

Industria-instalazioetako arriskuen analisia eta segurtasuna

Oinarrizko teoria

Alazne Gutiérrez • Maider Amutio • Roberto Palos



eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

CIP. Unibertsitateko Biblioteka

Gutiérrez Lorenzo, Alazne

Industria-instalazioetako arriskuen analisisa eta segurtasuna [Recurso electrónico]: oinarritzko teoria / Alazne Gutiérrez, Maider Amutio, Roberto Palos. – Datos. – [Leioa] : Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea, Argitalpen Zerbitzua = Servicio Editorial, [2023]. – 1 recurso en línea : PDF (156 p.). – (Unibertsitateko Eskuliburuak = Manuales Universitarios)

Modo de acceso: World Wide Web.

Bibliografía: p.154-155.

ISBN: 978-84-1319-597-1

1. Seguridad en el trabajo. 2. Higiene industrial. 3. Industrias químicas – Seguridad – Medidas. I. Amutio Izaguirre, Maider, coaut. II. Palos Urrutia, Roberto, coaut.

(0.034)614.8

UPV/EHUko Euskara Zerbitzuak sustatua eta zuzendua, Euskarazko ikasmaterialgintza sustatzeko deialdiaren bitartez

© Servicio de Publicaciones de la Universidad del País Vasco
Euskal Herriko Unibertsitateko Argitalpen Zerbitzua

ISBN: 978-84-1319-597-1

Aurkibidea

1. Segurtasun-teknikak	6
1.1. Lan-baldintzak eta osasuna	7
1.2. Lan-segurtasuna: kontzeptua eta definizioa	8
1.3. Lan-segurtasunerako teknikak: definizioa eta aplikazioa	9
1.3.1. Segurtasun-tekniken sailkapena	9
1.3.2. Seinaleztapena	12
2. Istripuak instalazioetan: kasu errealen azterketa	17
2.1. Lan-istripuak	17
2.2. Istripuen ikerketa laneko arriskuen prebentziorako teknika gisa	18
2.2.1. Istripuak ikertzeko metodologia	19
2.3. Istripuen indize estatistikoak	21
2.3.1. Maiztasun-indizea	22
2.3.2. Larritasun-indizea	22
2.3.3. Eragin-indizea (intzidentzia-tasa)	23
2.3.4. Batez besteko iraupen-indizea	23
2.4. Istripuen jakinarazpena eta erregistroa	24
2.4.1. Jakinarazpena	24
2.4.2. Erregistroa	24
3. Prozesuen arriskuen analisia	26
3.1. Laneko arriskuak	26
3.2. Arriskuen analisia	27
3.2.1. Arriskuen analisiaren errentagarritasuna	28
3.2.2. Arriskuen analisiaren etapak	29
3.3. Industria kimiko eta bioteknologikoaren arrisku nagusiak	32
3.3.1. Produktu kimikoak arrisku-faktore gisa	33
3.3.2. Produktu biologikoak arrisku-faktore gisa	43
3.3.3. Prozesu-unitateen arriskuak	47

3.4. Arriskuen identifikaziorako teknikak	50
3.4.1. Metodo konparatiboak	51
3.4.2. Arrisku-indizeak	52
3.4.3. Metodo orokortuak	53
4. Substantzia arriskutsuen ihesa	57
4.1. Ihesak	60
4.1.1. Likidoen ustekabeko isuriak	60
4.1.2. Gasen edo lurrunen ustekabeko isuriak	61
4.1.3. Isuri bifasikoa	61
4.2. Likido-isurien lurrunketa	63
4.2.1. Gainberotutako likidoen lurrunketa	63
4.2.2. Likido irakinen lurrunketa	64
4.2.3. Irakiten ez dauden likidoen lurrunketa	65
4.3. Gasen eta lurrunen sakabanaketa atmosferan	66
4.3.1. Isurketa motak	66
4.3.2. Sakabanaketan eragina duten faktoreak	69
4.3.3. Sakabanaketa-ereduak	71
4.4. Zaugarritasun-ereduak: Probit metodologia	77
4.4.1. Isuri toxikoekiko zaugarritasunaren Probit ekuazioak	79
5. Suteak eta leherketak	80
5.1. Sukoitasunaren ezaugarriak	81
5.1.1. Sukoitasuna	81
5.1.2. Sukoitasun-puntua edo flash puntua (T_F)	82
5.1.3. Autosutze-puntua (T_A)	83
5.1.4. Sukoitasun-mugak	83
5.1.5. Errekuntzarako oxigeno minimoa, O_{min}	85
5.1.6. Sukoitasun-diagramak	85
5.1.7. Sukoitasun-mailak (NFPAren arabera)	87
5.2. Leherketak	88
5.2.1. Konfinatu gabeko leherketak	89
5.2.2. Leherketa konfinatuak	96
5.2.3. Ontzien haustura	99
5.3. Suteak	101
5.3.1. Flash suteak	101
5.3.2. Likido-putzuko suteak	102
5.3.3. Su-geziak	107
5.3.4. BLEVEak eta su-bolak	109
5.4. Leherketen eta suteen efektuetarako Probit metodologia	111
5.4.1. Leherketekiko kalteberatasuna	111
5.4.2. Efektu termikoekiko kalteberatasuna	113

6. Laneko giroa. Kutsatzaile kimikoak, fisikoak eta biologikoak	115
6.1. Higiene industrialak	115
6.2. Kutsatzaileak identifikatzea	116
6.2.1. Kutsatzaile kimikoen identifikazioa	117
6.2.2. Kutsatzaile biologikoen identifikazioa	117
6.2.3. Kutsatzaile fisikoen identifikazioa	117
6.3. Kutsatzaileekiko esposizioa neurtzea	119
6.3.1. Kutsatzaile kimikoen laginketa eta analisisia	119
6.3.2. Kutsatzaile biologikoen laginketa eta analisisia	122
6.3.3. Kutsatzaile fisikoen laginketa eta analisisia	123
6.4. Kutsatzaileekiko esposizioaren balorazioa	125
6.4.1. Kutsatzaile kimikoen esposizioaren balorazioa	125
6.4.2. Kutsatzaile biologikoen esposizioaren balorazioa	127
6.4.3. Kutsatzaile fisikoen esposizioaren balorazioa	129
6.5. Prebentzioa eta neurri zuzentzaileak	135
6.5.1. Fokuaren gaineko neurriak	135
6.5.2. Ingurunearen gaineko neurriak	135
6.5.3. Pertsonen gaineko neurriak	136
7. Larrialdi-planak, ikuskapenak eta kudeaketa	144
7.1. Autobabeserako planak	144
7.1.1. Barne-larrialdietarako planen gutxieneko edukia	145
7.1.2. Kanpoko Larrialdi Planak	148
7.2. Segurtasun-ikuskapenak	149
7.3. Laneko Segurtasuna eta Osasuna Kudeatzeko Sistema ISO 45001	151
Bibliografia	154

1

Segurtasun-teknikak

Industria-instalazioek meatzaritzako, garraioko, energia-sorkuntzako eta berezko arriskuak dituzten eta kontu handiz erabili behar diren hondakinak fabrikatu eta ezabatzeko askotariko eragiketak barne hartzen dituzte. Adibidez, arriskutsuak izan daitezkeen substantziak maneiatzea, biltze-giratzea eta prozesatzea barne hartzen dituzten eragiketa industrialak, hala nola kimiko erreaktiboak eta hondakin arriskutsuak. Era berean, industria-instalazioek substantzia arriskutsuez bestelako arrisku potentzialak ekar ditzakete.

Industria Kimikoaren kasu zehatzean, gaur egungo munduko ekonomiaren erdigunean, hainbat lehengaietatik (petrolio, gas naturala, airea, ura, metalak eta mineralak) 70.000 produktu kimiko baino gehiago ekoizten dituzten industria asko biltzen ditu. Aurrerapen teknologiko handiak, material berrien agerpena, prozesu berriak eta industria berriak direla eta, sektore honek aldaketa handiak izan ditu azken urteotan. Gainera, produktu kimikoen kopurua eta horien aplikazioa etengabe hazten dira. 2021ean izandako koronabirusaren krisia mundu mailako gudu izan bazen ere, gaur egun sektoreak susperraldi ona izan du; industria kimikoak ia manufaktura-sektore guztiak hornitzen ditu, mundu mailako Barne Produktu Gordinari (BPG) 5,7 bilioi dolarreko ekarpena eginez, zuzenean, zeharka eta induzituta (munduko BPGaren ehuneko zazpiaren baliokidea da hori), eta mundu osoan 120 milioi lanpostu sortzen laguntzen du. Beraz, industria-istripu baten ondorioak jasan ditzaketen pertsona asko daude.

Industria bioteknologikoa nahiko industria berria da; 1973an sortu zela jotzen da, Stanley Cohen-ek eta Herbert Boyer-ek DNA klonazioa frogatu zutenean. Organismo bizidunen manipulazioan zentratzen den industria da, produktu komertzialak sortzeko; bereziki, sendagai berriak eta izurriteekiko erresistenteak diren laboreak. Azkar hazten ari den industria zientifikoa da, eta baldintza lehiakor paregabeak ditu. Enpresa tradizionalak oso berritzaileak dira, eta merkatuan arrakasta izatea ikerketan eta garapenean (I+G) inbertitzeko duten gaitasunaren arabera da (Pleatsikas, 2001).

Bi industrietan segurtasun-arazo askori egin behar diete aurre, hala nola substantzia kimiko kaltegarriekiko esposizioa, esperimentu arriskutsuak egitea, etab. Bi sektoreek bultzadari eusteko ahalegina egiten duten arren (produktuen merkaturatzea, hazkunde iraunkorra, finantziarioa lortzea, etab.), segurtasunari eustekoa lehentasuna izaten jarraitu behar du. Bestela, auzi-eskea, atzerapen klinikoak eta segurtasuna betetzeko arazoak benetako errealitatea dira bi sektoreentzat (Biotech Risks – The Numerous Challenges of This Rapidly Developing Sektore Generic placeholder image Carl Niedbala COO & Co-Founder)

Testuinguru horretan, administrazioek ahalegin handiak egin dituzte industriako jarduerak arautzeko, oro har, eta, bereziki, arrisku handiagoa izan dezaketen industrietan, hala nola industria kimikoan eta bioteknologikoan. Gure herrialdean, bi industrien lan-arriskuen prebentzioari buruzko araudia (31/1995 Legea) bete behar dute, profesionalek beren zeregina bete ahal izan dezaten, horregatik arriskuak ahalik eta gehien murriztuz. Lege horrek ezartzen duenez, enpresak, gastu medikoez eta kalte-ordainez arduratzeaz gain, langileen segurtasunaz eta osasunaz arduratuko den prebentzio-erakunde bat sortzeko eta mantentzeko ardura du, eta ez soilik istripu baten ondorengo akatsak zuzentzeko ardura.

Arriskuen analisisian hainbat diziplina nahasten dira, eta Ingeniaritza Kimikoko edo Bioteknologiako ikasle batek ezagutzen ez dituen kontzeptuak erabiltzen dira. Horregatik, garrantzitsua da irakurketa honetan erabiliko diren kontzeptu orokorrak eta terminoak definitzea; horrekin hasiko gara.

1.1. LAN-BALDINTZAK ETA OSASUNA

1/1995 Legearen 4.7 artikulua arabera, lan-baldintzak dira pertsonen osasunean eragin negatiboa izan dezaketen lanarekin lotutako edozein alderdi, ingurumen-alderdiak edo alderdi teknologikoak eta lanaren antolamendua barne. Lan-baldintzen definizio horretatik, honako hauek zehazten dira:

- Lantokiko bulego, instalazio, ekipo, produktu eta gainerako tresnen berezitasunak.
- Lan-giroan dauden agente fisiko, kimiko eta biologikoen izaera eta dagozkien intentsitateak, kontzentrazioak edo presentzia-mailak.
- Arestian aipatutako agenteak erabiltzeko prozedurak, aipatutako arriskuak sortzean eragina dutenak.
- Langilearen antolamenduarekin eta antolamenduarekin zerikusia duten faktoreak, langilearen arriskuen tamainan eragina dutenak.
- Baita lana egiteko modua, kontratu mota, lanaldia, lan-karga, lanaldi bikoitza, txandak eta abar ere.

Lan-baldintzak, halaber, honela sailka daitezke:

- *Segurtasun-baldintzak*. Talde honetan sartzen dira lan-istripuei eragiten dieten baldintza materialak, hala nola lantokiak, lan-ekipoak, etab. Horrela, baldintza materialtzat hartzen da lanean erabilitako edozein makina, aparatu, tresna edo instalazio. Arrisku-faktore horiek aztertzeaz eta ezagutzeaz arduratzen da **lan-segurtasuna**, lan-istripuak prebenitzeko teknika baita.
- *Jatorri fisiko, kimiko eta biologikoko lan-baldintzak*. Talde honetan, honako alderdi hauek sartzen dira:
 - Kutsatzaile fisikoak (*laneko ingurumen fisikoa*), hala nola zarata, argiztapena, baldintza termohidrometrikokoak, erradiazio ionizatzaileak eta ez-ionizatzaileak.
 - Kutsatzaile kimikoak, lantokietako ingurunean ditugun materia geldoak, hala nola keak, lurrinak, hautsa, gasak, aerosolak, etab.
 - Kutsatzaile biologikoak (mikroorganismo, bakterioz, birusez, onddoz eta abarrez osatuak), lanbide-gaixotasunak eragiten dituztenak.

Aipatutako faktoreek osasunari eragin diezaiokete edo lanerako oztopo izan daitezke; beraz, identifikatu, ebaluatu eta aztertu egin behar dira. Horiek aztertzeaz eta ezagutzeaz arduratzen da lanbide-gaixotasunak prebenitzeko **industria-higiene** teknika.

- *Lan-ezaugarrien ondoriozko lan-baldintzak*. Egin beharreko lanak garatzen dituen pertsonari dakartzkion berezitasunen arabera (kargak manipulatzeko, lan-jarrerak, ahaleginak, arreta-maila, etab.), nekea eragin dezakeen lan-karga jakin bat hartu behar da kontuan, fisikoa zein mentala. **Ergonomia** diziplina anitzeko zientzia edo teknika da, lan-baldintzak gizakiari egokitzea aztertzen duena.
- *Lanaren antolamenduaren ondoriozko lan-baldintzak*. Faktore horien barruan sartzen dira lanaren baldintza bereziak, hala nola hura osatzen duten zereginak, jardueraren ekoizpenaren ezaugarriak (lanaren abiadura, ordutegiak, etab.); eta, beraz, honela sailka daitezke:
 - Zereginaren mendeko faktoreak: kontzentrazio-maila, nagusiekiko harremanak, konplexutasuna, sustapena, ekimena, etab.
 - Denbora antolatze faktoreak: lanaldiak, txandak, lan-erritmoa, etab.

Horiek maila fisikoan zein mentalean eragiten dute.

Lan-baldintzak hobetzeak berekin dakar lanak eragindako kalteak eta gaixotasunak saihestea, lana baldintza erosoetan egitea (kalte fisiko, psikiko edo sozialik gabe), eta langileen garapena ahalbidetzea.

Bestalde, lan-baldintza desagokiek kalteak eragiten dizkiote langileari, eta kalteak lan-istripuetan eta lanbide-gaixotasunetan bana daitezke. Bien arteko aldea latentzia-aldia da. Hau da, lan-istripua une jakin batean gertatzen da, eta laneko gaixotasuna, berriz, pixkanaka sortzen da, lan-funtzioak etengabe eta egunero izatearen ondorioz. Lan-istripu baten ondorioak berehalakoak dira; lanbide-gaixotasun baten ondorioak, berriz, kronikoak dira.

Laneko istripuak eta lanbide-gaixotasunak prebenitzeko, laneko segurtasuna, industria-higienea eta laneko medikuntza aplikatzen dira.

Laneko medikuntza da lan-jardueraren ondorioz gertatzen diren istripuak edo gaixotasunak aztertzeaz arduratzen den espezialitate medikoa. Era berean, horiei aurrea hartzeko edo ondorioak gutxitzeko beharrezkoak diren prebentzio-neurriak ezartzeaz arduratzen da.

1.2. LAN-SEGURTASUNA: KONTZEPTUA ETA DEFINIZIOA

Segurtasuna kalte fisiko, psikologiko edo materialak eragin ditzaketen arriskuak eta baldintzak kontrolatzen diren egoera bat da, gizabanakoen eta komunitatearen osasuna eta ongizatea babesteko. Eguneroko bizitzaren ezinbesteko iturria da, norbanakoari eta komunitateari beren nahiak gauzatzeko aukera ematen diena. Lan-munduaren kasuan, termino hori laneko segurtasunean islatzen da.

Laneko segurtasuna da lesio-arriskuak edo lanarekin lotutako kalteak saihesteko edo, hala badagokio, ezabatzeko edo minimizatze helburua duten tekniken eta prozeduren multzoa. Kalte horiek izan daitezke lan-istripuek, lanbide-gaixotasunek, nekeak, ondoezak eta laneko segurtasunik ez eragindako lesioak. Kalte horien artean sartzen dira etxetik lanpostura arteko istripuak (*in itinere* istripuak, hain zuzen).

Laneko segurtasunean askotariko gaiak hartzen dute parte: ingeniariak, legediak, enpresen antolaketa eta kudeaketa, ekonomia, analisi estatistikoa, prestakuntza, psikologia, etab. Horregatik, laneko segurtasuna kudeatzen duten pertsonen prestakuntza egokia izan behar dute.

