



Treball Final de Grau

LA INDÚSTRIA 4.0 I L'ENGINYERIA QUÍMICA

Grau en Enginyeria Química

Curs 20/21

Autor: Toala Escobar Kimberly

Director: Bonsfills Pedrós Anna

Data: 07 de maig del 2021

Localitat: Manresa, Barcelona

RESUM

En el present projecte s'analitza la disrupció i el grau de transformació que aporta la Indústria 4.0 per mitjà de les noves eines tecnològiques dins de l'àmbit industrial, en específic l'adoptat en l'enginyeria química.

En haver definit el concepte de la Indústria 4.0 es procedeix a estudiar i avaluar els detectors de gasos, emprats avui dia, en un sistema de refrigeració amb amoníac, un cop analitzada l'oferta del mercat es proposa un nou prototip.

El prototip es basa en la tecnologia sistema d'identificació per radiofreqüència (RFID) compost per tres elements imprescindibles, una etiqueta, un lector RFID i una antena RFID.

L'etiqueta RFID es troba composta per un microxip on s'emmagatzema informació unit a una antena interna que permet transmetre la informació emmagatzemada del microxip cap al lector RFID a través de senyals d'ones.

El lector RFID envia constantment senyals, per detectar la presència d'etiquetes en l'entorn, en ser capturades per l'etiqueta, aquesta respon al lector amb senyals, que contenen informació del microxip, per ser processades posteriorment.

L'antena RFID permet la interacció entre l'etiqueta i el lector, permet enviar i transformar les senyals del lector en ones de radiofreqüències.

L'estudi es focalitza principalment en modificar les propietats de l'etiqueta incorporant un nou element entre la unió de l'antena interna i el microxip.

El material del element es basa en partícules de nanotubs de carboni de paret única que en presència del gas a detectar aquest component modifica la seva conductivitat, provocant un senyal elèctric, que indica la concentració detectada en unitats de parts per milió.

ABSTRACT

This project analyses the disruption and degree of transformation that Industry 4.0 brings through new technological tools within the industrial field, specifically that adopted in chemical engineering.

Having defined the concept of Industry 4.0, I proceed to study and evaluate the gas detectors used today in an ammonia cooling system by analyzing the current market supply has been analyzed, a new way of detecting gas leaks is proposed.

The prototype is based on radio frequency identification system (RFID) technology consisting of three essential elements: a tag or sticker, a reader and an antenna.

The tag RFID have a microchip, where information is stored, attached to an internal antenna that allows the stored information of the microchip to be transmitted to the reader RFID through wave signals.

The reader constantly sends signals to detect the presence of the tag RFID in the environment, when the signal is captured the tag RFID responds to the reader send it back the signal with the information stored in the microchip.

The antenna RFID allows the interaction between the tag RFID and reader RFID and allows to send and transform the reader's signal into radio frequency waves.

The study focuses mainly on modifying the properties of the tag RFID by incorporating a new element between the junction of the internal antenna and the microchip.

The material of the new element is based on particles of single-walled carbon nanotubes that in the presence of ammonia gas modifies its conductivity which causes an electrical signal which indicates the concentration of the gas detected in parts per million units.

ÍNDIX

RESUM.....	1
ABSTRACT	2
NOMENCLATURA.....	5
ÍNDIX DE FIGURES	6
ÍNDIX DE TAULES	7
1. INTRODUCCIÓ.....	8
2. INDÚSTRIA 4.0.....	10
2.1. Components principals	11
2.2. Eines tecnològiques de la indústria 4.0.....	14
2.3. Globalització de la Indústria 4.0	16
2.3.1. Amèrica del nord	16
2.3.2. Àsia.....	17
2.3.3. Europa.....	19
3. INDÚSTRIA 4.0 I LA QUÍMICA.....	26
3.1. Indústria química a Catalunya.....	35
3.2. Indústria 4.0 en el sector químic a Catalunya	36
3.2.1. Implementació de la Indústria 4.0.....	38
4. ESTAT DE L'ART.....	42
4.1. Dades del sensor de refinaria d'aprenentatge automàtic per predir els nivells de saturació dels catalitzadors.....	42
4.2. Intel·ligència artificial integrat en un xip.....	44
5. CAS D'ESTUDI: IDENTIFICACIÓ PER RADIOFREQUÈNCIA COM A SENSOR	46
PER A GAS AMONIAC	46
5.1. Justificació	46
5.2. Objectius.....	47
5.3. Característiques de l'amoníac.....	47
5.4. Ús industrial de l'amoníac	50
5.4.1. Amoníac com a refrigerant	51
5.5. Sensors actuals per a la detecció de fuites d'amoníac.....	53
5.6. Proposta d'un nou sensor	58
5.6.1. Etiqueta d'identificació per radiofreqüència (RFID).....	61
5.6.1.1. Circuit integrat (IC)	61
5.6.1.2. Antena interna.....	62
5.6.1.3. Sensor de gas amoníac	63
5.6.1.4. Substrat.....	67
5.6.1.5. Fabricació de l'etiqueta ultra elevada radio freqüència	68
5.6.1.6. Dimensionat etiqueta	69
5.6.2. Lector RFID.....	70
5.6.3. Middleware.....	71
5.6.4. Antena RFID	71
5.7. Instal·lació i ubicació dels sensors en el sistema de refrigeració.....	72
5.8. Cost.....	74
5.9. Control a través del dispositiu mòbil.....	76
5.9.1. Connexions	76

5.9.2. Emmagatzematge de les dades	78
6. CONCLUSIONS.....	79
7. BIBLIOGRAFIA.....	80

NOMENCLATURA

AR: Abreviació en anglès “Augmented reality” – Realitat augmentada

CNT: Abreviació en anglès “Carbon nanotubes” – Nanotubs de carboni

CPS: Abreviació en anglès “Cyber physical System” – Sistema ciber físic

EC: Electroquímic

HF: Abreviació en anglès “High frequency” – Alta freqüència

I4.0: Indústria 4.0

IA: Abreviació en anglès “Artificial Intelligence” traduït és Intel·ligència artificial

IOT: Abreviació en anglès “Internet of the things” significa Internet de les coses

LF: Abreviació en anglès “Low frequency” – Baixa freqüència

RFID: Abreviació en anglès “Radio frequency identification” – Identificació per radiofreqüència

SWCNT: Abreviació en anglès “ Single-wall carbon nanotubes” - Paret simple de nanotubs de carboni

UHF: Abreviació en anglès “ Ultra high frequency” – Ultra alta freqüència

VR: Abreviació en anglès “ Virtual reality” – Realitat virtual

ÍNDIX DE FIGURES

FIGURA 1. EVOLUCIÓ DE LA INDÚSTRIA. -----	9
FIGURA 2. INTERNET DE LES COSES EN LA INDÚSTRIA 4.0.-----	12
FIGURA 3. ESTATS UNITS. -----	16
FIGURA 4. XINA. -----	17
FIGURA 5. FRANÇA.-----	19
FIGURA 6. ITÀLIA. -----	20
FIGURA 7. ESPANYA.-----	21
FIGURA 8. TECNOLOGIES MÉS UTILITZADES. -----	24
FIGURA 9. ECONOMIA CIRCULAR. -----	27
FIGURA 10. CATALUNYA. -----	35
FIGURA 11. DESENVOLUPAMENT DE LA INDÚSTRIA 4.0 PER SECTORS A CATALUNYA.-----	36
FIGURA 12. DIAGRAMA DEL FLUID CATALÍTIC D'UN PROCÉS DE CRAQUEIG. --	42
FIGURA 13. ESQUEMA DE LA PLATAFORMA LAB-ON-XIP. -----	44
FIGURA 14. PRODUCCIÓ D'AMONÍAC. -----	49
FIGURA 15. SENSOR SEMICONDUCTOR. -----	54
FIGURA 16. SENSOR PEL-LISTOR. -----	55
FIGURA 17. SENSOR ELECTROQUÍMIC. -----	57
FIGURA 18. COMPONENTS DEL SISTEMA D'IDENTIFICACIÓ PER RADIOFREQUÈNCIA. -----	58
FIGURA 19. NANOTUBS DE CARBONI (PARET SIMPLE I MÚLTIPLES PARETS). -	60
FIGURA 20. COMPONENTS DE L'ETIQUETA. -----	61
FIGURA 21. CIRCUIT INTEGRAT. -----	61
FIGURA 22. DIMENSIONAT ANTENA UHF. -----	62
FIGURA 23. INTERACCIÓ SWCNT AMB NH ₃ . -----	64
FIGURA 24. INTERCANVI D'ELECTRONS.-----	64
FIGURA 25. CAPA EXTENSA DE SWCNT. -----	65
FIGURA 26. CAPA CURTA DE SWCNT. -----	65
FIGURA 27. RESISTÈNCIA. -----	66
FIGURA 28. IMPEDÀNCIA.-----	66
FIGURA 29. IMPRESSIÓ PER INJECCIÓ DE TINTA.-----	68
FIGURA 30. PROTOTIP DEL SENSOR. -----	68
FIGURA 31. INTERCANVI DE SENYALS ENTRE LECTOR RFID I L'ETIQUETA. ----	70
FIGURA 32.COMPARACIÓ DE DENSITATS DELS REFRIGERANTS RESPECTE L'AIRE.-----	73
FIGURA 33. CONFIGURACIÓ DEL SISTEMA RFID. -----	74
FIGURA 34. EMISSIÓ ONES DE RADIOFREQUÈNCIA.)-----	74
FIGURA 35. DISPOSITIU ANDROID 8.1. VERSIÓ.-----	77
FIGURA 36. CONNEXIÓ ENTRE ELS DIFERENTS SISTEMES. -----	78

ÍNDIX DE TAULES

TAULA 1. LÍNIES D'ACTUACIÓ I ÀREES ESTRATÈGIQUES D'ESPANYA -----	22
TAULA 2. LÍNIES E INICIATIVES DE LA INDÚSTRIA 4.0 D'ESPANYA -----	23
TAULA 3. COMPARATIVA D'ESTRATÈGIES ENTRE ELS DIFERENTS PAÏSOS ----	25
TAULA 4. DE LA QUÍMICA 3.0 CAP A LA QUÍMICA 4.0 -----	29
TAULA 5. OPERACIONS I CREIXEMENT DEL SECTOR QUÍMIC-----	30
TAULA 6. INCREMENT I GENERACIÓ D'INGRESSOS DEL SECTOR QUÍMIC-----	34
TAULA 7. MILLORA I PREVENCIÓ DEL SECTOR QUÍMIC.)-----	34
TAULA 8. PROPIETATS AMONÍAC -----	46
TAULA 9. IDENTIFICACIÓ DE LA SUBSTÀNCIA -----	47
TAULA 10. ÚS DE L'AMONÍAC -----	50
TAULA 11. PROPIETATS AMONÍAC REFRIGERANT -----	51
TAULA 12. COMPARACIÓ DELS SENSORS DE GAS AMONÍAC EN FUNCIÓ DE LA CONCENTRACIÓ(PPM) -----	53
TAULA 13. RANG DE LECTURA -----	65
TAULA 14. DISPOSICIÓ I QUANTITAT DE PÍXELS IMPRESOS-----	65
TAULA 15. PARÀMETRES DE L'ETIQUETA-----	69
TAULA 16. LOCALITZACIÓ DELS SENSORS -----	73
TAULA 17. PREU DEL SISTEMA-----	75

1. Introducció

Existeix una fusió històrica entre la revolució científica-tecnològica i la transformació industrial, on l'evolució tecnològica, com mostra la Figura 1, generada en cada revolució dona lloc a l'estàndard actual de processos de fabricació.

Data l'any 1760 quan varen tenir lloc els primers avanços tecnològics, produint la transició del règim artesanal a l'industrial, la força humana i animal varen ser substituïdes per l'energia mecànica, aconseguint una nova forma d'organització industrial.

Aquesta millora, en termes de productivitat, juntament amb descobriments tecnològics varen impulsar el desenvolupament industrial, reflectit amb la màquina de vapor, creat per James Watt al 1764, sent un dels invents més importants en aquella època.

La nova forma de produir energia, a partir de la potència calorífica del carbó i la força d'expansió de l'aigua, va significar un pas important pels sectors de mineria e indústria, proporcionant així molta més potència, seguretat i versatilitat, en comparació a les fonts d'energia tradicionals.

Cal destacar que cap a mitjans del segle XIX la indústria siderúrgica aconsegueix certs avanços com ara:

- Substituir el carbó vegetal, utilitzat com a font d'energia per la màquina de vapor, per un mineral, conegut avui dia, com coc.
- Descobreix el combinat per obtenir ferro fos.

Seguidament, entre l'any 1870 fins al 1914, com a conseqüència del desenvolupament dins del marc tecnològic i amb l'objectiu d'aconseguir un procés de producció a gran escala de productes homogenis i estalvis en la mà d'obra, es varen produir innovacions en les línies de producció.

Aquest cop, la indústria química fou un dels principals pilars d'aquesta revolució aportant colorants químics, productes farmacèutics, fabricació d'explosius, indústria del cautxú, però el més important fou el descobriment de l'acer, convertint-se en un producte base de la indústria pesada.

Finalment, entre els anys 1950 fins al 1970 es produeix un salt cap a la tecnologia digital deixant en l'oblit l'era analògica, sorgeixen tecnologies emergents com el de la microelectrònica, la unitat central, la intel·ligència artificial, apareix Internet, ordinadors, el telèfon mòbil, etc.

Es produeixen transformacions dels processos productius amb l'ús d'equips programables, maquinària, redistribució i reorganització dels equips productius que donen lloc a un procés d'automatització, facilitant disseny de nous productes a conseqüència de la programació de les màquines que varen permetre realitzar una producció més variada i/o flexible, en funció de la demanda del mercat.

Les noves tecnologies es varen incorporar als sistemes de producció, amb l'objectiu de flexibilitzar i maximitzar el rendiment de l'equip productiu, a més de substituir la mà d'obra en els processos de transformació de la matèria primera en cadascuna de les fases del procés de fabricació.

Així doncs, una gran varietat de sistemes i dispositius caracteritzen el procés de la automatització, on les màquines reben instruccions d'un ordinador, que va des de la manufactura, passant pel procés de fabricació i disseny de productes, fins a la programació i control dels principals aspectes de la producció.

La nova revolució industrial fa referència a una xarxa intel·ligent de màquines i processos, on la producció guanyarà un nou nivell de qualitat amb productes i serveis interconnectats, per mitjà del Internet de les coses, de dispositius que tindran la capacitat de comunicar-se i prendre decisions entre ells, facilitant la creació de fàbriques intel·ligents.

La disrupció tecnològica actual modificarà el statu quo de la indústria, el principal objectiu es impulsar la fabricació digital augmentant la digitalització i la interconnexió de productes, cadenes de valor i model de negoci.



Figura 1. Evolució de la indústria. Font: [\(ACCIÓ 2020a\)](#)

2. Indústria 4.0

“Alemanya és el país de les idees” afirmava Annette Schavan, cap del Ministeri d'Educació i Recerca, durant la presentació del projecte High-Tech Strategy del 2006, fou la primera vegada en què el govern alemany desenvolupava una estratègia nacional, per aconseguir que el país alemany es convertís en líder mundial dels mercats més importants, d' un futur pròxim, donant suport a les noves tecnologies (Bill 2014).

L'any 2009, en la recerca de com millorar i assolir els objectius del projecte polític-industrial, entra a formar part del govern alemany, en Henning Kagermann, president de l'acadèmia alemanya de ciències i enginyeries, l'ideòleg de la nova revolució industrial.

A la Fira de Hannover del 2011, s'exposava el High-Tech Strategy 2020, on es presenta, per primer cop, el concepte del futur **Indústria 4.0**, coneguda avui dia com la quarta revolució industrial (European Commission 2017).

Es tracta de la fusió entre el món real i el virtual per mitjà dels sistemes ciber-físics, on cada objecte tindrà un model digital en el futur sobre el qual es podran realitzar diverses accions en un espai virtual, és a dir, serà possible portar a terme millors simulacions de productes i processos de producció fent possible la reducció d'energia i recursos a l'hora de realitzar proves.

Això implica un major grau d'automatització, millora de la qualitat del producte, més rapidesa dels cicles de renovació i sobretot una reducció en el consum de recursos. L'impuls de la fabricació digital a través de la transformació digital, adquireix un nou nivell de qualitat amb l'ús de xarxes globals a través de: l'internet de les coses , comunicació entre màquina – màquina e instal·lacions de fabricacions intel·ligents (Federal Ministry for Economic Affairs and Energy 2019).

Els models de producció i processos, no seran els únics que adoptaran nous canvis sinó també el model de negoci, això implicaria avantatges com :

- Millorar la competitivitat de la producció industrial, com a solució a les pèrdues que es donen en els països emergents i amb baixos costos de mà d'obra.
- Aconseguir desenvolupar una indústria capaç d'atendre les necessitats i desitjos dels clients, fabricant productes personalitzats, produïts i servits de la manera més ràpida.
- Gestió eficaç dels recursos.

El govern alemany introdueix *Plattform Industrie 4.0* per coordinar la transformació digital de forma organitzada en la indústria:

- Desenvolupar els conceptes bàsics per abordar els reptes que comporta la nova indústria.
- Proporcionar informació específica per acadèmics, empreses i polítics.
- Donar suport a les PYMES amb ofertes de serveis específics per l'orientació de la Indústria 4.0.
- Impulsar els intercanvis nacionals i internacionals en les àrees de seguretat i estandardització de tecnologies industrials.

2.1. Components principals

➤ Sistema ciber – físic

Es tracta de sistemes multidimensionals i complexos, considerats com el nucli de la indústria 4.0, caracteritzats per la integració de processos físics i computacionals que permeten la interacció entre el món digital (virtual) i el món analògic (real o físic).

L'actual disseny i combinació entre el món digital i el món analògic, integra diverses capacitats de computació, emmagatzematge i comunicació, facilitant així el control i la interacció dels processos físics, aquest model es troba compost per cinc capes específiques:

- Capa física: Elements com sensors, actuadors, dispositius integren aquesta capa, permetent la recopilació de dades en temps real, a través de sensors del producte, podent ser processats o transmeses al núvol directament per a un futur processament.
- Capa de xarxa: L'accés al ciber espai s'aconsegueix a través de les diferents xarxes protocol·làries on cadascuna de les existents aporta una sèrie d'avantatges segons la velocitat, latència, banda ampla, fiabilitat, seguretat i escalabilitat.
- Capa d'emmagatzematge: Recopilen una gran quantitat de dades, dels elements descrits a la capa física, les quals són emmagatzemades en un servidor local o en el núvol.
- Capa de processament i capa analítica: Serveix per processar les dades fent ús de models de simulació com la reducció de mapatge i algorismes de modelatge dimensional.
- Capa d'aplicació: Permet la interfície d'usuari per a consumidors, operadors, fabricants, proveïdors externs i de serveis.

➤ Internet de les coses

Es tracta d'una infraestructura dinàmica de xarxes globals amb capacitats d'autoconfiguració, basades en protocols de comunicació estàndards, que permet als elements del món físic connectar-se entre ells o bé amb altres elements (ordinadors o màquines).

Per tant, fa referència a sistemes de tecnologia industrial connectats a subsistemes, processos, elements interns o externs, incorporats en sensors electrònics, actuadors i dispositius digitals amb un software específic que permet comunicacions entre ells (Calia i D'Aprile 2020).

La indústria 4.0 aplicat a l'internet de les coses es coneix com l'internet del tot, engloba tres termes nous, representats a la *Figura 2*, que són:

- Internet de les dades
- Internet de les persones
- Internet de serveis de fabricació

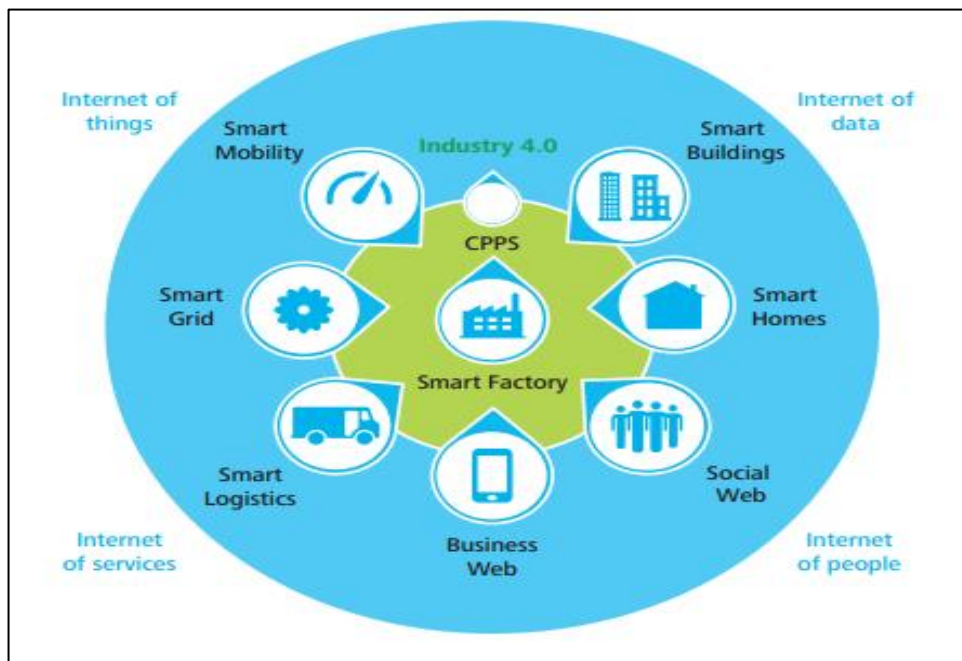


Figura 2. Internet de les coses en la indústria 4.0. Font: [\(Gilchrist 2016\)](#)

➤ Dades massives i anàlisi de dades

Les dades massives fan referència a un gran volum d'actius/valors d'informació, complexos i de gran varietat que requereixen tècniques i tecnologies avançades, rendibles i innovadores que permetin la captura, emmagatzematge, distribució, administració, anàlisi i processament d'informació per una millor compressió i toma de decisions adequades.

