útils per crear interfícies d'usuari interactives. Permeten als operadors veure i analitzar visualment els resultats del control de qualitat.

La interfície gràfica també facilita la configuració i la interacció amb el sistema, augmentant el rendiment i la funcionalitat de tot el sistema.

3.2. Hardware

En aquesta part es definirà el Hardware que s'hauria d'utilitzar perquè el sistema de control dissenyat tingués funcionalitat completa.

També s'introduiran alguns productes reals que podrien ser els escollits pel muntatge pràctic del sistema.

Aquest Hardware específic pel sistema dissenyat té la missió de capturar imatges amb precisió, processar dades complexes i realitzar anàlisis detallats.

Càmera d'Alta Resolució

La càmera a utilitzar per aquest sistema necessita tenir una alta resolució, una bona velocitat de captura, i qualitat suficient en condicions no òptimes d'il·luminació.

Per obtenir una imatge clara i detallada de la PCB, cal una càmera d'alta resolució. La resolució es mesura en megapíxels i determina la quantitat de detalls que la càmera pot capturar. Per a una inspecció detallada, cal una càmera amb una resolució de com a mínim 5-8 megapíxels.

Una càmera que pugui capturar imatges a una velocitat raonable és essencial per mantenir un procés de producció eficient. Les velocitats per fotografiar d'entre 30 i 60 fotogrames per segon, són adequades per les aplicacions industrials.

També és important la capacitat de la càmera per capturar imatges clares fins i tot en condicions de poca il·luminació o il·luminació variant.

PC d'Alt Rendiment

Si el PC que s'utilitza, té un processador potent, memòria RAM suficient, i una targeta gràfica dedicada (GPU), es podrà aconseguir un procés eficient i ràpid.

Es requereix un processador ràpid de múltiples nuclis per fer operacions intensives de processament d'imatges. Per a una velocitat de processament eficient, es prefereixen processadors moderns amb molts nuclis i altes velocitats de rellotge.

Cal suficient capacitat de RAM (16 GB o més) per processar grans conjunts de dades d'imatges. La RAM addicional garanteix un emmagatzematge temporal de dades ràpid i eficient, augmentant així la velocitat del sistema.

Per a aplicacions de visió artificial amb aprenentatge autònom i xarxes neuronals, una targeta gràfica dedicada d'alta gamma serà molt útil. Les GPU modernes estan dissenyades específicament per accelerar operacions matemàtiques complexes, cosa que permet millores significatives en la velocitat de processament.

Il·luminació Adequada

La font de llum LED proporciona una llum uniforme i contínua. Això permet que les imatges siguin clares i sense ombres. Els llums LED també són energèticament eficients i tenen una llarga vida útil.

La capacitat de controlar la intensitat i el color de la llum és important per adaptar-se a diferents entorns de fabricació i a cada tipus de PCB. Per això és recomanable l´ús de sistemes d´il·luminació amb intensitat i temperatura de color regulables.

A continuació es mostra una possible elecció de productes reals per complir amb el Hardware esmentat i poder assolir els objectius del sistema.

Hardware	Producte	Detalls
Càmera	Basler ace acA 1920-155um	Resolució de 1920x1200 píxels que proporciona imatges detallades per a la inspecció. Amb una velocitat de fotogrames de fins a 155 fps i tecnologia CMOS garanteix imatges clares fins i tot en condicions d'il·luminació variants. A més, la interfície GigE permet una integració fàcil amb sistemes informàtics.
PC	PC Workstation HP Z4 G4	Equipada amb un processador Intel Xeon i 16 GB de RAM per a un processament d´imatges ràpid i eficient. SSD de 512 GB que garanteix un emmagatzematge ràpid de grans conjunts de dades d'imatges. La targeta gràfica NVIDIA Quadro P1000 és ideal per aplicacions de visió artificial i aprenentatge autònom.

Il·luminació LED	CCs LM-100LED	Proporciona una brillantor uniforme, necessària per produir imatges d'alta qualitat. Es caracteritza per una llarga vida útil i permet un control precís de la intensitat de la llum, cosa que és important a l'hora d'adaptar-se a diferents condicions.

