



Hidrogenoa manipulatzeko instalazioetako istripu-agertokiei buruzko gida



2025eko otsaila

Aurkezpena

Hidrogenoa abantaila eta propietate fisiko ugari dituen energia-baliabidea da: erabiltzean karbono dioxidoa sortzen ez duen erregai bakarra da; izan ere, oxigenoarekin konbinatzean ura sortzen du bakarrik. Erregai berriztagarria denez, erreserbak agorrezinak dira.

Gas presurizatu egoeran edo likido-egoeran biltegiara daiteke. Energia berriztagarriak energia-sisteman txertatzen laguntzen du, energia elektrikoko ekoizpenaren soberakinak biltegituz eta garraiatuz. Hidrogenoa ez da energia-iturri primariotzat hartzen; halakotzat hartzen dira erregai fosilak edo eguzki-energia, energia hidraulikoa edo eolikoa. Aldiz, energia biltegitatzeko eta garraiatzeko bitartekoa da, hau da, energia-bektorea.

Koloreak erabiltzea zabaldu zen hidrogenoaren jatorria aipatzeko, berau lortzeko erabilitako energiaren arabera. “Grisa” terminoa erregai fosilak erabiltzetik lortutako hidrogenoa adierazteko erabiltzen da, eta, beraz, karbono dioxidoa isurtzea dakar. “Urdina” terminoa ere erregai fosiletatik abiatutako ekoizpenerako erabiltzen da, baina CO₂ emisioak kudeatzen dira harrapaketa-teknologiak edo beste konpentsazio modu batzuk baliatuz. Azkenik, “berdea” terminoa, normalean uretatik abiatuta eta elektrizitate berriztagarria erabiliz egiten den ekoizpenari aplikatzen zaio; hala ere, beste iturri batzuetatik lortutakoari ere esaten zaio, hala nola biomasatik. Gaur-gaurkoz, munduan kontsumitzen den hidrogenoaren % 90 “grisa” kategoriakoa da.

Ikuspegi horretatik begiratuta, hidrogenoaren Europako eta munduko merkatua garatzeko aukera aurreratzen da, energia-sisteman teknologia berriztagarri elektrikoak integratzea gaitzeko duen funtzioarekin, sistemaren egonkortzaile gisa duen zereginarekin eta industria-aplikazio jakin batzuetan, garraioan eta eraikinen sektorean deskarbonizazio-eragile gisa duen gaitasunarekin lotuta. Hidrogenoaren Euskal Estrategiaren helburua da hidrogeno berriztagarria ekoizteko, biltegitatzeko, garraiatzeko eta tokiko merkatuan banatzeko kondizioak ezartzea, eta, aldi berean, kondizio horiek nazioarteko merkatuan garrantzia izango duen zentro logistikoa bat ezartzeko oinarritzat balio izatea.

Hidrogenoarekin lotutako teknologiak azkar ari dira eboluzionatzen; hortaz, erabakigarria da enpresek eta administrazioek haien arriskuak eta ezaugarriak ulertzea eta horiei buruzko ezagutza sakona eskuratzea.

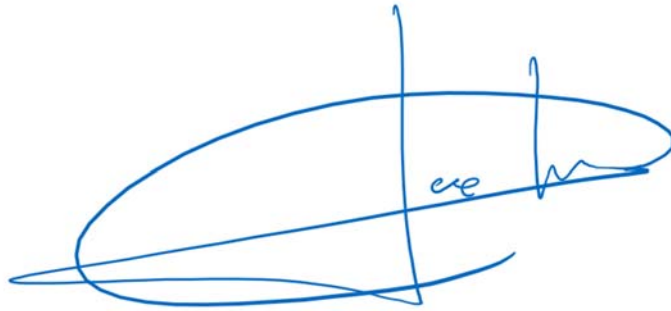
Instalazioen segurtasuna definitzeko, UNE ISO 19880 araua ari da erabiltzen esparrutzat. Arau horren 6. apartatuan ezartzen denaren arabera, instalazioen segurtasuna bermatzeko, arriskuen analisi kuantitatiboan oinarritutako arriskuaren kudeaketa egin behar da, eta bertan deskribatuko dira gerta daitezkeen istripu-egoera guztiak.

Azterketa horietan kontuan hartu beharreko istripu-egoera posibleen kopuruari eta tipologiari dagokienez instalazio horien arriskuen analisiak homogeneousatzeko asmoz, zuzendaritza honek gida bat egiteko eskatu zion Vysusi, hidrogenoa zeinahi helbururekin erabiltzen duten instalazio-tipologietan kontuan hartu beharreko istripu-egoerak jasotzeko.

Lankidetza horri esker, jarraian jasotzen den txostena idatzi zen. Adierazi behar da Euskadin martxan jarriko diren hidrogeno-instalazioen arriskuen analisi kuantitatiboak egiteko erabili behar dela, Estatuko beste erkidego batzuetan jarduten duten gainerako eragileentzat ere erabilgarria izango delako itxaropenarekin.

Zuzendaritza honen xedea da gida hau erabilgarria izatea hidrogeno-instalazioen segurtasuna bermatu nahi duen eragile ororentzat.

Izenpetuta:



Jose Luis Azkue Arrastoa

Industria Garapen eta Administrazioaren zuzendaria

Vitoria-Gasteiz, 2025eko otsailaren 18a

Aurkibidea

1	Sarrera.....	9
1.1	Aurrekariak	9
1.2	Xedea eta irismena	10
2	Hidrogenoa erabiltzen edo biltegitzen duten instalazioetako arriskuen analisia	11
3	AAK	13
3.1	Ihes-sekzioak identifikatzea	14
3.1.1	Elektrolizagailuaren leherketaren agertokia.....	16
3.2	Osagaien kontaketa.	16
3.3	Ihesaren tamaina	17
3.4	Ihes-maiztasuna.....	17
3.4.1	Ihesen maiztasuna.....	17
3.4.2	Banagailuetako ihes-maiztasunak	18
3.5	Sutze-probabilitatea	20
3.6	Efektuen eta ondorioen kalkulua.....	21
4	Agertokien zerrenda	22
5	Gidaren aldaketak	22
6	Ondorioak eta gomendioak	23
6.1	Ondorioak.....	23
6.2	Gomendioak	23
7	Erreferentziak	24

Taulen zerrenda

1. taula Kontuan hartu beharreko gutxieneko ihes-sekzioak.....	7
2. taula Kontuan hartu beharreko gutxieneko ihes-sekzioak.....	15
3. taula Akats-probabilitateen banaketa osagaien arabera (iturria: HyRAM+[5]).....	20
4. taula Akats-probabilitateen banaketa istripuetarako (iturria: HyRAM+[5])	20
5. taula Kontuan hartu beharreko gutxieneko agertokiak.....	22

Irudien zerrenda

1. irudia Hidrogeno-instalazioetarako metodologia-proposamena	7
2. irudia Edukiontzia edo eraikin bateko hidrogeno-ihesaren gertaera-zuhaitza	11



3. irudia Aire zabaleko hidrogeno-ihesaren gertaera-zuhaitza.....	11
4. irudia Hidrogeno-zilindro edo -botila baten hausturaren gertaera-zuhaitza	12
5. irudia AAK metodologia (iturria: UNE-ISO 19880-1:2020, A eranskina).....	13
6. irudia AAK egiteko eskema	14
7. irudia Hidrogeno-proiektuen eskema (adibidea)	15
8. irudia Hidrogeno gasaren ihes-maiztasuna osagaien arabera (iturria: HyRAM+ [5]).....	18
9. irudia Hidrogeno likidoaren ihes-maiztasuna osagaien arabera (iturria: HyRAM+ [5]).....	18
10. irudia Banagailuaren ihesetarako akatsen zuhaitza.....	19
11. irudia Vysusek proposatutako sutze-probabilitatea.....	21

Glosarioa

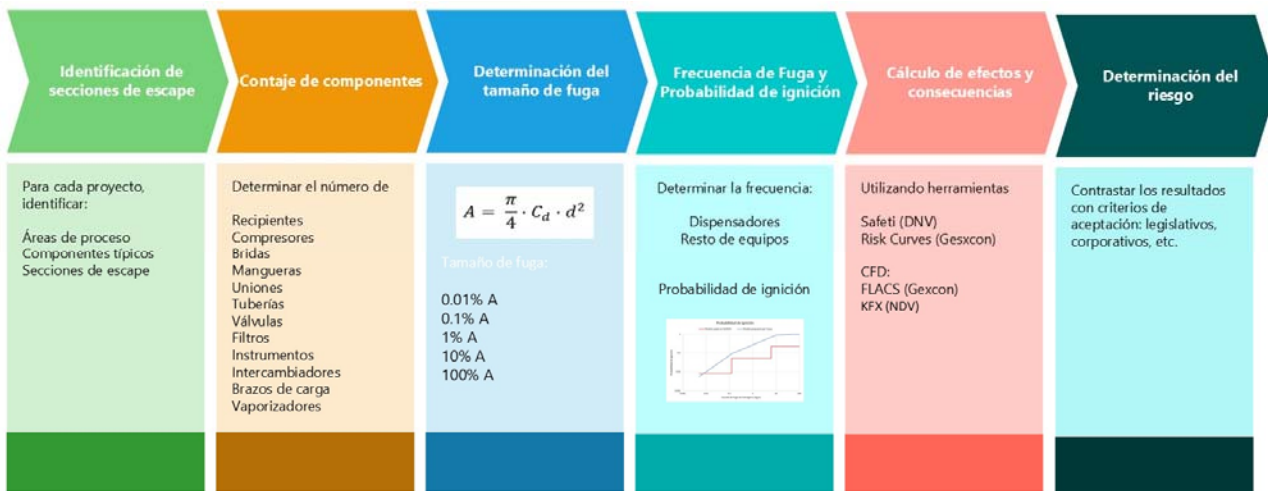
AAK	Arriskuen analisi kuantitatiboa
AA	Arriskuen analisisia
CFD	Computational fluid dynamics: Fluidoaren dinamika konputazionala.
OG	Oinarritzko gidalerroa
EGJIS	Eusko Jaurlaritzako Ekonomiaren Garapen, Jasangarritasun eta Ingurumen Saila
DDT	Deflagration to detonation Transition: Detonaziotik deflagraziorako trantsizioa.
OIA	Ondorioen irismenaren azterlana
FSA	Functional Safety Assessment, Segurtasun funtzionalaren ebaluazioa
IBA	Kanpoko larrialdi-planak egiteko oinarritzko informazioa
ST	Segurtasun-txostena
LEL	Beheko sukoitasun-muga
ABP	Autobabeserako plana
KLP	Kanpoko larrialdi-plana
ILPP	Istripu larriak prebenitzeko politika
SKS	Segurtasuna kudeatzeko sistema
SIL	Safety Integrity Level, Segurtasunaren osotasun-maila
AEE	Alerta-egoerako eremua
DE	Domino-efektuaren eraginpeko eremua
EHE	Esku hartzeko eremua

Aurkibidea

Gida honen helburua da erabilera desberdinetan hidrogenoa manipulatzeko instalazioen arriskuen analisi kuantitatiboetan eska daitezkeen gutxieneko agertokiak identifikatzea.