Laneko segurtasuna areagotzeko funtsezko neurri bat langilearen prestakuntza da. Prestakuntza horrek espezifikoa izan behar du lanpostuan, eta laneko arriskuen prebentzioari buruzkoa. Langileak jakin behar du zein diren bere arriskuak eta nola saihestu ahal izango dituen, eta horretan funtsezko zeregina du enpresako zuzendaritzak ematen dion informazioak. Bi elementu horiek ezinbestekoak dira laneko segurtasunean, eta lan-jarduera garatzen hasi aurretik hartu beharreko lehen neurria da.

Laneko segurtasunaren arloan, gainera, garrantzitsua da beste definizio batzuk kontuan hartzea; hala nola, arriskua, kaltea, prebentzioa eta babesa.

Izan ere, arriskua bi kontzeptu ezberdin definitzeko erabiltzen den terminoa da. Alde batetik, **arriskua** (*hazard*, ingelesez), pertsonen bizi-kalitate indibidual edo kolektiboa kalte edo murriztu dezakeen **elementua** da; nolabait, kaltearen kausa izango litzateke. Arrisku horiek (*hazard*) identifikatzen dira. Beraz, kaltea da arrisku-faktore (*hazard*) batek pertsonen bizi-kalitate indibidual edo kolektiboan sortzen duen **ondorioa**; kalteak arrisku-faktorearen efektua edo eragina adierazten du.

Bestalde, **arriskuaz** ari garenean, arrisku-faktore (*hazard*) batek kaltea sortzeko duen **probabilitatea** ere aipa dezakegu, ingelesez *risk* deitzen duguna. Arriskuak (*risk*) kuantifikagarriak dira, eta, beraz, ebaluatu egiten dira.

Prebentzioa pertsonen osasuna eta ondasunen osotasuna zaintzera bideratutako jardueren multzoa da, ezbeharrik gerta ez dadin. Prebentzioa, beraz, arriskuak (*risk*) ezabatu edo minimizatze edo beren ondorioak (kalteak) ekiditeko teknika da, arrisku-faktoreak (*hazard*) ezabatzea ezinezkoa baita askotan. Pentsa dezagun eskailera batean. Hori ezabatzea ezinezkoa da, baina saiatu gaitzke erortzeko arriskua minimizatzen edo ezabatzen. Prebentzioak barne hartzen du babesa, hau da, ezbeharren ondorioen garrantzia murriztera bideratutako jardueren multzoa.

1.3. LAN-SEGURTASUNERAKO TEKNIKAK: DEFINIZIOA ETA APLIKAZIOA

Segurtasun-teknikak jarduera, sistema eta metodo multzo gisa defini daitezke, lanarekin lotutako lesioetan inplikaturako faktoreak hautematera eta zuzentzera eta horien balizko ondorioak kontrolatzera zuzenduta.

Segurtasun-teknikak teknika zientifikoak dira, istripuen behaketatik eta ikerketatik eratorritako hipotesien aplikaziotik datozenak. Kontuan izan behar da lan-istripu bat elkarriz lotutako elementu desberdinen batura dela. Horregatik, segurtasuna bermatzeko, elementu horiek guztiak osorik eta objektiboki ezagutu behar dira.

Teknika horiek, azken batean, istripua gertatzeko beharrezko diren bi elementuetan eragiteko dira: faktore teknikoaren eta giza faktorearen uztarketan. Hori guztia, kudeaketa-prozedura egokien bidez.

1.3.1. Segurtasun-tekniken sailkapena

Laneko segurtasun-teknikak hainbat irizpideren arabera sailka daitezke (1. taula):

Arriskuen kontrola egiteko moduaren arabera, honela sailka daitezke:

- **Prebentzio-teknikak.** Helburua istripuak saihestea da. Istripua gertatu aurreko faseetan aplikatzen dira, arrisku-faktoreak ezabatuz edo minimizatuz. Laneko babesa baino eragin-korragoak dira.

- **Babes-teknikak.** Prebentzio-teknikek arrisku guztia ezabatu ezin dutenean erabiltzen dira. Lan-istripuen ondorioen gainean lan egiten dute, lesioak eta kalte materialak saihestuz edo minimizatuz.

Aplikazio-eremua edo irismen-maila kontuan hartuta, segurtasun-teknikak honela sailka daitezke:

- **Teknika orokorrak edo ez-espezifikak (balioaniztunak):** edozein jarduera edo arrisku profesionali aplikatu dakizkiokeenak.
- **Teknika espezifikak edo sektorialak (konkretuak):** horien aplikazioa arrisku edo instalazio zehatzetara mugatzen denean (elektrikoak, kimikoak, mekanikoak, sute-instalazioak, presiozko ontziak, egiturazko segurtasuna, jatorri kimikoko istripu larriak, etab.), edo jarduera jakin batzuetara (adibidez: industria, meatzaritza, eraikuntza).

Beren jardun-sistemaren arabera, analitika eta operatibo gisa sailkatzen dira.

- **Teknika analitikoak.** Hauen helburua da arriskuak (arrisku-faktoreak) detektatzea, arriskuak ebaluatzea eta istripuak eragin dituzten kausak ikertzea, esperientziak ateratzeko. Horrela, teknika analitikoak istripua gertatu aurretik edo ondoren egingo dira. Horien adibide da laneko lokaleko aireko substantzia toxiko lurrunkorren kontzentrazioen analisia. Teknika horietatik abiatuta, prebentzio- eta babes-teknika egokiak planteatuko dira.

Teknika analitikoak a priori (istripuak gertatu baino lehen) aplikatu daitezke, istripuak prebentzeko. Teknika horien artean honako hauek daude: (i) segurtasun-ikuskapenak (horietan arriskuen analisia eta balorazioa egingo dira, istripu bat gertatu aurretik zuzentzeko), (ii) lan-analisia, lan-etapa bakoitzari dagozkion arrisku-egoerak identifikatzeko, eta (iii) analisi estatistikoa, datuen analisia egitea istripuaren kausen ezagutza zientifikoa lortzeko.

Istripua gertatu eta gero aplikatutako teknika analitikoaren artean, (i) Istripuaren jakinarazpena eta erregistroa dugu, analisi estatistikoa egiteko metodoak garatzeko erabiliko dena, eta (ii) Istripuaren ikerketa, istripuaren kausa nagusiak ikertzeko balio duena, horrela, kausa horiek etorkizunean istripu gehiago eragin ez ditzaten.

- **Teknika operatiboak.** Horien bidez, arriskuak eragiten dituzten kausak ezabatu edo ondorioak gutxitu nahi dira, eta beren ekintzak lanaren alderdi teknikoetara eta antolamendu-koetara nahiz langilearengana bideratzen dira. Teknika operatiboaren adibidea izango litza-teke prozesua aldatzea substantzia toxiko lurrunkor gutxiago isurtzeko.

Teknika operatiboak, era berean, jatorrien arabera sailka daitezke, faktore teknikoaren eta giza faktorearen artean desberdinduz.

- **Faktore teknikoak:** arrisku-egoera baten gainean jarduten duten faktoreak dira: ekipamendua, instalazioak, produktu kimikoak, etab.
- **Giza faktoreak:** ekintza arriskutsu baten gainean jarduten duten faktoreak dira: jokabideak, atentzio-maila, etab.

Halaber, teknika operatiboek dagokienez, aplikazio fasearen arabera ere honako sailkapen hau egin daiteke:

- **Sortze-teknikak.** Proiektu faseetan, ekipoen diseinu faseetan eta lan-metodologiaren faseetan aplikatzen diren teknikak dira. Teknika horiek zuzenketa-teknikak baino eraginkorragoak eta merkeagoak dira. Teknika horiekin arriskuak ezabatu edo gutxitu egiten dira, arriskua maila onargarrietan utzi arte.
- **Zuzenketa-teknikak.** Ezarrita dagoen lanpostuan aplikatutakoak dira. Oro har, prebentzio-teknikak erabiltzen dira lan-baldintza arriskutsuak minimizatzeke.

Arrisku-egoera baten gainean jarduten duten zuzenketa-teknika operatiboak dira, (i) prebentzioari dagokionez, prozesuan eraginik izan gabe arriskuak murrizten edo ezabatzen dituzten sistemak (elikagailu automatikoak, etengailu diferentzialak etab.), eta prebentziozko mantentzea (tresnerian matxurarik ez izateko eta, beraz, istripuak saihesteko); (ii) babesari dagokionez, babeslekuak (hesitutako eremu seguruak) eta babes pertsonala (arriskua ezabatu ezin denean lesioak saihesteko erabiltzen dena, aurreko tekniken azken aukera edo osagarri gisa).

1. taula

Segurtasun-tekniken sailkapena

Teknika motak eta jarduteko moduak			Arriskuen analisia eta balorazioa	Arriskuen kontrola	
				Prebentzioa	Babesa
Teknika orokorrak	Teknika analitikoak	Istripua baino lehen	Segurtasun-ikuskatzeak Lanaren analisia Analisi estatistikoa	—	—
		Istripua eta gero	Jakinarazpena Erregistroa Ikerketa		
	Teknika operatiboak	Faktore teknikoa Sortze-teknikak	—	Proiektu eta instalazioen diseinua Ekipoen diseinua Metodoen azterketa eta hobekuntza Normalizazioa	
		Faktore teknikoa Zuzenketa-teknikak	—	Segurtasun-sistemak Seinaleztapena Prebentziozko mantentzea Normalizazioa	Babes pertsonalak Babeslekuak
		Giza faktorea	—	Pertsonalaren hautaketa Portaera-aldaketa: formazioa, informazioa, motibazioa, etab.	
	Teknika espezifikoak	Teknika orokorrak arrisku zehatzei aplikatuta			

Ekintza arriskutsu baten gainean jarduten duten (giza faktoreak) sortze-teknikak izango dira: (i) langileak hautatzea (teknika mediko-psikologikoak erabiliko dira pertsona bakoitzari lanpostu egokia esleitzeko), (ii) prestakuntza (portaera hobetzeko, arriskuak eta horiek saihesteko moduak ezagutzeko), (iii) entrenamendua (prestakuntza-teknika espezifikoak, langile batek izan behar dituen trebetasunak, ezagutzak eta portaerak irakasteko), (iv) propaganda edo kartelak (informazioaren bidez pertsonen portaera aldatzeko), (v) talde-ekintzak (taldeak egindako presioaren bidezko jarrerak aldatzeko), eta (vi) pizgarriak eta diziplina (motibazioari eragiten dioten teknika ekonomiko eta hierarkiko hutsak).

1.3.2. Seinaleztapena

Arriskuaren ebaluazioaren emaitzen arabera, batzuetan beharrezkoa eta erabilgarria da arriskuak kontrolatzeko segurtasun-seinaleztapena erabiltzea, 485/1997 Errege Dekretuak adierazten duen bezala. Arriskua ezabatu ezin izan denean erabili behar diren beste teknika operatibo batzuen osagarria da seinaleztapena. Seinaleztapena ez da segurtasun-tekniken ordezkaria; hau da, seinaleztapenak ezin du inola ere ordezkatu babes kolektiboko neurri teknikoak hartzea, ezta langileei arriskuei buruzko informazioa eta prestakuntza ematea ere.

Seinaleztapenaren helburua da arrisku-egoeren berri azkar eta erraz ulertzeko moduan ematea, baina ez ditu prebentzio-neurriak ordeztu. Segurtasun-seinalerik ez egoteak arriskua areagotzen du, langileari arriskuari eta hori saihesteko moduari buruzko informazio oinarrizkoena kentzen dion neurrian.

Langileek prestakuntza espezifikoak jaso beharko dute seinaleen esanahia eta seinale horien arabera hartu beharreko portaera orokorrak edo espezifikoak ezagutzeko.

Seinaleztapena arriskuaren, debekuetan edo betebeharretan zentratzen da. Seinaleek, gainera, babesteko edo ebakutzeko premiazko neurriak eskatzen dituen larrialdi-egoera bat gertatzen denean balio dute. Seinaleek babes-, ebakuntza-, larrialdi- edo lehen sorospen-bitartekoak aurkitzea eta identifikatzea ere errazten dute, eta lan arriskutsua egin behar duten pertsonak informatu eta zuzentzea lortzen dute.

Kontuan izan behar da seinaleztapen mota eta kokapena ahalik eta eraginkorrenak izango direla, kontuan hartuta seinaleen ezaugarriak, arriskuak, elementuak edo adierazi beharreko egoerak, babestu beharreko eremuak eta eraginpeko plantillako pertsonen kopurua. Horretarako, beharrezkoa da:

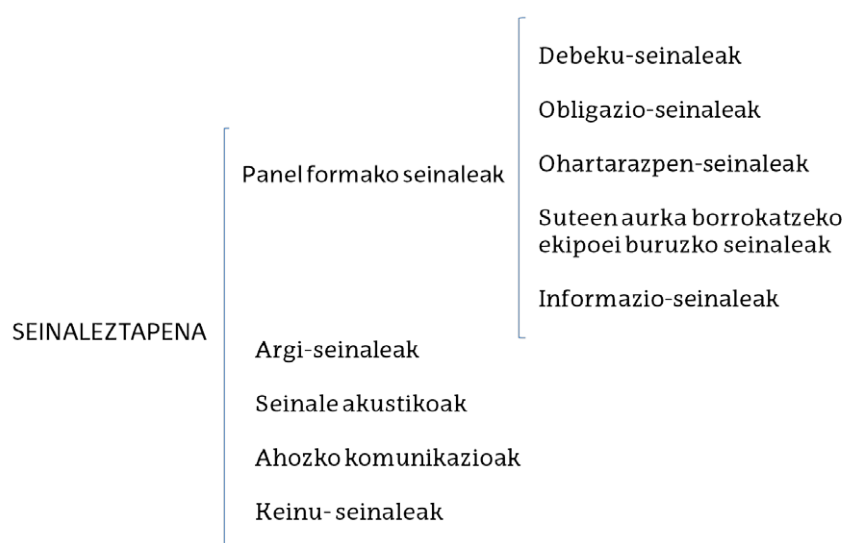
- Seinaleen gehiegizko ugartasuna saihestea, arreta gutxiestearen eragin negatiboagatik.
- Seinaleen interferentzia saihestea, espazioan edo denboran hurbilegi egoteagatik.
- Kokalekua eta ikuspena edo potentzia optimoak direla ziurtatzea. Energia-iturriren bat behar duten seinaleek larrialdi-hornidura izango dute (adibidez, eguzki-energiarekin edo, aplikatzeko bada, bateriekin).
- Mantentze-lan egokiak egitea, funtzionamendua bermatzeko edo egoera ezin hobean egoteko.

Gainera, seinaleak mantendu egin behar dira arriskuak irauten duen bitartean, eta, beharrezkoa denean, aldatu egin behar dira.

Osasunerako edo segurtasunerako arriskutsuak izan daitezkeen elementu edo egoera guztiak seinaleztatu behar dira; bereziki:

- Substantzia eta produktu arriskutsuak biltegitzeko lekuak. Produktu horiek dituzten ontziak eta hodiak.
- Leku arriskutsuak, oztopoak eta zirkulazio-bideak.
- Arrisku espezifikoak, hala nola erradiazio ionizatzaileak, arrisku biologikoa, arrisku elektrikoa, etab.
- Larrialdietako irteerak.
- Suteen aurka borrokatzeko tresneria.
- Maniobra arriskutsuak eta larrialdi-egoerak.

Segurtasun-seinaleak adierazteko moduaren arabera sailka daitezke, 1. irudian agertzen den bezala. Bere garrantziagatik, eraginkortasunagatik eta batez ere seinaleztapen optikoa erabiltzeagatik nabarmentzen da, hainbat formatan: panel-itxurako seinaleak eta argi-seinaleak.



1. irudia

Segurtasun-seinaleen sailkapena

Panel-formako seinaleak, aplikazioaren arabera, honela banatzen dira:

- **Debeku-seinaleak** (2 irudia) arriskua eragin dezakeen portaera bat debekatzen dute. Forma biribila. Piktograma beltza hondo zuriaren, ertzen eta bandaren gainean (ezkerretik eskuinera beheranzko zeharkakoa, piktograma horizontalarekiko 45°-ra zeharkatuta), eta gorriak (gorriak seinalearen azaleraren % 35 estali beharko du gutxienez).
- **Obligazio-seinaleak** (2b irudia) portaera jakin bat izatera behartzen dute. Forma biribila. Piktograma zuria hondo urdinaren gainean (urdinak seinalearen azaleraren % 50 estali beharko du gutxienez).
- **Ohartarazpen-seinaleak** (2c irudia). Arrisku baten berri ematen dute. Forma triangeluarra. Piktograma beltza hondo horiaren gainean (horiak seinalearen azaleraren % 50 estali beharko du gutxienez), ertz beltzak.
- **Suteen aurka borrokatzeko ekipoei buruzko seinaleak** (2d irudia). Forma angeluzuzena edo karratua. Piktograma zuria hondo gorriaren gainean.

— **Informazio-seinaleak.** Segurtasun- edo salbamendu-argibide bat ematen dute. Horretan oinarrituta, honako hauek bereiz ditzakegu:

- **Salbamendu-seinalea** (2e irudia): arriskua dagoenean, larrialdi-irteera, sorospen-postuaren egoera edo kokapena adierazten duena; forma angeluzuzena edo karratua; piktograma zuria hondo berdearen gainean.
- **Seinale adierazlea:** deskribatutakoez bestelako segurtasun-informazioak ematen dituena (debekua, betebeharra, ohartarazpena eta salbamendua).

Deskribatutako seinaleez gain, testu bat baino ez duen eta aipatutako segurtasun-seinaleekin batera erabiltzen den seinale gehigarria edo osagarria daude, bai eta etengabeko arriskuaren seinale osagarria (2f irudia) ere, etengabeko talka-arriskua, erorikoak eta abar dakarten lekuak seinaleztatzeko forma geometriko normalizatuak erabiltzen ez diren kasuetan erabiliko dena. Seinaleztapena txandakako zerrenda hori eta beltzen bidez egingo da. Zerrendek 45° inguruko inklinazioa izan beharko dute, eta antzeko dimentsiokoak izan beharko dute 2f. irudian agertzen den ereduaren arabera.