Figura 6 – Proposta de productes reals pel Hardware del sistema

3.3. Programació

S'ha dissenyat un codi de programació pel control de qualitat de PCBs mitjançant visió artificial, a partir de la plataforma Matlab. Aquest codi és una versió que pot necessitar adaptacions i ajustos depenent del tipus d'inspecció que es vulgui aconseguir i de la indústria on es vulgui implementar.

Per poder fer aquestes adaptacions o ajustos, es modificarien paràmetres com poden ser el llindar d'àrea i la resta d'elements que adapten l'estructura del codi per a cada cas.

Per veure també un exemple de com adaptar aquest codi, s'ha fet una adaptació més detallada per la detecció de defectes com boles de soldadura i ponts entre les traces o els "pads" de la PCB.

El codi base que s'ha dissenyat fa possible les següents funcions principals:

1. Fer una fotografia de la PCB amb una càmera.

2. Convertir la imatge a escala de grisos i a binària.

3. Realitzar operacions morfològiques per millorar les imatges binàries.

4. Etiquetar i comptar els objectes defectuosos de la imatge.

5. Mostrar objectes etiquetats en una finestra nova.

6. Calcular l'àrea de superfície de l'objecte i prendre una decisió basada en aquesta àrea per determinar si hi ha un defecte crític.

```
//Captura de la imatge des de la càmera
cam = webcam; //Inicialització de la càmera
pause(2); //Pausa de 2 segons per l'estabilització de la càmera
pcbImage = snapshot(cam); //Emmagatzema en pcbImage la imatge capturada
imshow(pcbImage); //Es mostra la imatge de la PCB en una pantalla

//Converteix a escala de grisos i binaritza
grayImage = rgb2gray(pcbImage); //Converteix a escala de grisos
binaryImage = imbinarize(grayImage); //Binaritza la imatge a partir del
llindar automàtic

//Operacions morfològiques
binaryImage = bwareaopen(binaryImage, 300); //Elimina objectes menors de
300 pixels
binaryImage = imfill(binaryImage, 'holes'); //Omple forats dels objectes

//Etiqueta i mesura regions de la imatge binària
labeledImage = bwlabel(binaryImage); //Etiqueta objectes
numObjects = max(labeledImage(:)); //Calcula el número d'objectes trobats

//Conta el número d'objectes
disp(['Quantitat de defectes detectats: ', num2str(numObjects)]);

//Mostrar la imatge binària amb els objectes etiquetats
figure;
imshow(label2rgb(labeledImage)); //Mostra els objectes en la imatge, amb
color aleatori per cada objecte

//Calcula l'àrea dels defectes
props = regionprops(labeledImage, 'Area'); //Càlcul
areas = [props.Area]; //Emmagatzema les àrees dels objectes

//Presa de decisions basades en les àrees
llindarArea = 1000; //Estableix un llindar per aquesta àrea (1000 pixels)
defectesGreus = sum(areas > llindarArea); //Conta els objectes amb àrea
més gran que el llindar establert


if defectesGreus > 0
    disp('Defectes greus en la PCB. Aturar producció.');
else
    disp('PCB sense defectes. Continuar produint.');
end


//Allibera la càmera
clear cam;
```

Com ja s'ha comentat anteriorment, aquest codi ofereix la base per obtenir un sistema de control com el dissenyat. Variant alguna part d'aquesta estructura es pot adaptar a una gran varietat de processos de control, així com a diferents tipus de industries.

Per veure com podria ser una adaptació del codi dissenyat, seguidament es mostra com amb pocs ajustos aquest codi bàsic serviria per la detecció de boles de soldadura i ponts entre les traces i els "pads" d'una PCB.

Abans de veure el codi rectificat, per poder entendre millor com cal modificar l'estructura per cada cas diferent, s'explica breument com ajustar la part més flexible de l'estructura del codi per al cas que es proposa.

Per poder adaptar aquest codi per la detecció de boles de soldadura i ponts en la PCB, les modificacions s'hauran de fer en el procés de pre-processament de la imatge i en l'anàlisi dels objectes identificats.