Horretarako, hasteko, erabilera desberdinetan hidrogenoa manipulatzeko instalazioen AAK egiteko metodologia proposatzen da, eta jarraian laburtzen da 1. irudia:

1. irudia Hidrogeno-instalazioetarako metodologia-proposamena



Instalazio edo proiektu bakoitzean egiten diren prozesu-eremuen arabera, gutxieneko agertoki hauek hartu beharko dira kontuan:

1. taula Kontuan hartu beharreko gutxieneko ihes-sekzioak

Prozesu-eremua	Azalpena	Kontuan hartu beharreko gutxieneko agertokiak
Elektrolizagailuen aretoa edo modulua	Elektrolizagailutik isolamendu-balbulara edo hurrengo prozesu-eremuarekiko konexiora (elektrolizagailua barne)	Elektrolizagailutik isolamendu-balbulara edo hurrengo prozesu-eremuarekiko konexiora (elektrolizagailua barne) hartzen duen sekzioko ihesa. Akatsa mintzean eta nahasketa leherkorra
Konpresoreak	Konpresorearen hurrupaketa: sarrera-balbulatik edo aurreko eremuarekiko konexiotik hurrupaketara Konpresorearen deskarga: konpresorearen deskargatik isolamendu-balbulara edo hurrengo prozesu-eremuarekiko konexiora	Konpresorearen hurrupaketaren hodiko ihesa: sarrera-balbulatik edo aurreko eremuarekiko konexiotik hurrupaketara Konpresorearen deskargaren hodiko ihesa: konpresorearen deskargatik isolamendu-balbulara edo hurrengo prozesu-eremuarekiko konexiora
Biltegiatzea (tangak edo zilindroak)	Konpresorea	Konpresoreko ihesa
Banagailua	Konexio-hodiak Andela	Ontzien konexio-hodietako ihesa Andelaren haustura
	Banagailua	Banagailuko ihesa



Prozesu-eremua	Azalpena	Kontuan hartu beharreko gutxieneko agertokiak
Garbiketa-sekzioa	Sekzioaren sarreratik isolamendu-balbulara edo hurrengo sekzioarekiko konexiora	Sekzioaren sarreratik isolamendu-balbulara edo hurrengo sekzioarekiko konexiorako hodiko ihesa
Aireko hodiak (< 25 m-ko luzera)	Hodia	Hodiko ihesa
Lurpeko hodiak (< 25 m-ko luzera)	Hodia	Hodiko ihesa

Prozesu-eremu eta agertoki ezberdinak multzoka daitezke, baldin eta behar bezala arrazoitzen bada.

1 Sarrera

Hidrogenoaren industria asko zabaltzen ari da. Klima-aldaketari aurre egiteko beharrak hidrogenoarekiko interesa azkartu du, eta, gaur egun, hidrogenoa sortzeko, biltegitratzeko, banatzeko eta maneiatzeko instalazio ugari planifikatzen ari dira mundu osoan. Hidrogenoarekin lotutako teknologiak bilakaera oso azkarra izaten ari dira; hortaz, funtsezkoa da enpresak eta administrazioak haien arriskuen eta ezaugarrien jakinaren gainean egotea eta horiek sakon ezagutzea.

Energia berriztagarrien bidez lortutako elektrizitatea erabiliz elektrolisiak sortutako hidrogenoa, hidrogeno berdea, ezinbesteko sektore bihurtzen ari da CO₂ emisioak murriztera bideratutako energia-eraldaketarako; eta hazkunde handiena izaten ari den hidrogenoaren aplikazioetako bat izaten ari da, elektrolizagailuen prezio-jaitsierak lagunduta.

Euskal Autonomia Erkidegoan hidrogenoarekin lotutako proiektu asko garapen-fase desberdinetan daude (egingarritasun-fasetik hasi eta ezarpen-fasean dauden proiektuetaraino), eta datozen urteetan egingo direla aurreikusten da. Ekonomiaren Garapen, Jasangarritasun eta Ingurumen Sailaren (EGJIS) funtzioen artean dago industria-politika, Industria Segurtasuneko eskumenak barne; horrenbestez, hari dagokio proiektu horiek ahalik eta modu seguruenean gauzatzen direla zaintzea.

1.1 Aurrekariak

Gaur-gaurkoz ez dago hidrogenoa biltegitratzen edo erabiltzen duten instalazioei buruzko berariazko legeriarik, hidrogenaren kasuan izan ezik, 919/2006 Errege Dekretuan [6] eta 542/2020 Errege Dekretuan [7] sartzen baitira. Hidrogenoaren ekoizpena industria kimikoaren berezko industria-jardueratzat hartzen da, eta aplikatu beharreko lege-esparrua hidrogeno-instalazioa hartzen duen establezimenduaren tipologiaren edo jardueraren arabera da.

Europar Batasunean, mota guztietako ekipoen erabilera, substantzia sukoiak dituzten eremuetako elektrikoak barne, ATEX zuzentarauak[2] arautzen du, Espainiako ordenamendura 681/2003 Errege Dekretuaren[3] bidez ekarria. Bertan, substantzia sukoiak manipulatzeko dituzten establezimenduei arrisku-ebaluazioa egiteko beharra ezartzen da. Zehazki, langileak atmosfera leherkorretatik eratorritako arriskuen eraginpean egon daitezkeen lantokietan, industrialariak leherketen aurka babesteko dokumentu bat izan beharko du. Dokumentu horretan jasoko da «*leherketa-arriskuak zehaztu eta **ebalatu** direla*» (8. artikulua, a paragrafoa).

Halaber, lan-arriskuen Prebentzioari buruzko Legeak [1] zioen azalpenean hau adierazten du: “Langilea lan-arriskuetatik babesteko, ez da nahikoa enpresaburuak behar besteko multzo zabala osatzen duten eginbehar eta betebehar jakin batzuk betetzea, eta are gutxiago gauzatutako arrisku-egoerak gerogarrenean zuzentzea. Bada, lege honek lan-arriskuak prebenitzeko ezarritako ikuspegi berrian, oinarritzko osagai dira, prebentzioaren plangintza, enpresa-egitasmoa diseinatzen denetik; lanari datxekion arriskuen hasierako **ebaluazioa** eta ebaluazio horren aldizkako eguneratzea”.

Araudi horiek, establezimenduan dauden arriskuen ebaluazioa esplizituki eskatzen duten arren, ez dute zehazten zer analisi mota egin behar den. Industrialariaren erantzukizuna da tresna egokiak erabili direla eta arriskua maila onargarri batera murriztu dela ziurtatzea, eta, hori, eskuarki, enpresan arriskua kudeatzeko sistema bat ezarri egiten da. Bestalde, badirudi zentzuzkoa dela administrazio eskudunak gehieneko babes-maila eskatzea.

Hidrogeno-aplikazio asko erlatiboki berriak direnez, ez dago horien arriskuei buruzko datu estatistiko askorik. Nolanahi ere, gaur egun, hidrogenoarekin jarduten duten gero eta proiektu eta azterlan gehiago izateari esker, aurrera egin da hidrogenoaren arriskuei buruzko ezagutzan eta landako datuen bilketan. Informazio gehiago izate horrek aukera ematen die erabakiak hartu behar dituzten arduradunei hidrogenoaren aplikazio berriei lotutako arriskuak zehaztasun handiagoz kuantifikatzeko. Era horretara, hidrogenoaren arrisku errealetan jarri nahi da arreta, arrisku hipotetikoetan jarri ordez.

1.2 Xedea eta irismena

Gida honen helburua da tresna bat ematea administrazioari hidrogenoa erabiltzen edo biltegitratzen duten instalazioetan kontuan hartu beharreko balizko egoerak definitzeko, horiek hartzen dituen establezimenduen tipologia gorabehera (adibidez, establezimendua Seveso Zuzentarauaren eraginpean dagoen ala ez).