Les dades massives es troben caracteritzades per dimensions conegudes com les quatre "V" (Gilchrist 2016), aquestes són:

- **Volum:** La mida de les dades varien en funció de factors com: el temps i el tipus de dades i, es poden classificar en terabits i pentabits.
- **Varietat:** Procedència de diverses fonts sense una estructura fixa, segons l'heterogeneïtat estructural d'un conjunt de dades, es classifiquen en: estructurades (constitueixen un 5% de les dades existents), semiestructurades i no-estructurades(textos, imatges, àudios i vídeos).
- **Velocitat:** Ritme al qual entren les dades en un sistema i la rapidesa en ser analitzades.

En funció de l'anàlisi de dades es consideren altres tres característiques (Fang et al. 2015) a tenir en compte, aquestes són:

- **Veracitat:** Poca fiabilitat de les fonts d'origen de les dades.
- **Variabilitat:** Variació en el flux de dades, sota màxims i mínims, com a conseqüència de la velocitat no lineal, de les dades massives.
- **Valor:** Les dades no són iguals, per tant, es necessari avaluar quines dades han de ser recopilades i analitzades.

2.2. Eines tecnològiques de la indústria 4.0

➤ Mitjans de producció

– Robòtica avançada

Els robots presenten un rol important per a la indústria 4.0 (Yang i Gu 2021) la interacció entre home-robot, on la maquinària automatitzada té com a objectiu realitzar accions repetides de forma ràpida i precisa, capaç d'accedir a aquelles zones on els humans estiguin restringits per treballar. Això no implica necessàriament la substitució íntegra de la persona pel robot/maquinària.

– Impressió 3D:

És un conjunt de tecnologies de fabricació additiva on el model a construir es crea per deposició de material capa a capa a partir d'un model 3D virtual (Sergio Gómez Gonzalez, Impressió 3D,2019).

El model s'obté a partir d'afegir capa a capa d'un material en forma de resina o pols (polímer, ceràmic o metall) que es compacta o cohesiona a causa de la deposició d'un aglutinant que segueix les distintes seccions del model CAD 3D.

La forma en la qual es produeix la deposició del material defineix el tipus de tecnologia d'impressió 3D, algunes impressores dipositen el material després del seu escalfament (FDM), el fonen (SLS) o el dipositen en forma de làmines primes i tallades.

➤ **Dades i connectivitat**

– Ciberseguretat

A través de processos i tecnologies de seguretat aplicades a la digitalització permeten protegir els sistemes industrials crítics, línies de producció, infraestructures o sistemes de transmissió de la informació contra les amenaces informàtiques.

– Computació en núvol

Model tecnològic que presta serveis computacionals, fent ús de recursos visualitzats i escalables, a través d'Internet. El model es troba compost per cinc característiques essencials (sota demanda i autoservei, accés a la xarxa, àmplia, agrupació de recursos, elasticitat i servei mesurat) quatre models d'implementació (privat, públic, comunitat e híbrid) i tres models de serveis (software com a servei, infraestructura com a servei i plataforma com a servei) (Kristiani et al. 2019).

➤ **Intel·ligència artificial**

– Realitat augmentada

Realitat mixta que facilita a l'usuari informació virtual augmentant el sentit de la realitat, aquesta tecnologia fusiona un entorn físic del món real amb la superposició d'objectes digitals generats per ordinadors, en temps real, visualitzat a través d'un dispositiu tecnològic, actualment es troben en una fase inicial.

– Simulació

Es basa en la identificació de variables dins d'una situació, un cop les identifica formula una sèrie d'hipòtesis de la qual obtindrà resultats i aquests seran comparats amb els resultats de l'observació. En cas que es produeixin errors, la simulació s'utilitza per escurçar el temps d'inactivitat, d'altra banda s'utilitza per assegurar la qualitat del producte així com per minimitzar els costos dels canvis en els preus de mercat.

– Integració de sistemes

Connexió entre els processos i sectors de les fàbriques per aconseguir intercanviar informació de forma ràpida i eficaç, aconseguint una major productivitat, disminució de pèrdues i optimització dels recursos. D'aquesta manera, els fabricants, proveïdors i clients estaran estretament enllaçats pels sistemes informàtics facilitant l'evolució cap a una transformació digital dins de la indústria.

2.3. Globalització de la Indústria 4.0

Des de la presentació de la Indústria 4.0 diversos països han presentat estratègies per conduir al seu país cap a la nova era industrial, cadascuna de les estratègies adoptades són explicades, a continuació:

2.3.1. Amèrica del nord

En l'actualitat, el país nord – americà, Figura 3, manté el seu lideratge en innovacions científiques i tecnològiques. És coneixedor de la competència generada per països de la unió europea i, el líder del continent asiàtic Xina que aposten fortament per la Indústria 4.0.

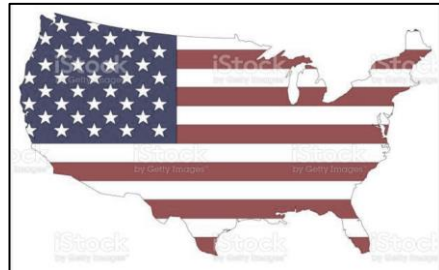


Figura 3. Estats Units. Font: (Yang i Gu 2021)

L'any 2018 el govern americà presenta el pla estratègic *An strategic plan for advanced manufacturing* per assegurar la prosperitat en seguretat nacional i economia, estructurant-se en funció de tres objectius estratègics, on cadascú contempla un objectiu prioritari a assolir durant els pròxims quatre anys :

- Transició i desenvolupament cap a noves tecnologies
- Educar, ensenyar i connectar el personal del procés de fabricació
- Ampliar les capacitats de la cadena de subministrament de fabricació

Destaca el primer objectiu estratègic Transició i Desenvolupament Cap a Noves Tecnologies on entra en joc la Indústria 4.0, per assolir una major competitivitat a través dels següents punts:

- Identificar els sistemes de fabricació intel·ligent del futur
- Desenvolupar materials líders a escala mundial i processos tecnològics
- Assegurar l'accés a productes mèdics a través de la fabricació nacional
- Mantenir el lideratge en dissenys electrònics i fabricació
- Enfortir les oportunitats de fabricació d'aliments i agricultura

2.3.2. Àsia

Durant el 2014 es va efectuar una visita del primer ministre Li Keqiang a Alemanya per acordar un pacte de col·laboració Alemanya-Xina dirigida a la Indústria 4.0 (Casalet 2030).

Sota la influència del pla estratègic alemany, el Consell d'Estat Xines elabora una estratègia amb l'objectiu de convertir-se en el pròxim líder mundial de la indústria manufacturera i ser una potència tecnològica poderosa.

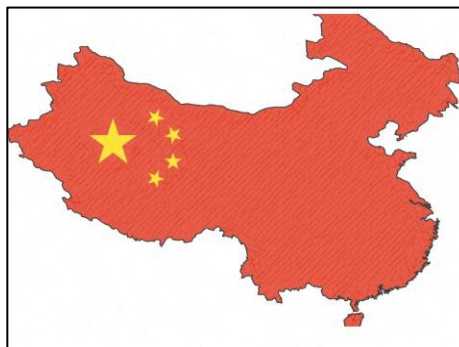


Figura 4. Xina. Font: ([Yang i Gu 2021](#))

El gegant asiàtic, Figura 4, es va proposar aconseguir una major qualitat i eficiència de la producció reestructurant la seva indústria. Durant l'any 2015, el ministre d'indústria i informació tecnològica, presenta la iniciativa que té per objectiu enfortir el sector manufacturer, apostant per una fabricació intel·ligent que integra totes les eines pròpies de la Indústria 4.0 (Casalet 2030)

Made in China 2025 és el nom de la iniciativa que busca millorar la capacitat manufacturera del país i així posicionar-lo per davant de potències importants com el Japó, Estats Units i el país col·laborador Alemany (Zhong et al. 2017) impulsant la seva base industrial amb innovacions autòctones, una autonomia tecnològica i millora tecnològica.

➤ **Objectius**

- [1] Augmentar la capacitat innovadora en la fabricació nacional
- [2] Promoure una fusió profunda d'informació i industrialització
- [3] Enfortir els fonaments de capacitat industrial
- [4] Impulsar la construcció de marca de qualitat xinesa
- [5] Fabricació respectuosa amb el medi ambient
- [6] Habilitar avanços en sectors clau
- [7] Reestructuració de la indústria manufacturera
- [8] Avançar en les indústries manufactureres i de serveis relacionats amb la fabricació
- [9] Augmentar la implicació internacional en la fabricació.

➤ **Fases**

- [1] Propòsit de la **Fase 1 [2020 al 2025]** és convertir Xina en un potència els propers deus anys :
- Es vol aconseguir pel 2020, millora en l'àrea de la industrialització, consolidar el poder de la fabricació i augmentar la fabricació digitalitzada.
 - Domini de les tecnologies en àrees clau, reforç de la competitivitat en zones predominades per la Xina i millorar la qualitat del producte.
 - Augment de camp de la digitalització, xarxes de contacte i la informació en la fabricació implicaran avanços significatius. D'altra banda, es busca una disminució de l'energia i material de consumició per unitat del valor afegit i emissions de contaminants.
- [2] Propòsit de la **Fase 2 [2025 al 2035]** és aconseguir estar entre els primers poders de fabricació :
- Millora en la qualitat del producte de fabricació, augment de la productivitat i integració de les IT
 - Assolir al 2035 posicionar-se en un nivell intermedi entre les potències de fabricació mundial
 - Millorar la capacitat d'innovació i augmentar la competitivitat global
- [3] Propòsit de la **Fase 3 [2035 al 2049]**
- Augmentar la consolidació del sector de fabricació per assolir el lideratge entre les potències de fabricació mundial
 - Capacitat d'innovar i posseir avantatges de competitivitat en àrees de fabricació
 - Desenvolupar avanços tecnològics i sistemes industrials.

2.3.3. Europa

En Europa destaca la Cooperació Trilateral, integrat pel govern francès, el govern italià i el govern alemany com a pioner de la nova era industrial, que busquen reunir òrgans d'implementació d'estratègies nacionals per promoure i expandir la digitalització en altres països.

➤ **França: Alliance Industrie Du Futur**

Impulsat pel declivi industrial del 2012, el govern francès va llançar diverses iniciatives i programes, on va destacar la iniciativa *Alliance Industrie du Futur* (Yang i Gu 2021), liderat per Phillippe Darmaryan.

Buscava modernitzar la base i eines de producció de les empreses o models d'empreses, donant suport a l'ús e integració de tecnologies digitals per transformar-les, seguint tres passos:

- Desenvolupar el subministrament de noves tecnologies i la normalització en l'àmbit internacional.
- Acompanyar i ajudar a les empreses, preparar els recursos humans per a la indústria del futur.
- Difondre la promoció industrial del futur i, realitzar una valoració de resultats.

Temps més tard, l'any 2015 va presentar el programa *Industrie Du Futur*, com a estratègia per al desenvolupament de la indústria 4.0, desplegant noves tecnologies digitals, transformant i modernitzant les diferents pràctiques de producció, caracteritzat per cinc pilars fonamentals:

- [1] Desenvolupar tecnologies d'avantguarda per donar suport a les empreses que desenvolupen grans projectes en fabricació additiva, plantes virtuals i integració de l'internet de les coses i, realitat augmentada.
- [2] Facilitar ajudes a les companyies industrials per adaptar-se a nous paradigmes, a través de suport personalitzat amb auditories (petites i mitjanes empreses) i , suport financer per invertir en projectes.
- [3] Millorar la plantilla, crear visions de futur amb els sindicats i desenvolupar programes de formació i plans d'estudis.
- [4] Realitzar autopromoció per impulsar la seva marca Creative France Industry a nivell europeu.
- [5] Reforçar la cooperació internacional i europea per establir aliances amb enfocament bilateral amb el govern alemany.

En l'actualitat, el govern francès es centra en el desenvolupament de la fabricació avançada en àrees de la indústria com el transport, l'Internet de les coses, la seguretat i sostenibilitat , on cadascuna d'aquestes àrees té el seu propi full de ruta.



Figura 5. França. Font: [\(Yang i Gu 2021\)](#)

➤ **Itàlia: Indústria 4.0**

A l'any 2012 per fomentar i augmentar la productivitat i desenvolupar noves estratègies industrials, el Ministeri Italià d'educació universitat e investigació, presenta el projecte *Fabbrica Intelligente*.

El projecte té per objectiu desenvolupar e implementar una estratègia focalitzada en la investigació e innovació, capaç de dirigir la transformació del sector de fabricació i aconseguir nous productes, serveis i tecnologies.



Figura 6. Itàlia. Font: [\(Yang i Gu 2021\)](#)

A inicis del 2017, el govern italià, inspirat per les iniciatives de països com Alemanya, França i Holanda, presenta *El Pla Nacional Indústria 4.0*. L'objectiu principal és aplicar mesures estratègiques focalitzades en la innovació, la competitivitat i el desenvolupament de competències, per aconseguir el canvi industrial, aquesta estratègia es caracteritza per :

- [1] Operar en lògica de neutralitat tecnològica.
- [2] Implementar accions horitzontals i verticals.
- [3] Impulsar el salt cap a la productivitat tecnològica
- [4] Coordinar els punts claus

Actualment, el projecte continua en els seus inicis però es focalitza en donar suport a l'ús de tecnologies innovadores, la transformació digital e impulsar la competitivitat italiana. D'altra banda, té per objectiu desenvolupar habilitats a través de hubs d'innovació digital, centres de competència, programes educatius, formació professional i doctorat industrial.

➤ **Espanya: Indústria Connectada 4.0**

En busca de millorar el motor de la economia i augmentar la competitivitat industrial, abatuda per la crisi economia del 2014, el Ministeri de Indústria, Energia i Turisme presenta la iniciativa *Indústria Connectada 4.0*.

El projecte compta amb el suport principal de Indra, Santander i Telefónica («Indústria a Cone Pre esenta ación de la iniciat iva» 2015) sota el següent model de governança:



Figura 7. Espanya. Font: [\(Yang i Gu 2021\)](#)

- **Consell Rector Indústria Connectada 4.0** : És el responsable de duu a terme la representació i comunicació de la iniciativa, del establiment de pautes, la coordinació a alt nivell dels actors i pressupostos i la valoració dels resultats.
- **Consell Executiu Indústria Connectada 4.0** : Sota aquest òrgan recau la responsabilitat de supervisar la definició, la execució i els avanços operatius de la iniciativa I4.0 i reconduir-los en cas de que fos necessari.

La iniciativa, presenta un pla estratègic capaç de fer front als reptes que presenten la globalització, exigència i competitivitat dels mercats. Orientat cap al reforçament de la competitivitat del sector industrial que comporta millores tecnològiques i una transformació digital, presenta els següents objectius:

- [1] Incrementar del valor afegit industrial i treball qualificat en el sector industrial.
- [2] Afavorir el model industrial del futur amb el fi de potenciar els sector industrial i augmentar el seu potèncial de creixement i desenvolupant la oferta local de solucions digitals.
- [3] Desenvolupar palanques competitives diferencials per afavorir la indústria espanyola e impulsar les exportacions.

Estudia els obstacles a prevenir, per consolidar una posició competitiva, millora estructural industrial amb nous processos, productes i models de negoci, per aquest motiu analitzen les línies d'actuació i àrees d'estratègies, com s'observa a la Taula 1.

Els anàlisis es realitzen en funció a cinc premisses: 1) Potènciar aquells sectors de pes per a Espanya 2) Potènciar les capacitats de cada sector i cadena de valor 3) Desenvolupament de Pymes 4) Focalització en els habilitadors claus de la indústria 4.0 que faciliten la digitalització 5) Llarga duració amb un horitzó de transformació continua.

Taula 1. Línies d'actuació i àrees estratègiques d'Espanya. Font: [\(Valdés Fernando 2017\)](#)

Línies d'actuació	Àrees estratègiques
Garantir el coneixement i desenvolupament de les competències de I4.0	<ul style="list-style-type: none"> • Garantir el coneixement sobre la I4.0, els habilitadors digitals, beneficis. • Assegurar la disponibilitat de les competències.
Fomentar la col·laboració multidisciplinària	<ul style="list-style-type: none"> • Entorns i plataformes col·laboratives
Impulsar el desenvolupament d'una oferta de habilitadors	<ul style="list-style-type: none"> • Fomentar el desenvolupament de habilitadors digitals. • Suport a empreses tecnològiques.
Promoure les actuacions adequades per donar lloc a la I4.0	<ul style="list-style-type: none"> • Suport a la adopció de la I4.0 per la indústria. • Marc regulador i estandardització. • Projectes I4.0

Per assolir la transformació digital cada comunitat autònoma, en base a la iniciativa del govern espanyol, posa en marxa els seus plans d'estratègia, on en destaca Catalunya i el País Basc, comunitats amb major pes dins del teixit industrial espanyol.

A l'any 2016, la Viceconserjeria d'Indústria del Departament de Desenvolupament Econòmic e Infraestructura en col·laboració amb SPRI i l'Ens Basc de l'Energia varen elaborar pel Govern Basc i així poder reforçar l'ecosistema industrial, un pla d'estratègia sota el nom *Basque Industry 4.0*.

A través de les diferents línies e iniciatives, mostrades a la Taula 2, es busca integrar, desenvolupar i aplicar les noves tecnologies en els processos productius, aportant un nou enfocament conceptual i estratègic per donar lloc a la digitalització dels processos industrial i posicionar-se com una de les primeres comunitats tant a nivell nacional i com a estat independent Europeu, en apostar per la nova indústria.

Taula 2. Línies e iniciatives de la Indústria 4.0 d'Espanya. Font: [\(Departamento De Desarrollo Económico e Infraestructuras 2016\)](#)

Eixos	Línies e iniciatives concretes
PYME	Sensibilitzar a les pymes sobre la I4.0 i el potencial de les TEIC a través de SPRI Empresa Digital i Barnetegi Industry 4.0
Projectes estratègics	Impulsar el desenvolupament industrial i tecnològic en àmbits energètics de futur Potencia l'ecosistema basc de I4.0 amb nous actors amb capacitat de tracció i cooperació Intensificar la política de atracció i retenció de inversió del exterior generador d'ocupació, a través de la iniciativa <i>Invest in the Basque Country</i> de SPRI.
Tecnologia, Innovació, Indústria Avançada	Donar impuls a la I+D, en línia amb la estratègia RIS3, el PCTI 2020 i el procés de reordenació de la RVCTI iniciat en la legislatura anterior Potenciar amb decisió la cooperació interempresarial e intersectorial, en línia amb la nova política de clústers Euskadi 2015-2020 Posicionar a Euskadi com un territori atractiu per emprendre, per mitjà del Pla Interinstitucional de Emprendiment
Persones formades i ocupació de qualitat	Contribuir des de la política industrial en recerca d'una millor connexió entre la oferta i la demanda de perfils laborals de la indústria

Un cop posta en marxa la iniciativa Indústria Conectada 4.0, en les diferents comunitats autònomes, entre el 2015 i 2018 la consultora PWC realitzava la enquesta Industry 4.0: Global Operations Study, a diverses empreses espanyoles, per conèixer amb quin percentatge augmentava la transformació digital amb la incorporació de noves tecnologies pròpies de la indústria 4.0

Les dades obtingudes foren traçades i representades a la Figura 8, mostren que durant l'any 2018, tan sols una cinquena part del teixit industrial espanyol incorporava les noves eines tecnològiques, on destaca: Big Data (7,9%), Serveis digitals (6,5%) i la Impressió 3D (6,4%).