Pre-processament de la Imatge

L'ajust en la part de pre-processament de la imatge és necessari per poder destacar les boles de soldadura i els ponts per la seva detecció.

Les modificacions hauran de ser les següents:

- Convertir la imatge a escala de grisos i ajustar el contrast perquè els objectes brillants es destaquin sobre un fons fosc.
- Aplicar filtrat per ressaltar objectes rodons, després binaritzar la imatge utilitzant un llindar apropiat per separar les boles de soldadura del fons.
- Utilitzar un algoritme de detecció de cercles per trobar boles de soldadura. Per fer això, es poden utilitzar les funcions *houghcircles* o *imfindcircles* a MATLAB.
- Utilitzar operacions morfològiques com juntes de dilatació per connectar les parts del pont i ressaltar-les millor.
- Utilitzar un algoritme de detecció de vores per trobar formes de línies que representin ponts. Es pot utilitzar la funció *bwboundaries* a MATLAB per obtenir els límits d'objectes binaris.

Anàlisi d'Objetes

Quan la imatge ja està processada, per destacar les boles de soldadura i els ponts es necessiten analitzar els objectes per prendre les decisions adients sobre la qualitat de la PCB.

Per aconseguir-ho, es poden utilitzar tècniques d'anàlisi de superfícies i formes per eliminar objectes que no s'assemblin a boles de soldadura. Analitzar els objectes per assegurar que tinguin una forma aproximadament circular com la de les boles o analitzar la longitud i el gruix per determinar els ponts. Establir criteris basats en la longitud per distingir ponts petits de ponts grans. Avaluar la densitat de píxels de l'àrea fotografiada per determinar la densitat del pont.

```
//Pre-processament de la imatge
grayImage = rgb2gray(pcbImage); //Conversió a escala de grisos
contrastAdjusted = imadjust(grayImage); //Ajust del contrast
bwBalls = imbinarize(contrastAdjusted, ballThreshold); //Binarització per
detectar boles de soldadura
bwBridges = imbinarize(contrastAdjusted, bridgeThreshold); //Binarització
per detectar ponts

//Operacions morfològiques
bwBridges = imdilate(bwBridges, strel('line', bridgeWidth, 0));
//Dilatació per la unió dels ponts

//Detecció de cercles
[centers, radii, metric] = imfindcircles(bwBalls, [minRadius,
maxRadius]);

//Detecció de contorns pels ponts
bridgesContours = bwboundaries(bwBridges);

//Anàlisi d'objectes
numBalls = circle(radii); //Número de boles de soldadura trobades
numBridges = length(bridgesContours); //Número de ponts trobats

//Presa de decisions
if numBalls > 0 || numBridges > 0
    disp('Defectes en la PCB. Aturar producció.');
else
    disp('PCB sense defectes. Continuar produint.');
end
```

3.4. Proves prèvies a la implementació

Abans d'implementar qualsevol sistema de control és essencial fer un seguit de proves per comprovar l'eficàcia, la precisió i la fiabilitat del disseny.

Aquestes proves, a part de servir per algunes comprovacions, també són útils per detectar possibles problemes o per optimitzar el sistema abans d'implementar-lo.

Una proposta de proves per un sistema com el d'aquest projecte podria ser la que es presenta a continuació.

Proves per la Captura d'Imatges

Prova	Descripció	Objectiu
Qualitat de les imatges en condicions d'il·luminació variable	Col·locar la PCB en entorns amb il·luminació que va des de llum brillant fins a llum més aviat fosca. Fer fotografies en totes les condicions i avaluar la qualitat i claredat de les imatges resultants.	Provar com la càmera gestiona els canvis d'il·luminació per assegurar-se que les imatges siguin clares i nítides en varies condicions.
Captura d'imatges a diferents angles	Fer fotografies de la PCB des de diferents angles i alçades, assegurant que cobreixin cada part de la placa. Avaluar la qualitat de la imatge en termes de nitidesa i detall.	Assegurar que la càmera pugui capturar imatges detallades de tots els components i connexions des de múltiples angles.
Captura d'imatges a components petits	Col·locar PCBs que continguin components molt petits. Fer fotografies d'aquestes àrees i avaluar la capacitat de la càmera per capturar els mínims detalls dels components.	Provar la capacitat de la càmera per prendre imatges clares i detallades dels components més petits en PCBs.