Argi-seinaleak dira argiztaturik dauden seinaleak; argi-gainazalak kolore uniformeak izan dezake, edo piktograma bat eraman dezake hondo jakin baten gainean. Seinaleak igortzen duen argiak ingurunearekiko argi-kontraste egokia eragin beharko du, aurreikusitako erabilera-baldintzen arabera. Intentsitateak pertzepzioa bermatu beharko du, itsualdirik eragin gabe.

Seinale akustikoa bat-batean jasotzen diren soinu-estimuluetan oinarritzen da (giza ahotsak edo ahots sintetikoak parte hartzen ez duen soinua). Hedadura handiak har ditzake, eta momentuan harrera egiten dien populazio handi bati eragin diezaiokie. Arrisku-seinale akustikoa bat eraginkorra izan dadin, kontuan hartuko da beti seinale hori behar bezain entzungarria izatea, ingurunean dauden beste soinu batzuetatik argi eta garbi bereiz daitekeena eta esanahi argia duena.

Ahozko komunikazioak dira giza ahotsa edo ahots sintetikoa erabiltzen duten mezuak. Hitzezko mezuak ahal bezain laburrak, sinpleak eta argiak izango dira; esatariaren hitzezko gaitasunak eta entzulearen entzumen-ahalmenak nahikoa izan beharko dute hitzezko komunikazio segurua bermatzeko. Hitzezko komunikazioa zuzena (giza ahotsaren erabilera) edo zeharkakoa (giza ahotsa edo ahots sintetikoa, bitarteko egoki baten bidez zabaldua) izango da.

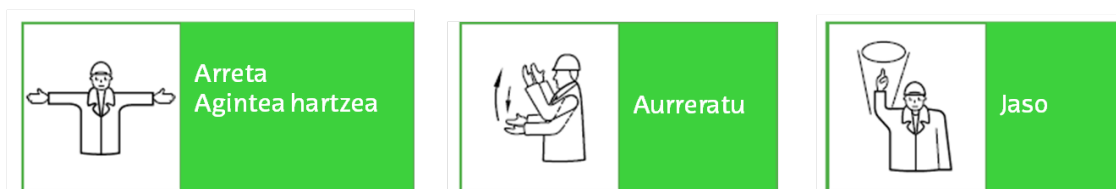




2. irudia

Seinale motak:(a) debeku-seinaleak, (b) obligazio-seinaleak, (c) ohartarazpen-seinaleak, (d) suteen aurka borrokatzeko ekipoei buruzko seinaleak, (e) salbamendu-seinaleak, eta (f) etengabeko arriskuaren seinale osagarria

Keinuzko seinaleak besoak edo eskuak modu kodifikatuan mugitzean edo kokatzean dautza, langileentzat arriskutsuak diren maniobrak egiten ari diren pertsonak gidatzeko. Keinu-seinale bat zehatza, sinplea, zabala, egiteko erraza eta beste edozein keinu-seinaletatik argi eta garbi bereizteko modukoa izan beharko da. Aldi berean, bi besoak simetrikoki eta keinu-seinale bakar baterako erabiliko dira. 3. irudian, keinuzko seinaleen hiru adibide erakusten dira.



3. irudia

Keinuzko seinaleen adibideak

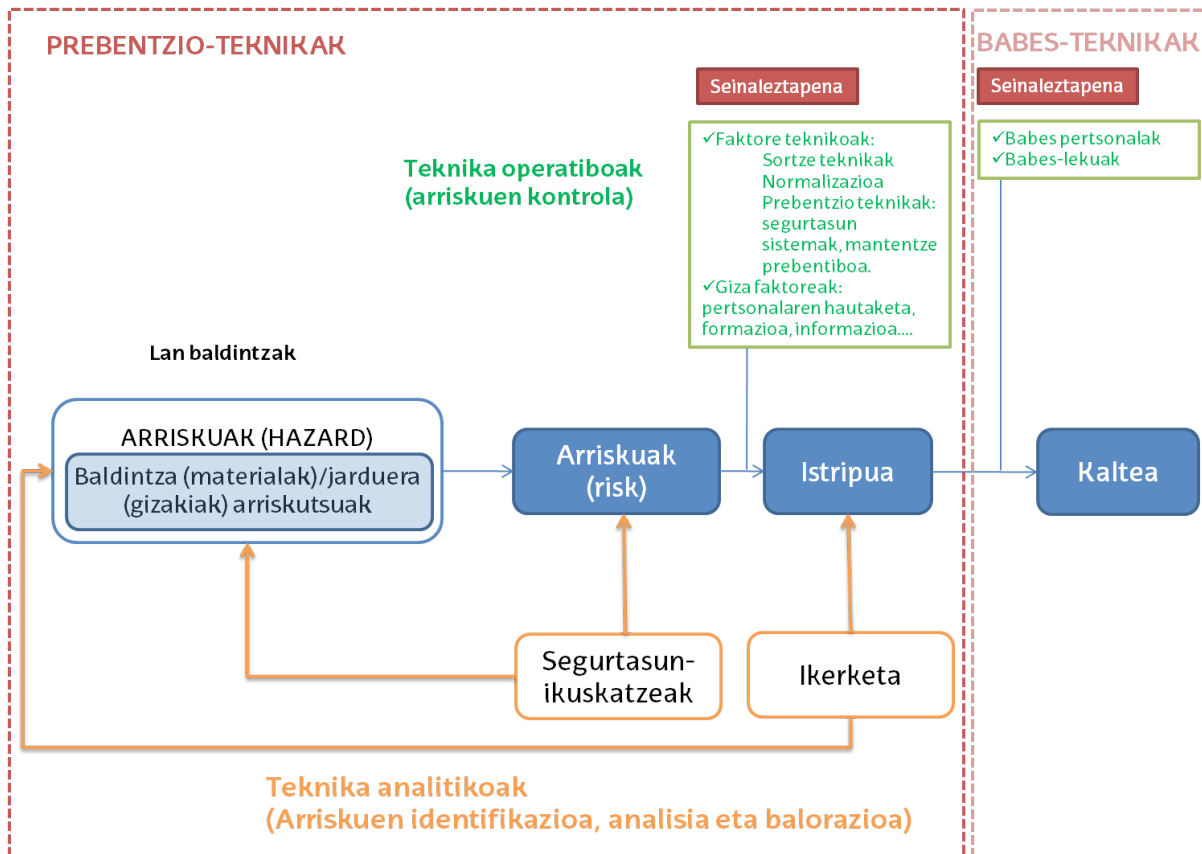
Tutuerien kolorea ezberdina da garraiatzen duten jariakinaren arabera (2. taula).

2. taula

Hodien koloreak, garraiatzen duten fluidoaren arabera

Jariakina	Kolorea
Ura	Berdea
Airea	Urdina
Gasa	Horia
Hutsa	Grisa

Segurtasun-tekniken jarduera-eskema 4. irudian ageri da. Ikusten denez, seinaleak prozesu osoan erabiltzen dira teknika osagarri gisa, egoerak hala eskatzen badu.



4. irudia

Segurtasun-tekniken jarduketa-eskema

2

Istripuak instalazioetan: kasu errealen azterketa

2.1. LAN-ISTRIPUAK

Lanaldian gerta daiteke langileari kalte egin diezaiokeen bat-bateko gertaera bat, hau da, lan-istripu bat. Lan-istripuztat hartzen da besteren konturako lanaren ondorioz (edo norberaren kontura, aldez aurretik Gizarte Segurantzari hala eskatzen dioten eta dagozkion gizarte-kuotak ordaintzen dituzten langile autonomoentzat) langileak jasaten duen gorputzeko lesio oro. Lesio edo kalte horiek arinak, larriak, oso larriak edota heriotza-istripuak izan daitezke.

Barne hartzen dira, halaber, lantokiaren eta langilearen bizilekuaren arteko ohiko ibilbidean sortutako lesioak (baldin eta ibilbidea arrazoi partikularrengatik eten ez bada), *in itinere* istripuak, hain zuzen.

Lanean gerta daitezkeen kalte edo lesio guztiak ez dira lan-istripuztat hartzen, laneko gaixotasunak ere badaude. Lanbide-gaixotasuna da lanbide-funtzioak garatzearen ondorioz sortzen dena. Ohiko gaixotasun profesionalak dira, adibidez, bizkarreko mina, estresa edo ikusmen-nekea.

Garrantzitsua da lan-istripuak eta lanbide-gaixotasunak bereiztea, horietako bakoitza saihesteko modua desberdina baita. Bien arteko alde nagusia latentzia-aldia da; hau da, lan-istripua une jakin batean gertatzen da, eta laneko gaixotasuna, berriz, pixkanaka sortzen da, lan-funtzioak etengabe eta egunero gertatzearen ondorioz.

Bestalde, prebentzioaren ikuspegitik, ezin dugu soilik langilearen lesio fisiko batek eragindako kalteak konpontzeko helburuarekin geratu. Lesioa prebenitzeko helburua lortu nahi dugu; horregatik, aztertu eta aztertu egin behar dira lanaren jarraitutasuna eteten duten eta pertsoneri kalte egiteko ahalmena duten gertakari guztiak. Horregatik, aztertu eta ikertu egin behar dira lesiorik eragin ez zuten baina kalte materialak eragin zituzten gertakariak (istripu zuriak) eta lesiorik edo kalte materialik eragin ez zutenak (intzidenteak) baina maiz errepikatzen direnak edo lesio-potentzial handia dutenak.

3. taulan agertzen dira gerta daitezkeen eta ikertu behar diren lan-istripu guztiak.

Lan-istripuak gertatzeko arrazoiak anitzak dira beti. Hala ere, istripuen kausak, oro har, ez dira nabarmenak eta agerikoak; beraz, batzuetan ez dago horiek eteteko indar bultzatzailerik. Kon-

tuan izan behar da, gainera, lan-istripua bat-batekoa eta ustekabekoa dela, eta batzuetan arrisku-eraginpean daudenek ez dakitela. Gabezia horiek istripuaren ikerketan aurkitu behar dira.

Lan-istripu baten arrazoiak askotarikoak izan daitezke. Kausa horiek lan-ingurunean aurki daitezke eta lan-inguruarekin zuzeneko lotura izan dezakete (adibidez, hondatutako makina bat), edo zeharkako harremana izan dezakete (adibidez, ingurune deserosoetan edo ergonomia txarrean lan egitea). Istripuak antolamendu-akatsen edo giza portaeraren akatsen ondorio ere izan daitezke. Bestalde, baliteke enpresan koordinaziorik ez egotea lan-arriskuen prebentzioa aplikatzeko orduan, langile guztien parte-hartzea eskatzen duen lan konplexua baita. Horregatik, lan-arriskuen prebentziorako lanpostu espezifikoak behar dira. Bestalde, baliteke pertsonak kontzientzia eskasa izatea lan-istripuek eragiten dituzten giza galerei eta galera ekonomikoei buruz. Horregatik guztia-gatik, nahitaezkoa da gobernuen eta enpresen politika egokiak eta bateratuak garatzea.

3. taula

Lan-istripuen sailkapena

Lan-istripuak lesioarekin	Arinak
	Larriak
	Oso larriak
	Heriotza-istripuak
Lan-istripuak lesiorik gabe	Istripu zuria (galera materialak bakarrik)
	Intzidenteak (ez dago lesiorik edo galera materialik)

2.2. ISTRIPUEN IKERKETA LANEKO ARRISKUEN PREBENTZIORAKO TEKNIKA GISA

Istripuen ikerketa da lan-istripu bat aztertzeke erabiltzen den teknika, non gertaerak nola gertatu diren eta zergatik gertatu diren aztertzen baita. Ezagutza hori istripuak minimizatzeke prebentzio-teknika gisa erabiltzen da, horren arrazoiak ezagututa bakarrik ezar baitaitezke neurriak berriro gerta ez dadin.

Istripuen ikerketaren helburuak anitzak dira. Alde batetik, helburu zuzenak daude, hala nola gertatu denaren ezagutza fidagarria, istripua gertatu zen egoera berreraikiz, alderdi teknikoak eta pertsonalak kontuan hartuta. Eta, bestalde, badira zeharkako helburuak edo aurrekoetatik eratorritakoak, baina garrantzi berekoak, hala nola hura eragin duten kausak ezabatzea eta lan-istripuak prebenitzeko esperientzia aprobetxatzea.

Laneko arriskuen prebentzioari buruzko legeak (16.3 artikulua) ezartzen du enpresaburuaren betebeharra dela eragindako langileei kalte egiten dieten istripu guztiak ikertzea; baina enpresak prebentzioa hobetu nahi badu eta Lan-arriskuen Prebentzioari buruzko Legearen irakurketa zabala egiten badu, hori ez da nahikoa izango. Ikerketa istripu guztietara zabaldu beharko da, eraginpean dauden langileei lesiorik eragin ez dietenetara barne (hau da, istripu zurietara eta intzidenteetara). Bereziki ikertu beharko dira maiz errepikatzen direnak, lesio larriak eragin dituztenak eta arrazoiak ezagutzen ez direnak. Ikerketa horri esker, ordura arte ezagutzen ez ziren edo gutxiesten ziren arrisku-egoerak identifikatu ahal izango dira, egoera horiek kontrolatzeko neurri zuzentzaileak ezarri ahal izango dira, eta ez da beharrezkoa izango eraginpean dauden langileentzat ondorio kaltegarriak agertu arte itxarotea.

2.2.1. Istripuak ikertzeko metodologia

Istripuen ikerketak etapa ezberdinak ditu: (i) datuen bilketa, (ii) datuen integrazioa, (iii) kausak zehaztea, (iv) kausak ordenatzea eta hautatzea.

Datuen bilketan, istripua *in situ* berreraikitzea da helburua, istripua zergatik gertatu den jakiteko.

Datu guztiak hartu behar dira: noiz, non, baldintza materialak, lan-metodoak, etab.

Kontuan izan behar da, halaber, erantzukizunak bilatzea saihestu behar dela, frogatutako gertaerak bakarrik onartu behar direla (koherentzia teknikoa), datuak hartzean ez dela iritzirik eman behar, eta istripua ahalik eta lasterren ikertu behar dela. Gainera, sail desberdinetako pertsonen galdetu behar zaie istripuarekin lotura ezberdina izan dezaten. Alderdi teknikoak zein pertsonalak hartu behar dira kontuan: lan-baldintzei, lan materialei, antolamendu-baldintzei eta giza portaerei buruzko informazioa bilduko dugu.

Datuak integratzean, aurreko etapan jasotako informazioaren tratamendu eta balorazio orokorra egingo da, istripuaren garapena ulertzeko. Helburua galdera honi globalki erantzutea da: zer gertatu da? Istripuaren kontakizun bat lortzeko, orduak, datak, gertaerak eta abar jasotzen dituen.

Etaparen aurreko etapan jasotako informazioan oinarritzen da: Zer?, Noiz?, Non?, Nor?, Zergatik?, Nola?

Kausak zehazterakoan, gertaeraren azterketa egin behar da istripuaren kausak lortzeko, galdera honi erantzunez: zergatik gertatu da?

Horretarako, irizpide hauei jarraitu behar zaie:

- Kausak beti izan behar dira istripu batean benetan gertatu diren gertaerak, eta inoiz ez us-tez izan direnak.
- Kausak frogatu egin behar dira, eta ez suposizioetan oinarritu.
- Istripuaren etapak aztertu egin behar dira, istripuaren jatorria eta gertaeren segida kontuan hartuta.
- Kontuan hartu behar dira, halaber, akats teknikoaren eta giza akatsaren faktoreen ondoriozko kausak. Arrazoi teknikotzat hartzen dira instalazioetan, ekipoetan eta lan-metodoetan gertatutako akatsak. Pertsonen portaeren, jarreraren eta gaitasunen ondorio den kausa pertsonala edo giza akatsa da.

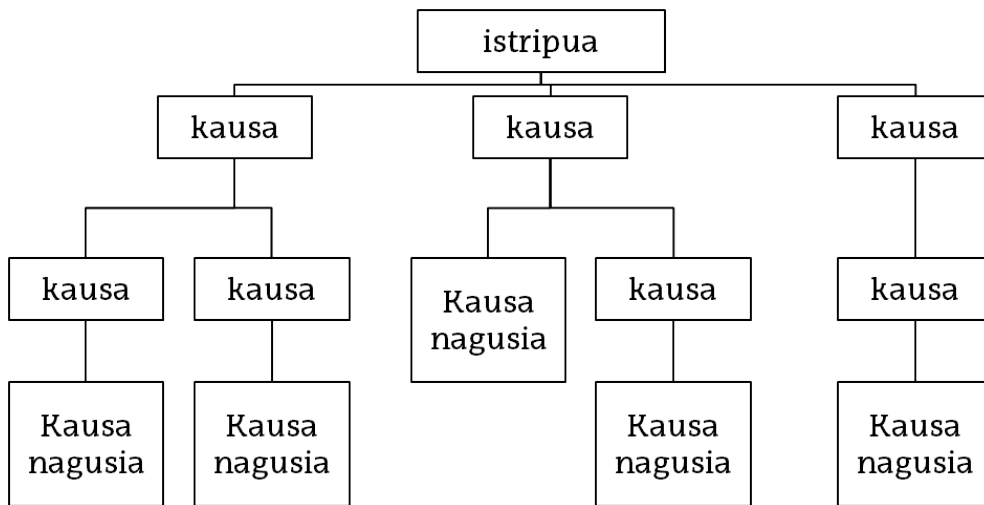
Istripua zergatik gertatu den jakiteaz gain, istripua nola saihestu proposatu behar da. Horretarako, kausak ordenatu egin behar dira, kausa erabakigarriak zein diren zehaztu ahal izateko; etapa horri kausen aukeraketa eta antolamendua deitzen zaio.