Hauek dira gida honen xede diren instalazioak:

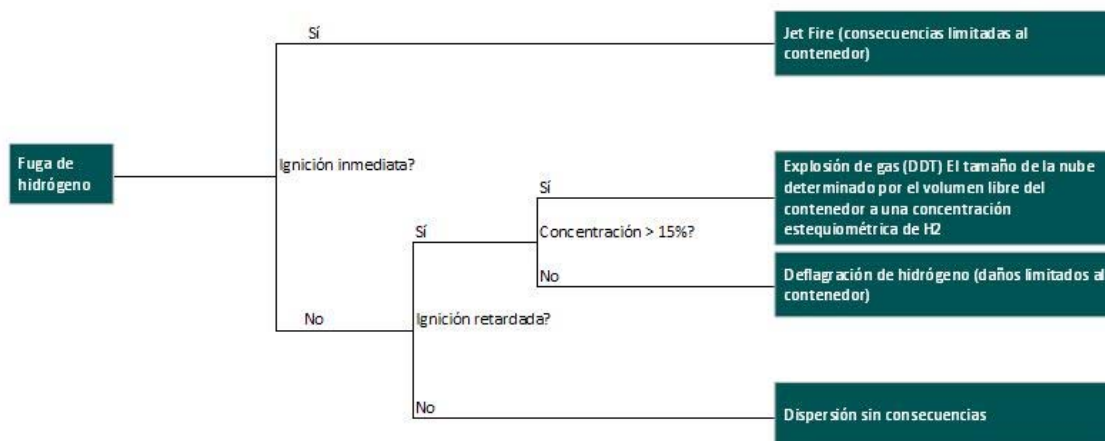
- Elektrolisi bidez hidrogenoa ekoizten duten instalazioak: elektrolizagailuak;
- Garraio-hodiak;
- Biltegitratzea;
- Konpresioa;
- Instalazio hartzaileak;
- Hidrogenerak;
- Fabrika pilotuak eta proba-instalazioak; eta
- Antzeko beste instalazio batzuk.

Gida honen irismenari dagokionez, kontuan izan behar da hidrogeneretako agertokiaren definizioan ez dela sartzen hornitzen ari diren ibilgailuak. Ez dira sartu, halaber, errepidezko hidrogeno-garraioa, ez eta hidrogenoarekin funtzionatzen duten ibilgailuak ere.

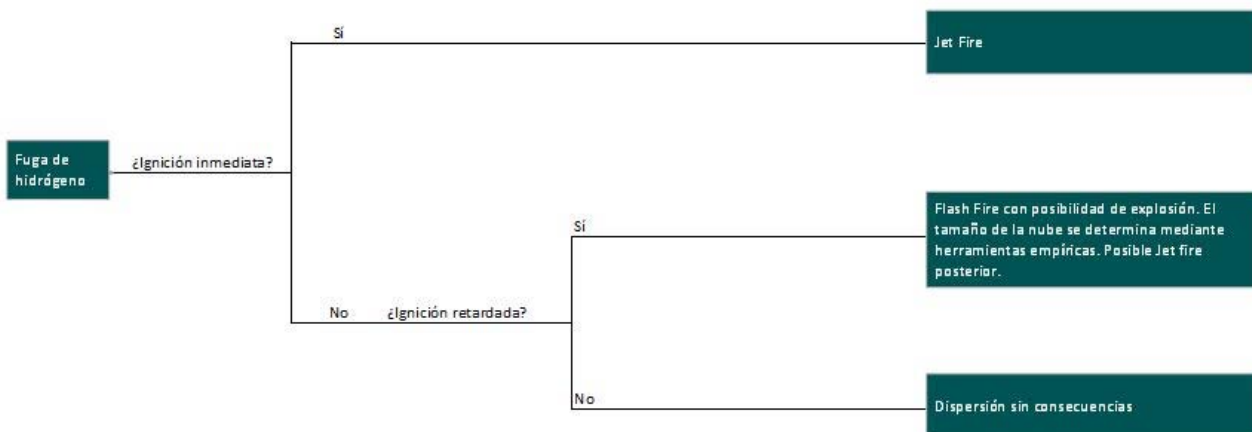
2 Hidrogenoa erabiltzen edo biltegitratzen duten instalazioetako arriskuen analisia

Hidrogenoa gas oso sukoia da. Ihesen bat gertatzean, sute-iturriren bat aurkituz gero, su-dardoak, *flash fire*, su-bolak eta leherketak gerta daitezke. Bestela, efekturik gabe sakabanatuko da. Arriskuen analisiak kontuan izan behar du arriskugarritasun hori. Hidrogeno-ihes ohikoenetarako, dagozkien gertaera-zuhaitzak erakusten dira:

2. irudia Edukiontzi edo eraikin bateko hidrogeno-ihesaren gertaera-zuhaitza



3. irudia Aire zabaleko hidrogeno-ihesaren gertaera-zuhaitza



4. irudia Hidrogeno-zilindro edo -botila baten hausturaren gertaera-zuhaitza



Hidrogeno-andel bat hautsiz gero (4. irudia), zalantzak daude sutze atzeratuari buruz, bai haren probabilitateari dagokionez, bai leherketari buruzko kalkuluetan erabili beharreko energiari dagokionez. Vysusek proposatutako ereduak (hemen: [4]) sutze atzeratuaren probabilitatea 1/3 gisa hartzea gomendatzen du, eta eskuragarri dagoen energiaren % 30eko batez besteko balioari dagokion leherketako energia erabiltzea iradokitzen du. Balio hori botila txikietarako kalkulatzeko den % 50aren eta botila handiagoetarako kalkulatzeko den % 15-20aren arteko batez besteko balioa da. Balio horiek eztabaidatu egin ahal izango dira arriskuaren analisian, datu esperimental osoagoak izanez gero edo metatutako esperientziak hala ahalbidetzen badu.

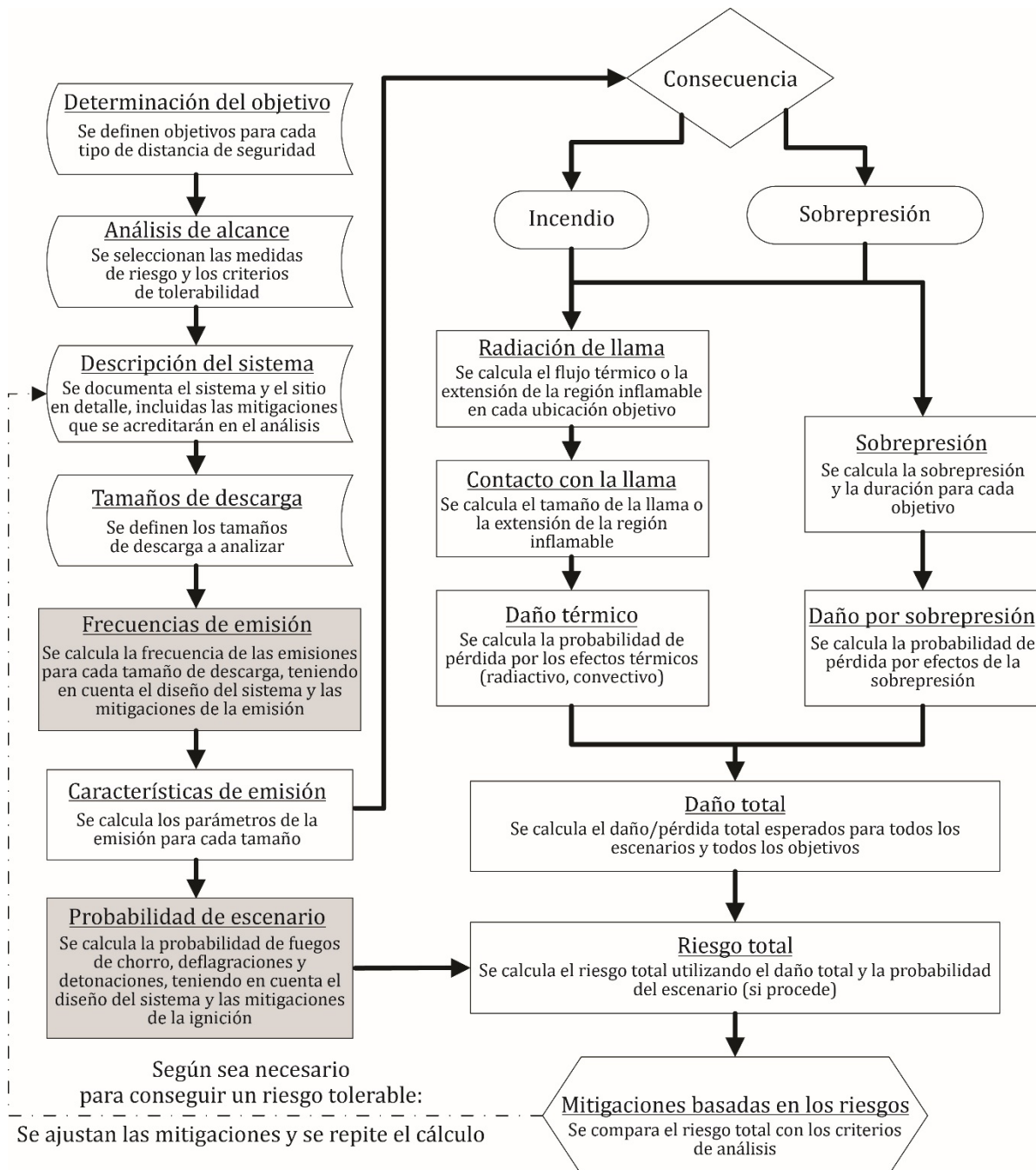
Gaur egun, industria-establezimenduetako arriskua kudeatzeko estrategia ugari daude. Vysusek industrian erabiltzea ohikoa den tresnen konbinazio bat erabiltzea gomendatzen du, hala nola HAZID-HAZOP-LOPA-SIL edo BowTie, agertokietara bideratuago dagoen ikuspegiarekin batera. Azken ikuspegi horri dagokionez, Vysusek honako bereizketa hau proposatzen du:

- Instalazio sinpleetan, ekipo eta hodi kopuru mugatua dutenetan, eskuarki **100 kg-ko edo gutxiagoko hidrogeno kantitateak dituzten instalazioetan**, ondorioak aztertzeko azterlan bat (OAA) egin daiteke, agertoki kopuru mugatuarekin eta irismen handieneko egoerak kontuan hartuta (*worst-case scenario* motako hurbilketa determinista).
- Konplexutasun handiagoko instalazioetan, hidrogeno-ihesen puntu posibleen kopurua (bridak, junturak, etab.) handiagoa denean, eskuarki **100 kg-tik gorako hidrogeno kantitateak dituzten instalazioetan**, gomendatutako analisiak arriskuaren analisi kuantitatiboa (AAK) hartzen du barne. Kasu horietan, Vysusek agertokien definizioa sakonagoa izatea gomendatzen du. Instalazio txikiagoetarako, proiektuaren sustatzaileak, bere borondatez, instalazioaren arriskua eta haren kudeaketa hobeto zehazteko balia dezake arriskuaren analisi kuantitatiboa. Gida honek arriskuaren analisi kuantitatiboan kalkulatu beharreko agertokien definizioa proposatzen du.