Velocitat de captura d'imatges en temps real	Agafar imatges en temps real de múltiples PCBs en la seva línia de producció. Experimentar la velocitat de dispar de la càmera i la seva capacitat per processar un flux continu d'imatges.	Comprovar l'eficiència que tindrà la càmera en el temps de cicle de producció de la línia. Assegurar que el sistema és capaç de processar el flux d'imatges en temps real.

Figura 7 – Proposta de proves per la captura d'imatges

Proves de Segmentació i Detecció d'Objectes

Prova	Descripció	Objectiu
Detecció de contorns	Aplicar un algoritme de detecció de vores per ressaltar contorns i rastres d'objectes en PCBs. Comparar els contorns detectats amb els contorns reals per avaluar la precisió.	Garantir que els algoritmes de detecció de contorns siguin prou precisos per extreure les vores dels objectes, facilitant així la identificació i classificació de components i traces.
Detecció de defectes	Introduir defectes artificials a les PCBs i utilitzar algoritmes de detecció per identificar aquests defectes. Avaluar la capacitat del sistema per detectar defectes de diverses mides i tipus.	Assegurar que el sistema pugui identificar i classificar amb precisió diferents tipus de defectes, des de petites esquerdes fins a defectes més grans.

Tolerància a Variacions de Color i Textura	Fer fotografies de PCBs que continguin components amb diferents colors i patrons. Aplicar algoritmes de detecció per avaluar la seva capacitat per identificar components malgrat les diferències de color i textura.	Verificar que el sistema sigui resistent als canvis de color i textura que es troben habitualment en PCBs de gran volum.

Figura 8 – Proposta de proves per la segmentació i detecció d'objectes

Proves d'Anàlisi de Defectes

Prova	Descripció	Objectiu
Detecció de defectes superficials	Incorporar defectes superficials com ratllades o marques a la PCB. Aplicar algoritmes de detecció per identificar i classificar aquests errors en funció de les seves dimensions.	Provar la capacitat del sistema per detectar defectes superficials i classificar-los amb precisió per al seu posterior anàlisi.
Anàlisi de desviacions dimensionals	Mesurar les dimensions dels components i les pistes a la PCB i comparar-les amb les especificacions de disseny. Utilitzar algoritmes analítics per detectar desviacions dimensionals i determinar-ne l'impacte en la funcionalitat.	Avaluar la precisió del sistema de detecció de desviacions i dimensions, assegurant que les peces estiguin dins de les tolerències especificades.
Detecció de defectes durant la producció en sèrie	Implementar el sistema en una línia de producció permetent el control a temps real de cicle durant la producció en massa. Analitzar els errors detectats per avaluar el rendiment del sistema en entorns de producció reals.	Verificar la capacitat del sistema per detectar defectes amb precisió i agilitat durant la producció en massa.

Figura 9 – Proposta de proves per l'anàlisi de defectes

4. Conclusions

Després de realitzar aquest estudi de recerca, anàlisi i explicació sobre el camp del control de qualitat de components electrònics mitjançant la visió artificial, s'han obtingut les següents conclusions més rellevants.

S'ha exposat perquè la implementació de sistemes de visió artificial en la industria de l'automòbil pot ser molt beneficiosa per millorar la qualitat dels components electrònics que s'utilitzen en cada un dels diferents productes d'aquesta industria. Aquests sistemes ajuden a tenir una inspecció més ràpida i precisa, i això permet detectar i corregir defectes a temps durant la seva producció.

S'ha pogut observar com la tecnologia que implica la visió artificial ha anat evolucionant de forma molt significativa durant els últims anys. Això és degut principalment a la millora dels algoritmes de processament d'imatges, els quals han causat un progrés en la identificació de característiques i defectes. Aquestes millores en aquests processos d'inspecció gràcies a la visió artificial, no només beneficien al sector en termes de qualitat, ja que també es reflexa en una important reducció de costos i de temps de cicle durant la producció.