Bi kausa mota bereizten dira: (i) kausa nagusiak, istripua eragiteko benetan erabakigarriak direnak, eta (ii) bigarren mailako kausak, erabakigarriak ez direnak, istripuaren emaitzari eragiten badiote ere.

Kausa nagusiak ezabatu beharrekoak izango dira, aukera soziologiko, teknologiko eta ekonomikoen barruan.

Kausa indibidual nagusi bakoitza ezabatzeak istripua edo horren ondorioak probabilitate handiarekin ezabatzen ditu (kasu guztietan edo oso ehuneko handian).

Sailkapena errazteko, «hutsegite-zuhaitza» erabiltzen da, horien arteko erlazioak behatzeko, 5. irudian ikus daitekeen bezala.



5. irudia

Hutsegite-zuhaitza

Istripuaren hutsegite-zuhaitzak agerian utzi nahi ditu istripua eragin duten gertakarien arteko erlazioak.

Zuhaitza goitik behera eraiki ohi da azken gertakaritik abiatuta, hau da, kaltetik edo lesiotik (nahiz eta eskuinetik ezkerredera edo ezkerretik eskuinera ere eraiki daitekeen, kasu guztietan lesioetik edo kaltetik abiatuta).

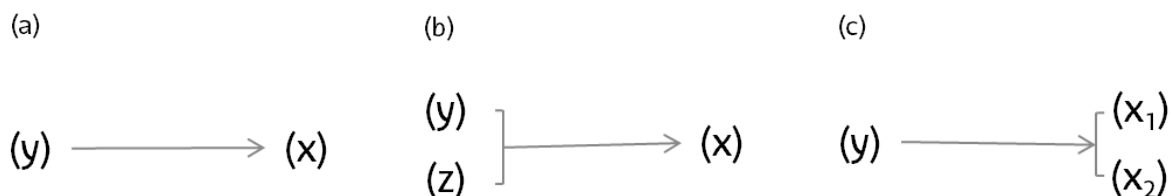
Azken gertakaritik aurrera, haren berehalako aurrekariak mugatzen dira, eta zuhaitzaren egiturarekin jarraitzen da, egitatean sistematikoki gora eginez, honako galdera honi erantzunez:

«Zer gertatu behar izan zen hori gertatzeko?»

Gertaera bakoitzaren aurrekariak bilatzean, hainbat egoera topa ditzakegu:

- (x) gertaerak aurrekari bakarra du (y), eta bere erlazioa hain da handia, ezen (x) gertakaria (y) aldeztatik gertatu ez balitz ez bailitzateke gertatuko. (x)-k eta (y)-k esaten da kate bat osatzen dutela (6a irudia).
- (x) egitatea ez litzateke gertatuko (y) egitatea aldeztatik gertatu ez balitz, baina (y) egitatearen ekoizpen soilak ez dakar (x) egitatea ekoiztea, baizik eta (x) egitatea gertatzeko, (y) egitateaz gain (z) egintza ere gertatu behar da. (x) gertaerak bi aurrekari ditu, (y) eta (z). (y)-k eta (z)-k (x) sortzen duen juntagailu bat osatzen dutela esaten da. (6b irudia).
- Zenbait gertakarik (x_1) , (x_2) aurrekari bakarra dute (y), eta gertaera (x_1) eta egitatea (x_2) ez lirateke jazoko, baldin eta aldeztatik gertaera gertatuko ez balitz (y). (y) gertaera bakar batek (x_1) eta (x_2) egitate atzekari desberdinak sorrarazten dituen egoera hori disjuntzio bat dela esaten da. (x_1) eta (x_2) egitate independenteak dira, elkarren artean lotura zuzenik ez dutenak; hau da, (x_1) gertatzeko ez da beharrezkoa (x_2) eta alderantziz gertatzea. (6c irudia).

- Era berean, gerta daiteke ez egotea inolako loturarik (x) eta (y) egitateen artean, halako moldez non (x) gerta baitaiteke (y) gertatu gabe eta alderantziz.
- Esaten da (x) eta (y) bi gertakari independente direla, eta beren irudikapen grafikoan (x) eta (y) ez daudela lotuta.



6. irudia

Istripu baten kausen erlazioak (a) katea, (b)juntagailua, (c) disjuntzioa

Kausen zuhaitza egin eta kausa nagusiak zehaztu ondoren, segurtasun-neurriak proposatu behar dira horiek ezabatzeko. Arrazoi nagusi bakarra ezabatzea nahikoa izango litzatekeen arren istripua saihesteko, teknikoki ezabatzea bideragarria den guztiak ezabatzea erabakitzen da.

2.3. ISTRIPUEN INDIZE ESTADISTIKOAK

Istripu eta gaixotasun profesionalen estatistiken pisu espezifikoak ezagutzeko, istripuen indize estatistikoak erabiltzen dira, bai larritasunari dagokionez, bai ezarritako neurrien eraginkortasunari dagokionez.

Istripuen ondorioak kuantifikatzeko eta prebentzio-neurrien eraginkortasuna neurtzeko ere balio dute indize horiek. Indize horien helburua da informazio bat ateratzea horietatik, behar bezala tratatuta, istripu-tasaren ezagutza zehatzaz gain, produkzio-arduradunek beren lan-eremuen segurtasun-maila hobetzeko duten motibazioaz ere inplizitua.

Estatistiketan, gertatutako gertaera guztiak jaso dira.

- Baja arinak, larriak eta hilgarriak eragiten dituzten istripuak (hildakoekin).
- *In itinere* istripuak.
- Bajarik gabeko istripuak (sendaketa txikiak, zauri arinak, etab.).
- Lanbide-gaixotasunak (osasun fisikoari kalterik egiten ez diotenak, baina ondoeza edo ase-gabetasuna eragiten dutenak, zenbatzeko zailak direnak barne).
- Nazioarteko Lan Erakundeak (OIT) ezarritako indize estatistikoak erabiltzen dira.

Jarraian adierazten diren estatistika-indizeen bidez, zifra erlatibotan adieraz daitezke enpresa baten edo haren sekzioen istripu-arriskuaren ezaugarriak, eta, oro har, balio erabilgarriak ematen dira konparazio-mailan.

2.3.1. Maiztasun-indizea

Balio horrek enpresa, industria-sektore edo biztanle baten istripu-tasa adierazten du, eta konparazioak egiteko erabiltzen da.

Honela definitzen da: langile bakoitzak izandako istripu kopurua lan egindako milioi orduko (arriskuaren eraginpean egondako orduak)

$$I_M = \frac{\text{Istripu kopurua} \times 1000000}{\text{Lan egindako ordu kopurua}}$$

Indize horren kalkulurako hainbat irizpide hartuko ditugu kontuan:

- Arriskuaren eraginpean emandako denbora bakarrik hartuko da kontuan; beraz, benetako lanorduak zenbatu behar dira, baimenen, oporren, gaixotasunagatiko edo istripuagatiko bajen eta abarren ondoriozko laneko absentzia guztiak kenduta.
- Hori dela eta, *in itinere* istripuak ez dira sartu behar indize horren kalkuluan, lanorduetatik kanpo gertatu direlako.
- Izan ere, administrazioko edo merkataritzako langileak ez daude fabrikazioko langileen arrisku berberen eraginpean, eta horiek lan-sekzioen arabera aldatzen dira. Horregatik, laneko atal edo eremu homogeneo bakoitzerako indizeak kalkulatzeko gomendatzen da.
- Enpresa-mailan, jarraipena istripu guztietara zabaltzea komeni da, baja eragin dutenetara zein baja eragin ez dutenetara, maiztasun orokorraren indizea atalka ebaluatuz.

2.3.2. Larritasun-indizea

Larritasun-indizeak lan egindako mila orduko galdutako lanaldien (lanegunak) kopurua adierazten du. Honako adierazpen honen bidez kalkulatzen da:

$$I_L = \frac{\text{Galdutako lanegunak} \times 1000}{\text{Lan egindako ordu kopurua}}$$

Indize horren kalkulurako, hainbat irizpide hartuko ditugu kontuan:

- Galdutako lanaldiak ezintasun iragankorrei dagozkienak dira, gehi 4. taulako baremoan finkatzen direnak, ezintasun iraunkorrei dagozkienak.
- Galdutako lanaldietan lanegunak bakarrik zenbatu behar dira (ez egun naturalak).
- Bajarik gabeko istripuek 2 orduren galera eragiten dute, eta 8 orduren batuketa lanaldi/lanegun bat da.
- Lan egindako orduak kalkulatzeko, maiztasun-indizerako irizpideak erabiltzen dira (arriskuaren eraginpean emandako denbora bakarrik hartuko da kontuan).

4. taula

Ezintasun iraunkorren ondoriozko galdutako lanaldi baliokideak

Lesioaren izaera	Galdutako lanegunak	Lesioaren izaera	Galdutako lanegunak
Heriotza	6.000	Zangoaren galera belaunaren gainetik	4.500
Ezintasun iraunkor absolutua	6.000	Zangoaren galera belaunaren azpitik	3.000
Erabateko ezintasun absolutua	4.500	Oina galtzea	2.400
Besoaren galera ukondoaren gainetik	3.600	Begi bat galtzea	1.800
Besoaren galera ukondoaren behetik	3.000	Itsu geratzea	6.000
Eskua galtzea	3.000	Belarri bateko entzumena galtzea	600
Hatz lodia galtzea	600	Entzumena galtzea	3.000
Hatz bat galtzea	300		

2.3.3. Eragin-indizea (intzidentzia-tasa)

Eragin-indizeak urteko istripu kopurua adierazten du, arriskuaren eraginpean egondako 1.000 pertsonako.

Lan egindako ordu kopurua ezezaguna denean edo arriskuaren eraginpean dauden pertsona kopurua egun bakoitzean ezberdina denean erabiltzen da, maiztasun-indizea kalkulatu ezin den kasu hauetan.

$$I_E = \frac{\text{Istripu kopurua} \times 1000}{\text{Arriskuaren eraginpean dauden pertsonak kopuruaren batezbestekoa}}$$

2.3.4. Batez besteko iraupen-indizea

Istripuen ondoriozko baje batez besteko iraupena kuantifikatzeko erabiltzen da:

$$I_{BI} = \frac{\text{Galdutako lanegunak}}{\text{Istripu kopurua}}$$

Galdutako lanegunak larritasun-indizearentzat erabilitako irizpideekin kalkulatzen dira, eta indize hori baje baten edo baje baten gabeko istripuentzat kalkula daiteke.

2.4. ISTRIPUEN JAKINARAZPENA ETA ERREGISTROA

Jakinarazpena eta erregistroa istripuaren ondorengo teknika analitikoak dira.

Laneko Arriskuaren Prebentzioari buruzko 31/1995 Legearen 23. artikulua (35/2014 Legeak eguneratua) ezartzen du enplegataileek (enpresek, industriek eta abarrek) egun bat baino gehiagoko baja-aldia duten laneko istripuekin lotutako lesioen dokumentazio teknikoa bete eta mantendu behar dutela. Gainera, lanarekin lotutako osasun-kaltea lanaren administrazio-agintaritzari jakinarazi behar zaio.

Jakinarazpena lan-istripuari buruzko txostena osatu eta bidaltzean datza. Txosten horretan, gutxienez, istripuaren deskribapena jasotzen da.

Erregistroa istripuak emandako datuen arabera antolatzen da. Jakinarazpenaren ondoren egiten da.

2.4.1. Jakinarazpena

Jakinarazpena istripua deskribatzen duen dokumentu tekniko bat betetzean datza; non, noiz eta nola gertatu zen zehaztu behar da. Enpresak egin behar du.

Jakinarazpen ofizialen eredu desberdinak daude:

- Lan-istripuaren parte: egun baterako edo gehiagorako baja medikoa eragiten duten istripuen parte da. Istripua gertatu eta hurrengo bost egunetan egin behar da. Inor hil bada edo lau pertsona baino gehiago zauritu badira, lehenengo 24 orduak baino lehen egin behar da (premiatzeko komunikazioa).
- Bajarik gabeko lan-istripuen zerrenda: hilero osatu behar da. Istripu horien berri eman.
- Alten edo heriotzen zerrenda: hilero osatu behar da, Gizarte Segurantzaren erregistratutako datuekin.

2.4.2. Erregistroa

Istripuen Erregistroa da istripuen jakinarazpenaren hurrengo urratsa, eta istripu-parteen datuekin egindako datu-baseak dira, ondoren analisi estatistikoak egin eta zuzendu beharreko alderdiak ezartzeko.

Istripuen erregistroa enpresak berak egiten badu barne-partearen bidez, errazagoa izango da maniobra arriskutsuak, ekintza ez-segurua eta istripu errepikakorrak dituzten lanpostuak antzematea (hau da, arriskuak detektatzea eta, beraz, istripuak ekiditea).

Istripuen erregistroa Administrazioak egiten badu istripuaren parte ofizialean emandako informazioaren bidez, datuak sektore bereko beste enpresa batzuetako datuekin alderatu ahal izango dira.

Istripuen erregistroa tresna egokia da honetarako:

- Lanpostuen, atalen, enpresen, sektoreen arteko istripu-tasa alderatzea.
- Kausa komunak identifikatzea.
- Ezbehar-tasari buruzko datu-iturriak prestatzea.

Istripuak erregistratzeko modurik errazena istripu-parteak kronologikoki artxibatzea da, al-dien arabera multzokatuta. Istripuen erregistroa artxibatzeo gomendatzen diren dokumentuak honako hauek dira:

— Istripuen erregistro kronologikoaren orriak: parteak kronologikoki eta epeka taldekatuz.

Istripuen erregistro pertsonalerako txartelak: dokumentu osagarriak dira, langile bakoitzaren lesioak eragin dituzten istripuen banakako historia erregistratzeko. Langile berean istripuen maiztasun handia badago, azterlan sakonak egin beharko dira langile horien lan-ohiturei, gaitasunari, prestakuntzari, esleitutako zereginari eta aurretik kontuan hartu ez den edozein faktoreri buruz.

3

Prozesuen arriskuen analisia

3.1. LANEKO ARRISKUAK

Lanbide-arriskuak laneko zereginen edo lantokiaren beraren arriskuak dira, kalteak eragin ditzaketenak (fisikoak, psikologikoak, etab.); hau da, lanbide eta zeregin profesional jakin batean dauden arriskuak, bai eta ingurunean edo lantokian daudenak ere, kalte fisiko zein psikologikoren bat eragin dezaketen istripuak edo edozein motatako ezbeharrak eragin ditzaketenak. Kalte horien barruan sartzen dira istripuak eta gaixotasun profesionalak.

886/1988 Errege Dekretuak (EEEren Seveso Gidalerroaren bertsio espainiarra) honela definitzen ditu istripu handiak: «Industria-jarduera bat kontrolik gabe garatzearen ondorio den edozein gertaera, hala nola isurketa, ihesa, isuria, sutea edo eztanda, baldin eta arrisku larria, hondamendia edo lazeria publikoa, berehalakoa edo geroratua badakar pertsonentzat, ingurumenarentzat eta ondasunentzat, dela barnean, dela errege-dekretu honetan, dela kanpoan, dauden zenbait substantzia arriskutsutan».

Historian industria kimikoarekin lotutako istripu grabatu asko gertatu diren arren, sektore horretan istripuen % 80 ez dira espezifikoak (hau da, erorikoak, kolpeak eta abar). Lan-istripu baten ondorioz fabrikari hiltzen den plantillako pertsona bakoitzeko, bost beste istripu batzuen ondorioz hiltzen dira (etxean edo lanerako bidean), eta 90 gaixotasun profesionalen ondorioz.

Haatik, industria kimikoaren arriskuei buruzko gizarte-pertzepzioa errealitatea baino handiagoa da. Gizarteak istripu batzuk oso garrantzitsutzat jotzen ditu; adibidez, fabrikaren mugetatik ateratzen den eragina dutenak (istripu handiak edo larriak, Seveso Zuzentarauak arautzen dituenak). Hala ere, beste istripu batzuek gizartearentzat onargarritzat jotzen dituzte istripu arinak eta ez-espezifikoak.

Hala ere, industria kimikoan eta bioteknologikoan, argi dago, sartzen diren babesak asko izanda ere, haien jarduerak arriskua dakarrela, eta arrisku hori industria ezabatzearen kontura bakarrik ezaba daitekeela. Gaur egungo munduan industria kimikoa eta bioteknologikoa beharrezkoak direla argi dagoenez, arazoa instalazio edo prozesu jakin batean onargarria den arrisku-maila zein den erabakitzen mugatzen da.

Arrisku onargarriaren maila erabakitzeko prozesua konplexua da, helburuak anitzak eta batzuetan kontraesankorrak direlako. Kontuan hartu behar dira alderdi humanitarioak, ekonomikoak,

legezko erantzukizunari buruzkoak eta irudi publikoari buruzkoak. Horrela, hondamen-arrisku bat, oro har, neurri txikiko arrisku multzo bat baino onargarriagoa izango litzateke gizartean, nahiz eta pertsonentzat, ingurumenarentzat eta jabetzarentzat erabateko arrisku-maila berdina izan.

Laburbilduz, azken erabakia arrisku-onura analisi baten emaitza izango da. Hala ere, industria kimikoaren eta bioteknologikoaren onurak ez dira hain nabarmenak publiko zabalarentzat. Industria horien lehen mailako merkatua, oro har, azken kontsumitzailearen aurreko beste industria batzuk dira. Horrela, herritar ertaina marka erregistratuen eta kontsumo handiko produktuen mundu batean mugitzen da, eta (produktu zehatzek, hala nola erregaiek edo sendagaiek, edo orokorrek, plastikoek, ordezkutzen dituzten salbuespenetan izan ezik) ez ditu eguneroko bizitzan erabiltzen dituen produktuak industria kimiko edo bioteknologikoarekin identifikatzen; horrek zailago egiten du industria-jarduera horien irabaziaren pertzepzioa.