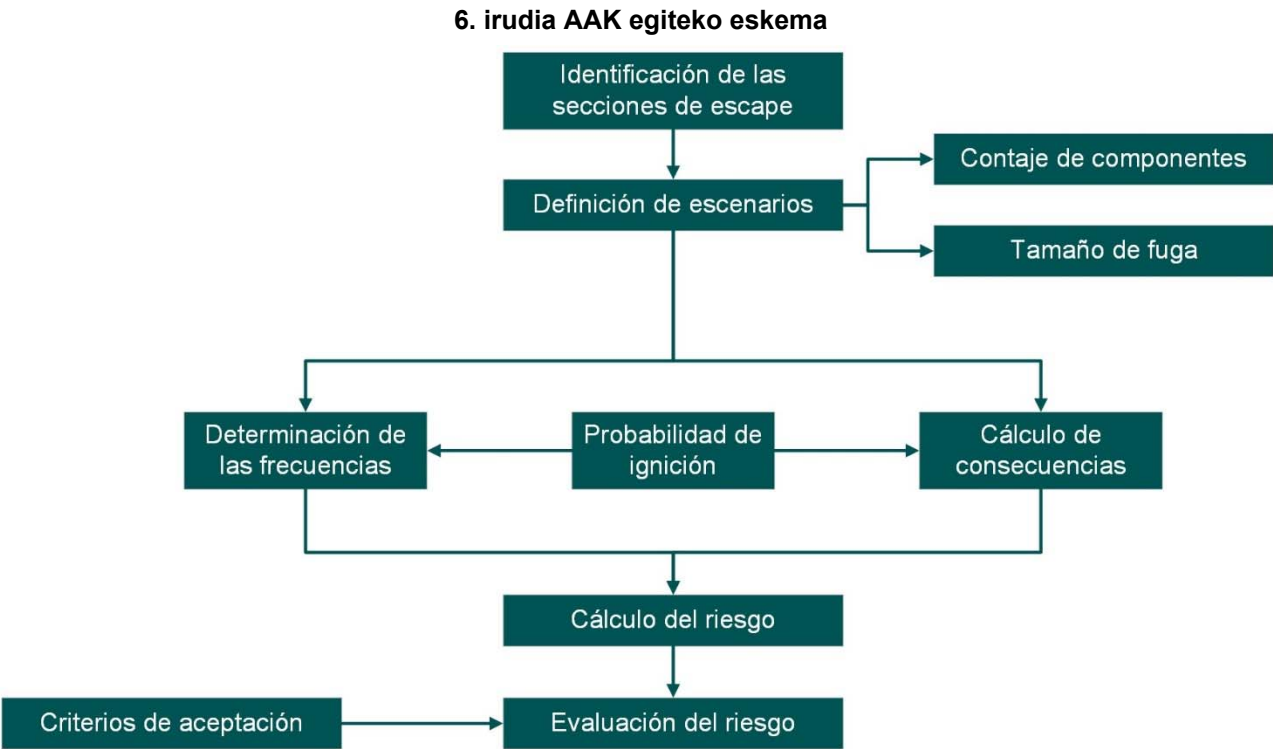
3 AAK

ISO 19880-1:2020 [8] arauak hidrogeno-instalazioetarako AAK bat egiteko prozesua deskribatzen du, jarraian jasotzen den moduan 5. irudia:

5. irudia AAK metodologia (iturria: UNE-ISO 19880-1:2020, A eranskina)



6. irudia(k) Vysusek jarraitzea proposatutako metodologia xehatzen du:



Onarpen-irizpideak definitzea administrazio eskudunaren erantzukizuna da, eta gida honek ez du halakorik jasotzen.

Segidan, pauso horietako bakoitza zehaztuko da.

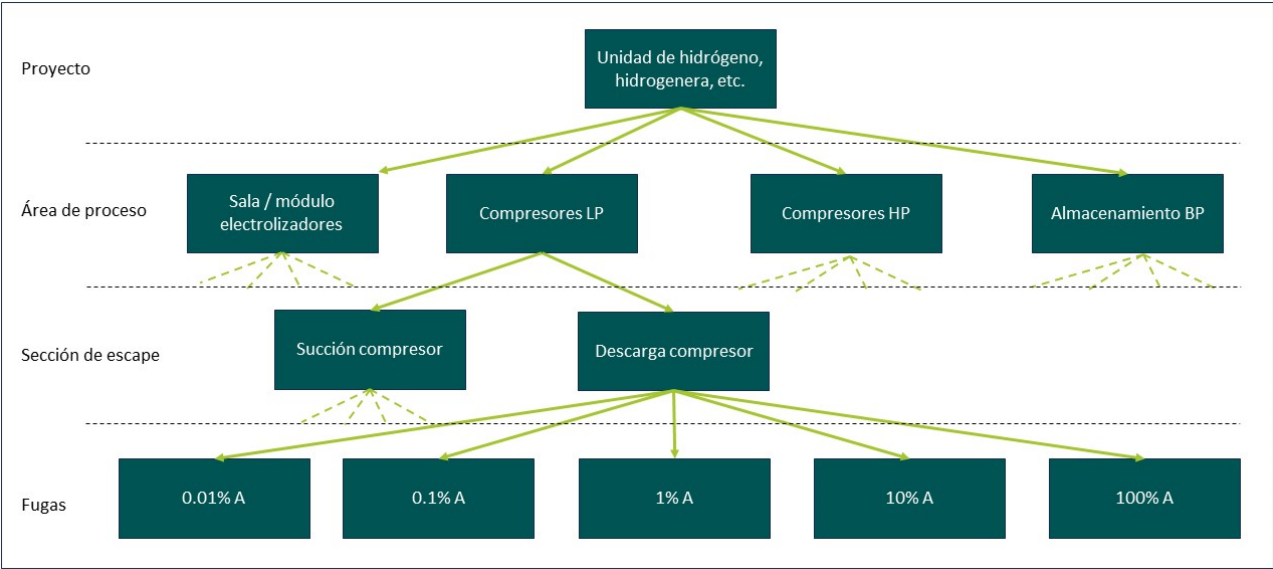
3.1 Ihes-sekzioak identifikatzea

Proiektuaren ezaugarriak oinarri hartuta, proiektuaren arloetan multzokatutako prozesuak identifikatu beharko dira. Prozesu bakoitzerako, dagozkion ihes-sekzioak identifikatuko dira; gida honen ondorioetarako, ekipo edo ekipo multzo gisa definituko dira, interkonexio-hodiak barne, zeinetan tamaina bereko zulo batek efektu baliokideak izango baititu.

Ihes-sekzioek sekzio desberdinen artean isolatzeko aukera aurreikusi beharko dute, istripuren bat gertatuz gero ihes egindako guztizko kantitateak ahalik eta txikienak izateko.

Hidrogeno-proiektuetarako, Vysusek eskema hau proposatzen du prozesu-eremu identifikagarrietan oinarritutako balizko ihesak definitzeko:

7. irudia Hidrogeno-proiektuen eskema (adibidea)



Jarraian, hidrogeno-proiektuetarako ohiko prozesu-eremuen zerrenda aurkezten da, bai eta kasu bakoitzean kontuan hartu beharko liratekeen **gutxieneko ihes-sekzioak** ere.

2. taula Kontuan hartu beharreko gutxieneko ihes-sekzioak

Prozesu-eremua	Ohiko osagaiak	Gutxieneko ihes-sekzioak	Iruzkina
Elektrolizagailuen aretoa edo modulua	Elektrolizagailuaren ontzia, bero-trukagailuak, balbulak, hodiak, junturak, iragazkiak, tresnak	Elektrolizagailua (elektrolizagailutik isolamendu-balbulara edo hurrengo prozesu-eremuarekiko konexiora, trukagailuak edo bitarteko ekipoa barne) Elektrolizagailuaren barne-leherketa	P: Elektrolizagailuaren lan-presioa T: hoztu ondoren Ekipoan hidrogeno eta oxigeno nahasketarekin mintzaren akatsa gertatzen den kasurako agertoki espezifikoa
Kompresoreak	Kompresoreak, bridak, balbulak, hodian hozkailua, tresnak	Kompresorearen hurrupaketa: sarrera-balbulatik edo aurreko eremuarekiko konexiotik hurrupaketara Kompresorearen deskarga: kompresorearen deskargatik isolamendu-balbulara edo hurrengo prozesu-eremuarekiko konexiora Kompresorea	-- P: Deskargatzeko kondizioak T: Hoztu ondoren Kasu batzuetan, kompresoreak eta ekipa elkartuek sekzio isolagarri bakarra eratzen dute.
		Konexio-hodiak	--

Prozesu-eremua	Ohiko osagaiak	Gutxieneko ihes-sekzioak	Iruzkina
Biltegitratzea (tangak edo zilindroak)	Andelak, bridak, hodiak, balbulak, tresnak	Andela	Kasu batzuetan, andelak eta hodiekin sekzio isolagarri bakarria erabiltzen dute.
Banagailua	Banagailua	Banagailua	Banagailuetarako frekuentzia espezifikoak erabiltzea.
Garbiketa-sekzioa	Andelak, bridak, hodiak, balbulak, tresnak	Sekzioaren sarreratik isolamendu-balbulara edo hurrengo sekzioarekiko konexiora	--
Aireko hodiak	Hodiak, bridak, balbulak, tresnak	Hodia	Beste eremu batzuetan sartuta ez badaude soilik. 25 m-ko luzera baino gehiagoko hodiatarako, oinplanoko trazadura hartu behar da kontuan
Lurpeko hodiak	Hodiak, bridak, balbulak, tresnak	Hodia	

Eremu desberdinetako sekzioak multzoka daitezke, osagai desberdinen efektu erantsia kontuan hartuta, baldin eta behar bezala arrazoitzen bada sekzio horien ondorioak baliokideak direla.