A part de l'ajuda que suposa aquesta tecnologia innovadora per la industria de l'automòbil, també ha suposat una millora cap a la seguretat dels clients per la seva contribució en la seguretat dels vehicles. La precisió en la detecció de defectes en els components electrònics per l'automòbil acaba tenint resultats com evitar accidents de transit provocats per errors de funcionament de certes parts dels vehicles, com poden ser els sistemes de frens o els sistemes d'assistència al conductor.

En l'aspecte econòmic, cal recordar la important inversió inicial que suposa la implementació d'un sistema de control de qualitat que utilitzi visió artificial. La compra dels equips i les tecnologies necessàries, i també la formació per especialitzar al personal de cada empresa, pot suposar una inversió que per algunes empreses, com les més petites, pot resultar un problema. Tot i aquesta significativa inversió inicial, també s'ha de tenir en compte que a llarg termini, si

se'n fa un ús correcte, la implementació d'aquestes tecnologies acaba resultant rentable gràcies a la millora en la qualitat dels productes finals i a la reducció de temps i costos de producció.

Finalment, com a conclusions personals del treball, s'haurien assolit els objectius marcats a l'inici del projecte, ja que la intenció en tot moment ha sigut fer recerca del camp presentat en aquest treball, començar entenent les bases més generals i anar detallant cap a una part més específica, per poder aconseguir dur a terme un treball que serveixi a qualsevol persona que tingui interès o dubtes sobre el què implica i significa el control de qualitat, la visió artificial, i la unió d'aquests dos àmbits sobre la industria de l'automòbil.

5. Bibliografia

Automotive Electronics Council. [En línia]. Disponible a: http://www.aecouncil.com/.

Bosch Semiconductors for Automotive. [En línia]. Disponible a: https://www.bosch-semiconductors.com/.

Continental Automotive. [En línia]. Disponible a: https://www.continental-automotive.com/.

Texas Instruments – Automotive. [En línia]. Disponible a: https://www.ti.com/applications/automotive/overview.html/.

Society of Automotive Engineers (SAE) International. [En línia]. Disponible a: https://www.sae.org/.

Qtechnology – Industrial Machine Vision. [En línia]. Disponible a: https://qtec.com/machine-vision-applications-industries/.

Association for Advancing Automation – Machine Vision in the Automotive Industry. [En línia]. Disponible a: https://www.automate.org/industry-insights/machine-vision-in-the-automotive-industry/.

VSE – The Top Six PCB Quality Control Methods of the Best CMs. [En línia]. Disponible a: https://www.vse.com/blog/2020/05/21/the-top-six-pcb-quality-control-methods-of-the-best-cms/

Pcbcart - How to Ensure the Quality of PCBs. [En línia]. Disponible a: https://www.pcbcart.com/article/content/ensure-PCB-quality

Epec (Engineered Technologies) – PCB Quality Control Systems. [En línia]. Disponible a: https://www.epectec.com/pcb/quality-control-systems.html

MathWorks – MATLAB para procesamiento de imágenes y visión artificial. [En línia]. Disponible a: https://es.mathworks.com/solutions/image-video-processing.html

Solid Machine Vision – Visión Artificial para la Industria 4.0. [En línia]. Disponible a: https://solidmachinevision.com/es/sectores-de-aplicacion/?gclid=CjwKCAjwvfmoBhAwEiwAG2tqzLh1OHwUP9DDIz-p-aJbXwI_eVdIhFDErR6kqrQ3L3xkfJfQ0FvrzhoC0yAQAvD_BwE

Bitmakers, S.L. – Sistemas de Visión Artificial. [En línia]. Disponible a:

https://www.interempresas.net/Medicion/FeriaVirtual/Producto-Hardware-para-vision-artificial-Keyence-(Automatizacion-Industrial)-Serie-PPL-214435.html

Studocu – Visión Artificial. [En línia]. Disponible a: https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-politecnica-del-centro/controladores-logicos-programables/capitulo-4-vision-artificial/58278257