3.2. ARRISKUEN ANALISIA

Premisa gisa arriskua erabat ezabatzea ezinezkoa dela onartzen badugu, oinarrizko galdera honek jarraitzen du: zenbat segurtasun dakar berekin «behar bezain seguru»? Kasu askotan, tartean dauden prozesuen ulermen zientifikoaren mailak eta eskura dauden datuen faltak ezinezko egiten dute galdera horri ziurtasunez erantzutea. Hala eta guztiz ere, Administrazioak arauak eman behar ditu jendea babesteko, produktu eta planta kimiko eta bioteknologiko berriak baimendu edo ez erabakitzeko, ingurumenean esposizio-mailak mugatzeko eta hondakinak ezabatzea arautzeko. Ziurgabetasun horrek esan nahi du kasu batzuetan legeak ematen direla egoera guztiz gertaezinak babesteko (*worst case scenario*), eta horren ondorioz baliabideak neurritz kanpo esleitzen direla, berrikuntza teknologikoak murrizten direla eta gehiegizko kostuak sortzen direla. Aldi berean, baliatzen arautu behar ziren egoera probableagoak alde batera uztea.

Arrisku bat onargarria den ala ez erabaki ahal izateko, arriskuaren tamaina nolabait kalkulatu behar da, eta horrek alde aurreko analisia eskatzen du. Arriskuak aztertzeak esan nahi du jarduera baten arrisku-maila potentzialaren zenbatespen kuantitatibo bat, pertsonen nahiz ondasun materialen dagokiena, desagitea, kaltearen tamainaren eta gerta daitekeen probabilitatearen arabera.

Arriskuaren analisia da prozesuaren ingeniari-talaren ebaluazioa eta istripuen maiztasun eta ondorioen estimazioak egiteko aukera ematen duten teknika matematikoak konbinatzen dituen diziplina. Arriskuaren analisiaren emaitzak erabakiak hartzeko erabiltzen dira, dela arriskuak murrizteko estrategiak hierarkizatuz, dela jarduera jakin baterako helburu gisa ezarritako arrisku-mailarekin alderatuz. Arriskuak kudeatzeko programa baten elementu nagusiak hauek dira:

- Arriskua-faktoreak (*hazard*) identifikatzea.
- Ondorioen azterketa.
- Arriskuaren ebaluazioa.
- Langileen entrenamendua.
- Aldaketen diseinuaren kontrola.
- Jarduteko prozedurak.
- Mantentze-lanetarako prozedurak.
- Istripuen/intzidentzien ikerketa.
- Segurtasun-auditoriak.
- Erregistroa eta artxiboa.
- Larrialdi-planak.

Arriskuen analisiak aukera ematen du instalazio edo prozesu jakin batean istripuen potentziala kuantifikatzeko eta, hori handiegia dela uste bada, konponbiderako aukerak alderatzeko. Logikoa denez, bakoitzak kostu ekonomiko desberdina izango du, eta hori ere kontuan hartu behar da azken erabakian.

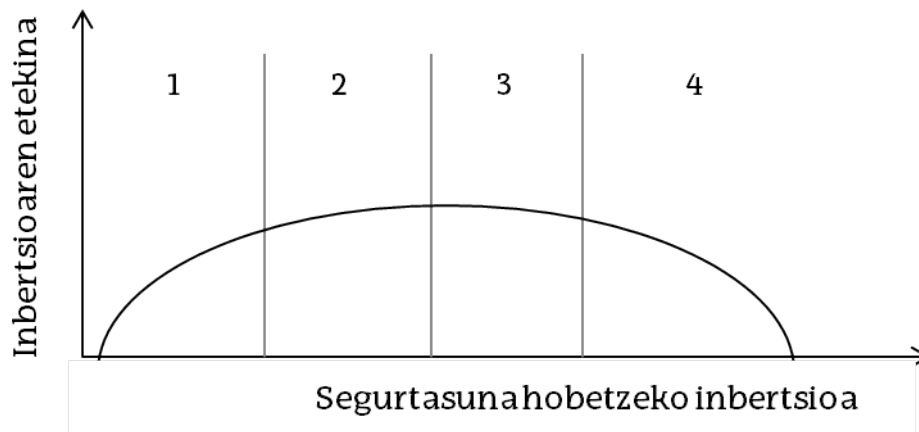
Adibidez, industria-instalazio batean 500 urterik behin leherketa bat gerta daiteke, eta %30eko probabilitatea dago norbait hiltzeko. A konponbidearekin leherketa 800 urtetik behin gertatzea lortuko genuke, kostu ekonomiko jakin batekin. B konponbidearekin leherketa 1.000 urtetik behin gertatzea lortuko genuke, kostu ekonomiko handiagoarekin. Bistakoa da analisiak ez digula esaten arriskua onargarria den ala ez, baizik eta zenbaki alderagarriak ematen dituela, inbertsioan lehentasunak ezarri ahal izateko. Batzuetan, Administrazioak jendea babesteko arauak ematen dituelako ezartzen da erabakia, eta, kasu horretan, erabakia ez da kostuaren araberakoa, baizik eta soluzioa errentagarria den ala ez, instalazioa martxan izaten jarraitzeko.

3.2.1. Arriskuen analisiaren errentagarritasuna

Edozein jardueratako baliabide ekonomikoak mugatuak dira, eta, adierazi den bezala, arriskuen azterketa tresna baliotsua da segurtasun-inbertsioetarako eskuragarri dauden funtsen erabilerrari buruzko erabakiak hartzeko orduan. Istripuek industriarentzat duten kostu ekonomikoa ikusita, argi dago, pertsonen bizitza edo osasunerako arriskurik ez balego ere, segurtasunean nolabaiteko inbertsio-maila bat modu iraunkorrean justifikatuko litzatekeela errentagarritasun-irizpideak aplikatuz. Hala ere, Administrazioak ezarritako mugak lortzeko egin beharreko inbertsioa oso altua izango balitz, gerta daiteke inbertsioa errentagarria ez izatea. 7. irudian ikus daiteke segurtasuna hobetzeko inbertsioaren eta haren onuren arteko erlazioa. Kurba honetan, lau eremu bereiz daitezke:

- **1. eremuan**, inbertsio txiki batekin etekin handiak lortzen dira (istripuen kostu ekonomikoak saihesten baitira), errentagarritasun ekonomiko handia lortuz, beste inbertsio posible batzuekin abantailaz lehiatzeko gai dena.
- **2. eremuan**, inbertsioak probetxugarria izaten jarraitzen badu ere, ezin da inbertsio gisa justifikatu errentagarritasun handiagoko beste inbertsio batzuen aldean, arrazoi ekonomikoak soilik argudiatuz. Hemen, kuantifikatzen zailak diren beste arrazoi batzuk sartzen dira jokoan (arrazoi etikoak, enpresa-arrazoiak, etab.), baina, zalantzarik gabe, garrantzi handikoak.
- **3. eremuan** inbertsioak errentagarritasun onargarria izateari uzten badio ere, 2. eremuan dauden arrazoi berberak gomendatzen dute segurtasunean inbertitzen jarraitzea.
- **4. eremuan**, sektoreko industrietako lehiakorra izateari uzten zaio. Enpresa baten egoera bereziki handia bada eta segurtasunerako behar diren inbertsioak tamaina horretakoak bada, ohiko aukera industria-jarduera etetea da.

Garrantzitsua da adieraztea instalazio jakin batek izan behar dituen ezaugarriei buruz hartzen den edozein erabakitan arrisku-azterketa bat egiten ari dela, esplizituki edo inplizituki. Adibidez, lantoki batean jarri beharreko baranden altuera zehazten denean, arrisku intuitiboan azterketa bat egiten ari gara, eta horrek adierazten du, baranda batzuk behar bezain altuak jarri, erortzeko probabilitatea ez dela nulua, baina hain txikia denez, ezikusiarrena egitea justifikatzen dela.



7. irudia

Istripu-arriskua murrizteko inbertsioen onuren diagrama

Arriskuen analisia industria batean aplikatzeak aurreko 7. irudiaren arloak identifikatzen ditu erabakiak hartzeko. Hala ere, potentzial handiena eraiki gabeko solairuei aplikatzean datza. Prozesuan segurtasun intrintsekoa ezartzeko aukera maximoa da, eta gutxienerako kostuarekin, hura definitzen ari denean.

Industria baten diseinu fasean aplikatuta, prozesua arriskuak saihesteko (edo murrizteko) diseina daiteke sortze-tekniken bitartez (segurtasun intrintsekoa): prozesuaren eragiketa-baldintza seguruak aukeratu, ekipo egokia aukeratu, etab. Segurtasun intrintsekoarekin segurtasun-maila altuena kostu-maila baxuenean lortzen da.

Prozesuaren segurtasun intrintseko gisa ezarri ezin dena kanpoko segurtasun gisa aplikatu behar da (zuzentze-teknikak): alarmak, kontrolak, lan-prozedurak eta abar. Horiek, normalean, guztizko kostuak handitzen dituzte.

Prozesuaren definiziotik eta garapenetik diseinuko eta eraikuntzako etapetara igaro ahala, kanpoko segurtasunerako aukerak daude oraindik, baina berezko segurtasuna areagotzen duten baldintzak hautatzeko aukerak murriztu egiten dira. Beraz, beharrezkoa da arriskuen oinarrizko azterketa bat egitea prozesuaren diseinuaren oso etapa goiztiarretan, eta azterketa sofistikatu egingo da prozesua zehatzago definitu ahala.

3.2.2. Arriskuen analisiaren etapak

Istripuen prebentziora bideratutako arriskuen azterketak, oro har, honako etapa hauek eskatzen ditu:

1. Nahi ez diren gertakariak identifikatzea, arrisku bat gauzatzea ekar dezaketenak.
2. Gertakari horiek gertatzeko mekanismoak aztertzea.
3. Nahi ez diren efektuak eta horiek gertatzeko maiztasuna zenbatestea.

Kontzeptuz, arriskuen azterketa hainbat etapatan garatzen da, eta horietako bakoitzean galdera orokor bati erantzuten zaio (8. irudia).

Egin behar dugun lehenengo galdera da: Zer gerta daiteke? Galdera hori ondorio kaltegarriak eragin ditzaketen inguruabar guztiei buruzkoa da. Honela idatz liteke: «Zer gerta daiteke gaizki?» Auzi *kualitatibo* hutsa da. Fase horren helburua da, kontuan hartutako lan-jarduera bakoitzerako, arriskuak konbinatuko dituen zerrenda zehatz bat prestatzea; hau da, (i) kontrako eragina izan dezaketen desbideratzeak eta (ii) gertatzeko arrazoizko probabilitatea dutenak.

Lehenengo etapa horretan, nolabaiteko probabilitatea duten desbideratze guztiak atxiki behar dira, nahiz eta probabilitate hori txikia izan. Horretarako, ingeniarien sen onera jo behar da, bai eta aztertzen ari garen prozesuan eta antzeko beste prozesu batzuetan pilatutako esperientziara ere. Funtsezkoa da garapen arriskutsuak eragin ditzaketen inguruabarrak identifikatzea, identifikatu gabeko arrisku bat ez baita kontuan hartuko ondorengo analisietan. Arriskuak alde batera ez uzteko, jakina, tartean dauden langileen esperientzia dago; baina, horrez gain, tresna boteretsu batzuk ere badaude, hala nola:

- Diseinu-kodeak.
- Egiaptapen-zerrendak.
- Ekipoetako akatsen datu zehatzak.
- Gertaeren analisi historikoa.
- Arrisku-indizeetan oinarritutako metodoak.
- Desbideratzeen analisi orokorra (What-if analysis).
- HAZOP metodoa.
- Akats moduen efektuen analisisa (AMEA).

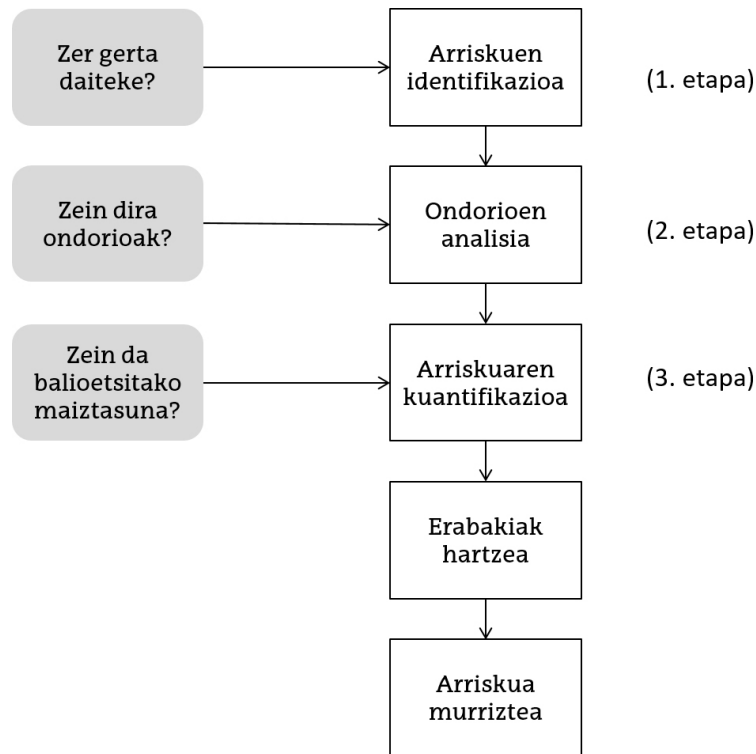
Neurri handi samarreko ondorio kaltegarriak eragin ditzaketen inguruabarrak identifikatu ondoren, hurrengo etapak galdera honi erantzuten dio: Zein dira ondorioak? Erantzuteko, jatorrizko kausa identifikatua aurreikusitako efektuekin erlazionatzen duten eredu bat edo batzuk izan behar dira, horiek *kuantifikatu* ahal izateko.

Eredua aukeratzea funtsezkoa da gerta daitezkeen aukera guztiak aztertzeo, gertakari berak bilakaera desberdinak izan baititzake, eta, beraz, ondorio desberdinak. Adibidez, presiopeko likidoa duen tanga baten hausturak (i) konfinatu gabeko lurrun-hodeiaren leherketa, (ii) flash sutea, (iii) BLEVE sutea, edo (iv) hodeiaren eraketa eta dispertsioa eragin ditzake, surik gertatu gabe. Aukerak eredu egokiek aztertu behar dira, eta eredu horiek, kasu bakoitzean, langileengan edo instalazioetan espero daitezkeen ondorioen estimazioa emango dute. Istripu mota desberdinen ondorioak kalkulatzeko ereduak ondorengo kapituluetan deskribatzen dira.

Arriskuen analisiaren hirugarren etaparen helburua galdera honi erantzutea da: Zein maiztasunez? Kontua da gertaeren egiazkotasuna kuantifikatzea (kalte handiak eragin ditzakete, eta horien magnitudea zenbatetsi dugu), dela (i) maiztasunari dagokionez, dela (ii) instalazioaren balioetsitako bizitzan gertatzeko probabilitateari dagokionez. Gertatzeko probabilitateak —espero duen kaltearen magnitudearen biderkadurak— kaltearen itxaropen matematikoa ematen digu, ondorengo erabakiak hartzean oso erabilgarria den tresna bat lortzen duena.

Erregistro historikoen bidez, gertakari baten egiantzekotasunaren zenbatespen erdikuantitiboak lor daitezke. Hala ere, askotan, kontsultarako irekitako datu-baseetan ez dago datu nahikorik, edo datu horietan ez da datu garrantzitsurik agertzen. Horregatik, metodo egituratuagoetara jo ohi da, hala nola hutsegite-zuhaitzaren (FTA) edo gertakari-zuhaitzaren (ETA) analisisira, zeinetan

probabilitateak esleitzen baitzaizkie gertaeren bilakaera-kateetako gertaerei, ekipoen eta osagaien akats-maiztasunei buruzko datu-baseetan dagoen informazioa erabiliz.

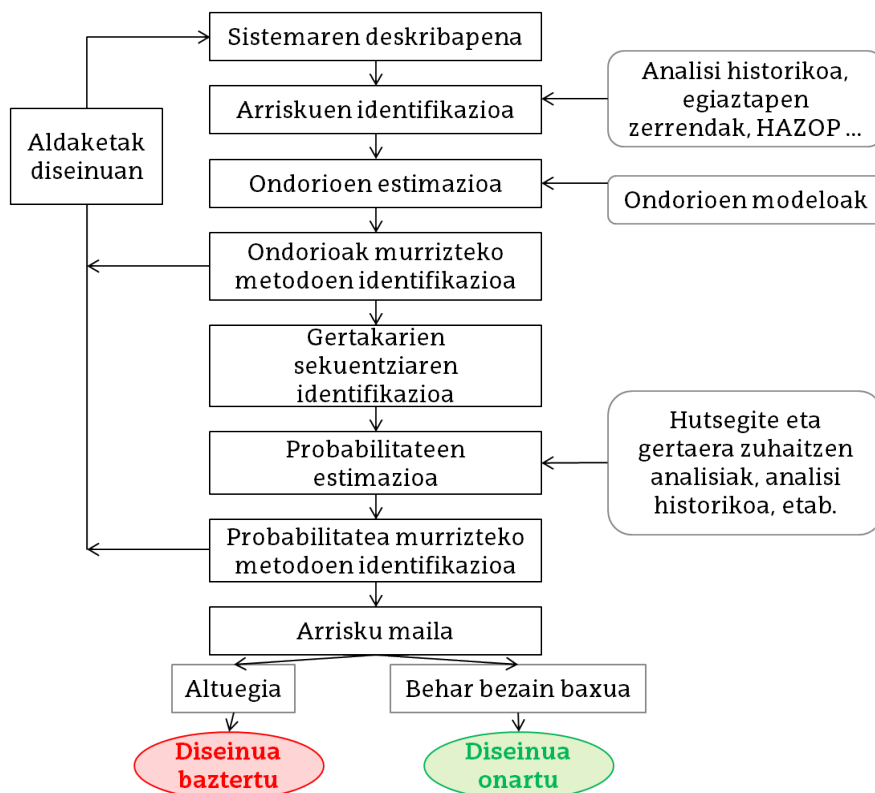


8. irudia

Arriskuen analisiaren etapak

9. irudian arriskuen analisiaren etapa desberdinen eskema zehatzagoa eta zabalagoa aurkituko dugu. Nabarmentzekoa da inplikaturako teknikak garapen-maila desberdina dutela. Hala, arriskuak identifikatzeko teknikak, oro har, heldutasun-maila handia lortu dute, eta konfiantzaz erabil daitezke. Garapen-maila handia dute, halaber, ondorioen zenbatespen-tonikek, eta horrek esan nahi du, egoera jakin batean, sortutako ondorioei buruzko ziurgabetasunak txiki samarrak direla, eta, nolnahi ere, haien magnitudea zenbatets daitekeela. Aitzitik, maiztasunen estimazioa konparatiboki ez dago hain garatuta, eta ahalegin handia egin beharko da, haien ziurgabetasuna aurreko tekniken antzeko maila konparagarrietara jaitsi arte.