Sekzio bikoiztuak egonez gero, guztiak sartu beharko dira arriskuaren analisi kuantitatiboan.

3.1.1 Elektrolizagailuaren leherketaren agertokia

Agertoki horrek elektrolizagailuaren barruan hidrogenoa eta oxigenoa bereizten dituen mintzaren akatsa hartzen du kontuan, eta nahasketa leherkor bat sortzen du ekipoaren barruan. Zalentza asko daude eta datuak falta dira mintzen eta elektrolizagailuen beste zati batzuen akats moduei eta akats-probabilitateei buruz. Adibidez, mintzak degradatu egin daitezke denborarekin, eta bi produktuak bereizteko gaitasuna galdu; horrenbestez, oxigeno-edukiontzian hidrogeno-kontzentrazioak etengabe monitorizatzea gomendatzen da, eta alderantziz. Gainera, elektrolizagailuen teknologia eta material berriak azkar garatzen ari dira, eta hori ere kontuan hartu behar da, eta are gehiago zailtzen dute agertoki horien arriskuen analisia egitea.

Vysusek gertatzeko aukera eta maiztasun posiblea baloratzea gomendatzen du, kasu bakoitzerako metodo espezifikoekin.

Adibide gisa jasotzen da C eranskinean (Anexo C) elektrolizagailu baten barneko hidrogeno eta oxigeno nahasketa leherkoraren *bow-tie* bat (iturria: [12]).

3.2 Osagaien kontaketa.

Hidrogenoak esku hartzen duen agertokiaren maiztasunak zehazteko, egungo ereduak, etengabe hobetzen ari diren arren, zenbait muga dituzte oraindik, hidrogenoaren ezaugarriak eta hidrogeno-instalazioei buruzko datu estatistikorik ez egotea tarteko. Vysusek «*parts counting*» ereduak erabiltzea gomendatzen du; eredu horietan, balizko ihes-puntuak eragin ditzaketen osagai guztiak kontatzen dira, hala nola bridak, junturak, loturak, banagailuak, eta abar. Balizko ihesak tamainaren arabera multzokatzen dira, eta hidrogenorako eratorritako akatsen datu estatistikoak erabiltzen dira, zehazki HyRAM+[5] tresnak ematen dituenak: akats generikoen maiztasunetan oinarritutako datu estatistikoak eta LaChance et al.-ek hidrogeno konprimatuaren sistematarako lortutako datuak, Groth et al.-ek eta Glover et al.-ek eguneratuak, HyRAM+[5] tresnaren eskuliburuan deskribatzen den moduan.

Ihes-sekzioak zehaztu ondoren, ihes-puntu posibleak zenbatzen dira, eta instalazioa osatzen duten eta ihesa izan dezaketen osagaiak zenbatu. Horretarako, HyRAM+[5] tresnak ematen duen osagaien sailkapena erabiltzea gomendatzen du Vysusek: ontziak (tangak eta zilindroak), konpresoreak, bridak, mahukak, loturak, hodiak, balbulak, iragazkiak, tresnak, trukagailuak, karga-besoak eta lurruneztagailuak.

Dokumentu honen A eranskinean (Anexo A) jasotzen dira zenbaketan kontuan hartu beharreko osagai motak eta horien ihes-maiztasunak.

3.3 Ihesaren tamaina

HyRAM+ tresnak ihesen urteko maiztasuna kalkulatzen du tamainaren arabera, hodiaren fluxu-eremuari (A) dagokionez, honela zehaztuta:

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot C_d \cdot d^2$$

Non:

A fluxu-eremua den;

C_d deskarga-koefizientea den (besterik adierazi ezean $C_d = 1$ dela ulertzen da); eta,

d hodiaren barne-diametroa den.

Kontuan hartutako ihesaren tamainak hauek dira: A-ren % 0.01, % 0.1, % 1, % 10 eta % 100.

Vysusek HyRAM+ tresnaren ikuspegia erabiltzea gomendatzen du ihesaren tamainak zehazteko.

3.4 Ihes-maiztasuna

Ihes-maiztasun generikoak, osagaien arabera, agertzen dira 3.4.1 kapituluan; aldiz, banagailuak kasu berezia dira, eta aparte aztertzen dira. Banagailuetako ihes-maiztasuna 3.4.2 kapituluan aurkezten da.

3.4.1 Ihesen maiztasuna

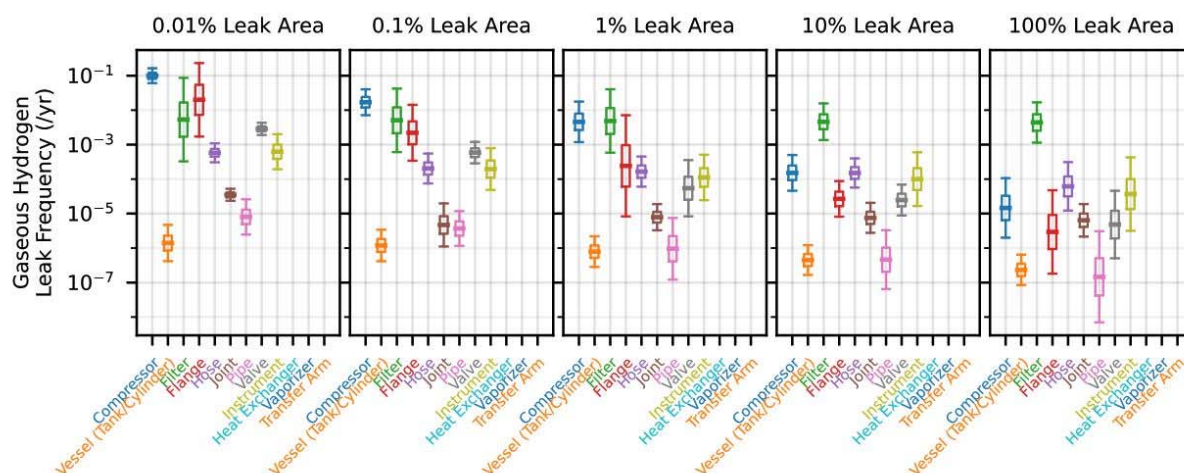
Sekzio isolagarri bakoitzaren urteko ihes-maiztasunak presente dauden osagai bakoitzaren maiztasunak batuz kalkulatzen dira.

HyRAM+ tresnaren ereduaren arabera, i osagai baten eta k ihes-tamaina baten urteko maiztasunak funtzio log-normal batean banatzen dira:

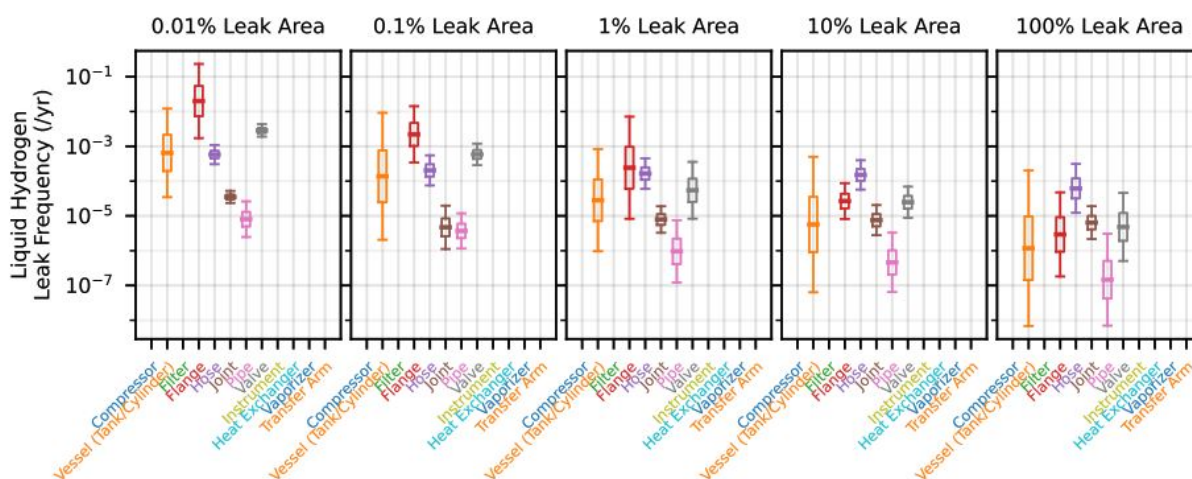
$$f_{ihesa,i,k} \sim \text{Lognormala}(\mu, \sigma^2)$$

Jarraian, 8. irudian (8. irudia), osagai bakoitzerako lehenetsitako ihesaren maiztasunen banaketa aleatorioak erakusten dira.