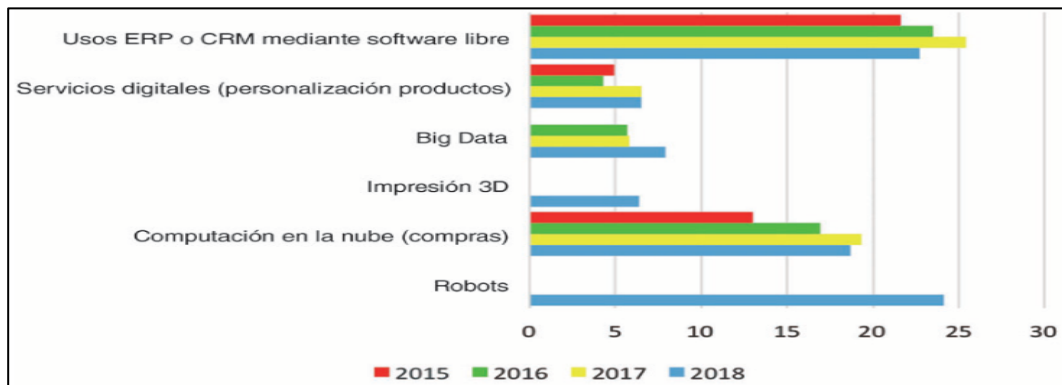


Figura 8. Tecnologies més utilitzades. Font: [\(Torrent-Sellens 2019\)](#)

Taula 3. Comparativa de les estratègies entre els diferents països. Font: Elaboració pròpia

	Països				
	Estats Units	Xina	França	Italià	Espanya
Acompanyar i ajudar a les empreses			✓		✓
Desenvolupar tecnologies d'avantguarda		✓	✓		
Educar, ensenyar i connectar el personal de fabricació	✓	✓	✓		
Potenciar la digitalització avançada		✓			
Transició i desenvolupament cap a noves tecnologies	✓	✓	✓	✓	✓
Enfortir fabricació d'aliments i agricultura	✓				

3. Indústria 4.0 i la Química

La indústria química és l'encarregada d'extreure i processar les matèries primeres (naturals i sintètiques) per transformar-les i obtenir el producte final desitjat, no obstant es poden obtenir altres productes secundaris, anomenats subproductes. Des del punt de vida industrial, es divideix en

- [1] **Indústria química base:** S'encarrega de la transformació de les matèries primeres d'origen natural, sobretot mineral i petroli, en substàncies per la fabricació de productes base
- [2] **Indústria química transformació:** Utilitza com a matèria primera productes elaborats per la fabricació de productes més complexos que utilitzen altres indústries.

En l'actualitat la disrupció de la nova era industrial arriba també a la indústria química, el sector es troba immers en una fase de transformació, deixant enrere la Química 3.0 per donar pas a la Química 4.0, detallada a la *Taula 4*.

Es focalitza en implementar l'economia circular, la sostenibilitat i la digitalització, com a bases de la nova indústria química, sota la incorporació de tecnologies per l'automatització dels processos així com la integració d'estratègies digitals en la investigació, desenvolupament i producció.

El primer element clau és la digitalització, ofereix l'oportunitat de recol·lectar dades amb un control de les variables a mesurar i un control de processos, per posteriorment ser avaluats i utilitzats per millorar els processos químics.

[1] **Transparència i processos digitals**

Recopilació i utilització inicial de dades de procés integral dins de l'empresa.

[2] **Models operatius basats en dades**

Ús de dades operatives, dades externes i mètodes avançats d'anàlisi per a la presa de decisions i augments de l'eficiència.

[3] **Models de negocis digitals**

Les estructures de creació de valor alteren els processos, productes i models de negoci existents.

L'economia circular, segon element clau, busca substituir el model tradicional *'take-make-dispose'* per altra que contribueixi a l'estalvi de recursos (Industrie 2017) amb un augment de l'eficiència dels recursos en tota la cadena valor, allargant la vida útil dels productes i components.

Busca també reduir la composició de recursos en la fase d'aplicació, i aconseguir una màxima eficiència en la utilització de materials residuals fent ús de la reutilització i reciclatge, com mostra *Figura 9*.

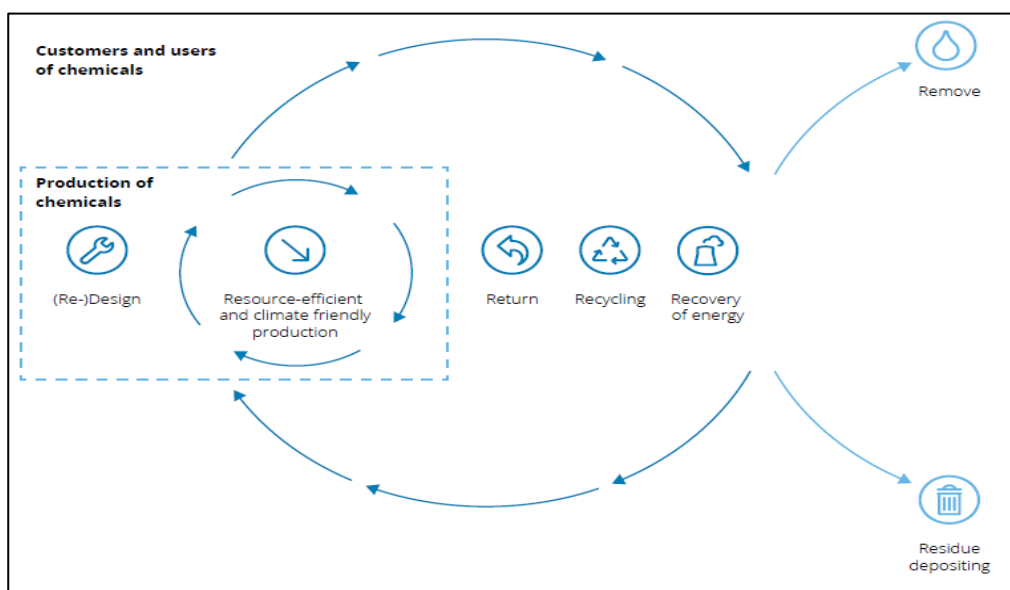


Figura 9. Economia circular. Font: [\(Industrie 2017\)](#)

En l'economia circular, en destaca la sostenibilitat, propulsora de la Química Verda, busca optimitzar el consum energètic, reduir les emissions i els efectes derivats del CO₂, dissenyar materials que aprofitin l'energia solar i eòlica o trobar carburants més ecològics i eficients, impulsant:

[1] **Energia renovable**

Busca incrementar l'eficiència amb materials més avançats, per augmentar el 22% d'efectivitat que presenten energies renovables com l'eòlica, fotovoltaica i termosolar per neutralitzar les emissions de diòxid de carboni, els procedents de sulfurs, nitrogen, òxids, compostos volàtils orgànics, derivats de la producció i consum d'energia.

[2] **Mobilitat sostenible**

Els motors de combustió i les bateries elèctriques són una realitat avui dia, sent cada cop més eficients. Un últim avanç aconseguit és l'ús d'hidrogen com a combustible, mostra una alta eficàcia, triplica la calor de combustió que aportaria la gasolina i l'únic subproducte que genera és vapor d'aigua, inofensiu pel medi ambient.

[3] **Emmagatzematge energètic**

Actualment es treballa amb bateries de liti, però s'obre pas al sodi com a element integrador de les noves bateries sòlides.

[4] **Fotosíntesis artificial**

Encara que estigui en vies de desenvolupament, es pretén reproduir la fotosíntesi natural de les plantes, capturant diòxid de carboni i aigua per produir energia i oxigen i emmagatzemar-los com a compostos orgànics.

Tant la digitalització com l'economia circular, són clau per al desenvolupament de la química 4.0, nombroses opcions tecnològiques en àrees de connectivitat, informàtica i tecnològica de fabricació, afecten la interfície entre totes dues peces clau.

Taula 4. De la Química 3.0 cap a la Química 4.0. Font: [\(Bock Kurt Dr, President i Association \(VCI\) 2019\)](#)

	Química 3.0 Globalització i especialització	Química 4.0 Digitalització i economia circular
Controladors de transformació	La globalització, el mercat interior europeu, la competència creixen de la química basada en gasos, la influència dels mercats financers en les estratègies corporatives.	Revolució digital, sostenibilitat, protecció climàtica, tancament dels cicles de materials.
Matèries primeres	Ús creixent de matèries primeres renovables i gas natural.	Ús intensiu de dades, reciclatge dels residus que contenen carboni, H2 d'energies renovables en combinació amb CO2 utilitzat per produir productes químics de base.
Tecnologia	Nous processos de síntesi i producció mitjançant la biotecnologia i la tecnologia gènica, ampliació de processos individuals.	Digitalització de processos de fabricació.
Recerca	Estreta cooperació entre la recerca bàsica a les universitats i la recerca orientada a les aplicacions en empreses.	Descentralització de R+D en els mercats de clients, utilització del Big Data.
Estructura corporativa	Internacionalització del comerç i la producció in-situ a l'estranger, especialització i creixement del SMEs, consolidació per mitja M&A , creació del parc químic.	Cooperació més flexible com a part de la xarxa econòmica, models de negocis digitals i consolidació.
Productes	Ampliació de la gamma de productes, productes químics orientats als requeriments específics del client, nous medicaments, substitució de materials tradicionals per productes químics.	Ampliació de l'espectre de creació de valor: El sector químic es converteix en un proveïdor de solucions àmplies i sostenibles per als clients i el medi ambient.
Medi ambient, salut i seguretat	Protecció ambiental integrada a la producció, augment de la seguretat del producte mitjançant una àmplia revisió de les propietats del material, atenció responsable.	L'ecologia, economia i assumptes socials, la sostenibilitat es converteix en un model integral i concepte de futur per a la indústria.

La disrupció de la indústria 4.0 en el sector químic, comporta canvis des de la base, començant per operacions comercials i el creixement de negoci que implica, la integració de les noves tendències tecnològiques.

Es generen dos impactes, resumits a la *Taula 5*, un en les operacions comercials, vol assolir millores de productivitat i reducció de costos, a partir de canvis que porten cap a una fabricació intel·ligent i la planificació de la cadena de subministrament.

L'altre impacte és generat en el creixement de negocis, la indústria 4.0 juga un rol important, oferint, per una banda que les empreses puguin realitzar recerques i desenvolupaments (R+D) de materials avançats i productes especialitzats desenvolupant noves ofertes o millorant les existents.

Per preveure si una inversió serà una exitosa o no, les empreses químiques fan ús del Big Data però a vegades no es suficient, per això aposten per eines com el R&D que a més indica com s'ha fabricat el producte, a més suggereix com es podria millorar el producte. La incorporació d'eines intel·ligents, com ara el IOT als processos de producció, donen lloc a la creació de productes intel·ligents.

I per altra banda, les noves tecnologies habiliten a les empreses de productes químics interactuar amb els clients i oferint productes personalitzats, ampliar els productes amb informació i serveis de manera que permeti cobrar primes, i desenvolupar nous models de negoci.

Taula 5. Operacions i creixement del sector químic. Font: [\(Bock Kurt Dr, President i Association \(VCI\) 2019\)](#)

Impacte	Objectius	Transformació
Operacions Comercials	Millorar la productivitat	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricació intel·ligent • Planificació de la cadena de subministrament
	Reduir riscos	
Creixement del negoci	Incrementar ingressos	<ul style="list-style-type: none"> • Recerca i desenvolupament • Productes i serveis intel·ligents
	Generar nous ingressos	

- Operacions comercials: Millora productiva i Reducció de riscos

[1] Millora productiva

Gestió predictiva d'actius

Tecnologies industrials proporcionen optimització en les despeses de manteniment i milloren l'eficiència d'actius emprant un manteniment predictiu o digital. Per arribar a l'objectiu, el procediment a seguir, seria utilitzar els sensors aplicats en diferents equips com turbines, compressors i extrusors proporcionarien una recollida de dades utilitzades com eines d'anàlisi avançada per identificar i preveure possibles errors.

Gestió i control de processos

Eines tecnològiques com poden ser les analítiques en temps reals, la automatització de les accions de control i el fet de digitalitzar les dades pròpies d'una sala de control, poden ser recopilades mitjançant sistemes connectats que permeten estalviar temps i reduir l'esforç per part dels operadors evitant la necessitat de revisions manuals.

De forma similar a la gestió d'actius predictius, la gestió de processos consisteix en la recollida de dades estructurades i no estructurades a través de sensors de diverses fonts com el laboratori, les alarmes i els equips de procés. Els models analítics ajuden a identificar patrons i desviacions en els processos químics abans que es produeixin, reduint així riscos en la producció.

Gestió energètica

Els costos d'energia contribueixen significativament als costos de producció d'una planta química. Aquestes plantes comporten múltiples activitats i interaccions, i és difícil per als operadors seleccionar unes condicions de funcionament òptimes.

La indústria química té un alt grau d'automatització i la majoria de les plantes controlen variables estàndard com la temperatura, els cabals, els nivells dels dipòsits i les pressions per obtenir condicions òptimes de treball de les plantes.

No obstant això, sensors de programari virtual poden augmentar aquests punts de dades amb informació addicional i permeten controlar variables de procés no estàndard per millorar l'eficiència energètica. Aquests sensors poden processar diverses variables recollides mitjançant instrumentació estàndard, estimar nous paràmetres de procés i equip, així com millorar l'eficàcia de l'operador i l'eficiència de les plantes.

[2] Reducció de riscos

Gestió de la seguretat

Tenint en compte la naturalesa sensible dels productes químics, és especialment crític que les empreses químiques garanteixin la seguretat dels seus empleats, socis de la cadena de subministrament i clients durant tot el cicle de vida del producte, des de la producció fins a l'emmagatzematge, el transport i finalment l'ús d'aquest.

Si bé els mètodes tradicionals de seguretat inclouen monitoratge i proves de mostres, les tecnologies connectades poden ajudar a les empreses a controlar contínuament productes, subproductes, així com els residus generats.

Simulació de producció

La visualització en 3D i la realitat virtual són essencials per formar als operadors i personal de manteniment sota l'objectiu de preveure canvis per reduir el risc operacional.

Els sensors i sistemes connectats milloren la visibilitat a la cadena de subministrament, reduint riscos i, la col·laboració amb eines d'anàlisi avançades que col·laboren predient els patrons de demanda i l'alineació a conseqüència de les operacions de cada cadena de subministrament i fabricació.

- Creixement empresarial: Recerca i desenvolupament i Productes i serveis intel·ligents

[1] Recerca i desenvolupament

Fabricació additiva: L'ús de la informació digital permet crear un producte que aplica la transició del IT al OT que permet a les companyies químiques reduir costos durant el procés de R&D.

Dades analítiques avançades: Utilitzen la informació digital per crear nous materials

Impressió 3D: Permet elaborar materials avançats que poden auto formar-se i canviar la forma en el temps. Aquest tipus d'eina poden ser utilitzats per les empreses químiques aplicades

[2] Productes i serveis intel·ligents

Productes intel·ligents en aplicacions químiques: Més enllà d'oferir productes tradicionals, les empreses químiques poden proporcionar recomanacions tècniques a través d'una app o software per ajudar al consumidor a l'hora d'escollir un producte. Així doncs, a més d'oferir productes intel·ligents també podrien oferir solucions intel·ligents.

Tractament de dades per millorar els ingressos: Un dels reptes de les empreses químiques és obtenir un servei de dades complementades per l'exitós ingrés que generen els productes.

Nous models d'ingressos públics que integren operacions dels consumidors

Taula 7. Millora i prevenció del sector químic. Font: [\(Bock Kurt Dr, President i Association \(VCI\) 2019\)](#)

Objectius	Transformació	
Millorar la productivitat	Fabricació Intel·ligent	Gestió predictiva de les eines
		Gestió i control dels processos
		Gestió de l'energia
		Gestió de seguretat
		Simulació de producció
Prevenió de canvis que comportin risc durant la tasca d'operacions	Planificació de la cadena de subministrament	Gestió de seguretat
		Previsió de la demanda

Taula 6. Increment i generació d'ingressos del sector químic. Font: [\(Bock Kurt Dr, President i Association \(VCI\) 2019\)](#)

Objectius	Transformacions	
Incrementar ingressos	Recerca desenvolupament i	Aplicar fabricació additiva per desenvolupar nous productes
		Ús d'analítica avançada per seleccionar nous materials
		Impressió 4D per obtenir materials avançats
Generar nous ingressos	Productes intel·ligents i serveis	Desenvolupar productes intel·ligents en aplicacions químiques
		Oferir serveis pel tractament de dades i aconseguir augmentar els ingressos existents
		Construir nous models d'ingressos i aplicar-los en les operacions dels clients

3.1. Indústria química a Catalunya

La indústria química catalana, amb localització a Barcelona, Tarragona i el Vallès, *Figura 10*, se situa en com a segon sector amb més influència sobre l'economia catalana amb una representació del 12,5% del valor agregat brut (Diari de Tarragona 2019) i, també comporta un pes important en el teixit industrial espanyol, amb un impacte directe del 43,1% del valor agregat brut industrial a Espanya.

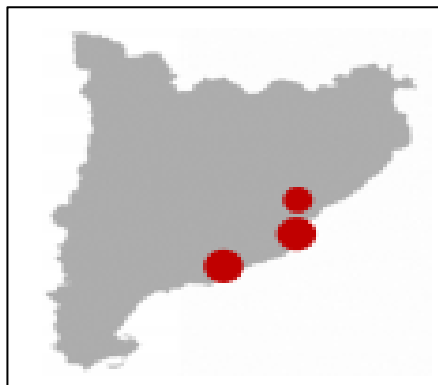


Figura 10. Catalunya. Font: [\(ACCIÓ 2020a\)](#)

Durant el 2020, Indústria de la Generalitat de Catalunya va realitzar un mapatge, en destaca que el sector químic representa el 48,2% de les exportacions de productes químics espanyols, i és el primer sector exportador de Catalunya amb una representació del 17% durant el 2020, els productes químics exportats han estat: químics bàsics 51,6% preparats per a la neteja i el polímer, cosmètica i perfumeria 21,2% altres productes químics 15,9%.

Es converteix en la regió amb el nombre més elevat d'exportadors químics regulars, amb primera destinació a França, seguida d'Itàlia i Alemanya, aquesta última representa el principal país d'origen de les importacions químiques catalanes (ACCIÓ 2020a).

La indústria catalana disposa de capacitats que la configuren com un pol d'innovació, d'atracció de talent i de creació i desenvolupament d'empreses tecnològiques (de Catalunya) és un sector atractiu per a la inversió estrangera, és la tercera regió d'Europa en nombre de projecte, ha desenvolupat 27 projectes, entre 2015 -2019 per 651 milions d'euros generant 810 llocs de treballs.

3.2. Indústria 4.0 en el sector químic a Catalunya

L'entrada de la indústria 4.0 va implicar un seguit d'objectius a través dels quals la indústria química catalana vol assolir una nació digital avançada, per això durant el 2015 per iniciar la transformació digital dels processos industrials, la Federació Empresarial de la Indústria Química Espanyola (FEIQUE) firma amb el líder en tecnologia SIEMENS.

Amb el conveni volen assolir implantar solucions de la Indústria 4.0 per aconseguir millorar la qualitat i control dels processos, assolir nivells d'eficiència energètica, entre altres aspectes, que implicarien una reducció de temps d'enginyeria, substàncies de millor qualitat i eficiència dels processos, aspectes clau que contribueixen millorar la competitivitat de la indústria a través de la digitalització

Durant el 2017, la consultora Idees2Value Network firma un acord de col·laboració amb la Federació Empresarial Catalana del Sector Químic (FEDEQUIM) amb l'objectiu d'aportar assessorament a les empreses químiques catalanes sobre el desenvolupament de la Indústria 4.0.

Aquell mateix any, es realitza un *Mapeig i anàlisi de la Indústria 4.0 a Catalunya*, on participen entorn a sis centes empreses, en la Figura5 s'observa que la indústria química ocupava el sisè lloc en assolir la transformació digital.

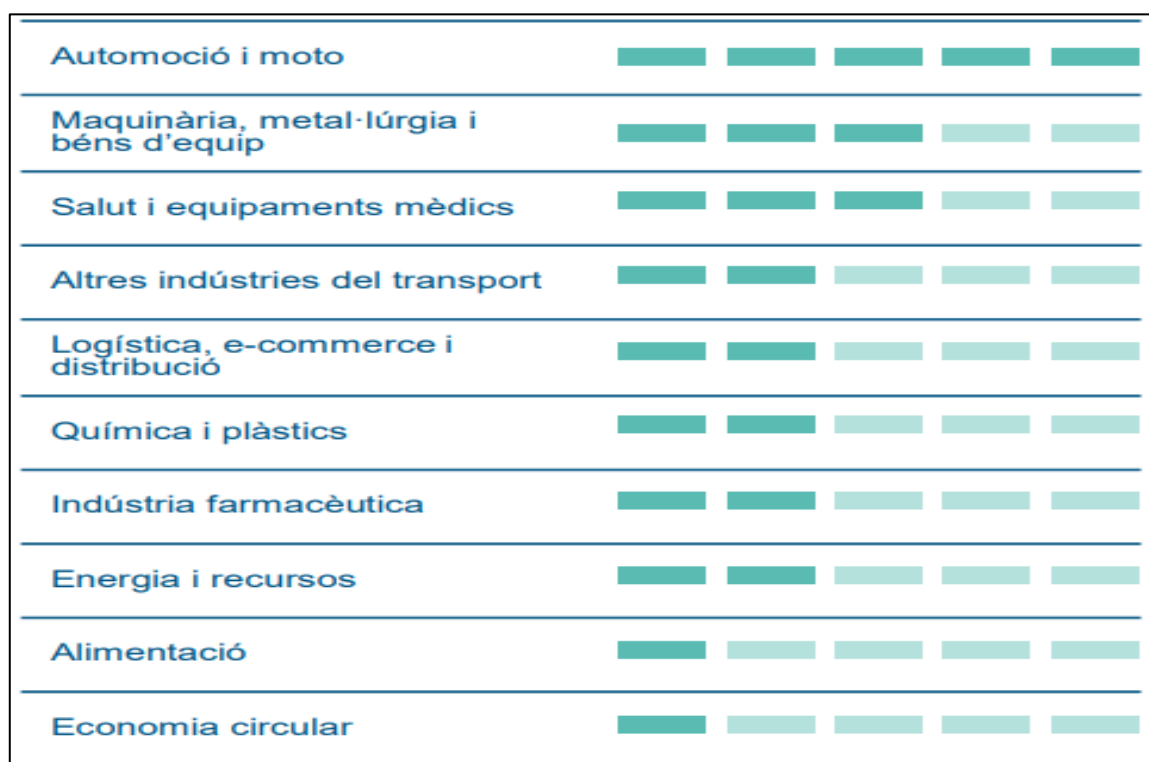


Figura 11. Desenvolupament de la indústria 4.0 per sectors a Catalunya. Font: [\(Acció Generalitat de Catalunya 2017\)](#)

Amb la contínua aplicació de programes de recerca i innovació es dona suport a la transferència tecnològica(D'ACCIÓ 2020) on destaquen grups de recerca i centres tecnològics com IQS, Leitat i Eurecat, entre altres.