Eskeman, gainera, ez dago konpentsatuta arriskuen analisiaren etapa goiztiar batean egin beharreko zeregin bat; hau da, kanpo-faktoreei buruzko datu-base bat garatzea (topografia eta inguruko luraren erabilera, datu demografikoak, datu meteorologikoak, kanpo-zerbitzuak, etab.), bai eta gertaeren egiazkotasun-faktoreei buruzkoa ere (istripuen datu historikoak, instalazioen eta osagaien fidagarritasun-datuak, hondamendi naturalen erregistroa, etab.). Sarbide libreko datu-baseek informazio ugari dute datu-erregistroa egiteko, instalazio jakin bateko edo haren osagaietako gorabeheren egiantzekotasunari dagokionez. Normalean, enpresak datu horiek osa ditzake bere instalazioei buruzko esperientziarekin eta barne-datuekin.



9. irudia

Arriskuen analisi kuantitatiboa egiteko etapak

Adierazi da arrisku jakin baten aurrean egungo mailan onar daitekeela edo murrizten saiatu daitekeela. Nolanahi ere, erabakiak ez du galarazten istripu batek ekar ditzakeen ondorioen eta horren egiantzekotasunaren zenbatespena egitea, ezta balizko neurri zuzentzaileen kostua ere. Nolanahi ere, arriskuen azterketa ezinbesteko tresna da erabakiak hartzeko, eta bereziki erabilgarria izan daiteke honako hauetarako:

- Istripu potentzialen ondorioak zenbatzea.
- Egoeren egiantza ebaluatzea (haiek gertatzeko probabilitatea).
- Arriskuen hierarkia bat ezartzea (arriskua murrizteko lehentasunen zerrenda).
- Segurtasunaren arloko erabakiak justifikatzea.
- Arriskuak murrizteko ekintzen eraginkortasuna ebaluatzea.

3.3. INDUSTRIA KIMIKO ETA BIOTEKNOLOGIKOAREN ARRISKU NAGUSIAK

Industria kimikoaren eta bioteknologikoaren arrisku espezifiko garrantzitsuenak dira substantzia arriskutsuen isuria eta suteak eta leherketak (deflagrazioak eta/edo detonazioak).

Bestalde, beharrezkoa da jakitea zein substantzia arriskutsurekin lan egiten den (lehengaiak, bitartekoak eta amaierako produktuak), eta prozesu bakoitzak eta haren baldintzek (tenperatura, presioa) sortu ditzaketen arriskuak ezagutzea.

Hori guztia bereziki ezagutu behar da produkzio-etapetarako, baina baita abiarazteetarako, gurdialdietarako eta mantentze-lanetarako ere (prebentziokoa eta zuzentzailea).

Mantentze zuzentzaileerako izan ezik, eragiketa eta prozesu bakoitzak idatzizko prozedura zehatz batean jasota egon behar du. Prozedura horrek hainbat izen izan ditzake (lan-jarraibideak, jardunbide operatiboak, etab.), eta arriskuen analisia eta hartu beharreko ekintza zuzentzaileak jasotzen dituzte.

Mantentze zuzentzailearen kasuan, eragiketak ez daude oro har idatziz zehaztuta, matxurak konpontzean oinarritzen direlako. Kasu bakoitzean dokumentu berezi bat idatzi behar da, arriskuak eta zuzenketa-neurriak aztertuz. Dokumentuari *Lan-baimena* («Permit to Work») deitzen zaio.

3.3.1. Produktu kimikoak arrisku-faktore gisa

Produktu kimikoen ezaugarriak direla eta, beren manipulazioak, biltegiak eta abarrek arrisku desberdinak sortu ditzakete.

Arrisku fisiko-kimikoak sortzen dituzten produktuak honako hauek dira:

- Produktu leherkorak
- Produktu erregarriak
- Produktu sukoiak
- Gasak

Osasunerako arriskuak sortzen dituztenak:

- Produktu toxikoak
- Produktu korrosiboak
- Produktu narritagarriak
- Xurgapen bidez arriskutsuak diren produktuak

Osasunean kalteak eragiteaz gain, minbizia edo mutazio genetikoak eragin ditzaketen produktuak ere badaude, kartzinogenikoak, mutagenikoak eta teratogenoak. Azkenik, ingurumenerako arriskutsuak diren produktuak ere badaude.

Produktu leherkorak txinparta baten eraginpean leher daitezkeenak dira, edo 1.4 dinitrobenzenoa (CAS: 100 25 4) baino sentikorragoak direnak kolpeekiko eta marruskadurarekiko. Bero zuzenak (hau da, gainazal beroekin kontaktuan egoteak) leherketa bat ere eragin dezake. Adibidez, nitroglizerina 177°C-an ustiatzen da, eta trinitrotoluenoa 470°C-an.

Kontuan hartu behar da, gainera, substantzia kimiko ez-leherkorren nahasketa fisiko batzuek lehertzeko arriskua dakartela. Hori da substantzia oxidatzaileen eta erreduktoreen arteko nahasketaren kasua, erreakzio exotermikoak ematen baitituzte. Oxidatzaileek nahasketaren erreakzioa sortzeko behar den oxigenoa ematen dute, eta erreduktoreek erregai gisa jarduten dute oxidatzaileek sortutako oxigenoarekin erreakzionatuz; ondorioz, gasak sortzen dira tenperatura altuan. Adibidez, bolbora beltzaren ekoizpenean, 10. irudian agertzen den erredox erreakzioaren arabera giten da:



10. irudia

Bolbora beltza sortzeko erredox erreakzioa

Era berean, hainbat substantziaren erreakzio kimikoak molekula leherkorrak sor ditzake, hala nola azetona eta ur oxigenatua.

Produktu erregarriak (oxidatzaileak) dira beste substantzia batzuekin (batez ere, sukoiekin) kontaktuan jartzean erreakzio oso exotermikoak sortzen dituztenak. Adibidez: aire eta oxigeno likidoak, nahasketa sulfonitrikoa, sodio eta potasio nitritoak, ur oxigenatua, perkloratoak, etab.

Produktu sukoiak diraugar batekin kontaktuan jartzean su hartzen dutenak. Sukoitasuna da substantzia batek sua hartzeko duen ahalmena, eta sukoitasun-arriskua parametro desberdinekin neurtzen da:

- Sukoitasun-puntua edo flash puntua: presio atmosferiko estandarrean (1 bar) airean nahasketa sukoa sortzeko adina lurrin isurtzen den tenperaturarik baxuena da.
- Autosutze-puntua (*autoignition point*): presio atmosferiko estandarrean (1 bar), airearekin kontaktuan dagoen erregai batek (solidoa, likidoa edo gasa) berez erretzen duen tenperatura minimoa, kanpoko bero-iturririk behar izan gabe. Tenperatura horretan, errekontza-erreakzioa hasteko adina aktibazio-energia lortzen da.
- Sukoitasunaren behe- eta goi-mugak (5. taula): aireko lurrin-kontzentrazioaren tartea da (% bol/bol), non nahasketa sukoa baita kanpoko energia-ekarpen estandarizatuarekin. Muga horiek presioaren, tenperaturaren eta inerteen kontzentrazioaren arabera aldatzen dira.

5. taula

Hainbat substantzia kimikoen sukoitasunaren goi- eta behe-mugak

Produktua	Sukoitasunaren behe-muga	Sukoitasunaren goi-muga
Azetona	2.6	13.0
Azetilenoa	2.5	81.0
Bentzenoa	1.4	8.0
Ziklohexanoa	1.3	8.3
Etanola	3.3	19.0
Hexanoa	1.2	7.5
Hidrogenoa	4.0	75.0
Metanola	4.0	36.0
Metiletiletzeta	1.8	11.5
Eter dietilikoa	1.9	36.0
Karbono sulfuroa	1.3	50.0
Toluenoa	1.3	7.0

Beste parametro garrantzitsu batzuk eta sukoitasuna baloratzerakoan ere kontuan hartu beharrekoak dira (i) lurrun-presioa (izan ere, likidoen kasuan, askatzen den lurruna (lurrun-presioaren funtzioa) da erretzen dena, eta, beraz, lurruna sortzea parametro garrantzitsua da) eta (ii) errekontza-beroa (sukoitasunaren ondorioei eragiten baitie).

Substantzia sukoiak hiru taldetan bana daitezke:

1. Erabat sukoiak:ugar-puntua 0°C-tik beherakoa eta irakite puntua 35°C-tik beherakoa duten substantziak; adibidez, hidrogenoa, metanoa, etanoa, azetilenoa, CO, HCN, aztaldehidoa, eter dietilikoak, karbono sulfuroa.
2. Errazki sukoiak:
 - Ingurumen-tenperaturan, airearekin eta kanpo-energia ekarpenik gabe berotu edo su hartzen dutenak: autosutze-puntua ingurumen-tenperatura baino baxuagoa dutenak. Mg, Al, Zn, fosforo zuria...
 - Sugar-puntua 21°C baino baxuago duten likidoak. Hidrokarburoak eta disolbatzaile organikoak.
 - Kanpo-energia ekarpen labur baten ondorioz errazki sutzen eta energia-ekarpena kentzean ere erretzen jarraitzen duten solidoak. Fosforoa, kaltzioa.
 - Presio atmosferikoan airean sukoiak diren gasak. Propanoa, butanoa...
 - Aire hezea edo urarekin nahastean errazki sukoiak diren gasak askatzen dituzten substantziak. Hidruro metalikoak.
3. Sukoiak:ugar-puntua 21-55°C tartekoa dutenak (aurreko ataletan sartzen ez direnak).

Egungo legerian, halaber, 200 kPa-eko edo gehiagoko presioan dauden *gas-substantzia* konprimatuak, likidoak edo disolbatuak jasotzen dira, beroarekin leher daitezkeen ontzi batean. Horiek ez dira inoiz sutara bota behar.

Substantzia toxikoak (toxikotasun akutua eta arriskutsua xurgapen bidez) dira organismo bizi batean harekin kontaktuan jartzean edo irenstean ondorio kaltegarriak eragiteko gai diren substantziak. Substantzia toxiko bat toxikotasuna duen edozein konposatu da, intoxikazioak sortzeko gai dena.

Substantzia baten toxikotasuna hainbat faktoreren menpe dago: administrazio-egoera (kontzentrazioa, administrazio modua...), subjektua (sexua, pisua...) eta konposatuaren propietate fisiko-kimikoak (egoera, uretan disolbagarritasuna...). Hala ere, animaliekin esperimentuak egin dira, hainbat substantzia toxiko gisa sailkatzeko. Esperimentazio horretatik abiatuta, sailkapen hau egin da:

- Oso toxikoak: inhalazioak, irensteak eta larruazala ukitzeak arrisku oso larriak, akutuak edo kronikoak eragin ditzakete, edo baita heriotza ere. Substantzia horien adibide dira berilioa, boroa, karbono sulfuroa, zianuroak, merkurioa eta berunarekin konposatuak, pestizida batzuk, etab.
- Toxikoak: arrisku larria, akutua edo kronikoa eragin dezaketenak, kontzentrazioak edo kantitateak handiak badira. Adibidez, amoniakoa, nitratoak, fluoruroak, sufre dioxidoa, kloroa, artsenikoa, metanola, etab.

Substantzia korrosiboak dira kontaktu bidez izaki bizidunen ehuna suntsitzen duten substantziak. Normalean, korrosiboak dira metalentzat, eta erreakzio azidoa edo oinarritzkoa dute. Adibideak: metal alkalinoak, azido sulfurikoa, azido nitrikoa, sodio hidroxidoa.

Era berean, *larruazalean sartzearen* ondorioz osasunean arrisku larriak, akutuak edo kronikoak eragin ditzaketen substantziak eta prestakinak daude, eta giza gorputzarekin kontakturik izatea saihestu behar da.

Substantzia toxikoen barnean, 2015etik hona nazioarteko akordioen bidez definitu dira minbizia edo aldaketa genetikoak eragin ditzaketen hainbat substantzia, eta mundu osoan aintzatesten dira. Sailkapen-sistema berdina da mundu osoan, eta CLP deitzen da Europar Batasunean eta GHS mundu mailan.

Hain zuzen ere, **substantzia kartzinogenoak** dira arnastean, irenstean eta azalean sartzean minbizia sortu edo berau sortzeko maiztasuna handitzen dutenak. Hona hemen substantzia horien sailkapena:

- *Lehen maila*: epidemiologia-ikerketetan minbizia sortzen dutela frogatu da substantzia hauetan.
- *Bigarren maila*: segur aski minbizia sortzen dutenak, animalietan egindako ikerketek edo beste era batekoek justifikatzen dutelarik.
- *Hirugarren maila*: minbizia sor dezaketela susmatzen da substantzia hauetan, baina frogatzeko ez dago datu nahikorik.

Lehen bi mailak kartzinogenoak dira (baita toxikoak edo oso toxikoak ere); hirugarren mailakoak kaltegarritzat hartzen dira, eta ondorio itzulezinak izateko aukera dute. Substantzia kartzinogenoen adibideak hauek dira: bentzenoa, kadmio kloruroa, kaltzio, zin eta estrontzio kromatoak, etab.

Substantzia mutagenoak dira arnastean, irenstean eta azalean sartzean zelulen material genetikoa aldatu dezaketen substantziak.

Kartzinogenoak bezala, hiru mailatan sailkatzen dira, irizpide berak erabiliz.

Lehen bi mailak mutagenoak dira (baita toxikoak edo oso toxikoak ere), herentziazko aldaketa genetikoak sor ditzakete; hirugarren mailakoak kaltegarritzat hartzen dira, eta ondorio itzulezinak izateko aukera dute.

Substantzia mutagenoak: hidrazina, kadmio fluoruro eta ioduroa, nikel tetrakarboniloa, etab.

Bestalde, **substantzia teratogenoak** dira arnastean, irenstean eta azalean sartzean fetuan alterazioak (malformazioak) sor ditzaketen substantziak. Horien sailkapena honako hau da:

- *Lehen eta bigarren maila*: ugalkortasunean eragina izan dezaketenak, eta emakumeen fetuan lesioak sortzen dituztela frogatutakoak.
- *Hirugarren maila*: ugalkortasuna kaltetzeko arriskua dutenak eta animalien fetuan lesioak sortzen dituztela frogatutakoak.

Horien adibide dira dietilmerkuriua, talidomina eta dietilestibestrola.

Azkenik, *ingurumenerako arriskutsuak diren substantziak* ondorio kaltegarriak dituzte faunan eta floran, hau da, ingurumenean. Efektua berehalakoa eta/edo atzeratua izan daiteke. Ezaugarri horrek biltegitratzea eta garraioa baldintzatzen ditu, eta legediak ingurumena babesteko baldintza bereziak ezartzen ditu. Adibideak: petroliotik datozen substantziak, Ni gatzak, Cu gatzak, Cr gatzak.

Europar Batasunaren eremuan, produktu kimikoak prebenitzeko eta kontrolatzeko politika bi araudik arautzen dute nagusiki:

- (i) 1907/2006 (EE) Arautegia, Europako Parlamentuarena eta Kontseiluarena, 2006ko abenduaren 18koa, substantzia eta prestakin kimikoen erregistroari, ebaluazioari, baimenari eta murrizketari buruzkoa (REACH). Horren bidez, Substantzia eta Prestakin Kimikoen Europako Agentzia sortzen da, 1999/45/EE Zuzentaraua aldatzen da, eta Kontseiluaren 793/93 (EEE) Arautegia indargabetzen da, bai eta Kontseiluaren 794/EE Zuzentaraua eta 1488 Arautegia ere.
- (ii) 1272/2008 (EE) Arautegia, Europako Parlamentuarena eta Kontseiluarena, 2008ko abenduaren 16koa, substantzien eta nahasketen sailkapenari, etiketatzeari eta ontziratzeari buruzkoa (CLP arautegia, ingelesezko siglen akronimoa: *Classification, Labeling and Packaging*), 67/548/EEE eta 1999/45/EE Zuzentaruak aldatu eta indargabetzen dituen eta 1907/2006 (EE) Arautegia aldatzen duena. CLPk Europar Batasuneko legerian txertatzen ditu Nazio Batuen Sistema Global Harmonizatuaren (SGA) irizpideak, substantzia eta nahasketa kimikoak sailkatzeko, etiketatzeko eta ontziratzeako, nazioarteko harmonizazioa lortzeko. IKS da mundu osoan adostasunez onartzen den eta hainbat eguneratzeren mende jartzen den gai honen araudia. PLE EBko herrialde guztietan aplikatu behar da, eta ez du transposizioerik behar.