8. irudia Hidrogeno gasaren ihes-maiztasuna osagaien arabera (iturria: HyRAM+ [5])



9. irudia Hidrogeno likidoaren ihes-maiztasuna osagaien arabera (iturria: HyRAM+ [5])



Aurreko irudietan, erdiko lerro lodia mediana da, kaxek 25 eta 75 pertzentilak erakusten dituzte eta lerro bertikalak gurutzatzen dituzten marratxo horizontalek 5 eta 95 pertzentilak erakusten dituzte. A eranskinean (Anexo A) erantsi da HyRAM+ [5] tresnaren maiztasunen banaketaren taula osoa. Vysusek medianaren balioa erabiltzea gomendatzen du.

Hodietarako, maiztasunaren balioa metro bakoitzeko adierazten da.

3.4.2 Banagailuetako ihes-maiztasunak

Hidrogenaren banagailuetako ihesak kasu berezia dira zenbait faktorerengatik:

- hidrogenerak pertsonen interakzioak izaten dituzten operazioak egiten diren instalazioak dira;
- konexioak aldi baterako dira, ez dira finkoak;
- ibilgailuek talka egiteko edo istripua izateko nolabaiteko arriskua dute, eta horiek hidrogeno-ihesa eragin dezakete; eta

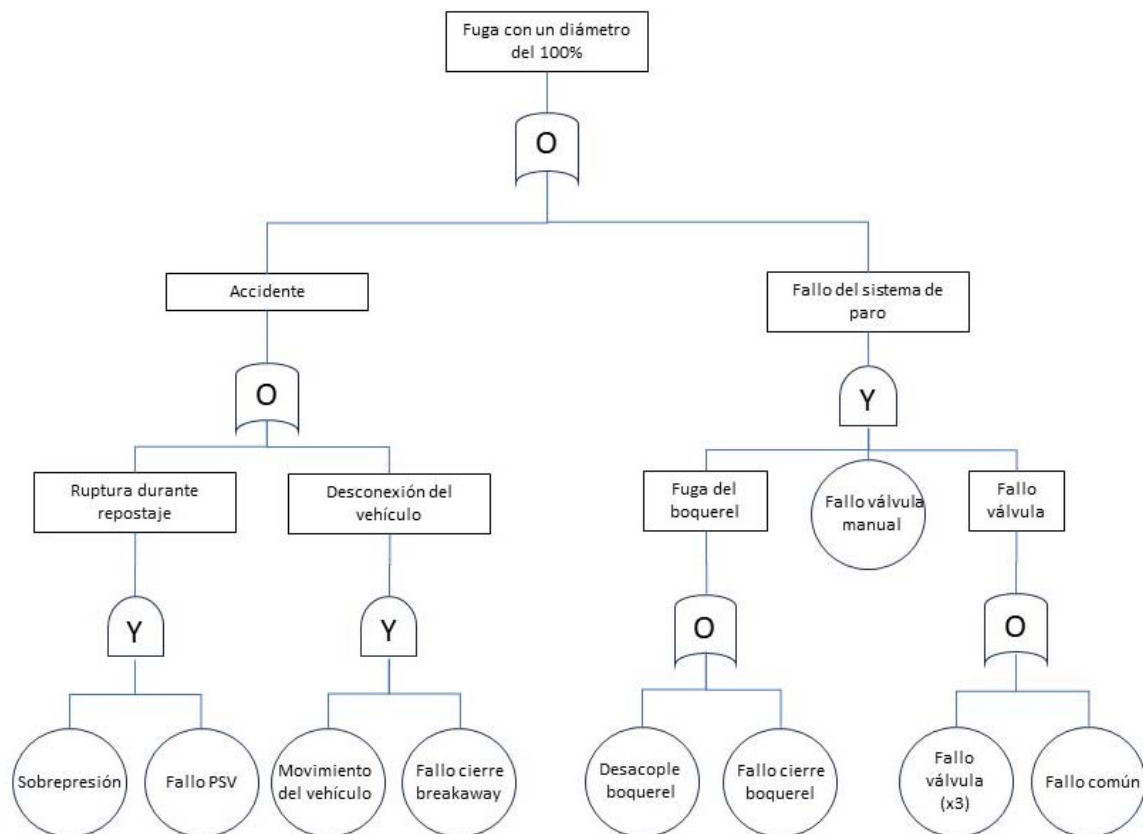
- etengabe egiten ez diren operazioak dira; hortaz, ekipo horiek erabiltzen diren maiztasuna oso garrantzitsua da maiztasuna kalkulatzeko.

Banagailuak akatsa egiten badu, % 100eko diametroa duen ihesa bakarrik hartuko da kontuan.

Ihesaren maiztasuna kalkulatzeko, banagailuaren eskariaren maiztasuna (urteko operazioak) bider hidrogenoa hornitzeko operazioan banagailuan ihesa izateko probabilitatea egin behar da.

Maiztasuna zehazteko, banagailuetako akatsak bi taldetan sailkatzen dira. Batetik, ibilgailuarekin lotutako istripuei zor zaizkienak –*Accidents*, 10. irudian (10. irudia)–. Zehazki, bi egoera definitzen dira: batean, ibilgailuaren andean gainpresioa dago eta bestean, ibilgailuaren eta banagailuaren arteko deskonexioa gertatzen da. Bestetik, hornitzeko operazioan gelditzeko sistemako akatsak hartzen dira kontuan –*Shutdown failure*, 10. irudia (10. irudia)–. Akats horietan, banagailuaren elikadura ez da gelditzen operazioa amaitu ondoren. Jarraian, 10. irudian (10. irudia) azaltzen da dagokion akatsen zuhaitza.

10. irudia Banagailuaren ihesetarako akatsen zuhaitza



Zuhaitz horren akats-probabilitateak zenbatetsi daitezke edo jarraian deskribatzen direnen antzeko balio estandarrak erabil daitezke.

3. taulan aurkezten dira deskonexioetan esku hartzen duten osagaietarako HyRAM+ [5] tresnak erabiltzen dituen estatistika-balioak:

3. taula Akats-probabilitateen banaketa osagaien arabera (iturria: HyRAM+[5])

Osagaia	Akats modua	Banaketa mota (ikus Anexo B)	Parametroak	Balioa
Banagailua	Deskonexioa	Beta (α , β)	$a = 0.5$, $b = 610415.5$	$8.2E-07$
Banagailua	Akatsa ixtean	Esperotako balioa	--	0.002
Larrialdietako desconexioa	Akatsa ixtean	Beta (α , β)	$a = 0.5$, $b = 52031$	$9.9E-05$
Presioa arintzeko balbula	Irekiera goiztiarra	Beta (α , β)	$a = 4.5$, $b = 310288.5$	$1.5E-05$
Presioa arintzeko balbula	Akatsa irekitzean	Lognormala (μ , σ)	$m = -11.74$, $s = 0.67$	$8.0E-06$
Eskuzko balbula	Akatsa ixtean (giza akatsa)	Esperotako balioa	--	0.001
Solenoida	Akatsa ixtean	Esperotako balioa	--	0.002
Solenoida	Ohiko kausaren akatsa (3 balbula, beta faktorearen metodologia)	Esperotako balioa	--	$1.28E-04$

Halaber, istripuetarako:

4. taula Akats-probabilitateen banaketa istripuetarako (iturria: HyRAM+[5])

Osagaia	Banaketa mota (ikus Anexo B)	Parametroak	Balioa
Ibilgailua banantzea	Beta (α , β)	$a = 31.5$, $b = 610384.5$	$5.2E-05$
Gainpresioa	Beta (α , β)	$a = 3.5$, $b = 310289.5$	$1.1E-05$

3.5 Sutze-probabilitatea

Hidrogenoak su hartzeko duen gutxieneko energia metanoarena baino 15 aldiz txikiagoa da, eta haren sukoitasun-mugak askoz ere zabalagoak dira (% 4 eta % 74 artean); beraz, hidrogenoak su hartzeko probabilitatea metanoarena baino askoz ere handiagoa izatea espero da. Hidrogenoak su hartzeko probabilitatea zehazteko eredu espezifikokoak gutxi dira, eta emaitza desberdinak ematen dituzte. Vysusek eredu bat garatu du probabilitate hori zehazteko [4]: Su hartzeko probabilitatea formula honen bidez zehazten da:

$$Sutze -_{punt.} = Min(1; 0.55 \cdot c^{0.87}; 0.267 \cdot c^{0.52})$$

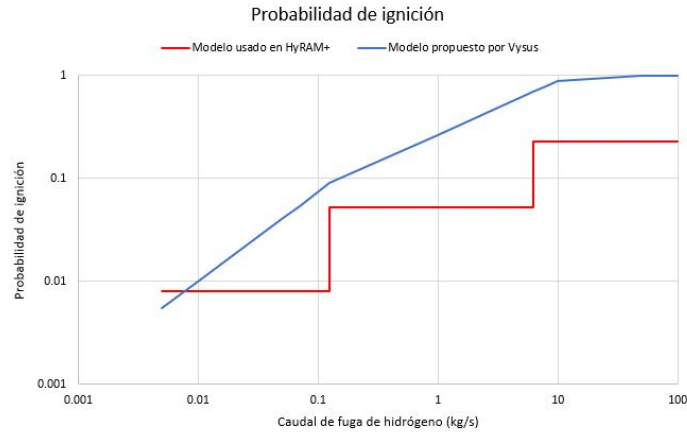
Non c hidrogeno-ihesaren emaria den kg/s-tan.

Eredu horrek onarpen hauek hartzen ditu kontuan:

- Sutze-probabilitatea hazi egiten da, ihesaren emariaren arabera (ikus 11. irudia).
- Kasuen bi herenetan, ihesaren ondorengo lehenengo segundoan pizten da sua, eta *jet fire* bat edo intentsitate txikiko leherketa bat gertatzen da; aitzitik, kasuen herenean, sutea atzeratuta pizten da, eta leherketa bat gertatzen da.
- Flash fire* edo leherketa baten ondoren, *jet fire* bat gertatzen da ekipoa husten den bitartean. Horrenbestez, bai zuzenean su hartzeak bai atzeratuta su hartzeak *jet fire* delakoa eragiten dute.