Recentment, al mes d'abril, el grup ACCIÓ va publicar unes anàlisis sobre les capacitats i tecnologies vinculades a la indústria 4.0 a Catalunya, en la indústria química destaquen:

- [1] **Fabricació additiva**, per al desenvolupament de materials d'impressió.
- [2] **Cloud/IOT/Big Data/Intel·ligència artificial** per al control del procés de fabricació/ identificació de fuites i fallades, xarxa elèctrica intel·ligent, predicció de consum i pics, i gestió de residus/simbiosi.
- [3] **Realitat augmentada/Realitat virtual** per al manteniment.
- [4] **Connectivitat** per al control i fabricació en remot.
- [5] **Simulació** per al disseny i control de processos de fabricació, infraestructures.
- [6] **Robòtica** per garantir la seguretat del personal en activitats de manteniment perilloses.

3.2.1. Implementació de la Indústria 4.0

I. **Hospital Clínic: Predir l'evolució i reduir la mortalitat per Covid-19**

Centre públic de salut, situat a la ciutat de Barcelona, a conseqüència de la ràpida propagació de la malaltia Covid-19 que provoca un augment en el nombre de malalts i morts, vol aconseguir prevenir l'evolució del virus dels pacients per reduir la mortalitat i aplicar tractaments personalitzats.

Mitjançant la combinació de l'anàlisi de dades massives amb intel·ligència artificial aconsegueix analitzar més d'un trilió de dades e identificar diversos patrons clínics, en temps reals, que els permet fer un abordatge idoni i personalitzat per a cada pacient, aconseguint una reducció de mortalitat del 11,6% fins al 1,4%.

Font: [\(Van Den Berg et al.\)](#)

II. **Nestlé Waters: Reduir el temps de parada en el procés de neteja in situ**

Empresa Healthy Hydration és una multinacional dedicada a l'extracció i embotellament de l'aigua amb més de cent plantes de producció arreu del món.

Presentava poca traçabilitat en les operacions de neteja i producció, sense una solució integral en el temps de parada necessari per al procés de neteja.

A través del sistema de plataforma i arquitectura compatible amb l'Internet de les coses, obert, i interoperables de Schneider Electric, fa ús del software OptiCIP i serveis per a l'optimització de les operacions de neteja, a través del sistema EcoStruxure, que permet realitzar un seguiment i diagnòstic del procés de neteja i producció d'acord amb les normatives de seguretat alimentària.

Gràcies al sistema EcoStruxure aconsegueixen millorar la qualitat i eficiència de la neteja, major productivitat reduint un 20 % el temps de parada de producció durant els cicles CIP i, millorar el seguiment i diagnòstic de les vàlvules estalviant fins a 340 tones l'ús de CO₂ que es fa servir en la producció d'aigua amb gas.

Font: [\(Waters -Vergèze\)](#)

III. **Suez Environment: Millorar gestió de la xarxa hidràulica**

Empresa dedicada al tractament, gestió de residus i manteniment d'aigües, proporciona solucions en la indústria per mitjà de la innovació i l'economia circular contribuint a un desenvolupament sostenible.

Busquen millorar i potenciar les fases del testatge, el desenvolupament i validació de noves eines de gestió de l'aigua per aplicar en la xarxa de distribució d'aigua potable.

Per mitjà de tecnologies de supercomputació, algoritmes, intel·ligència artificial i les dades massives, ofertes Barcelona Supercomputing Center són capaços de pilotar de forma autònoma la maquinària industrial, optimitzant la potència i prestació de la xarxa hidràulica.

IV. **Celsa Group: Millorar**

Companyia Espanyola De Laminació és una empresa multinacional siderúrgica, dedicat a la fabricació de productes d'acer, que opera en més d'onze països i, compta amb sis grans grups empresarials amb fàbriques d'acers, molins laminadors, plantes transformadores, serveis i reciclatges.

Les seves plataformes industrials presenten diversos sistemes de control i monitoratge que complica la realització d'un anàlisis multivariable per detectar anomalies i identificar afectacions. Busca millorar la automatització i l'eficiència dels seus processos productius, a través dels següents objectius:

- Recopilar i centralitzar la informació generada en els diferents sistemes de control de les plantes productives.
- Implementar models basats en dades per al diagnòstic i pronòstic de les anomalies que tenen lloc en els processos productius, en temps real.
- Determinar i agilitzar la presa de decisions dels enginyers i supervisors de planta.
- Desplegar projectes per a un procés de millora continua.

Per assolir els objectius l'empresa ha implementat el programa de solució de projectes basat, en la indústria 4.0, sota el nom Data-Driven Steel,, desenvolupat per IThink UPC i MCIA Research Center, a través de la plataforma Internet Industrial De Les Coses (IIOT) aconsegueix implementar tècniques de monitorització intel·ligent.

Font: [\(ACCIÓ 2021\)](#)

V. **Trackunit: Identificació de magatzems de maquinària de construcció utilitzant dades geospacials de baixa densitat**

Empresa finlandesa que treballa amb dispositius de seguiment de maquinària d'obra, és a dir, ofereix dispositius de seguiment integrats en la maquinària per extreure dades i coneixements.

La empresa Trackunit treballa en un model per millorar la localització de magatzems a través de dades geospacials de baixa densitat, però vol millorar els problemes que presenta contractant els serveis d'ABZU.

ABZU és una empresa catalana que aporta solucions basades en l'ús de l'intel·ligència artificial amb el seu software QLattice, capaç de resoldre problemes complexos a través d'anàlisis de dades.

Amb la col·laboració d'ABZU el model proposat per l'empresa finlandesa no tan sols és capaç de localitzar nous llocs de construcció sinó que també permet conèixer l'estat de l'edificació. Aquest últim aspecte permet als clients poder crear una ruta d'optimització sobre les flotes, així com conèixer prèviament quines transformacions s'han de realitzar en la zona de construcció.

VI. **FMCG-B&V: Control Eficiència (Eficiència global de l'equip- OEE)**

Empresa multinacional dedicada al gran consum de Food & Beverage presenta dificultat en el registre i càlcul de les eficiències de línies (OEE) de la seva planta busca poder controlar l'eficiència.

Contracten els serveis de l'empresa catalana Mapex, dedicada a la digitalització de fàbriques capturant dades de totes les línies de qualsevol planta, per transformar-les en informació rellevant

Amb els serveis oferts per Mapex, l'empresa aconsegueix capturar senyals de comptatge de cadascuna de les línies d'envasat, de tal forma que en temps real eren capaç de calcular l'eficiència i aportar una visibilitat dels factors provoquen una reducció de l'eficiència global de l'equip, com ara: parades de les línies, pèrdues de velocitat de la línia o produccions d'unitats defectuoses.

Altres aspectes positius que varen aconseguir fou una reducció del cost per unitat, així com millorar la productivitat de la fàbrica arribant als objectius anuals de producció.

VII. **Oxygen: Dispositiu de ventilació manual**

Davant la crisi sanitària presentada als inicis de la Covid-19 per falta de respiradors, l'empresa catalana Protify, dedicada al desenvolupament de projectes d'integració IOT en què integren hardware, software, electrònica, entre altres, i en col·laboració i suport de científics d'Hospital Clínic, Hospital Germans Trias i Pujol i, la Universitat de Barcelona desenvolupen OxyGEN.

OxyGEN és un dispositiu que automatitza el procés de ventilació manual als pacients en situacions d'emergència on no hi ha disponibles suficients ventiladors. Existeixen dues versions, OxyGEN-M dissenyat per ser construït sense eines especials i OxyGEN-IP dissenyat per a una producció industrial a gran escala.

4. Estat de l'art

En haver introduït prèviament, el concepte de la Indústria 4.0 i, conèixer les diferents estratègies aplicades en diversos països, per convertir-se en una economia competitiva apostant per una transformació digital de les seves indústries, en aquest apartat es té per objectiu conèixer l'actualitat de les tecnologies més emergents dins de l'entorn industrial, en específic les adoptades en indústria química.

4.1. Dades del sensor de refinaria d'aprenentatge automàtic per predir els nivells de saturació dels catalitzadors.

El present article té per objectiu optimitzar el procés de destil·lació dins del perfeccionament de cru amb un catalitzador, per obtenir un major valor del producte final a través de la maximització de la productivitat que s'obté directament del nivell de saturació que presenta el catalitzador.

Fins al moment, les investigacions s'han centrat a simular el comportament teòric del Craqueig Catalític del Fluid *Figura 12*, però cap investigació s'ha enfocat en les dades per modelar aquesta unitat.

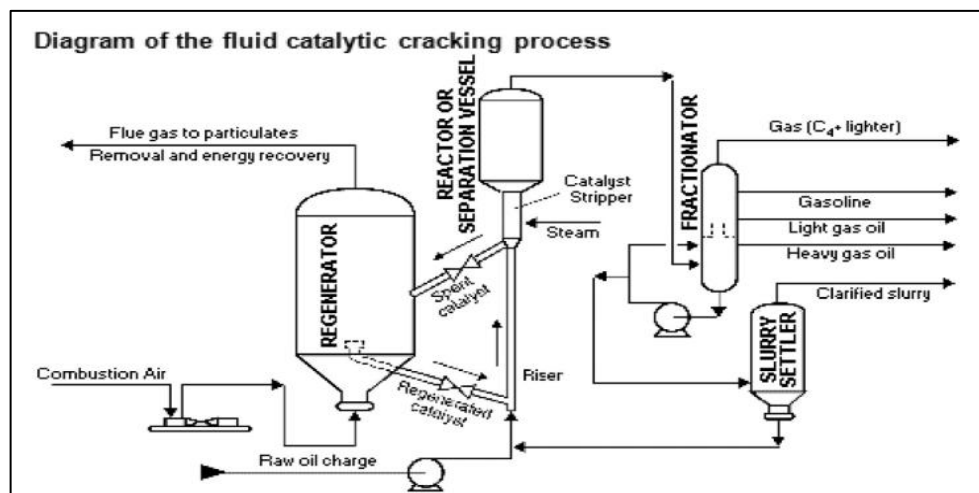


Figura 12. Diagrama del fluid catalític d'un procés de craqueig. Font: [\(Steurtewagen i Van den Poel 2020\)](#)

L'alimentació del petroli que flueix cap a ell, comprèn dos corrents diferents: la primera es tracta d'una alimentació bruta procedent de la bomba de destil·lació al buit i la segona és un aliment reciclat procedent de l'última etapa del procés, a major aliment reciclat més ràpida és la saturació del catalitzador.

El procés es troba controlat per una vàlvula d'entrada, monitorada per una lectura del sensor; aquesta lectura servirà com a predictor del model proposat i servirà com a variable de control durant el procés d'optimització.

El mètode actual per mesurar la saturació del catalitzador es basa en un analitzador de refracció que fa ús d'un operador per extreure una mostra del catalitzador que es troba en el reactor, les dades del sensor sempre han estat capturades i utilitzades en la presa de decisions intuïtives per parts dels operadors.

Un dels motius per desenvolupar el sensor virtual per evitar cert marge d'error en els valors i no confiar en les mesures extremes manualment, les mesures es troben disponibles únicament dins de la freqüència per al període en què es fa l'anàlisi, aquesta mesura interna varia segons l'operador a causa del tipus de mètode utilitzat i als passos manuals implicats en el procés de mesurament.

Per avaluar el nivell de saturació del catalitzador, que es troba dins del regenerador, es pren manualment una mostra directa de la columna, seguidament les mostres es col·loquen sobre l'analitzador de refracció i es comparen amb valors de referència.

El conjunt inicial de dades rebudes, es varen recollir a partir de 136 punts de mesura a través de la unitat de FCC, on les diferents lectures recollides dels sensors descriuen pressions, temperatures, cabals i concentracions de gas, etc.

Les dades s'analitzen a través de dos algorismes el Random Forest fa ús d'una eina de suport basat en un model en forma d'arbre per obtenir una predicció per votació majoritària. I l'algorisme XGB es basa en el mètode del conjunt de la regressió basant-se en el model del arbre, però amb un enfocament inherent a l'escalabilitat i el maneig de dades escasses.

Les dades passen a través del PCA, per poder aconseguir un objectiu en comú en les dades s'aplica una estratègia d'agregació que redueix totes les mesures i elimina les dades en el clàssic anàlisi estadístic, a través de dos algorismes.

En haver-se estudiat i analitzat tots dos algorismes, es tria Random Forest per preveure el nivell de saturació del catalitzador és un dels millors predictors que s'hi pot trobar dins de la indústria, permet generar correlacions en les variables independents.

Un cop finalitzat l'estudi, s'arriba a la conclusió que és realment possible obtenir una estimació basada en l'aprenentatge automàtic del nivell de saturació dels catalitzadors, fent possible reduir la freqüència de la mesura feta manualment.

Font: [\(Steurtewagen i Van den Poel 2020\)](#)

4.2. Intel·ligència artificial integrat en un xip

La intel·ligència artificial coneguda com a maquinària intel·ligent dóna un pas endavant, deixant enrere el món de la informàtica per ser una eina tecnològica important per al desenvolupament d'aplicacions com el disseny de fàrmacs, descobriment de nous materials, reconeixement de veu.

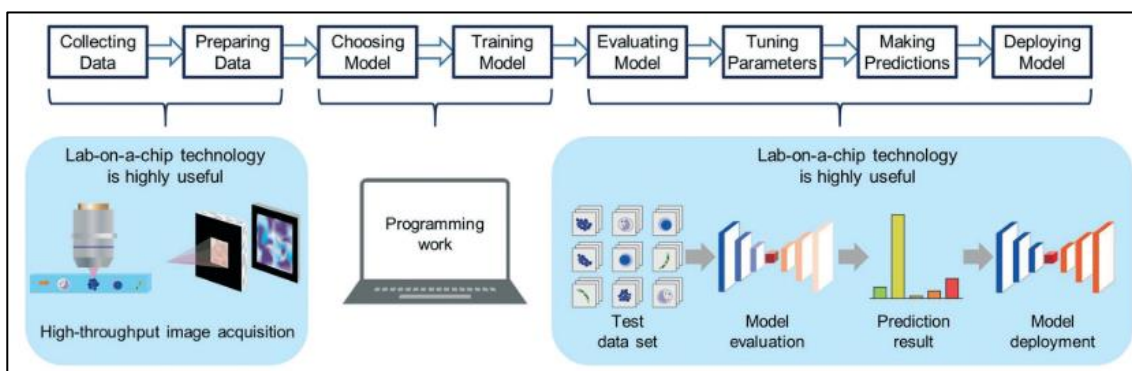


Figura 13. Esquema de la plataforma Lab-on-chip. Font: [\(Goda et al. 2020\)](#)

A través de la plataforma tecnològica Lab on a xip, mostrada a la *Figura 13*, es promou la construcció i la implementació a gran escala de la intel·ligència artificial integrada en un xip a través de l'anàlisi de dades i de la interpretació d'imatges d'alt rendiment.

Per mitjà de la recopilació i preparació de dades, seleccionar, entrenar i avaluar el model, ajustar els paràmetres necessaris, realitzar prediccions i finalment implementar el model.

Tot i presentar reptes principals durant la recopilació i preparació de les dades, limitant a vegades la construcció d'algoritmes d'intel·ligència artificial funcional consta de la capacitat necessària per integrar múltiples tècniques en un xip que permet adquirir de forma eficient un gran volum de dades de mides entre nanòmetres i micròmetres com ara molècules, virus, cèl·lules.

Respectes a les imatges d'alt rendiment en el xip aquestes permeten obtenir informació de gran importància i aconseguir la sinergia entre el microfluidic i la intel·ligència artificial.

Es classifiquen en imatges basades en el flux, caracteritzades per transmetre objectes d'un nanòmetre a un micròmetre a través d'un punt d'interrogació òptic i adquirir imatges dels objectes que flueixen i, en imatges de camp ampli utilitzats habitualment per a la realització d'imatges microscòpiques en xips de nombrosos objectes dins d'un gran camp de visió mitjançant la reconstrucció d'imatges a partir de patrons de difracció

Els dos tipus d'imatges presenten dues característiques importants, la primera coneguda com a imatge d'integració amb retard de temps, en aquesta el sensor d'imatge adquireix una imatge òptica d'un objecte que flueix en un tub capil·lar com a distribució espacial de càrregues electròniques i seguidament transfereix aquestes càrregues línia per línia per duu a terme una lectura de les dades.

I la segona coneguda com a imatge opto mecànica que permet anul·lar el moviment de l'objecte que flueix en un sensor d'imatge mitjançant un mirall d'escaneig sincronitzat.

Les aplicacions d'aquesta plataforma de la intel·ligència artificial en un xip es donen en el camp de la biologia en especial cèl·lules tractades amb fàrmacs, glòbuls blancs, cèl·lules canceroses, on combinen anàlisis tradicionals d'imatges per extreure característiques morfològiques de les cèl·lules i amb l'aprenentatge automàtic es permet realitzar una classificació més acurada de l'anàlisi tradicional i obtenir una major precisió.

Font: [\(Goda et al. 2020\)](#)

5. Cas d'estudi: Identificació per radiofreqüència com a sensor per a gas amoníac

5.1. Justificació

En els darrers anys, a conseqüència de les restriccions en l'ús de clor-fluorocarbonis a causa de les seves propietats contaminants, es presenta l'amoníac com a refrigerant ideal gràcies a les propietats termo-físiques i termo-químiques, exposades en la *Taula 8* i en especial perquè no afecta negativament al medi ambient, aquests aspectes provoquen un creixement del seu ús.

Dins d'un sistema de refrigeració, s'utilitza amoníac com a refrigerant primari i, també s'utilitza per refredar un refrigerant secundari. Tot i presentar bones propietats, l'amoníac pot ser tòxic a partir de concentracions de 100- 150 ppm produeix irritacions de gola i llagimeig, a concentracions de 1700 ppm i sobre una exposició durant 30 minuts provoca la mort de la persona que es trobi exposada sota aquest ambient.

Per això és imprescindible l'ús de sensors dins de l'espai del sistema de refrigeració, com poden ser àrees de producció, cilindres d'emmagatzematge d'amoníac, línies de ventilació, per garantir la seguretat de la planta i, en especial del personal. No obstant això, els sensors disponibles al mercat destaquen per la selectivitat i efectivitat, però el temps de vida útil es veu limitat, consumit de forma gradual durant les operacions.

Taula 8. Propietats amoníac. Font: [\(European Commission - BREF 2007\)](#)

Propietats	Temperatura	Pressió	Calor
Temperatura crítica	132,4 °C	112,8 bar	-
Temperatura de congelació	-78 °C	0,059 bar	-
Temperatura d'ebullició	-33,3 °C	1 bar	
Entalpia de vaporització	-10 °C	-	1296,4 kJ/kg
Pressió de condensació	35 °C	13,5 bar	
Calor específica del líquid	20 °C	-	4,72 kJ/kg°C

5.2. Objectius

L'objectiu principal és aconseguir detectar fuites de gas, dins del sistema de refrigeració a petites concentracions (ppm), fent ús d'un sistema d'identificació per radiofreqüència (RFID), a partir de la implementació d'una capa, caracteritzada per la composició química activa que presenten els nano tubs de carboni, com a material de l'etiqueta del sistema d'identificació per radiofreqüència. En haver assolit la configuració del sensor, a través de dispositius mòbils, s'alertarà als operaris de la planta, en temps real, en quina zona s'ha produït la fuga en qüestió.

5.3. Característiques de l'amoniac

Ammonia o Anhydrous són dos noms amb què s'identifica, Taula 9, l'amoniac que es forma a partir de la reacció entre nitrogen i hidrogen (*Reacció 1*) tracta d'una molècula inorgànica de base forta que reacciona violentament amb àcids, oxidants forts i halògens.

En condicions normals, es caracteritza per ser un gas més lleuger que l'aire, no presenta color, desprèn una olor molt repulsiu, és soluble en aigua i presenta un caràcter reversible, exotèrmic amb una entalpia estàndard de $\Delta H^\circ = -21920$ kcal/mol.

El mètode per generar amoniac en un procés industrial s'anomena Haber-Bosch, reacció química entre nitrogen, extret principalment de l'aire atmosfèric, i hidrogen, extret de matèries primeres procedents de combustibles fòssils.