Espainiako estatuan, REACH eta CLP arautegiez gain, honako legeria hau dago:

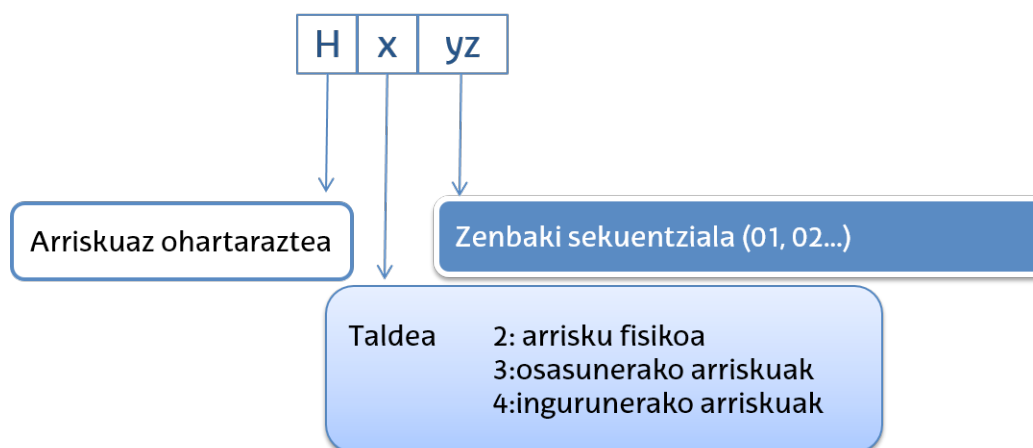
- (i) 1802/2008 Errege Dekretua, azaroaren 3koa, substantzia berriak jakinarazteari eta gai arriskutsuak sailkatzeari, ontziratzeari eta etiketatzeari buruzko Arautegia (martxoaren 10eko 363/1995 Errege Dekretuaren bidez onartua) aldatzen duena, REACH Arautegiari dagozkion xedapenak onartzeko.
- (ii) 8/2010 Legea, martxoaren 31koa, substantzia eta nahaste kimikoen erregistroari, ebaluazioari, baimenari eta murrizketari (REACH) eta substantzia eta nahasteen sailkapenari, etiketatzeari eta ontziratzeari (CLP) buruzko arautegietan aurreikusitako zehapen-araubidea ezartzen duena.
- (iii) 430/2022 Errege Dekretua, ekainaren 7koa, honako errege-dekretu hau aldatzen duena: 1802/2008 Errege Dekretua, azaroaren 3koa, substantzia berrien jakinarazpenari eta substantzia arriskutsuen sailkapenari, ontziratzeari eta etiketatzeari buruzko Arautegia (martxoaren 10eko 363/1995 Errege Dekretuaren bidez onartua) aldatzen duena, haren xedapenak Europako Parlamentuaren eta Kontseiluaren 1907/2006 (EE) Arautegira egokitzeko.

Europako eta Espainiako estatuaren araudiaren helburu nagusietako bat da substantzia edo nahasketa batek arriskutsu gisa sailkatu beharreko propietateak dituen zehaztea. Propietate horiek identifikatu eta substantzia edo nahasketa horren arabera sailkatu ondoren, antzemandako arriskuak etiketaren bidez jakinarazi beharko dira. Arriskutsutzat sailkatutako substantziak eta nahasteak sailkapenaren arabera ontziratatu eta etiketatatu behar dira, babes egokia bermatzeko eta hartzaileei funtsezko informazioa emateko, substantziaren edo nahasketaren arriskuak ulertaraziz. Gainera, Europako Esparru Ekonomikoan fabrikatutako edo inportatutako eta bertan merkaturatutako substantzien sailkapena eta etiketatzea Europako Substantzia eta Nahaste Kimikoen Agentziari (ECHA) jakinaraztera behartzen du, substantzia kimikoak erregistratu, ebaluatu, baimendu eta murrizteari buruzko 1907/2006 EE Arautegiaren arabera erregistratu behar direnean edo arriskutsu gisa sailkatuta daudenean. REACHek Segurtasun Datuen Fitxak arautzen ditu, substantzia

kimikoen erabiltzaileei pertsonen osasuna eta ingurumena babesten laguntzeko beharrezko informazioa helarazteko beste tresna bat baitira.

Beraz, estatuan produktu kimikoen arriskugarritasuna adierazteko 12ko 1802/2008 Errege Dekretua jarraitu behar da. Horren arabera, alde batetik produktuen etiketan produktuaren arriskua adierazten duen piktograma ageriko da (6. taula), eta, bestetik, **H esaldi edo arrisku-oharrak** eta **P esaldi edo zuhertasun-aholku** batzuk sartuko ditugu.

H arrisku-oharrak edo H esaldiak (*hazard* ingelesez, «arrisku» gisa), arrisku mota edo arrisku-kategoria bati esleituta, substantzia edo nahasketa arriskutsu baten arriskuen izaera deskribatzen duten esaldiak dira, hala dagokionean, arrisku-maila barne. H esaldiak arrisku fisikoen, giza osasunerako arriskuen eta ingurumenerako arriskuen arabera taldekatzen dira. Gainera, SGAtik datozen oharretan jaso ez diren zenbait arrisku mota estaltzeko argibide osagarri batzuk daude. Dagoen H-ren aurretik, EU siglak daramatzate, eta ingurumenarekiko efektuekin lotutako propietate fisikoen eta propietateen arabera multzokatuta daude. Atal honetan, substantzia eta nahasketa jakin batzuen etiketan agertu behar duten elementu osagarriak edo informazioa ere sartzen dira, bai eta produktu fitosanitarioak etiketatzeko arau berezi bat ere. Azkenik, arrisku-ohar batzuetarako, hiru zifrako kodeari letrak gehitzen zaizkio, eta kode gehigarri batzuk erabiltzen dira beste oharretan jaso ez diren oharrazpen batzuk zehazteko. 11. irudian adierazten da erabilitako nomenklatura.



11. irudia

H arrisku-oharren kodea

6. taula

Arrisku kimikoko sinboloen laburpena
(urdinez, arrisku fisikoak; gorritz, osasunerako arriskuak; eta berdez, ingurumenerako arriskuak)

Piktograma	Izena	Esanahia (Definizioa eta hartu beharreko neurriak)	Adibideak
	Leherkorrak	Definizioa: sugar baten eraginpean eztanda egin dezaketen substantziak eta prestakinak edo dinitrobenzenoa baino sentikorragoak direnak talka edo frikzioekiko. Kontuz ibili: saihestu kolpeak, astinduak, marruskadura, garra edo bero-iturriak.	Nitroglizerina Fluorra
	Erregaria	Definizioa: beste substantzia batzuei su emateko ahalmena duten substantziak, errekuntza erraztuz eta suaren borroka eragotziz. Kontuz ibili: material erregaiekin kontakturik ez izan.	Oxigenoa Potasio nitratoa Hidrogeno peroxidoa
	Sukoia	Definizioa: energiarik gabe temperatura normal batean airearekin kontaktuan berotu eta, azkenik, sutu daitezkeen substantziak eta prestakinak, edo erraz sutu daitezkeenak hantura-iturri baten eragin labur baten ondorioz, eta sutzen edo kontsumitzen jarraitzen dutenak sute-iturria kendu ondoren, edo sukoiak presio arruntean airearekin kontaktuan daudenean, edo, ura edo aire hezea ukituz gero, erraz sukoi daitezkeen gasak isurtzen dituztenak kantitate arrisksuetan. Kontuz ibili: ez ukitu suaren kontrako materialak (airea, ura).	Hidrogenoa Etel etilikoak Etanola Azetona
	Gasa	Saïlkapena: 200 kPa edo gehiagoko presioan dauden substantzia gaseoso konprimituak, likidoak edo disolbatuak ontzi batean, beroarekin lehertu daitezkeenak. Kontuz: ez bota inoiz sutara.	Presiopeko gas-botilak Etxeko intsektizidak Etxeko girogailuak
	Korrosiboak*	Definizioa: produktu kimiko horiek ehun biziak edota material bizigabeak suntsitzen dituzte. Kontuz ibili: ez arnastu eta ez ukitu azala, begiak eta arropak.	Azido klorhidrikoa Azido fluorhidrikoa Potasio hidroxidoa Azido sulfurikoa
	Larruazaleko narritadura	Saïlkapena: larruazalean sartzearen ondorioz osasuneari arrisku larriak, akutuak edo kronikoak eragin ditzaketen substantziak eta prestakinak. Kontuz: giza gorputzarekin kontaktu guztia saihestu behar da.	Amoniakoak Lejia
	Toxikotasun akutua	Definizioa: substantzia eta prestakinak, larruazalaren bidez arnastuz, irentsiz edo xurgatuz osasun-arazo larriak eragiten dituztenak, baita heriotza ere. Kontuz: giza gorputzarekin kontaktu guztia saihestu behar da.	Zianuroa Artseniko trioxidoa Metanola
	Arriskutsua xurgapen bidez	Definizioa: inhalazio, irenste edo larruazalean sartzeagatik osasunari arrisku larriak edo akutuak eragin diezazkieteketen substantziak eta prestakinak. Mutagenikoak, kartzinogenoak eta teratogenoak. Kontuz: giza gorputzarekin kontaktua izatea eta lurrunak arnastea saihestu behar da.	Metanola Karbono monoxidoa Kloroa
	Arriskutsua ingurumenerako	Definizioa: substantzia horrek ingurumenarekin duen kontaktuak kalte egin diezaiokie ekosistemari epe laburrean edo luzean. Manipulazioa: izan dezakeen arriskua dela eta, ez da hodietan, lurrean edo ingurumenean askatu behar.	Bentzenoa Potasio zianuroa Lindanoa

* Korrosiboak: arrisku fisikoak eta osasunerako arriskuak dira aldi berean.

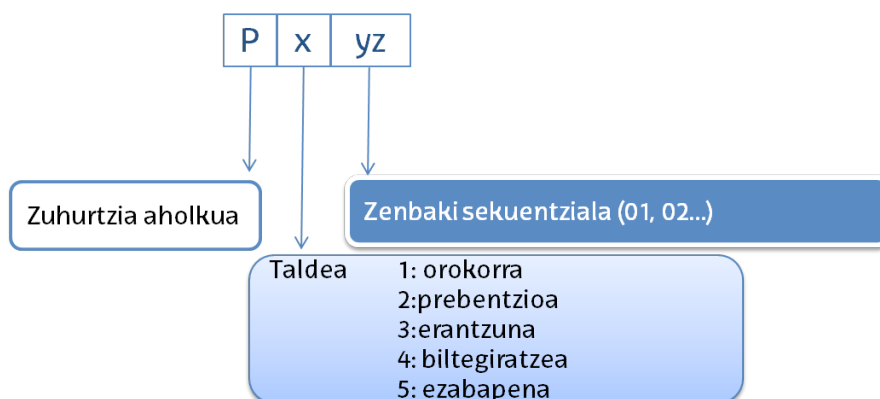
7. taulan H esaldiren bat laburbildu da adibide gisa, nahiz eta irakurleak, nahi izanez gero, dagokion bibliografian kontsulta ditzakeen askoz gehiago.

7. taula

H arrisku-oharren hainbat adibide

	H esaldia	Arrisku mota
Arrisku fisiko-kimikoa	H200	Lehergaiak, lehergai ezegonkorak. Lehergai ezegonkorra.
	H201	Lehergaiak, 1.1 dibisioa. Lehergaia, masan eztanda egiteko arriskua.
	H202	Lehergaiak, 1.2 dibisioa. Lehergaiak; proiektzio-arrisku larria.
	H203	Lehergaiak, 1.3 dibisioa. Lehergaia; sute-, hedapen- edo proiektzio-arriskua.
	H204	Lehergaiak, 1.4 dibisioa. Sute- edo proiektzio-arriskua.
	H281	Presiozko gasak: gas likidotu hoztua. Gas hoztua du; erredurak edo lesio kriogenikoak eragin ditzake.
Osasunerako arriskua	H300	Toxikotasun akutua (ahokoa), 1. eta 2. kategoriak. Hilgarria, irentsiz gero.
	H301	Toxikotasun akutua (ahokoa), 3. kategoria. Toxikoa, irentsiz gero.
	H302	Toxikotasun akutua (ahokoa), 4. kategoria. Kaltegarria, irentsiz gero.
	H340	Alterazio genetiko hereditarioak eragin ditzake.
Ingurumenerako arriskua	H400	Arriskutsua da uretako ingurumenerako. Arrisku akutua, 1. kategoria. Oso toxikoa uretako organismoentzat.
	H410	Arriskutsua da uretako ingurumenerako. Arrisku kronikoa, 1. kategoria. Oso toxikoa uretako organismoentzat, ondorio kaltegarri iraunkorrekin.
	H411	Uretako ingurumenerako arriskutsua. 2. kategoriako arrisku kronikoa. Toxikoa uretako organismoentzat; ondorio kaltegarri iraunkorrekin.

P zuhurtasun-aholkua (Prudence) edo P esaldiak dira substantzia edo nahasketa arriskutsu baten eraginpean egoteak eragindako ondorio kaltegarriak minimizatzeke edo saihesteko gomendatutako neurriak deskribatzen dituzten esaldiak. P esaldiak, oro har, prebentziokoak, erantzunekoak, biltegitratzeokoak eta ezabatzeokoak dira. 12. irudian ikus dezakegu erabilitako kodea edo nomenklatura.



12. irudia

P zuhurtasun-aholkuen kodea

8. taulan P esaldiren bat laburbildu da adibide gisa, nahiz eta, nahi izanez gero, dagokion bibliografian kontsulta daitezkeen askoz gehiago dauden.

8. taula

P-zuhurtasun aholkuen hainbat adibide

	P esaldia	Aholkua
Zuhurtasun-aholku orokorrak	P101	Medikuaren aholkua behar izanez gero, eskura eduki ontzia edo etiketa.
	P102	Haurren irismenetik kanpo mantentzea.
	P103	Etiketa irakurri, erabili aurretik.
Zuhurtasun-aholkuak: prebentzioa	P201	Erabili aurretik, jarraibide bereziak eskatzea.
	P202	Ez manipulatu substantzia, segurtasun-jarraibide guztiak irakurri eta ulertu aurretik.
	P210	Berotik, gainazal beroetatik, txinpartetatik, sugar irekietatik eta beste edozein su-iturritatik urrun egon. Ez erretzea.
Zuhurtasun aholkuak: erantzuna	P301	Irensten bada:
	P302	Larruazala ukituz gero:
	P304	Arnastuz gero:
Zuhurtasun aholkuak: biltegitratzea	P402	Leku lehor batean biltegitratzea.
	P403	Ondo aireztatutako leku batean biltegitratzea.
	P404	Ontzi itxi batean biltegitratzea.
Zuhurtasun aholkuak: ezabatzea	P501	Edukiontzia/edukia ezabatzea.
	P502	Fabrikatzaileari edo hornitzaileari informazioa eskatzea berreskuratzeari edo birziklatzeari buruz.

3.3.1.1. Produktu kimikoen arriskuen iragarpena

Substantzia kimikoak ezagutzea —prozesu batean esku hartu edo, besterik gabe, garraiatu edo biltegitratu— funtsezkoa da behar diren prebentzio-neurriak hartzeko. Gai sukoiaren, korrosioaren edo toxikoen arriskugarritasuna zehazten duten parametroak urtekarietan jasotzen dira. Aldiz, substantzia batek bere erreaktibotasunagatik duen arriskugarritasunaren estimazioa konplexuagoa da, eta arriskugarritasunaren iragarpena hastapenetan dago maila zientifikoan eta teknologikoan; izan ere, hainbat faktoreen menpe dagoela onartzen da:

- **Talde funtzionalak.** Talde asko ezegonkorak dira, hala nola peroxidoak, epoxidoak, hidroperoxidoak, perazidoak, etab. Talde bakoitzaren erreaktibotasunak berehalako erreakzioei buruzko ideia eman dezake. Hala ere, horiek kontrolatzea ez da erraza izaten, batez ere hainbat faktore fisko-kimikok eragina dutelako horretan ere, hala nola lotura kimikoak, aktibazio-energia, erreakzioen mekanismoak, erreakzioen kontzentrazioa, askatutako energia.

— **Oxigeno-balantzea.** Substantzia batzuek errekuntza partzialak edo erabatekoak jasan ditzakete, ainerik gabe, oxigeno asko badute. Fenomeno hau iragartzeko, molekularen oxigeno-balantzea egin behar dugu.

$C_xH_yO_zN_pX_q$ molekula generiko baterako, oxigeno-balantzea honela egiten da:

$$B_0 = z - 2x - 0.5(y - q) \quad (1)$$

$B_0 < 0$ bada, errekuntza osatugabea gerta daiteke. Aldiz, $B_0 \geq 0$ bada, errekuntza osoa izan daiteke edo leherketa/deflagrazioa gerta daiteke airea eman beharrik gabe. Honen adibide dira etilenglikol dinitratoa, zeinak $B_0 = 0$ baitu, eta trinitroglizerina, zeinaren $B_0 = 0,5$ baita. Oxigeno-balantzearen kalkuluak konposatu batek errekuntzan izango duen portaera ezagutzeko balio du. Azpimarratu behar da oxigeno-balantzea 0ren berdina edo handiagoa duen substantzia batek su hartzen duenean, ezin izango dela CO_2 -arekin itzali, baizik eta urarekin edo hozten duen beste agente itzaltzaile batekin bakarrik.