- Ihes-puntutik gertu ekipo elektrikoak badaude, atzeratuta su hartzeko probabilitate handiagoa erabil daiteke, eta % 100era ere irits daiteke.

11. irudia Vysusek proposatutako sutze-probabilitatea



Gutxi gorabehera 10.7 kg/s-ko ihes-emaritik aurrera, sutze-probabilitatea 1 da.

Eredu hori garatzen ari da, eta egokitzapenak izan ditzake, etorkizunean egin daitezkeen baliozkotze eta entsegu berrietan oinarrituta.

3.6 Efektuen eta ondorioen kalkulua

Efektuak eta ondorioak kalkulatzeko, ospe handiko kalkulu-tresnak erabiltzeko gomendatzen du Vysusek, eta lehentasuna ematea hidrogenorako baliozkotuta daudenei, hala nola: HyRAM+.

Baliozkotzat jotzen dira, halaber, beste tresna batzuk; hauek, besteak beste: Phast/Safeti (DNV), Effects/RiskCurves (Gexcon) edo CFD erabiltzen duten tresnak, esate baterako: FLACS (Gexcon) edo KFX-Exsim (DNV).

4 Agertokien zerrenda

Laburpen gisa, hidrogenoa sortzeko, biltegitratzeko, banatzeko eta maneiatzeko instalazioetan kontuan hartu beharreko agertokiak azaltzen dira:

5. taula Kontuan hartu beharreko gutxieneko agertokiak

Prozesu-eremua	Kontuan hartu beharreko gutxieneko agertokiak
Elektrolizagailuen aretoa edo modulua	Elektrolizagailutik isolamendu-balbulara edo hurrengo prozesu-eremuarekiko konexiora (elektrolizagailua barne) hartzen duen sekzioko ihesa.
Konpresoreak	Akatsa mintzean eta nahasketa leherkorra Konpresorearen hurrupaketaren hodiko ihesa: sarrera-balbulatik edo aurreko eremuarekiko konexiotik hurrupaketara Konpresorearen deskargaren hodiko ihesa: konpresorearen deskargatik isolamendu-balbulara edo hurrengo prozesu-eremuarekiko konexiora Konpresoreko ihesa
Biltegitratzea (tangak edo zilindroak)	Ontzien konexio-hodietako ihesa Andelaren haustura
Banagailua	Banagailuko ihesa
Garbiketa-sekzioa	Sekzioaren sarreratik isolamendu-balbulara edo hurrengo sekzioarekiko konexiorako hodiko ihesa
Aireko hodiak	Hodiko ihesa
Lurpeko hodiak	Hodiko ihesa

Industrialari bakoitzak instalazio bakoitzerako agertokiaren identifikazio partikular bat egitea komeni da, horretarako tresna egokiak erabilia.

5 Gidaren aldaketak

Gida hau 2024an argitaratu da, eta une honetan hazteko aurreikuspen handiena duten hidrogeno-aplikazioak jasotzen ditu. Denborarekin, gida honetan jasota ez dauden hidrogenoaren beste aplikazio batzuk ager daitezke.

Zaila da aukera guztiak aurreikustea, eta ez da baztertzen hidrogenoa erabiltzen duen eta gidan deskribatutako aplikazioekin alderatu ezin den teknologia disruptibo bat agertzea. Kasu horretan, gomendioa da EGJISek gida honi eranskin bat jartzea aplikazio berri hori sartzeko.

Era berean, hidrogenoarekiko interesa eta inbertsioak handitu direnez, espero da eskuragarri dauden datu estatistikoak funtsean handitzea. EGJISen erantzukizuna da gida berrikustea proposatzea, datu berrietara egokitzeko. Ildo berean, hidrogenoa biltegitratzen edo erabiltzen duten instalazioen arriskuen analisisen kopurua handitzen den heinean, eta lortzen diren emaitzak ikusita, EGJISek segurtasun-distantzien eredu batera aldatzea proposa dezake, Europako beste herrialde batzuetan jada erabiltzen ari direnaren antzekora.

Ondorioak kalkulatzeko programak ere hidrogenoaren propietateetara egokitzen ari dira oro har; hortaz, emaitzak errealitatera gero eta egokituagoak izatea espero da.

Azkenik, hidrogenoa erabiltzen edo biltegitratzen duten instalazioei buruzko berriarazko legeria egiten bada, gida hau berrikusi egin beharko litzateke, legeria berriarekin bat etortzeko, hala badagokio.

6 Ondorioak eta gomendioak

Euskadin hidrogenoa biltegitratzen edo erabiltzen duten instalazioetarako arriskuaren analisi kuantitatiboetan kontuan hartu beharreko agertokiaren definizioa estandarizatzeko egin da gida hau.

6.1 Ondorioak

Hidrogenoa manipulatzeko edo biltegitratzen duten instalazioek arriskua kudeatzeko sistema bat izan behar dute, eta sistema horretan jasota egon behar dute teknika erabilgarri onenek. Proiektu horiek arriskuak identifikatzeko teknika aski sendo, baliozkotu eta trazagarrien (HAZID, HAZOP, AMFE, etab.) aplikazioa jaso behar dute, bai eta arriskuaren oinarritutako diseinu-irizpideen (hala nola SIL/LOPA, ALARP) eta segurtasun funtzionaleko estandarren ezarpena ere (UNE EN 61508 eta UNE EN 61511). Agertoki posibleen ondorioetan oinarritutako azterlanak arriskua kudeatzeko tresna bat ere badira. Vysusen arabera, instalazio sinpleetan, OIA bat nahikoa izan daiteke; aldiz, instalazio konplexuetan arriskuaren analisi kuantitatibo bat gomendatzen da (ikus 2 atala). Instalazio horien arriskuaren analisi kuantitatiboak egiteko metodo bat deskribatu da (ikus 6. irudia).

Gida honek AAK horrek izan behar dituen gutxieneko agertokiak deskribatzen ditu (ikus 4 atala).

6.2 Gomendioak

Vysusek gida hau erabiltzea gomendatzen du hidrogeno-instalazioen arriskuaren analisi kuantitatiboetan agertokiak definitzeko. Horretarako, Vysusen arabera, honako gomendio hauek egin behar dira:

1.- EGJISek publikoaren esku jarri beharko du gida hau, egokituz jotzen dituen mekanismoen bitartez.

7 Erreferentziak

- [1] 31/1995 Legea, azaroaren 8koa, Lan Arriskuen Prebentzioari buruzkoa (1996ko otsailaren 10eko BOE, 269. zk.).
- [2] 1999/92/EE Zuzentaraua, 1999ko abenduaren 16koa, Europako Parlamentuarena eta Kontseiluarena, atmosfera leherkorretatik eratorritako arriskuen eraginpeko langileen osasunaren eta segurtasunaren babesa hobetzeko gutxieneko xedapenei buruzkoa (Hamabosgarren zuzentarau espezifikoa, Kontseiluaren 89/391/EEE Zuzentarauaren 16. artikulua 1. apartatuaren arabera).
- [3] 681/2003 Errege Dekretua, ekainaren 12koa, lantokiko atmosfera lehergarrien ondorioz sortzen diren arriskuen aurrean dauden langileen osasun-babesari eta segurtasunari buruzkoa (2003ko ekainaren 18ko BOE, 145. zk.).
- [4] Aarskog, Fredrik G., et al. "Concept risk assessment of a hydrogen driven high speed passenger ferry." International Journal of Hydrogen Energy 45.2 (2020): 1359-1372.
- [5] Hydrogen Plus other Alternative fuels risk assessment models (HyRAM+) Version 5.0. Technical Reference Manual. Brian D. Ehrhart and Ethan S. Hecht, Sandia Report, SAND2022-16425, November 2022.
- [6] 919/2006 Errege Dekretua, uztailaren 28koa, Gas-erregaien erabilerari zein banaketari eta 01etik 11rako ICG argibide tekniko osagarriari buruzko Araudi teknikoa onartzen duena. (2006ko irailaren 4ko BOE, 211. zk.).
- [7] 542/2020 Errege Dekretua, maiatzaren 26koa, Industria-kalitatearen eta -segurtasunaren arloko zenbait xedapen aldatzen eta indargabetzen dituen (2020ko ekainaren 20ko BOE, 172. zk.).
- [8] BS ISO 19880-1:2020. Gaseous hydrogen – Fuelling stations.
- [9] J. LaChance, W. Houf, B. Middleton, and L. Fluer, "Analyses to support development of risk- informed separation distances for hydrogen codes and standards," Tech. Rep. SAND2009-0874, Sandia National Laboratories, March 2009.
- [10] K. M. Groth, J.L. LaChance, and A. P. Harris, "Early-stage quantitative risk assessment to support development of codes and standard requirements for indoor fueling of hydrogen vehicles," Tech. Rep. SAND2012-10150, Sandia National Laboratories, November 2012.
- [11] A. Glover, A. Baird, and D. Brooks, "Final report on hydrogen plant hazards and risk analysis supporting hydrogen plant siting near nuclear power plants," Tech. Rep. SAND2020-10150, Sandia National Laboratories, November 2012.
- [12] Hans van 't Noordende (ISPT) and Richard Bollen (ISPT), "Safety Aspects of Green Hydrogen Production on Industrial Scale", Public Report, Hydrohub Innovation Program, Institute for Sustainable Process Technology (ISPT), The Netherlands, November 2023.