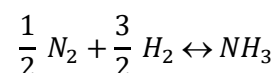
El gas natural és la principal font d'obtenció d'hidrogen pur, a partir de la reacció que es produeix entre el metà i el vapor d'aigua, conegut com a reformat amb vapor d'aigua (*Steam Methane Reforming*), s'obté hidrogen, entre altres productes com diòxid de carboni, aigua, monòxid de carboni i una petita concentració de metà. (VENKAT PATTABATHULA 2016).

La formació d'amoniac a partir de la reacció exotèrmica i reversible que es produeix en el reformat amb vapor d'aigua, (Seg et al. 2019) a temperatures baixes (250°C - 400°C) i elevades pressions (200 bars), es troba representada a la *Figura 14*, aquest procés consta de quatre etapes, explicades a, continuació:

Taula 9. Identificació de la substància. Font: [\(Agengy 2021\)](#)

CAS NUMBER	7664-41-7
EC NUMBER	231-635-3
IUPAC NAME	AMMONIA

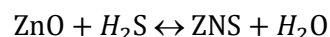
Reacció 1 Síntesis amoniac



➤ Procés de dessulfuració

Elimina els compostos sulfurosos que conté el gas natural, per evitar l'enverinament dels catalitzadors, fent-los reaccionar amb òxid de zinc, representat a la Reacció 2.

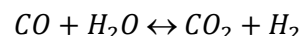
Reacció 2 Eliminació del H₂S



➤ Reformat catalític del gas síntesis

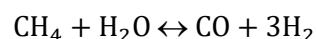
El gas resultant de la dessulfuració és enviat cap al reformador primari (o catalític) on el metà i monòxid de carboni reaccionen amb vapor d'aigua, veure Reacció 3 i Reacció 4, per obtenir gas síntesis.

Reacció 3 Obtenció Diòxid de carboni



Seguidament es conduït cap al reformador secundari, on tindrà lloc la barreja amb la concentració necessària per obtenir gas síntesis, a partir de les reaccions exotèrmiques.

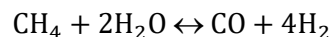
Reacció 4 Obtenció Monòxid de carboni



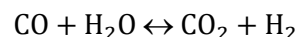
➤ Purificació del gas síntesis

El monòxid de carboni procedent del reformat secundari és tractat amb vapor d'aigua, a partir del procés Water Gas Shift Reaction, obtenint productes finals d'hidrogen i diòxid de carboni, mostrat en les Reacció 5 i Reacció 6.

Reacció 5 Obtenció Monòxid de carboni



Reacció 6 Obtenció de Diòxid de carboni



➤ Metanització

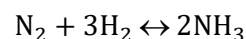
Eliminació de monòxid de carboni i diòxid de carboni perillosos per al catalitzador síntesis i, aconseguir la purificació total.

➤ Compressió i síntesis de l'amoníac

El gas síntesis resultant de l'etapa anterior és comprimit i refredat a través d'un compressor centrífug, d'etapes múltiples, per reduir la temperatura del gas síntesis.

El gas comprimit s'asseca i es barreja amb el vapor reciclat que entra, sobre un catalitzador d'òxid de ferro reduït on la pressió oscil·la entre 150-250 bar i la temperatura entre 350°C-550°C, d'aquesta forma té lloc la reacció de formació de l'amoníac, tal com mostra Reacció 7.

Reacció 7 Síntesis amoníac



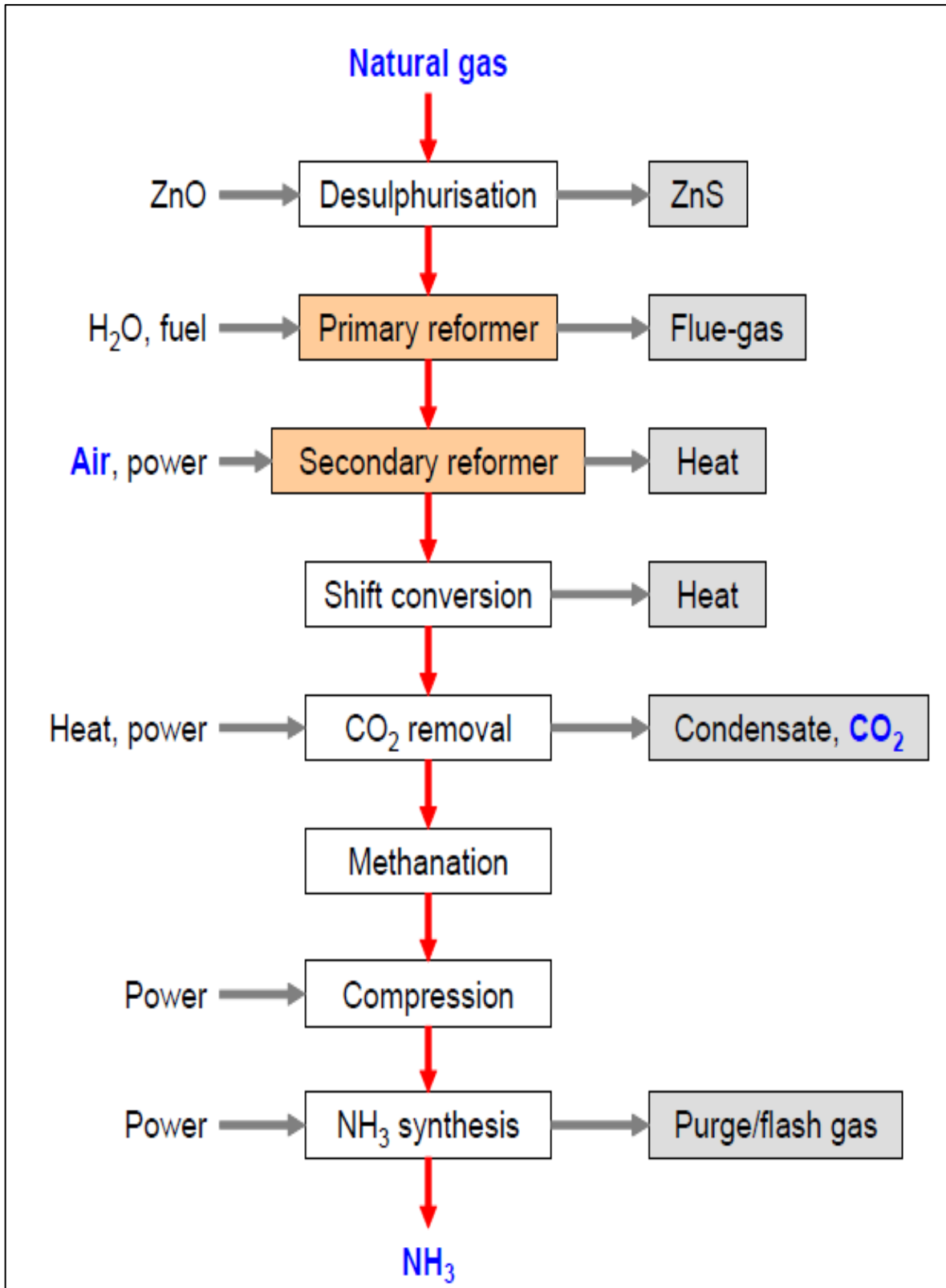


Figura 14. Producció d'amoniac. Font: [\(European Commission - BREF 2007\)](#)

5.4. Ús industrial de l'amoníac

L'amoníac és un dels químics amb més producció dins de la indústria química, destinat a diferents sectors *Taula 10*, però també és utilitzat per a explosius, fibres i plàstics, refrigeració segons la Comissió Europea entorn un 80% de la producció d'amoníac és destinat a la indústria de fertilitzants; un 48% s'utilitza per a la producció d'urea, un 11% produeix de nitrat d'amoníac (European Commission - BREF 2007)

Taula 10. Ús de l'amoníac. Font: [\(Simonelli et al. 2014\)](#)

INDÚSTRIA	ÚS
Fertilitzant	Producció de: Urea, nitrat d'amoni, entre altres fertilitzants
Químics	Síntesis de: <ul style="list-style-type: none"> • Àcid nítric utilitzat per a la fabricació d'explosius com el TNT, nitroglicerina usat com a vasodilatador i PETN. • Hidrogencarbonat de sodi • Carbonat de sodi
Explosius	Nitrat d'amoni
Fibres i plàstics	Niló i altres poliamides.
Refrigeració	S'utilitza per produir gel, plantes de refrigeració a gran escala, unitats d'aire condicionat en edifici
Farmacèutica	Utilitzat per a la fabricació de fàrmacs com la sulfonamida que inhibeix el creixement i la multiplicació de bacteris.
Polpa i paper	Hidrogensulfit d'amoni permet utilitzar fuster dures
Mineria i metal·lúrgia	S'utilitza en l'extracció de zinc i níquel
Neteja	Útil com agent de purificació

5.4.1. Amoníac com a refrigerant

El mitjà que transporta energia de l'evaporador al condensador s'anomena refrigerant, els més comuns són: diòxid de carboni (R744), halo carbons (R134a, R404A) i els hidrocarburs (HC) i l'amoníac (R717) , cadascú presenta diferents mesures de seguretat, tenen un diferent impacte mediambiental i diferents normatives a tenir en compte a l'hora de dissenyar un sistema de refrigeració.

A la *Taula 11* es comparen les propietats termodinàmiques, entre l'amoníac i els halo carbons, on s'observa que les pressions de funcionament de tots tres refrigerants són comparables, però el coeficient de funcionament d'efecte frigorífic varia entre tots tres.

S'entén per coeficient d'efecte frigorífic (COP) com la relació entre la potència frigorífica desenvolupada per la màquina tèrmica i la potència absorbida, en aquest cas l'amoníac (R717) i el gas HFC(R134a) presenten valors semblants amb un 4,84 i 4,42 però en comparació amb el gas HFC(R404a) aquest presenta un valor baix amb de 3,66.

Taula 11. Propietats amoníac refrigerant. Font: [Danfoss A](#)

Refrigerant	Pressió evaporació (bar)	Pressió condensació (bar)	COP
Amoníac: R-717	2,36	11,64	4,84
Halo carbon R-134a	1,64	7,7	4,42
Halo carbon R-404A	3,63	14,16	3,66

D'altra banda l'amoniac com refrigerant inorgànic (R717) ha incrementat la seva aplicació industrial perquè ofereix una gran quantitat de calor latent, motiu per el qual és un refrigerant molt utilitzat en aplicació industrial, un punt d'ebullició baix, i consta de pressions de funcionament comparables amb la resta de refrigerants. Destaca per aportar un potèncial d'escalfament global nul, és a dir, presenta un valor de potèncial d'esgotament de l'ozó de zero i un potèncial d'alerta global de zero, sent respectuós amb el medi ambient.

Presenta avantatges en l'àmbit tècnic, és a dir, en condicions d'igualtat de capacitat frigorífica la superfície d'intercanvi dels evaporadors i condensadors es menor (Columbia. 2018) , la calor latent de vaporització és entre quatre i sis vegades superiors al de qualsevol altre refrigerant de síntesis química.

Destaca també per ser un refrigerant molt més econòmic, presenta menor densitat a la resta de refrigerant síntesis existent, per tant, el cabal màssic que circula per la instal·lació presenta menor volum això permet un ús de compressors de menor mida així com canonades de menor diàmetre.

L'amoniac com a refrigerant cobreix una àmplia gamma d'aplicacions industrials (Kamal 2019) explicades breument, a continuació:

- Refrigeració industrial: Intervé en aplicacions que presenten refredament de processos a elevada temperatura, així com la seva aplicació en refredament de processos de baixa temperatura, com per exemple: congeladors mèdics o líquefacció LNG.
- Refrigeració per a transport: Manté una temperatura constant per a les mercaderies refrigerades i congelades durant el trànsit, garantint la seguretat i qualitat dels aliments.
- Refrigeradors d'expansió directa d'aire condicionat industrial / comercial
- Compressors centrífugs industrials/comercials
- Altres indústries: És adequat per treballar en entorns amb temperatures que oscil·len entre 0°C i -30°C, s'utilitza àmpliament per a la conservació d'aliments, inclòs el refredament de líquids com la llet, la cervesa, plantes de processament i envasats de carn.

5.5. Sensors actuals per a la detecció de fuites d'amoniac

L'emmagatzematge, manipulació i aplicació de l'amoniac en els sistemes de refrigeració es troben sota la legislació i regulació presents en la normativa Estàndard Europea EN 378, que estableix un límit de càrrega >50 Kg per sobre de la qual s'han d'instal·lar equips fixos de detecció de gasos, per poder controlar en tot moment les fuites de gas en les unitats frigorífiques.

En el mercat actual empreses com Honeywell, Danfoss, HB products, Dräger entre altres marques comercials, ofereixen sensors per a fuites de gas amoniac produïdes en un sistema de refrigeració, aquests sensors detecten diferents tipus de concentracions tal com es pot observar a la Taula 12.

Taula 12. Comparació dels sensors de gas amoniac en funció de la concentració(ppm).
Font: [\(Danfoss A\)](#)

	Sensors de gas amoniac		
Concentració amoniac	Semiconductor	Electroquímic	Pel·listor
<100 ppm	–	✓	–
<1000 ppm	✓	✓	–
<10000 ppm	✓	✓	✓
>10000 ppm	–	–	✓

Diversos tipus de sensors poden ser utilitzats en els sistemes de refrigeració, no obstant, com a conseqüència de les condicions, de temperatura i humitat, existent en instal·lacions industrials, pocs son adequats per a la detecció de fuga, els més comuns són els sensors semiconductors, els sensors pel·listors i els sensors electroquímics.

➤ Sensor semiconductor

El funcionament del sensor semiconductor *Figura 15*, es basa en la reacció entre les molècules de gas amb la superfície de l'òxid de metall (òxid d'estany o òxid de tungstè) provocant una dissociació en ions carregats que alteren la resistència de la capa.

Un circuit calefactor puja la temperatura (alt consum d'energia) de la capa fins a un rang que produeix una sensibilitat i temps de resposta òptim al gas que es vol detectar.

Aquesta variació en la resistència es mesura en forma de senyal completament reversible, aquest canvi és proporcional a la concentració. Es caracteritzen per ser sensors de baix cost, versàtils, presenten un elevat temps de vida i alta sensibilitat.

Tot i reconèixer una gran varietat de gasos, no són selectius, així com altres sensors són afectats per components com el clor, òxid de nitrogen, entre altres aquest també es veu afectat i com a conseqüència genera falses alarmes.



Figura 15. Sensor semiconductor. Font: [\(Company 2018\)](#)

➤ Sensor pel·listor

El sensor pel·listor de la Figura 16 es basa en les mescles de gasos combustibles es cremen a baixes temperatures en presència d'un catalitzador, procés conegut com a combustió catalítica. El filferro de platí es troba incrustat en una perla d'òxid metàl·lic recoberta del catalitzador, en produir-se la combustió catalítica, la temperatura augmenta i provoca una variació en la resistivitat del filferro.

Es caracteritzen per mesurar la inflamabilitat, baix-cost, presenten un temps de vida llarg entre 3-5 anys, el temps de resposta és inferior a 10 segons, però són altament sensibles als enverinaments, sota una perllongada exposició s'arruïnen completament.

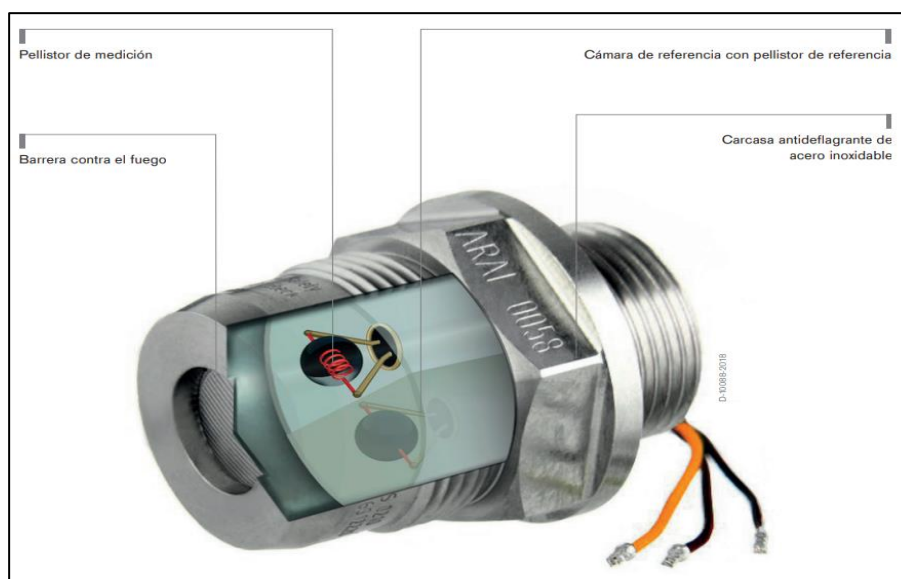


Figura 16. Sensor pel·listor. Font: [\(DrägerSensor® 2021\)](#)

➤ Sensor electroquímic

Existeixen tres tipus de sensors electroquímics, el potenciòmetre, el conductòmetre i l'amperòmetre, aquest últim és el més utilitzat, es caracteritza per generar una reacció d'oxidació, en contacte amb el gas, provocant un corrent elèctric proporcional a la concentració del gas.

Són capaços de detectar nivells baixos de concentració, oscil·len entre 50 ppm i 500 ppm, no obstant això, una llarga exposició a les fuites de gas d'amoniac, disminueix el seu temps de vida.

Els elements del sensor, mostrades a la *Figura 17*, són una membrana, un elèctrode de treball, elèctrode de referència i un contra-elèctrode, tots tres es troben envoltats per un electròlit, presenten transductors que mesuren la pressió parcial dels gasos, a partir del corrent que flueix des de l'elèctrode de treball fins al contra elèctrode, o viceversa.

[1] Membrana

En funció de la seva composició química, les mides de porus, el grau de compactació, la porositat i el gruix, afecten d'una forma o altra en la selectivitat i sensibilitat del sensor de gas, influenciant en la cinètica del procés de difusió.

La membrana presenta un caràcter hidrofòbic fet de Tefló prim de baixa porositat. Cobreix l'elèctrode de treball controlant la quantitat de molècules de gas que arriben fins a la superfície de l'elèctrode i es produeixi la reacció amb l'electròlit.

[2] Circuit d'elèctrode

Es troba compost per tres elèctrodes compost d'un material catalitzat, normalment de platí, permetent així la reacció electroquímica durant un llarg període de temps.

- **Elèctrode de treball:** Es troba exposat a tot els gasos de l'aire exterior, inclòs al gas que ens interessa mesurar, i es on té lloc la reacció d'oxidació o reducció del gas tòxic.
- **Contra elèctrode:** Es torba localitzat dins de l'electròlit però sense estar en contacte amb el gas objectiu. Encarregat d'equilibrar la reacció de l'elèctrode de treball és adir si l'elèctrode de treball oxida el gas aquest ha de reduir alguna altra molècula per generar un corrent equivalent en sentit contrari.

- **Elèctrode de referència:** Assegura que l'elèctrode de treball funcioni correctament, per això és necessari que tingui un potencial estable mantenint l'elèctrode de treball al potencial electroquímic adequat per mantenir una sensibilitat constant i bona linealitat.
- **Electròlit:** Envolta tots tres elèctrodes actuant com a conductor elèctric, és a dir, facilita la reacció i transfereix la càrrega iònica a través dels elèctrodes.



Figura 17. Sensor electroquímic.
Font: ([Drägerwerk AG & Co. KGaA](#) 2021)

Quan té lloc una fuga de gas, aquest gas es dispersa en el medi fins a arribar al sensor, entra en contacte amb el primer component del sensor que és la membrana caracteritzada pel mecanisme de selecció, identificant únicament el gas d'interès.

Seguidament, les partícules d'amoniac travessen la membrana hidrofòbica de tefló, dirigint-se cap a la superfície de l'elèctrode de treball, on té lloc la reacció d'oxidació o reducció, en el cas de l'amoniac, un cop entra en contacte amb l'elèctrode de treball s'oxida.

Finalment, la reacció d'oxidació a través del circuit extern, genera un flux d'electrons des de l'elèctrode de treball fins al contra elèctrode i s'emet un senyal elèctric que genera un corrent on la velocitat de reacció és directament proporcional a la concentració del gas difusiu.

5.6. Proposta d'un nou sensor

El sensor proposat es basa en l'ús de la tecnologia d'identificació per radiofreqüència (RFID), representat a la *Figura 18*, on es pot observar quins components formen part d'aquest sistema, són quatre: 1) etiqueta passiva UHF, 2) el lector RFID, 3) middleware RFID i 4) l'antena RFID.

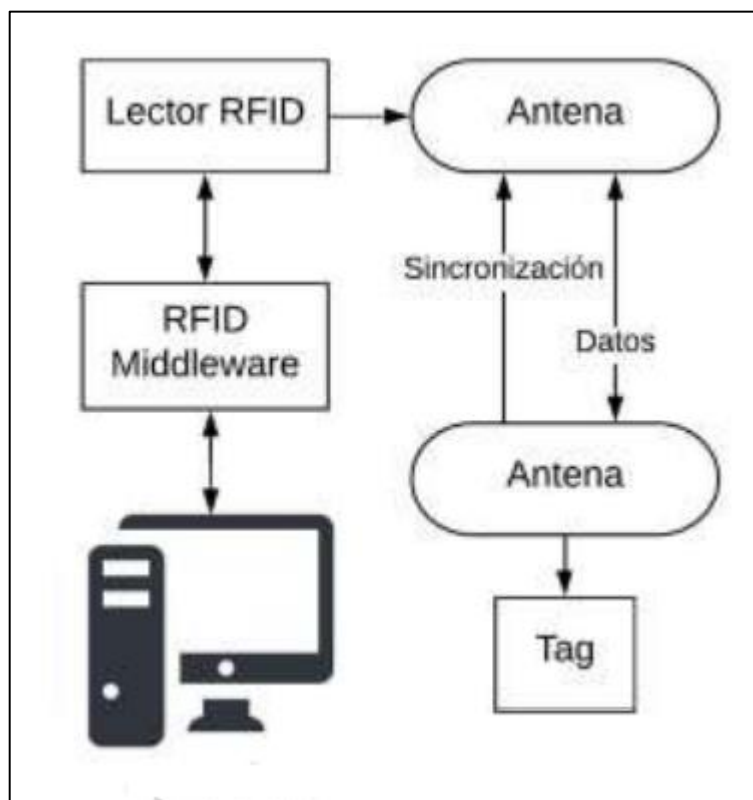


Figura 18. Components del sistema d'identificació per radiofreqüència. Font: [\(Henao-Jaramillo et al. 2019\)](#)

L'estudi es focalitza en configurar la composició de l'etiqueta per assolir les característiques que tot sensor químic de gas ha de presentar, és a dir: 1) diferenciar les molècules d'interès a mesurar de la resta, 2) ser capaç de donar una resposta ràpida en un curt període de temps, 3) presentar una elevada estabilitat, 4) proporcionar una vida d'utilitat llarga i, 6) augmentar la sensibilitat de dispositiu

Les etiquetes RFID normalment es troben composta per materials químics com alumini, plata o coure, sobre una base de plàstic o paper, es proposa considerar els nano tubs de carboni, com a part de l'estructura, per les excel·lents propietats químiques, estructurals i elèctriques que presenten.

Els nano tubs de carboni es troben formats per plegament de capes de grafit en cilindres de carboni, es caracteritzen per ser llargs, prims, hexagonals formats de molècules de carboni enrotllades en un tub amb diàmetre d'1 fins a 200 nanòmetres i una longitud superior a 10 mil·límetres (Norizan et al. 2020)

Es classifiquen en funció del tipus de paret que el conformen, veure Figura 19 poden ser, paret simple (carbonis hibridats sp^2 en una estructura hexagonal que s'enrotlla en una morfologia de tub buit) o de múltiples parets (són múltiples tubs concèntrics encerclats).

Presenten diferents tipus de mecanisme de detecció i forces aplicades al mecanisme dels nanotubs de carboni que donen lloc a diferents senyals en sensors químics basats en diferents arquitectures i tècniques de funcionalització (Schroeder, Savagatrup, He, Lin, Swager [2019]).

Els mecanismes es classifiquen segons efectes sorgits dins del tub (INTRA-CNT), efectes sorgits en punts de contacte entre tubs (INTER-CNT) o bé, efectes derivats del contacte entre els tubs i els elèctrodes, en canvi la força depèn de l'anàlit, de concentracions de defectes als nano tubs de carboni i de l'arquitectura del dispositiu

Els nano tubs de carboni naturals en interactuar amb analits presenten una selectivitat molt limitada per aquesta raó és necessari aplicar la funcionalització que permet adaptar la selectivitat i sensibilització cap l' anàlit objectiu.

Per a la configuració de la capa que formarà part de l'estructura de l'etiqueta , en destaca els nano tubs de carboni de paret simple (SWCNT), presenten estabilitat química, mecànica, elèctrica i tenen la capacitat de modificar-se degut a l'adsorció d'àtoms o molècules en les seves parets exteriors.

Per últim, aquests nano tubs de carboni es caracteritzen per presentar mecanismes de detecció INTRA-CNT, caracteritzat pel mode d'interacció entre l'anàlit i nano-tubs individuals per mitjà de canvis en el nombre o mobilitat de càrregues i generació de defectes a les parets dels tubs.

La transferència de càrrega induïda per interaccions amb anàlits modula la conductància dels nano tubs de carboni canviant la concentració dels portadors de càrrega. En el cas dels nano-tubs de carboni de paret única, entre l'anàlit i el tub varen presentar la transferència de càrrega a través de les característiques de corrent – voltatge (I-V).

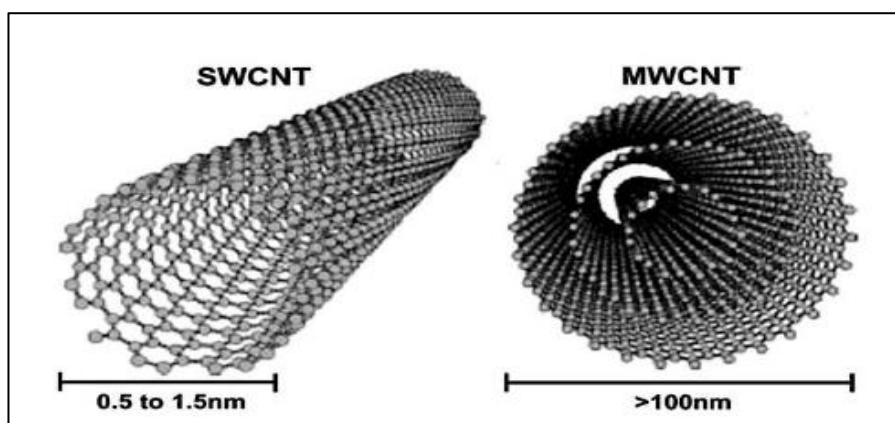


Figura 19. Nanotubs de carboni (paret simple i múltiples parets).
Font: [Norizan et al. 2020](#)

5.6.1. Etiqueta d'identificació per radiofreqüència (RFID)

L'etiqueta passiva d'identificació per radiofreqüència es compon d'un circuit integrat lligat a una antena interna que actua com a element d'acoblament, integrats sobre un substrat que els manté junts, representat a la *Figura 20*.

Es caracteritza per no incorporar una bateria en el seu sistema per obtenir energia perquè el lector RFID és l'encarregat de subministrar l'energia a través de les ones de radiofreqüències. I per exhibir un patró de radiació semblant a un dipol amb polarització lineal.

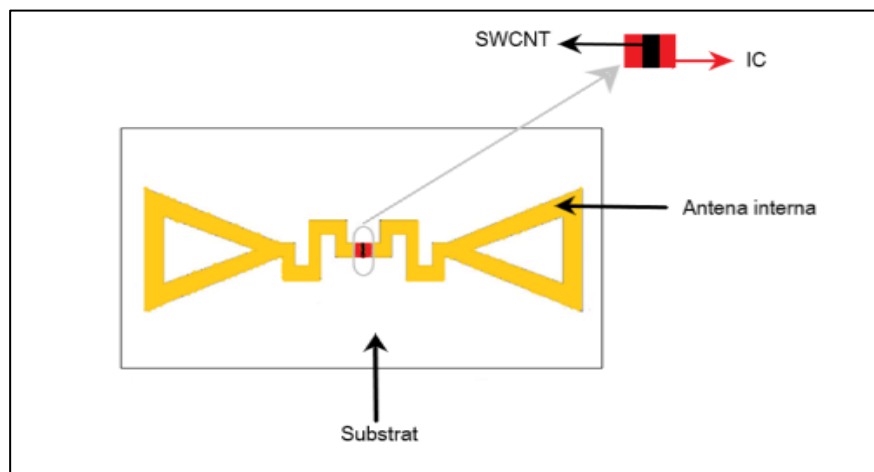


Figura 20. Components de l'etiqueta. Font: Elaboració pròpia

5.6.1.1. Circuit integrat (IC)

Es tracta d'una memòria on s'emmagatzemen les dades, aquest circuit integrat rep energia, procedent del lector RFID a través de l'antena interna, en forma de corrent, posteriorment els circuits transformaran aquest corrent a una freqüència determinada.

El circuit integrat seleccionat es mostra a la *Figura 21*, es tracta del model Impinj Monza X-8K presenta una capacitat de lectura única i omnidireccional, a més, aporta una memòria de 352 bits, ofereix protecció de dades de l'etiqueta i, és ideal per sensors amb aplicació IOT.

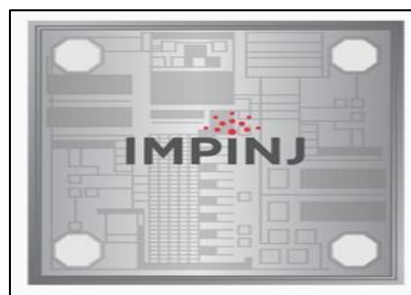


Figura 21. Circuit integrat.
Font: [\(IMPINJ 2021\)](#)

5.6.1.2. Antena interna

L'antena interna s'encarrega d'absorbir l'energia procedent de lector i d'aquesta manera aportar energia al circuit integrat (IC) per transferir les dades de nou al lector. La quantitat d'energia transferida des del lector fins a l'antena i de l'antena fins al microxip depèn de l'eficiència d'acoblament de l'antena.

Per assolir la màxima transmissió d'energia de l'antena interna cap al circuit integrat és necessari fer coincidir les impedàncies que presenta l'antena interna amb les impedàncies complexes que presenta el circuit integrat (IC).

A través d'una estructura d'adaptació, coneguda com a T-match (braços en forma de T) permet combinar i fer coincidir les impedàncies d'entrades entre l'antena amb el complex conjugat del microxip, proporcionant la màxima transferència de potència entre tots dos elements.

Com a part de l'estructura de l'etiqueta, s'incorporen múltiples capes dielèctriques, que no tan sols permeten fer coincidir totes dues impedàncies sinó que també permet habilitar estructures de radiofreqüències de banda ampla, per aconseguir configurar una etiqueta d'ultra elevada freqüència (UHF).

La composició de les capes dielèctriques foren configurades i detalls explícitament en l'estudi (Kim [no date]) i per mitjà de la interacció entre el polímer SU-8 amb el dissolvent, es manté intacte la viscositat, posteriorment es tracta amb el procés de sonicació assegurant d'aquesta forma la dissolució completa del polímer dins del dissolvent.

En funció del dimensionat de l'etiqueta, el rang de lectura entre el lector RFID i l'etiqueta varia, per assolir una lectura a més de sis metres, és necessari dimensionar una banda ultra alta freqüència (UHF).

L'estudi realitzat per (Li et al. 2009) configura l'amplada de banda extensa entre 810 a 890 MHz cobrint tota la banda RFID europea (866-868 MHz) amb les mides necessàries per assolir una lectura UHF, mostrades a la *Figura 22*, on $L_1=118$ mm, $L_2=36$ mm, $L_3=25$ mm, $H_1=15$ mm i $H_2=27$ mm, (L =longitud i H =alçada)

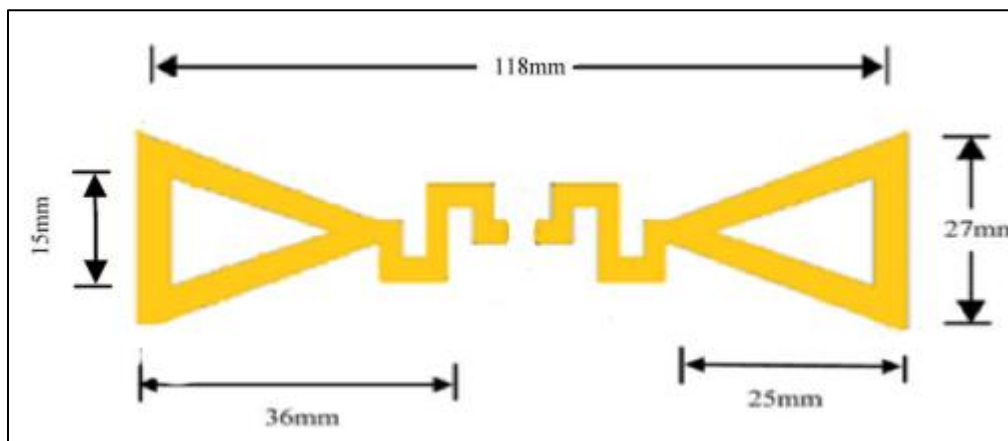


Figura 22. Dimensionat antena UHF. Font: [\(Li et al. 2009\)](#)

5.6.1.3. Sensor de gas amoníac

Seguidament, es procedeix a configurar el material utilitzat per a la fabricació de la nova estructura, es basa a integrar àcid sulfònic m-aminobenzè, conegut amb les sigles PABS, per modificar químicament la superfície dels nano-tubs de carboni de paret simple, a través dels grups funcionals presents als PABS (Lee et al. 2011).

Els beneficis d'aquesta barreja es veuen reflectides en una millora en la sensibilitat i rendibilitat, així com en l'aïllament i caracterització dels compostos específics de conductivitat elèctrica coneguda.

En aquesta mescla, a través de l'eliminació del protó dels oligòmers presents en la cadena lateral del grup funcional dels PABS, s'indueix una transferència d'electrons entre la cadena lateral i la paret simple del nano-tub de carboni, mostrant així major sensibilitat davant la presència d'amoníac.

Per obtenir aquesta barreja es procedeix a la preparació de suspensions i solucions estables de dispersions aquoses d'àcid sulfònic m-aminobenzè (PABS) amb una concentració de 5mg/ml en aigua durant 2 hores sota el procés de sonicació.

La tècnica de sonicació consisteix a aplicar energia sonora per agitar partícules o fibres discontinües en un líquid, normalment utilitza freqüències d'ultrasons (>20 kHz) conegudes com a procés d'ultraso.

D'aquesta forma els nanotubs de carboni milloren la seva configuració presentant una alta sensibilitat i adsorció que en entrar en contacte amb petites concentracions del gas d'amoníac, modifiquen la seva conductivitat elèctrica provocant una variació de la seva impedància (z).

L'amoníac, compost inorgànic, presenta molècules amb un únic parell d'electrons que poden ser compartits, tal com es representa amb Figura 24 això permet que durant la seva exposició al medi, els electrons puguin ser transferits, en aquest cas, als nano-tubs de carboni.

En la Figura 24 s'observa com els electrons de l'amoníac passen cap a la banda de valència dels nano-tubs de carboni, on es produeix la formació d'una càrrega espacial a la superfície de la paret única del nano-tub de carboni, com a conseqüència la resistència elèctrica augmenta.

Tota molècula per poder interactuar amb els nano tubs de carboni, ha de donar o rebre electrons, en aquest cas l'amoníac actua com a donant d'electrons provocant una alteració de la conductivitat.

Els nano tubs de carboni de paret simple proporcionen millor conductivitat elèctrica, una elevada sensibilitat i millor adsorció superficial en comparació amb els nano tubs de carboni de múltiple paret per tant, el recobriment prim que s'utilitzarà, entre els elèctrodes de l'antena, que millorarà la reacció química en entrar en contacte amb l'amoníac, estarà composta per nano-tubs de carboni de paret simple.

La modificació química de la superfície dels nano tubs que s'obté amb l'acoblament a materials implica l'alteració del sistema d'enllaç- π de les parets laterals, així com la introducció d'àtoms de carboni saturats sp^3 que trenca la simetria de translació, permetent l'aïllament i caracterització de compostos específics de conductivitat elèctrica coneguda. (Norizan et al. 2020).

A conseqüència de l'adsorció de les molècules, és a dir, la transferència parcial de càrrega que altera la concentració del portador de càrrega, i la sensibilitat que tenen segons el medi en el qual es troben, produeixen un canvi en la resistència elèctrica del nano-tub de carboni, que actua com a senyal del sensor.

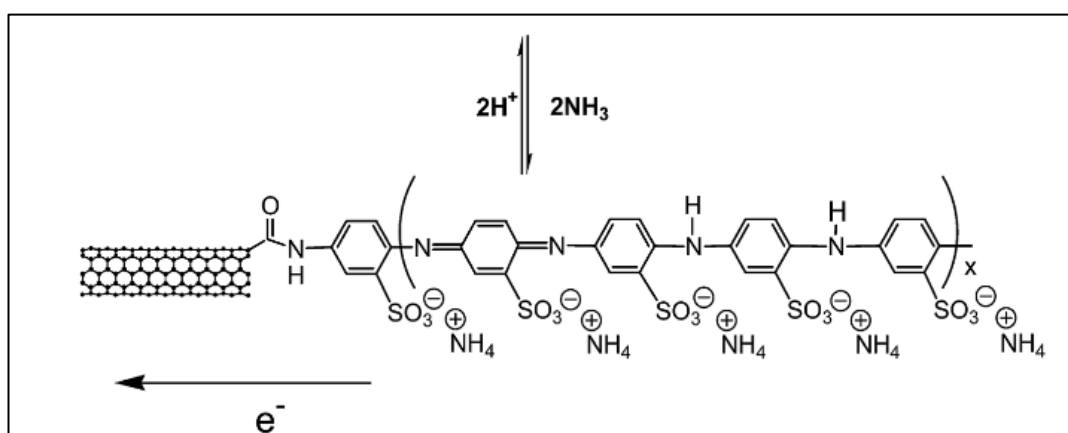


Figura 23. Interacció SWCNT amb NH_3 . Font: (Norizan et al. 2020)

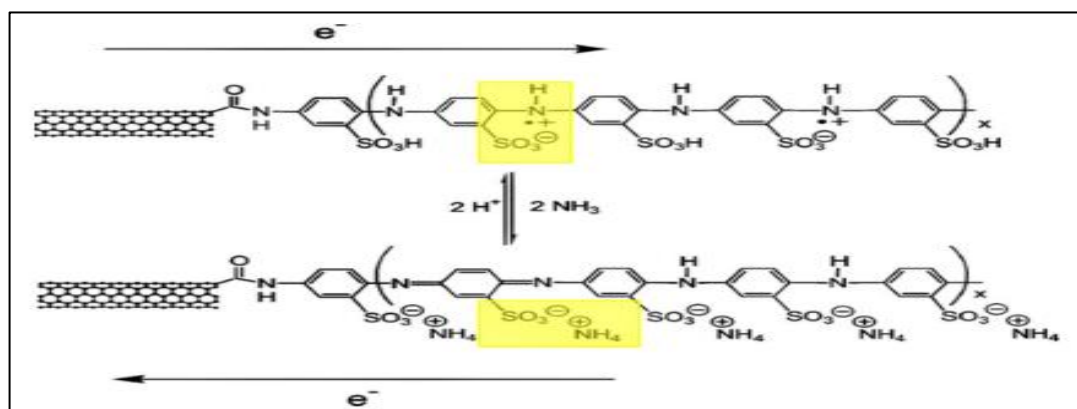


Figura 24. Intercanvi d'electrons. Font: (Norizan et al. 2020)

Com a últim pas, s'analitza la disposició correcta del material sensor [SWCNT-PABS] sobre l'antena, en la *Figura 25* la disposició de la tinta ocupa tota l'antena, i en la *Figura 26*, la tinta es troba en el punt d'unió de les impedàncies configurades

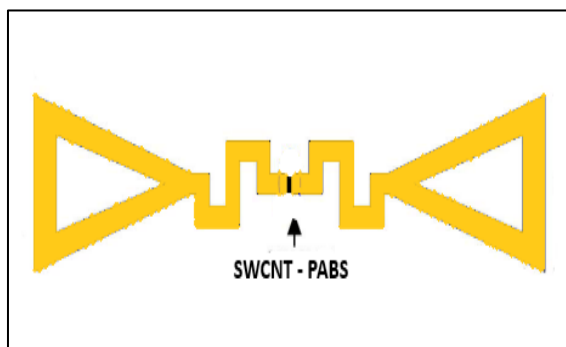


Figura 26. Capa curta de SWCNT. Font: Elaboració pròpia.

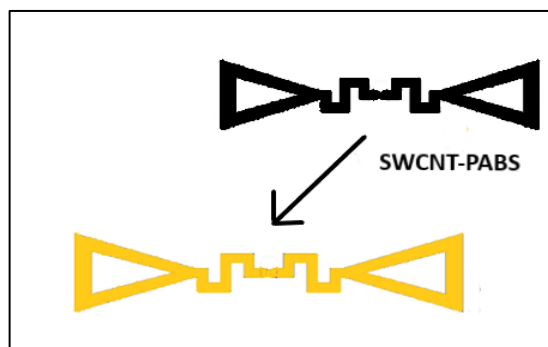


Figura 25. Capa extensa de SWCNT. Font: Elaboració pròpia.

Per conèixer i identificar quina disposició és correcte, un estudi (Virtanen et al. 2012) realitza un experiment, on compara els resultats obtinguts en funció del nombre de capes de tinta necessari (major nombre de capes major deficiència en el rendiment), del nivell de densitat de la tinta (major consum implica major cost econòmic), del rang màxim que cada configuració pot aportar, i de la resistència aconseguida (disminueix quan el nombre de capes de SWCNT-PABS augmenta).

Els resultats obtinguts quant a nombre de capes, nivell de densitat de la tinta i del rang màxim, foren mostrats a partir, de la Taula 14 i Taula 13, on en comparar resultats, observen que una reducció de la quantitat de píxels implica un gran estalvi en costos de fabricació.