Anexo A Maiztasun-banaketaren taula

Component	Leak Size	Gaseous Hydrogen			Liquid Hydrogen		
		μ	σ	median	μ	σ	median
Compressor	0.01%	-2.3	0.3	1.0×10^{-1}	999	999	∞
	0.1%	-4.1	0.5	1.7×10^{-2}	999	999	∞
	1%	-5.4	0.8	4.6×10^{-3}	999	999	∞
	10%	-8.8	0.7	1.5×10^{-4}	999	999	∞
	100%	-11.1	1.2	1.5×10^{-5}	999	999	∞
Vessel (Tank/Cylinder)	0.01%	-13.5	0.7	1.4×10^{-6}	-7.3	1.8	6.5×10^{-4}
	0.1%	-13.6	0.6	1.2×10^{-6}	-8.9	2.6	1.4×10^{-4}
	1%	-14.1	0.6	7.9×10^{-7}	-10.5	2.1	2.8×10^{-5}
	10%	-14.6	0.6	4.5×10^{-7}	-12.1	2.7	5.7×10^{-6}
	100%	-15.3	0.6	2.3×10^{-7}	-13.7	3.1	1.2×10^{-6}
Filter	0.01%	-5.2	1.7	5.3×10^{-3}	999	999	∞
	0.1%	-5.3	1.3	5.1×10^{-3}	999	999	∞
	1%	-5.3	1.3	4.8×10^{-3}	999	999	∞
	10%	-5.4	0.7	4.6×10^{-3}	999	999	∞
	100%	-5.4	0.8	4.4×10^{-3}	999	999	∞
Flange	0.01%	-3.9	1.5	2.0×10^{-2}	-3.9	1.5	2.0×10^{-2}
	0.1%	-6.1	1.1	2.2×10^{-3}	-6.1	1.1	2.2×10^{-3}
	1%	-8.3	2.1	2.4×10^{-4}	-8.3	2.1	2.4×10^{-4}
	10%	-10.5	0.7	2.7×10^{-5}	-10.5	0.7	2.7×10^{-5}
	100%	-12.7	1.7	2.9×10^{-6}	-12.7	1.7	2.9×10^{-6}
Hose	0.01%	-7.5	0.4	5.8×10^{-4}	-7.5	0.4	5.8×10^{-4}
	0.1%	-8.5	0.6	2.0×10^{-4}	-8.5	0.6	2.0×10^{-4}
	1%	-8.7	0.6	1.6×10^{-4}	-8.7	0.6	1.6×10^{-4}
	10%	-8.8	0.6	1.5×10^{-4}	-8.8	0.6	1.5×10^{-4}
	100%	-9.7	1.0	6.2×10^{-5}	-9.7	1.0	6.2×10^{-5}
Joint	0.01%	-10.3	0.2	3.5×10^{-5}	-10.3	0.2	3.5×10^{-5}
	0.1%	-12.3	0.9	4.7×10^{-6}	-12.3	0.9	4.7×10^{-6}
	1%	-11.8	0.5	7.9×10^{-6}	-11.8	0.5	7.9×10^{-6}
	10%	-11.8	0.6	7.5×10^{-6}	-11.8	0.6	7.5×10^{-6}
	100%	-12.0	0.7	6.4×10^{-6}	-12.0	0.7	6.4×10^{-6}
Pipe	0.01%	-11.7	0.7	8.0×10^{-6}	-11.7	0.7	8.0×10^{-6}
	0.1%	-12.5	0.7	3.7×10^{-6}	-12.5	0.7	3.7×10^{-6}
	1%	-13.9	1.3	9.6×10^{-7}	-13.9	1.3	9.6×10^{-7}
	10%	-14.6	1.2	4.6×10^{-7}	-14.6	1.2	4.6×10^{-7}
	100%	-15.7	1.8	1.5×10^{-7}	-15.7	1.8	1.5×10^{-7}
Valve	0.01%	-5.9	0.2	2.9×10^{-3}	-5.9	0.2	2.9×10^{-3}
	0.1%	-7.4	0.4	5.9×10^{-4}	-7.4	0.4	5.9×10^{-4}
	1%	-9.8	1.1	5.4×10^{-5}	-9.8	1.1	5.4×10^{-5}
	10%	-10.6	0.6	2.5×10^{-5}	-10.6	0.6	2.5×10^{-5}
	100%	-12.2	1.4	4.8×10^{-6}	-12.2	1.4	4.8×10^{-6}
Instrument	0.01%	-7.4	0.7	6.2×10^{-4}	999	999	∞
	0.1%	-8.5	0.8	2.0×10^{-4}	999	999	∞
	1%	-9.1	0.9	1.1×10^{-4}	999	999	∞
	10%	-9.2	1.1	1.0×10^{-4}	999	999	∞
	100%	-10.2	1.5	3.7×10^{-5}	999	999	∞
Heat Exchanger	0.01%	999	999	∞	999	999	∞
	0.1%	999	999	∞	999	999	∞
	1%	999	999	∞	999	999	∞
	10%	999	999	∞	999	999	∞
	100%	999	999	∞	999	999	∞
Vaporizer	0.01%	999	999	∞	999	999	∞
	0.1%	999	999	∞	999	999	∞
	1%	999	999	∞	999	999	∞
	10%	999	999	∞	999	999	∞
	100%	999	999	∞	999	999	∞
Transfer Arm	0.01%	999	999	∞	999	999	∞
	0.1%	999	999	∞	999	999	∞
	1%	999	999	∞	999	999	∞
	10%	999	999	∞	999	999	∞
	100%	999	999	∞	999	999	∞

Anexo B Kontuan hartutako banaketen medianak

Banaketa lognormala:

Banaketa lognormal baten mediana ekuazio honen bitartez kalkulatzen da:

$$Mediana = e^{\mu}$$

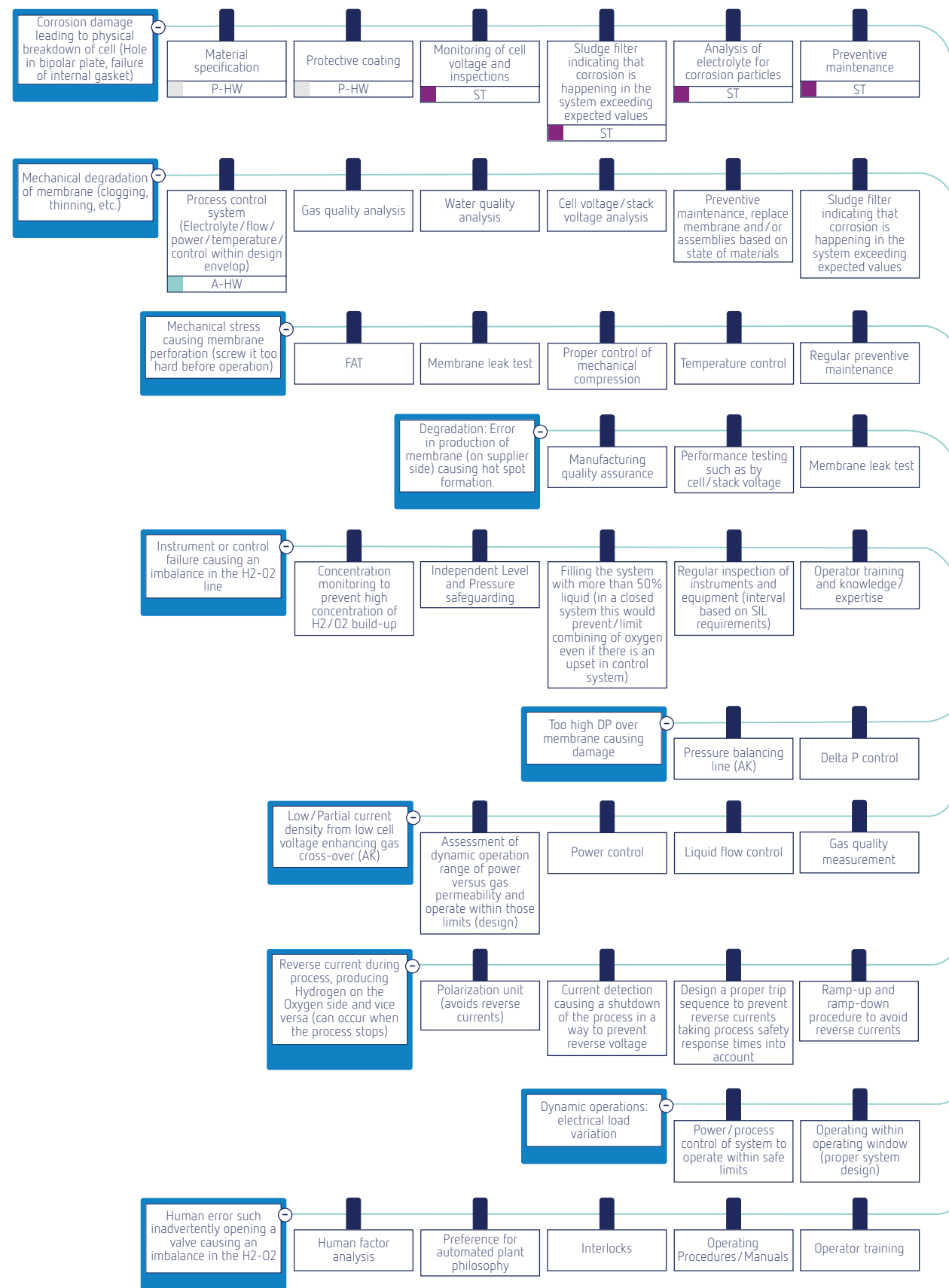
Beta banaketa:

Beta banaketa baten mediana ekuazio honen bitartez kalkulatzen da:

$$Mediana = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}$$



Anexo C Bow-tie barne-ihesa (mintzaren akatsa)



Hydrogen and oxygen in separate electrolyzer process streams (Alkaline & PEM): Single stack considered. P=30 barg pressure. Excluding De-oxo

Combining Hydrogen and oxygen inside process above LEL (inner leakage)