Taula 14. Rang de lectura. Font: [\(Virtanen et al. 2012\)](#)

Deposition mask	Ink consumption to form the mask	Overall achieved peak read range
Full antenna	0.40 μL	7.2 m
5 mask	0.23 μL	6.8 m
10 mask	0.06 μL	5.1 m
40 mask	0.02 μL	4.0 m
Dipole arms	0.30 μL	3.5 m
Matching network	0.09 μL	4.6 m

Taula 13. Disposició i quantitat de píxels impresos. Font: [\(Virtanen et al. 2012\)](#)

Deposition mask	Printed pixels (abs.)	Relative amount of printed pixels
Full antenna	$3.95 \cdot 10^4$	100%
5 mask	$2.31 \cdot 10^4$	58.4%
10 mask	$6.65 \cdot 10^3$	16.9%
40 mask	$2.40 \cdot 10^3$	6.10%
Dipole arms (DA)	$3.05 \cdot 10^4$	77.4%
Matching network (DM)	$9.27 \cdot 10^3$	23.6%

Per configurar la resistència, un altre estudi (Li et al. 2009) proposa, l'ús de vint-i-cinc capes perquè aporta una resposta impedància-freqüència més estable, exhibint una resistència de $97,1\Omega$ i una reactància de $-j18,8\Omega$ en presència d'amoniac.

Finalment, en haver analitzat tots dos estudis, la configuració final de l'etiqueta RFID es basa a aplicar 25 capes de la tinta configurada de SWCNT-PABS que permetrà conèixer concentracions a partir de 25 ppm fins a 100 ppm (Lee et al. 2011).

Aquestes capes seran impreses, pel mètode la injecció de tinta, sobre els 7 micròmetres de la capa de substrat de paper, entre les terminals de la impedància de l'estructura T-match, que permetrà adquirir un sensor passiu amb una banda de 925 MHz UHF-RFID, tal com s'observa a la Figura 30.

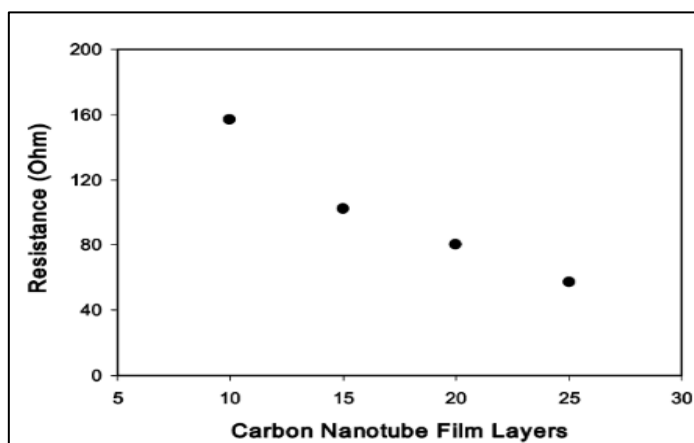


Figura 27. Resistència. Font: (Li et al. 2009)

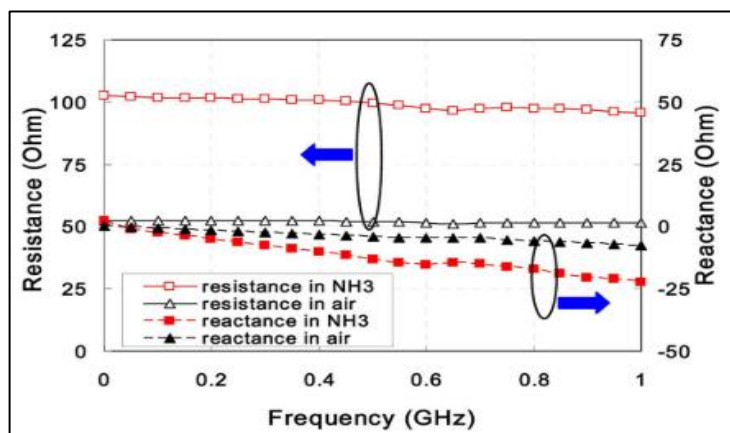


Figura 28. Impedància. Font: (Li et al. 2009)

5.6.1.4. Substrat

El substrat és la base de l'etiqueta, ha de ser compatible amb el procés de fabricació i disseny requerit, permetent una adhesió adequada i fàcil d'elements electrònics (antenes, sensors, RFID) per mitjà de processos d'impressió amb injecció de tinta.

El paper destaca per la seva alta flexibilitat, és respectuós amb el medi ambient permetent el seu reciclatge, és capaç de suportar ambients hostils, i en comparació amb la resta de materials polimèrics com el polietilè tereftalat (PET), destaca per ser un material molt econòmic.

Entre la varietat de paper existent en destaca el paper a base de fibres de cel·lulosa i el sintètic de Teslin, estudis realitzats (Yang et al. 2007) demostra que el paper de cel·lulosa conté òptimes propietats per integrar sobre la seva superfície elements electrònics amb la impressió per injecció de tinta, degut a les característiques de radiofreqüència que presenta segons les propietats elèctriques.

Durant la configuració del paper de cel·lulosa es varen analitzar els paràmetres de les propietats elèctriques a través del mètode ressonador T i ressonador d'anella obtenint una constant dielèctrica relativa entre 2.9-3.4 i una tangent de pèrdua de 5.3×10^{-2} (Yang et al. 2007) garantint un bon funcionament.

Seguidament per garantir una bona i elevada conductivitat elèctrica, com els que ofereixen els metalls conductors comuns com l'or i el coure, en aquest cas, es va optar per les nanopartícules d'argent que proporcionaven aquesta conductivitat desitjada.

Durant l'adhesió de tinta de les nanopartícules d'argent sobre el substrat es va tenir en compte la concentració amb el nombre de nanopartícules d'argent utilitzats l'aplicació d'un procés de sinterització tèrmica posterior, per garantir un major rendiment i conductivitat. (Kim 2020)

S'entén per sinterització com un procés on les nanopartícules de metall de la tinta conductora perden les seves capes orgàniques externes per entrar en contacte físic entre elles i facilitar la conductància elèctrica.

Existeixen diverses formes d'aplicar aquest procés, però el mètode més comú aplicat per curar les tintes que tenen com a base nanopartícules és el procés de sinterització tèrmica que consisteix en curar a temperatures igual o superior a 200°C els patrons impresos.

5.6.1.5. Fabricació de l'etiqueta ultra elevada radio freqüència

El mètode emprat per donar forma al prototip de l'etiqueta fou l'ús de la impressió per injecció de tinta, *Figura 29* l'equip piezoelèctric Dimatrix 2800 system (Dimatrix-Fujifilm Inc, USA) equipat amb un cartutx de 10 picolitre (pL).

Es tracta d'una tecnologia d'escriptura directa, mitjançant la qual el patró de disseny es transfereix directament sobre el substrat, en aquest cas, el paper.

Sobre el substrat és realitzat una impressió directa de tinta de nanopartícules d'argent per aportar una elevada conductivitat elèctrica i baixa rugositat superficial.

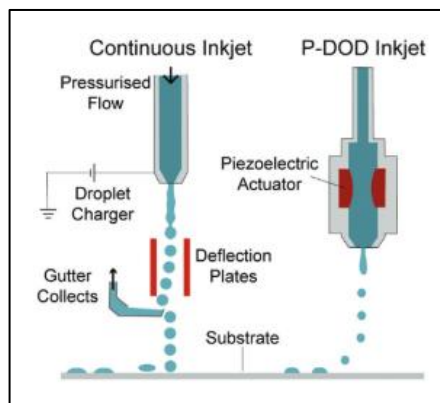


Figura 29. Impressió per injecció de tinta. Font: [\(Dai et al. 2020a\)](#)

Per a la impressió es va usar un cartutx de tinta de 10 pL amb espaiat de gota de 20 micròmetres, sobre el substrat amb un tractament posterior de sinterització tèrmica a 150°C durant 2 hores. (Li et al. 2009)

El valor de conductivitat obtingut (Kim 2020) foren de $5,70 \times 10^6$ S/m per a un cartutx de 1 pL que correspon al 19,05 % del valor de conductivitat $\sigma = 6,3 \times 10^7$ S/m, s'observa que en funció del nombre de capes impreses, la conductivitat disminueix a conseqüència de la saturació provocada per la densitat de les nanopartícules d'argent.

Per habilitar una banda ampla i la concordança entre les impedàncies es produeix la impressió de capes dielèctriques amb una tinta de 35% de polímer SU-8 dissolt amb cicló pentanona (Kim 2020) Es varen imprimir, sobre el material de conductivitat elèctrica impresa, diverses capes amb 7 micròmetres de gruix amb valors de permitivitat relativa $\epsilon_r = 3,5$ i pèrdua de tangent de 0,03.

Finalment, foren impreses vint-i-cinc capes, de la tinta obtinguda entre els nano tubs de carboni i PABS, entre les terminals de l'antena i el microxip, configurant el prototip mostrat *Figura 30*.

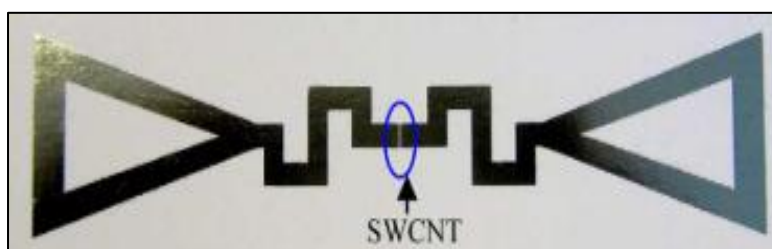


Figura 30. Prototip del sensor. Font: [\(Li et al. 2009\)](#)

5.6.1.6. Dimensionat etiqueta

Taula 15. Paràmetres de l'etiqueta. Font: Elaboració pròpia

Paràmetres	Valors
Dimensió	118mm x 27mm x 36mm
Dimensió capa sensor	3mm x 2mm
Dimensió elèctrodes d'argent	2 mm x 10 mm
Gruix capa sensor	11 micròmetres per capa (25 capes)
Gruix substrat	100 micròmetres
Patró de radiació de l'antena	Dipol unidireccional
Rang radiofreqüència	868 MHz

5.6.2. Lector RFID

A banda d'actuar com a font d'energia, per accionar els circuits entre l'antena interna i el microxip, la funció principal del lector RFID consisteix en interrogar i transmetre contínuament senyals a l'etiqueta, però per interactuar amb etiquetes passives UHF, haurà d'estar configurat per llegir senyals UHF.

El lector RFID de lectura única només rep i llegeix la informació que obté per part de l'etiqueta sense poder modificar la informació procedent del circuit integrat.

La transferència de dades, entre ambdós elements mostrat as la Figura 31, es fa sota el protocol anomenat dúplex complet (DC), que permet l'intercanvi de dades de l'etiqueta al lector i del lector a l'etiqueta de forma contínua i simultània.

La comunicació entre l'etiqueta i el lector RFID té lloc a causa de la variació de l'amplitud del camp sinusoidal dels senyals de radiofreqüències, on la impedància del microxip canvia entre l'estat coincident i el no coincident.

El lector RFID controla el nivell de potència de retrocés, per tant, quan es produeix un canvi es produeixen variacions en la impedància de càrrega significa que el detector, és a dir, les capes fines de nanopartícules de carboni, detecten la presència de gas en l'ambient.

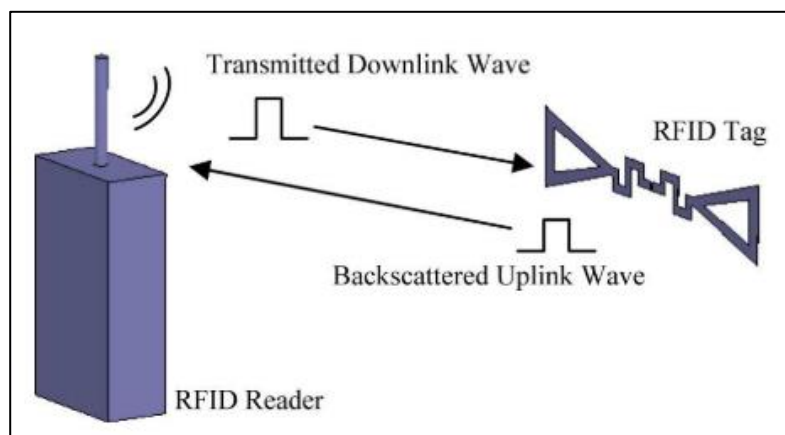


Figura 31. Intercanvi de senyals entre el lector RFID i l'etiqueta. Font: [\(Li et al. 2009\)](#)

5.6.3. Middleware RFID

Els senyals de radiofreqüències capturades per l'etiqueta són retornades cap al lector RFID amb les dades emmagatzemades al circuit integrat. Aquestes dades primerament són llegides pel lector RFID per posteriorment ser processades en el sistema d'informació.

En rebre la informació, aquesta és analitzada i enviada cap a un sistema de control, conegut com middleware, actua com a filtre per reconèixer quines de les múltiples dades processades aporten informació rellevant i quines han de ser eliminades.

5.6.4. Antena RFID

El lector RFID treballa amb un rang d'ultra alta freqüència (UHF) que li permet emetre ones de ràdio, a través de l'antena RFID que s'encarrega de transmetre aquestes ones amb la potència necessària per interactuar amb etiquetes localitzades a més de 6 metres.

En general, les etiquetes passives exhibeixen un patró de radiació semblant a un dipol amb polarització lineal, per això les antenes RFID utilitzades solen presentar polaritzacions circulars, aconseguint rebre senyals més forts, sense importar l'orientació de l'etiqueta a detectar respecte a l'antena RFID.

5.7. Instal·lació i ubicació dels sensors en el sistema de refrigeració

Previ a la instal·lació cal tenir en compte que les etiquetes passives UHF, no funcionen en zones que presentin materials metàl·lics, tampoc funcionen en caixes, o receptors que continguin líquids (Álvarez López et al. 2018) en aquest cas les etiquetes a utilitzar es configurarien d'altra forma.

Tot i que avui dia existeixen antenes RFID integrades en el lector RFID, en aquest cas es connectaran les antenes directament als lectors a través de cables coaxials, utilitzant la distribució de xarxa existent, i així els lectors RFID es connectaran als ordinadors del sistema de control, a través la connectivitat que proporciona la xarxa d'àrea local (LAN), a través d'aquesta connexió seran configurats.

En el sistema de refrigeració amb amoníac es farà ús d'etiquetes passives fixes, en aquest cas per rebre senyals forts (Álvarez López et al. 2018) les antenes RFID presentaran polaritzacions lineals, ubicades en aquelles zones on es garanteixi una excel·lent àrea de cobertura i assegurin la detecció de les etiquetes passives UHF.

El funcionament del sistema de refrigeració amb amoníac es basa en un cicle tancat de cinc components, que són:

- [1] Evaporador inundat: Intercanviador de calor amb tubs descoberts d'acer, aquest evaporador inundat treballa amb líquid refrigerant d'amoníac que circula per gravetat a través del circuit.
- [2] Compressor de caragol: Màquina volumètrica rotativa que realitza la compressió per reducció del volum a partir d'un moviment de rotació. El gas procedent de l'evaporador és aspirat i es dona la disminució de volum que implica un augment de la pressió interna. Aquesta pressió augmenta fins a assolir el valor desitjat, un cop assolit el gas es alliberat al sistema.
- [3] Condensador: És un intercanviador on té lloc la condensació del gas resultant del compressor.
- [4] Recipient de líquid: El refrigerant surt del condensador en estat líquid, s'emmagatzema en aquest recipient, a continuació es dirigeix cap a la vàlvula d'expansió.
- [5] Vàlvula d'expansió: Es produeix la reducció de la pressió i temperatura per injectar a l'evaporador la quantitat de refrigerant necessària i mantenir un recalentament que assegurí que el refrigerant no arriba en estat líquid a l'aspiració del compressor.

Per la instal·lació i ubicació dels sensors de gas es tenen en compte dos aspectes importants, el primer es troba representat en la Figura 32, s'observa la densitat (kg/m^3) dels diferents tipus de refrigerants, i en especial la densitat de l'amoníac (R717) de valor $0,73 \text{ kg/m}^3$, comparats amb la densitat de l'aire de valor $1,29 \text{ kg/m}^3$, a temperatura de 273 kelvins,

S'observa que l'amoníac (R717) presenta una densitat relativament molt més baixa que la representada per l'aire amb una línia de color vermell, això significa que l'amoníac és un gas molt més lleuger que l'aire, i per tant, quan es produeixen fuites de gas, l'amoníac té tendència de pujar, i no pas de caure com la resta de refrigerants representats.

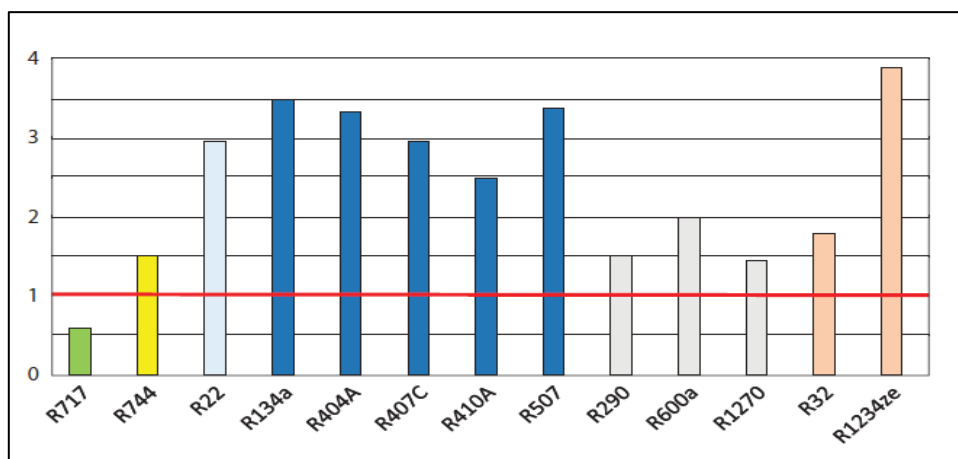


Figura 32. Comparació de densitats dels refrigerants respecte l'aire. Font: [\(Danfoss A\)](#)

El segon aspecte a tenir en compte es troba detallat a la *Taula 16*, en aquesta taula s'especifica quines són les zones i unitats més propenses a presentar amb alta probabilitat fuites de gas, i el nombre necessari de sensors de gas a instal·lar, aquestes zones i unitats, són:

- [1] Compressors: Presenten elevat risc perquè treballa amb una elevada concentració d'amoníac.
- [2] Línia de ventilació: Consta de vàlvules d'alleujament de seguretat que es poden obrir per una sobrepressió provocant descàrregues d'amoníac a l'atmosfera.
- [3] Sala de refrigeració: Els solenoides de gas calent poden presentar fuites.

Taula 16. Localització dels sensors. Font: [\(Danfoss A\)](#)

Localització	Nº sensors	Punt d'avís
Sala de compressors	2	25 ppm 25 ppm 150 ppm
Línia de ventilació	1	1%
Sala de refrigeració	2	25 ppm 35 ppm

5.8. Cost

El prototip resultant de l'etiqueta passiva UHF mostrada en la Figura 30, és el resultat de diversos estudis realitzats recentment en laboratoris, encara no es comercialitzen a escala industrial, per aquest motiu les cases comercials no ofereixen la venda de aquest tipus especial d'etiquetes.

Respecte a l'oferta de lectors RFID i antenes RFID , existeixen empreses com Vizinezrfid, Fujitsu, Avery Denisson ofereixen lectors i antenes que llegeixen en rangs UHF, no obstant això, en destaca la empresa Pepperl+Fuchs Group.

Es tracta d'una empresa pionera e innovadora en protecció contra explosions elèctriques i tecnologies de sensors, proporcionant etiquetes, antenes i lectors.

En l'apartat d'instal·lació s'explicava detalladament l'existència de lectors RFID que porten integrades antenes RFID tal com es mostra en la Figura 33 ,però també existeixen la connexió entre ambdós elements a través de cables coaxials, tal com mostra la Figura 34.

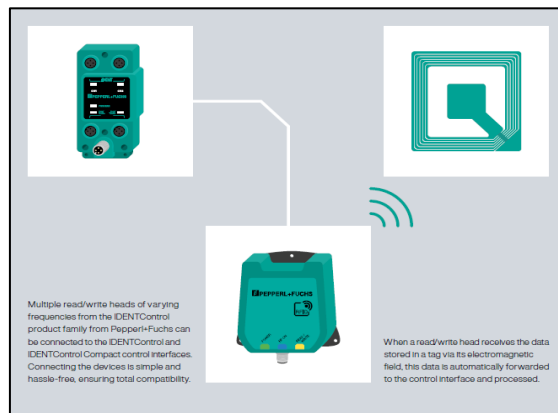


Figura 33. Configuració del sistema RFID. Font: [\(Group 2021\)](#)

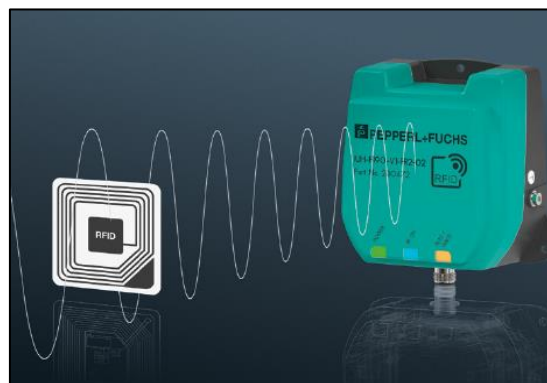


Figura 34. Emissió ones de radiofreqüència. Font: [\(Group 2021\)](#)

Pepperl + Funchs Group ofereix amplis sistemes de radiofreqüències, en destaca el sistema de freqüència europea UHF (865-928 MHz), asiàtica i americana.

En destaca, el rang de lectura de fins a 6 metres i una versatilitat de l'antena RFID, presenta una polarització horitzontal i vertical que es poden alternar, això significa que els materials es poden ajustar sense la necessitat d'alterar el software.

Pepperl + Funchs Group ofereixen lectors RFID capaç de detectar múltiples etiquetes RFID amb una única operació de lectura, la informació es transferida ràpidament, el preu de la instal·lació del sistema RFID es detalla a la *Taula 17*.

Taula 17. Preu del sistema. Font: [\(Group 2021\)](#)

Material	Preu amb IVA
Lector UHF	8.000 €
Antena UHF	5.000 €
Instal·lació	28.000 €

5.9. Control a través del dispositiu mòbil

5.9.1. Connexions

Contínuament, les etiquetes passives reben senyals de radiofreqüències interrogatives enviades pel lector UHF a través de les antenes UHF, connectats per mitjà de cables coaxials. Aquestes antenes UHF, s'encarreguen d'emetre i rebre ones de radiofreqüències, per detectar el microxip de l'etiqueta passiva.

L'etiqueta passiva UHF conté una antena a 868 MHz configurada amb un microxip de circuit integrat específic (Eom et al. 2014) ambdós presenten una impedància $51.6 - 6.1j$ en aire, és a dir, sense partícules d'amoníac en l'entorn, i una potència reflectida de -18.4 dB (Kim 2020)

És el microxip de circuit integrat específic qui contesta al lector UHF modificant les impedàncies d'entrada amb la modulació de la senyal de retorn, anomenada *Amplitude Shift Keying (ASK)* que indica l'estat coincident i no coincident entre les impedàncies del microxip.

Segons l'explicat, a l'apartat de les característiques de l'etiqueta passiva UHF, el component de la capa fina, és a dir, els nano tubs de carboni amb els PABS, actuen com a una resistència ajustable, amb una valor determinat en funció de la concentració de gas present en l'entorn.

Quan l'etiqueta passiva UHF detecta la presència del gas d'amoníac es dona el canvi en la impedància sota un valor de $97.1 - j18,8 \Omega$ (Kim 2020) que implica una variació en la potència de retorn reflectida de -7.6 dB, detectat pel lector UHF.

Un cop es produeix la detecció de gas d'amoníac, allà on han estat col·locades les etiquetes, es generen ones de radiofreqüències interpretades com a dades, no obstant, aquestes ones, conegudes com a senyals han de ser processades i transformades a dades digitals.

El processament i transformació de les senyals a dades digitals es dona amb un acoblament inductiu, entre l'antena UHF i el lector UHF, (Álvarez López et al. 2018) sota una arquitectura software que ha de complir amb dos objectius.

El primer objectiu es gestionar les lectures de les etiquetes passives UHF, dins de l'àrea de cobertura de les antenes UHF, emmagatzemant i actualitzant la informació, en una base de dades que s'emmagatzema amb la resta d'informació del sistema, en una estació de treball o servidor.

En detectar-se l'etiqueta passiva es recopila informació i s'actualitzen les bases de dades, a través del software, més emprat avui dia, MongoDB (Álvarez López et al. 2018) on el lector RFID que intervé es administrat i configurat, pel sistema de control central amb al qual es troba connectat a través de la xarxa d'àrea local (LAN-Ethernet).

Un segon objectiu, de l'arquitectura software, és mostrar la informació emmagatzemada en la base de dades, als usuaris finals, a través de dispositius mòbils facilitats als operaris amb l'objectiu de rebre informació en temps real, conèixer la localització de les etiquetes i prevenir futures fuites de gas analitzant les dades obtingudes.

Pepper + Funchs Group ofereix un dispositiu *Figura 35*, perfecte per aplicacions innovadores de la Indústria 4.0, treballa amb el sistema operatiu Android 8.1, compatible amb xarxes privades garantint una cobertura òptima i ofereix una excel·lent transferència de dades, ofereix manipulació tàctil o bé per tecles.

La compatibilitat amb xarxes privades permet la connectivitat, fent ús de softwares i hardwares, entre el sistema de control i el dispositiu mòbil per mitjà de la xarxa wireless WLAN que proporciona interconnectivitat sense fils (Álvarez López et al. 2018) d'aquesta manera es permet la visualització en temps real del registre de les bases de dades.



Figura 35. Dispositiu Android 8.1.
Versió. Font: [\(Group 2021\)](#)

5.9.2. Emmagatzematge de les dades

En Pepperl + Funchs Group és la primera empresa que ofereix una solució basada en la indústria 4.0, oferint IO Link Master, encarregat de connectar els sensors a la unitat de control, facilitant la parametrització i el diagnòstic des d'un punt centralitzat.

IO Link Master es troba connectat amb la interfície integrada OPC UA, protocol de comunicació que permet l'intercanvi d'informació i dades entre dispositius a través de xarxes o via Internet.

Aquesta tecnologia permet que les dades siguin transferides cap a un controlador de nivell superior, a través de l'ús Ethernet/IP i siguin llegides de forma simultània i enviades al núvol, en la Figura 36 es mostra l'arquitectura proposada pel l'empresa Pepperl+Funchs Group on es visualitza com des de el núvol, on s'emmagatzema informació, es transferida aquesta informació entre diversos dispositius.

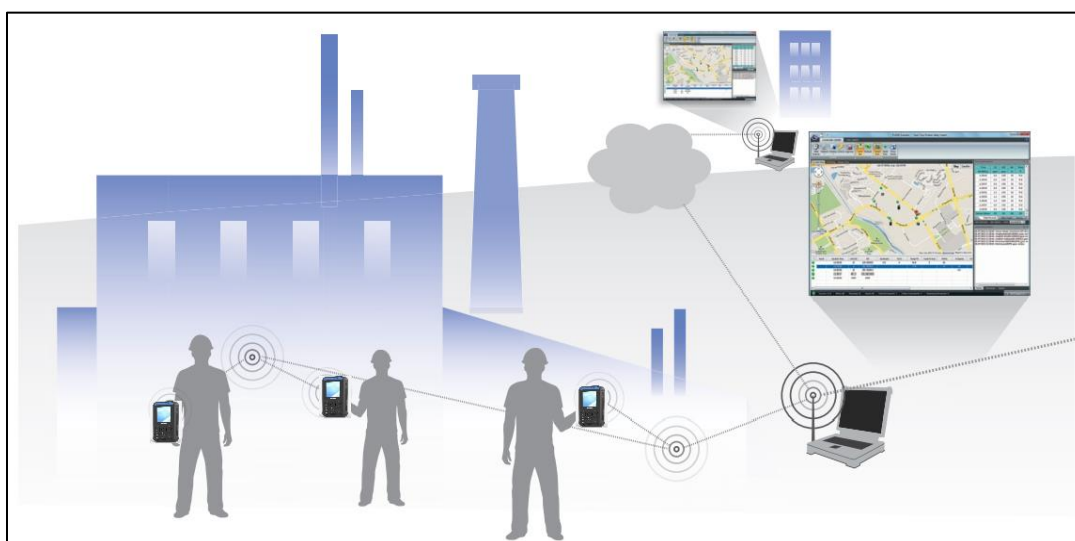


Figura 36. Connexió entre els diferents sistemes. Font: [\(Group 2021\)](#)

6. Conclusions

En haver realitzat la recerca sobre la Indústria 4.0 i, en conèixer les oportunitats que aporten cadascuna de les eines tecnològiques dins del sector químic, s'ha proposat un nou prototip de sensor de detecció de fuites de gas amoníac (NH_3) dins d'un sistema de refrigeració basat en la tecnologia d'identificació per radiofreqüència.

- Ha estat demostrada la funcionalitat i viabilitat de la integració de capes fines, com a part de l'estructura de l'etiqueta RFID, de parets simples de nano tubs de carboni que en entrar en contacte amb petites concentracions de gas amoníac (a partir de 50 ppm) modifica la seva conductivitat i com a conseqüència genera un senyal elèctrica, que és transmesa com a dada als operaris de manteniment.
- És possible obtenir una etiqueta passiva d'ultra alta freqüència (UHF), per culpa de les modificacions generades entre les impedàncies de l'antena interna i el microxip, i la integració de capes dielèctriques conductores.
- La possibilitat d'operar en un rang UHF permet al lector RFID interaccionar amb etiquetes situades a més de 6 metres de distància, possibilitant la ubicació dels sensors en zones elevades.
- Les etiquetes passives UHF, no funcionen en zones que presentin materials metàl·lics, tampoc funcionen en caixes, o receptors que continguin líquids.
- És possible l'intercanvi de dades entre el sistema d'identificació per radiofreqüències i el dispositiu mòbil a través de l'internet de les coses, per l'ús de bases de dades, que analitza la informació que reben a través dels lectors RFID, localitzades en un sistema de control central que fa ús de software i hardware que permeten aquesta transferència d'informació.
- A diferència dels sensors que es troben en el mercat, avui dia, el prototip proposat presenta materials d'un cost de preu baix, possibilitant en un futur sensors més econòmics que els actuals.
- Avui dia el sistema d'identificació per radiofreqüència com a sensor de gas amoníac no existeix en el mercat, no obstant es continuen realitzant estudis en laboratoris amb l'objectiu de millorar encara més les propietats de les etiquetes.

En finalitzar la recerca s'observa que la Indústria 4.0 augmenta la seva participació, dins de la indústria química, destacant en fabricació additiva, dades massives, internet de les coses, simulació i connectivitat. En un futur gràcies a als avanços quant a material i tecnologia que permet assolir la Indústria 4.0, aquests sensors seran fabricats a gran escala.

7. Bibliografia

1. Acció Generalitat de Catalunya., 2017. Mapeig i anàlisi de la Indústria 4.0 a Catalunya-Anàlisi d'Oportunitats. A: .
2. ACCIÓ, U. d'Estratègia i I.C., 2020a. El sector químic a Catalunya. A: .
3. ACCIÓ, U. d'Estratègia i I.C., 2020b. El sector químic a Catalunya Píndola sectorial. A: .
4. ACCIÓ, U. d'Estratègia i I.C., 2021. Capacitats i tecnologies vinculades a la indústria 4.0 a Catalunya. A: .
5. Agengy, E.C., 2021. Substance Identity-Ammonia - Anhydrous. A: . núm. 215.
6. Álvarez López, Y. et al., 2018. RFID Technology for Management and Tracking: e-Health Applications. A: [en línia]. DOI 10.3390/s18082663. [Consulta: 15 abril 2021]. Disponible a: www.mdpi.com/journal/sensors.
7. Bill, L., 2014. Industry 4.0 - Only One-Tenth of Germany's High-Tech Strategy. A: [en línia]. [Consulta: 4 maig 2020]. Disponible a: <https://www.automation.com/en-us/articles/2014-1/industry-40-only-one-tenth-of-germanys-high-tech-s>.
8. Bock Kurt Dr, President, G.C.I. i Association (VCI)., 2019. Chemistry 4.0 Growth through innovation in a transforming world. A: [en línia]. [Consulta: 16 juny 2020]. Disponible a: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/consumer-industrial-products/gx-chemistry-4.0-full-report.pdf>.
9. Calia, E. i D'Aprile, D., 2020. Industry4.0. A: *Analytics for the Sharing Economy: Mathematics, Engineering and Business Perspectives*. p. 309-333. DOI 10.1007/978-3-030-35032-1_18.
10. Casalet, M., 2030. La digitalización industrial Un camino hacia la gobernanza colaborativa Estudios de caso La digitalización industrial Un camino hacia la gobernanza colaborativa Estudios de casos. A: [en línia]. [Consulta: 7 agost 2020]. Disponible a: www.cepal.org/es/suscripciones.
11. Columbia., W.C.B. of B., 2018. *Ammonia in Refrigeration Systems*. ISBN 9780772669728.
12. Company, F., 2018. *FIGARO SENSOR.pdf*.
13. Dai, J. et al., 2020a. Printed gas sensors. A: *Chemical Society Reviews*. Vol. 49, núm. 6, p. 1756-1789. ISSN 14604744. DOI 10.1039/c9cs00459a.
14. Dai, J. et al., 2020b. Printed gas sensors. A: *Chemical Society Reviews* [en línia]. Royal Society of Chemistry, Vol. 49, núm. 6, p. 1756-1789. ISSN 14604744. DOI 10.1039/c9cs00459a. [Consulta: 19 setembre 2020]. Disponible a: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2020/cs/c9cs00459a>.
15. Danfoss A.Application Handbook Industrial Refrigeration Ammonia and CO 2 Applications. A: [en línia]. [Consulta: 24 març 2021]. Disponible a: www.danfoss.com/ir.
16. De Catalunya, G., 2019. Nota d'Economia Número 105 - La revolució digital a Catalunya. A: [en línia]. [Consulta: 2 setembre 2020]. Disponible a: <http://economia.gencat.cat/>.
17. Departamento De Desarrollo Económico e Infraestructuras, G.V., 2016. El Plan de Industrialización 2017-2020 «Basque Industry 4.0». A: .
18. Diari de Tarragona., 2019. Horizonte 2030. A: [en línia]. [Consulta: 17 juny 2020]. Disponible a: https://www.diaridetarragona.com/pdf/Extra_Quimica_19_10_2018.pdf.
19. DrägerSensor®, 2021. Sensor de perlas catalíticas DrägerSensor®. A: .
20. Drägerwerk AG & Co. KGaA., 2021. Sensor Dräger electroquímico. A: [en línia]. [Consulta: 6 maig 2021]. Disponible a: https://www.draeger.com/es_es/Applications/Products/Fixed-Gas-

- Detection/Sensors-for-Fixed-Gas-Detectors/DraegerSensor-EC-Electrochemical-Sensors.
21. Eom, K.-H. et al., 2014. The Meat Freshness Monitoring System Using the Smart RFID Tag. A: [en línia]. DOI 10.1155/2014/591812. [Consulta: 14 abril 2021]. Disponible a: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/591812>.
 22. European Commission., 2017. Digital Transformation Monitor Germany: Industrie 4.0. A: *Digital Transformation Monitor* [en línia]. núm. January, p. 8. Disponible a: <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/content/germany-industrie-40>.
 23. European Commission - BREF., 2007. Reference Document on Best Available Techniques for the Manufacture of Large Volume Inorganic Chemicals - Ammonia, Acids and Fertilisers. A: *The Best Available Techniques Reference Document*. Vol. I, núm. August, p. 513-527.
 24. Fang, H. et al., 2015. A survey of big data research. A: *IEEE Network*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Vol. 29, núm. 5, p. 6-9. ISSN 08908044. DOI 10.1109/MNET.2015.7293298.
 25. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, P.I. 4. ., 2019. Plattform Industrie 4.0 - What is Industrie 4.0? A: [en línia]. [Consulta: 5 agost 2020]. Disponible a: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/EN/Industrie40/WhatIsIndustrie40/what-is-industrie40.html>.
 26. Gilchrist, A., 2016. *Industry 4.0: The industrial internet of things*. ISBN 9781484220467. DOI 10.1109/MNET.2019.8863716.
 27. Goda, K. et al., 2020. Lab on a Xip Devices and applications at the micro-and nanoscale CRITICAL REVIEW Lab on a Xip CRITICAL REVIEW AI on a xip. A: . Vol. 20, p. 3063-3282. ISSN 1473-0197. DOI 10.1039/d0lc00521e.
 28. Group, P.F., 2021. Industrial Identification. A: [en línia]. Disponible a: www.pepperl-fuchs.com%0ASubject.
 29. Henao-Jaramillo, D. et al., 2019. Implementation of RFID Middleware Based on Client-Multiserver Architecture for Traceability of Autoparts. A: *IEEE Latin America Transactions*. Vol. 17, núm. 6, p. 930-936. ISSN 15480992. DOI 10.1109/TLA.2019.8896815.
 30. IMPINJ, I., 2021. *XIPS ETIQUETA IMPINJ X-8K*.
 31. Industria a Cone Pre esenta ación de la iniciat iva. A: ., 2015.
 32. Industrie, V.D.C., 2017. Chemistry 4.0. A: *Deloitte*. Vol. 106, núm. 5, p. Contents5-Contents5. ISSN 0021-5384. DOI 10.2169/naika.106.contents5.
 33. Kamal, J., 2019. R717 Refrigerant Grade Ammonia High quality natural refrigerant with R717 refrigerant grade ammonia . A: . p. 3-6.
 34. Kim, S., 2020. Inkjet-Printed Electronics on Paper for RF Identification (RFID) and Sensing. A: [en línia]. DOI 10.3390/electronics9101636. [Consulta: 27 març 2021]. Disponible a: www.mdpi.com/journal/electronics.
 35. Kristiani, E. et al., 2019. Implementation of an edge computing architecture using openstack and kubernetes. A: *Lecture Notes in Electrical Engineering*. Vol. 514, p. 675-685. ISSN 18761119. DOI 10.1007/978-981-13-1056-0_66.
 36. Lee, H. et al., 2011. Carbon-Nanotube Loaded Antenna-Based Ammonia Gas Sensor. A: *IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES* [en línia]. Vol. 59, núm. 10. DOI 10.1109/TMTT.2011.2164093. [Consulta: 10 març 2021]. Disponible a: www.dimatix.com.
 37. Li, Y. et al., 2009. A Novel Conformal RFID-Enabled Module Utilizing Inkjet-Printed Antennas and Carbon Nanotubes for Gas-Detection Applications. A: *IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS* [en línia]. Vol. 8, p. 653. DOI 10.1109/LAWP.2009.2024104. [Consulta: 10 març 2021]. Disponible a: <http://ieeexplore.ieee.org>.
 38. Norizan, M.N. et al., 2020. Carbon nanotubes: functionalisation and their

- application in chemical sensors. A: . DOI 10.1039/d0ra09438b.
39. Schroeder, V. et al. Carbon Nanotube Chemical Sensors HHS Public Access. A: . DOI 10.1021/acs.chemrev.8b00340.
 40. Seg, A.C. et al., 2019. Fabricación de amoníaco (emisiones de proceso). A: . Vol. 97, p. 1-8.
 41. Simonelli, F. et al., 2014. Energy Prices and Costs in Energy Intensive Industries: the Case of the Chemical Industry-Ammonia. A: . núm. January, p. 1-37.
 42. Steurtewagen, B. i Van den Poel, D., 2020. Machine learning refinery sensor data to predict catalyst saturation levels. A: *Computers and Chemical Engineering* [en línia]. Elsevier Ltd, Vol. 134, p. 106722. ISSN 00981354. DOI 10.1016/j.compchemeng.2020.106722. [Consulta: 8 juliol 2020]. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2020.106722>.
 43. Torrent-Sellens, J., 2019. Industria 4.0 y resultados empresariales en España: un primer escaneado. A: *Oikonomics* [en línia]. núm. 12, p. 1-11. DOI 10.7238/o.n12.1910. Disponible a: <https://academic.microsoft.com/paper/2996299922/related>.
 44. Valdés Fernando, B.M., 2017. La industria Conectada 4.0. A: [en línia]. p. 89-100. [Consulta: 21 juny 2020]. Disponible a: <http://www.revistasice.com/index.php/ICE/article/view/1963/1963>.
 45. Van Den Berg, P. et al. Clinical Infectious Diseases Clinical Infectious Diseases © 2021;XX(XX):1-8 Effectiveness of 3 Versus 6 ft of Physical Distancing for Controlling Spread of Coronavirus Disease 2019 Among Primary and Secondary Students and Staff: A Retrospective, Statewide Cohort Study. A: [en línia]. DOI 10.1093/cid/ciab230. [Consulta: 3 maig 2021]. Disponible a: <https://academic.oup.com/cid/advance-article/doi/10.1093/cid/ciab230/6167856>.
 46. VENKAT PATTABATHULA, J.R., 2016. Introduction to Ammonia Production | AIChE. A: [en línia]. [Consulta: 29 abril 2021]. Disponible a: <https://www.aiche.org/resources/publications/cep/2016/september/introduction-ammonia-production>.
 47. Virtanen, J. et al., 2012. A Selective Ink Deposition Method for the Cost-Performance Optimization of Inkjet-Printed UHF RFID Tag Antennas. A: *International Journal of Antennas and Propagation*. Hindawi Publishing Corporation, Vol. 2012. DOI 10.1155/2012/801014.
 48. Waters -Vergèze, N. Implementing a green clean-in-place process. A: .
 49. Yang, F. i Gu, S., 2021. Industry 4.0, a revolution that requires technology and national strategies. A: *Complex & Intelligent Systems*. Springer Science and Business Media LLC, ISSN 2199-4536. DOI 10.1007/s40747-020-00267-9.
 50. Yang, L. et al., 2007. RFID tag and RF structures on a paper substrate using inkjet-printing technology. A: *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. Vol. 55, núm. 12, p. 2894-2901. ISSN 00189480. DOI 10.1109/TMTT.2007.909886.
 51. Zhong, R.Y. et al., 2017. Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. A: *Engineering* [en línia]. Elsevier LTD on behalf of Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company, Vol. 3, núm. 5, p. 616-630. ISSN 20958099. DOI 10.1016/J.ENG.2017.05.015. Disponible a: <http://dx.doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>.