— **Arrisku-mailaren kalkulu termodinamikoa.** Substantzia baten egonkortasuna Gibbsen formazio-energia askearen (ΔG_f) menpekoa da; izan ere, $\Delta \Delta G_f$ -ren balio oso negatiboak produktu oso egonkorra (edo formazio erreakzio oso exotermikoa) esan nahi du. Balioaren azterketak produktu baten informazio asko eman dezake. 9. taulan hainbat produktu kimikoren Gibbsen formazio-energia askearen eta arrisku-mailaren arteko erlazioa ikus daiteke.

Gibbsen formazio-energia askea (ΔG_f) formazio-entropia (ΔS_f) eta formazio-entalpia (ΔH_f) ezagutuz kalkula daiteke honako era honetan:

$$\Delta \Delta G_f = \Delta \Delta H_f - T (\Delta \Delta S_f) \quad (2)$$

9. taula

Hainbat produktu kimikoren Gibbsen formazio-energia eta arrisku-maila

Formula	$\Delta \Delta G_f$ (Kcal/mol)	Arrisku-maila
MgH	+34	Berezko sutzea
MgO	-136	Oxido oso egonkorra
AgN ₃	+90	Konposatu oso leherkorra
Ag ₂ SO ₄	-14	Konposatu oso egonkorra
NH ₂ -NH ₂	+31	Konposatu oso erreduktorea
CH ₄	-12	Hidrokarburo egonkorra
HCO ₂ H	-80	Oxidazio partzialeko produktua (egonkorra)
CO ₂	-94	Oxidazio osoko produktua (egonkorra)

Kontuan izan beharreko beste parametro termodinamiko batzuk ere badaude, hala nola:

- ΔH_d deskonposizio-entalpia (10. taula). Substantzia ezegonkorrek erraz deskonposatzen dira beste substantzia egonkorrago batzuetan. Hori dela eta, deskonposizio-entalpia kalkulatu dugu, zeren eta korrelazio estua aurkitu baita deskonposizio-entalpiaren eta 120 produkturen propietateen artean; erdiak talkarekiko sentikorrek dira, eta beste erdiak ez. Emaitza horri esker, hiru arrisku-eremu zehaztu ahal izan dira:

10. taula

Deskonposizio-entalpiaren eta arrisku-mailaren arteko erlazioa

Deskonposizio-entalpia	Arrisku-maila
$\Delta H_d < -0.3 \text{ kcal/g}$	Baxua
$-0.3 \text{ kcal/g} < \Delta H_d < -0.7 \text{ kcal/g}$	Ertaina
$\Delta H_d > -0.7 \text{ kcal/g}$	Altua

- $\Delta \Delta H_c$ Errekuntza-entalpia: bere egituran oxidazio normaleko produktu bihurtzeko adina oxigeno duen substantzia batek ez daukanak baino energia gehiago askatzeko aukera duenez, beharrezkoa da oxigeno gehiegi duen errekuntza-entalpiaren eta deskonposizio-entalpiaren arteko aldea zehaztea; entalpia horiek zenbakizko balioan hurbiltzen direnean (hau da, aldea zerora hurbiltzen denean), arriskua handiagoa da.

Hala ere, jakin badakigu hainbat konposatuk erreakzio arriskutsuak ematen dituztela, hala nola:

- Urarekin bortizki erreakzionatzen duten konposatuak: azido anhidro indartsuak, alkil-metalak, anhidridoak, karburoak, fluorra, halogenuroak, hidruroak, metal alkalinoak, etab.
- Aire edo oxigenoarekin bortizki erreakzionatzen duten konposatuak (sutze espontaneoak): akilmetalak, artsinak, boranoak, hidruroak, metal karboniloak, fosforo zuria, etab.
- Substantzia bateraezinak: oxidatzaileak nitrato, halogenatu, oxido, peroxido eta fluorrarekin; erreduktoreak materia sukoi, karburo, nitruro eta hidruroekin; azido indartsuak base indartsuekin; azido sulfurikoa azukre, zelulosa, azido perklorikoarekin.
- Azidoen erreakzio arriskutsuak: azido sulfurikoa formikoarekin (CO askatzen da), etanolarekin (etanoa), bromuro sodikoarekin (bromoa eta SO_2); azido nitrikoa metalekin (NO_2); azido klorhidrikoa sulfuroekin (H_2S), hipokloritoekin (Cl_2), zianuroekin (HCN).
- Peroxidoen formazioa: substantzia batzuk erreakzionatzean, peroxidoak sortu ditzakete, eta horiek bortizki lehertu daitezke; adibidez: eterrak, konposatu isopropilikoak, konposatu alilikoak, haloalkenoak, konposatu binilikoak, etab.
- Deskonposizio-produktuak: substantzia batzuen biltegitratze luzeak beren deskonposizioa dakar, eta batzuetan, talka, berotze edo mugitzeagatik leherketa bat sortu daiteke; adibidez: amiduro alkalinoa, diazonio gatzak.
- Polimerizazio-produktuak: monomero batzuk azkar polimeriza daitezke leherketa edo ontzien haustura sortuz (binil azetatoa, akroleina, akrilonitriloa estirenoa, etab.); polimerizazioa gerta daiteke berotzeagatik, argitan edukitzeagatik, talkak, ezpurutasunengatik, eta abarregatik.

3.3.2. Produktu biologikoak arrisku-faktore gisa

Beharrezkoa da langileen osasuna eta segurtasuna babestea lanean agente edo kutsatzaile biologikoekiko esposizioaren ondoriozko arriskuetatik, bai eta arrisku horien prebentzioa ere.

Agente biologikoekiko esposiziotzat hartzen da agente horiek lan-ingurunean egotea, eta horrek esan nahi du agente horiek langilearekin harremanetan jarri behar direla organismoan sartzeko edozein bidetatik. Alde horretatik, bi egoera bereiz daitezke: (i) Agente biologiko bat erabiltzeko edo manipulatzeko intentzioa duen lan-jarduera baten ondoriozko esposizioa, eta hori da lanaren helburu nagusia; hau da, agente biologikoak lantzea, manipulatzeko edo kontzentratzea, maila industrialetan edo esperimentaletan, eta ikerketarako, merkataritzarako edo helburu terapeutikoetarako (adibidez, diagnostiko mikrobiologikoko laborategiak, ikerketa-erakunde eta -laborategiak, edo industria bioteknologikoak). (ii) Gerta daiteke, halaber, agente biologiko bat erabiltzeko edo manipulatzeko berariazko asmorik ez duen baina esposizioa eragin dezakeen lan-jarduera baten ondorio izatea esposizio hori. Kasu horietan, agente biologikoekiko esposizio potentziala da, lanaren helburu nagusiarekiko esposizioa intzidentala baita. Agente biologikoak ez dira produkzio-prozesuaren parte, baina prozesu horri lotuta egon daitezke jardueraren izaeragatik (osasuna, animaliekin kontaktua izatea, etab.) edo jardueraren garatzen den baldintzengatik (tenperatura, hezetasuna, mantenu gaien eskuragarritasuna, etab.), ugaltzea errazten baitute.

Agente biologikotzat hartzen dira mikroorganismoak, genetikoki eraldatutakoak, zelula-hazkuntzak eta giza endoparasoak barne, edozein infekzio, alergia edo toxikotasun sortu dezaketenak. Kutsatzaile biologikotzat hartzen dira, halaber, mikroorganismoetatik eratorritako toxinak edo hondakinak, edozein infekzio, alergia edo toxikotasun sortu dezaketenak. Mikroorganismoa da ugaltzeko edo material genetikoa transferitzeko gai den entitate mikrobiologiko oro, eta zelula-hazkuntza da organismo multizelularretatik lortutako zelulen «in vitro» hazkunderaren emaitza.

Agente biologikoak, arauz besteko ikuspegi batetik, honako talde hauetan sailka daitezke:

Birusak. Birusa mikroorganismo infekziosoa da, azido nukleikoaren segmentu batez (DNA edo RNA) osatua, estalki proteiko batez inguratua. Birus bat ezin da bakarrik erreplikatu; aitzitik, zelulak infektatu behar ditu (zelula ostalaria), eta zelula ostalariaren osagaiak erabili kopiak egingeko. Askotan, birus batek zelula ostalaria hiltzen du prozesuan, eta horrek kaltea eragiten dio organismo ostalariari. Gizakiengan gaixotasunak eragiten dituzten birusen adibide aski ezagunak dira HIESa, COVID-19, elgorria eta baztanga.

Bakterioak. Bakterioak organismo prokarioto zelulabakarrak dira; hau da, ez dute zelula anfitroik behar bizitzeko. Bakterioak Lurraren ia alde guztietan daude, eta ezinbestekoak dira planetako ekosistementzat. Espezie batzuk benetan muturreko tenperatura- eta presio-baldintzetan bizi daitezke. Giza gorputza bakterioz beteta dago; izan ere, giza zelulak baino bakterio gehiago dituela uste da. Organismoan dauden bakterio gehienek ez dute inolako kalterik eragiten; aitzitik, bakterio batzuk onuragarriak dira, baina badira bakterio kaltegarriak ere, *patogeniko* deritzenak, eta horiek gaixotasunak eragiten dituzte. Azpimarratzekoa da bakterioak oso garrantzitsuak direla industria bioteknologikorako.

Protozoak. Protozoak organismo mikroskopikoak dira, zelulabakar protistak; heterotrofoak, fagotrofoak, harrapariak edo detritiboroak, batzuetan mistotrofoak (partzialki autotrofoak); ingurune hezeetan edo zuzenean ingurune urtarretan bizi direnak (ur gaziak edo ur gezak), beste izaki bizidun batzuen parasito gisa. Ostalari bat baino gehiago behar dute garatzeko, eta, normalean, batetik besterako trantsizioa intsektuen bidez egiten dute.

Onddoak fungi erresumako izaki bizidunak dira: lizunak, legamiak eta perretxikoak. Izaki bizidunen multzo hau landare-egitura duten bizi-forma konplexuak dira, landareen eta animalien ar-

teko bitarteko erresumatzat har daitezkeenak, eta duela milioi bat urte baino gehiago banandu ziren horietatik; izan ere, landareek bezalako bizitza mugiezin eta sentigaitzak daramatzate, baina animaliek bezalako elikadura heterotrofoa dute, hau da, bizirauteko materia organikoa kontsumitzen dute. Onddoak ia habitat guztietan daude, baina ohikoagoak dira lurzoruan, eta animaliangan edo pertsonengan ere ager daitezke.

Helmintoak. Beste espezie batzuen organismoa kutsatzen duten gorputz luzeko edo biguneko animalia-espezieei erreferentzia egiteko erabiltzen den zizarearen sinonimoa da. Helmintoak organismo multizelular handiak dira, normalean begi hutsez ikusten direnak helduak direnean. Protozooak bezala, helmintoak bizitza librekoak edo parasito-bizitzakoak izan daitezke.

Era berean, agente biologikoekiko esposizioak hainbat ondorio kaltegarri eragin ditzake osasunean, hala nola:

- **Infekzioa.** Agente biologiko baten kolonizazio- eta ugalketa-prozesua organismo bizi baten (dela ehuna, dela gorputzeko likidoa, dela azalaren edo mukosen gainazalean), eta gaixotasun bat eragin dezake. Infekzioa endoparasioek eragiten dutenean, *infestazio* esaten zaio.
- **Alergia.** Sistema immunitarioaren erreakzioa, alergenoko edo sentsibilizatzaile izeneko substantzia batzuek eragindakoa; laneko esposizioaren kasuan, batez ere arnas sistematikoz alterazioekin agertzen da, hala nola errinitisarekin, asmarekin edo albeolitis alergikoarekin.
- **Toxikotasuna.** Zenbait mikroorganismorekin edo, zehatzago, agente biologiko batzuek sortutako toxina baten edo batzuen presentziarekin lotutako efektua. Badira (i) exotoxinak, molekula bioaktiboak, oro har proteinak, bakterioek sortuak eta askatuak, gehienak Gram positiboak, hazten ari diren bitartean edo bakterioen krisiaren garaian; oro har, gaixotasun infekziosoekin lotuta daude; (ii) endotoxinak, Gram bakterio negatiboen zelula-hormaren osagaiak dira, zelulak zatitzean edo bakterioak hil ondoren girora pasatu daitezkeenak; eta (iii) mikotoxinak, onddo batzuek (adibidez, *Aspergillus*, *Penicillium* eta *Fusarium*) hezetasun- eta tenperatura-baldintza jakin batzuetan sortutako bigarren mailako metabolitoak dira.

Substantzia kimikoen arriskueta ez bezala, produktu biologikoen laneko ondorioen kasuan ez dugu ezagutza osoa (handitzen ari den arren), arriskuaren izaera, biziraupen-maila eta pertsonengan duen eragina faktore askoren mende baitaude.

Arrisku biologikoak izaki bizidunek sortzen dituzte (edo sortzen diren substantzien mende daude): horiek ugaltze egin daitezke, espezie bakoitzaren barruan ondorio desberdinak dituzten anduiak egon daitezke, giro-tenperaturak eta hezetasunak bizirauteko gaitasuna alda dezakete, etab.

Hala ere, lan-arriskuaren ikuspegitik, zenbait sailkapen egiten dira, sortzen dituzten ondorio orokorretan oinarrituta:

Arrisku biologikoak, (i) agente infekziosoetan eta (ii) ez-infekziosoetan banatzen dira, eta azken horiek bizi-organismoetan, toxina biogenikoetan eta alergenoko biogenikoetan.

- (i) Agente infekziosoek sortutako gaixotasun profesionalak ez dira oso ohikoak. Arrisku handiena duten langileak ospitaleetakoak, berauekin lan egiten duten laborategietakoak,

hiltegi-takoak, albaitariak eta abar dira. Adibideak: hepatitis B, tuberkulosia, tetanosa, salmonella...

- (ii) Agente ez-infekziosoei dagokienez, *bizi-organismoak* dira onddoak, esporak eta bakterioak, eta *toxina biogenikoak* dira endotoxinak, aflatoxinak eta mikotoxinak. Bakterioen eta onddoen metabolismoaren produktuak konplexuak eta ugariak dira, eta tenperaturaren, hezetasunaren eta substratuaren arabera dira. Arrisku handiena duten langileak kotoi- eta liho-lantegi-takoak, zereal-siloetakoak eta ur-araztegi-tako langileak dira. Sortu ditzaketen gaixotasunen artean daude bisinosia, polinosia eta legionarioaren gaitza. *Alergeno biogenikoak*, onddoak, animalietatik eratorritako proteinak, terpenoak, akaroak eta entzimak izan daitezke. Ingurune industrialetan hartxidura-prozesuetan, medikamentuen produkzioan, okindegi-tan, paper-industrian, egurraren prozesaketan, entzimen produkzioan, txertoen produkzioan eta abarretan ager daitezke. Sortu daitezkeen gaixotasunen artean daude errinitis alergikoa, albeolitis alergikoa, konjuntibitisa edo asma.

Bere konplexutasuna dela eta, laneko prebentzioaren eremuan, agente biologikoen sailkapenik ohikoena eta erabilgarriena lau taldetan egiten da, pertsona osasuntsuei eragiten dieten infekzio-arriskuari soilik erreparatuta; eta ez ditu kontuan hartzen alergia- eta toxia-arriskuak, agente biologikoen definizioan ere kontuan hartzen direnak. Talde bakoitzean, agente biologikoen berezko propietateek zehazten dute inklusioa: espezie mikrobianoaren patogenizitateak (birulentzia eta dosi infektatzailea) gizakiengan, langileentzako arriskuak, hedatzeko erraztasunak, eta profilaxia edo tratamendu eraginkorra izateak edo eskura izateak. 11. taulan agertzen dira agente biologikoen ezaugarriak, arrisku-talde jakin baten barruan sailkatzeko.

11. taula

Arrisku biologikoen sailkapena

Arrisku-taldea	Arrisku infekziosoa	Hedatzeko arriskua	Profilaxia edo tratamendua
1	Gaixotasuna sortzeko probabilitate baxua	Ez	Ez da beharrezkoa
2	Gaixotasun bat eragin dezakete, eta langileentzat arriskutsua izan daiteke	Probabilitate baxua	Eskuragarri, oro har
3	Gaixotasun larri bat eragin dezakete, eta arrisku larria izan daitezke langileentzat	Probabilitate ertaina	Eskuragarri, oro har
4	Gaixotasun larri bat eragin dezakete, eta arrisku larria izan daitezke langileentzat	Probabilitate altua	Gaur egun ez da ezagutzen

12. taulan, industria bioteknologikoan ditugun hainbat produktu biologiko agertzen dira, dagokien arrisku-taldean kokatuta.

12. taula

Industria bioteknologikoan ohikoak diren produktu biologikoak

Mikroorganismoa	Aplikazioa	Arrisku-taldea
<i>Saccharomyces</i>	Edari alkoholodunak (ardoa, garagardoa), biomasa (legamia, ogia)	1
<i>Lactobacillus eta bakterio laktikoak</i>	Azido laktikoa, gazta, esnea, hestebeteak, etab.	1
<i>Acetobacter</i>	Azido azetikoa	1
<i>Aspergillus</i>	Azido zitrikoak, amilasa entzima, biosentsoreak (glukosa analisia)	2
<i>Corynebacterium</i>	Aminoazidoak (L-glutamikoa, L-lisina)	2
<i>Pseudomonas</i>	B12 bitamina, hidrokarburoen biodegradazioa	3
<i>Alcaligenes</i>	Bioplastikoak	1
<i>Streptomyces</i>	Tetrazilika, esteroideen transformazioa	1
<i>Penicillium</i>	Antibiotikoak	2
<i>Bacillus</i>	Antibiotikoak, biointsektizidak, entzimak (proteasak)	2, 3
<i>Salmonella</i>	Test mutagenoak (Ames testa)	2
<i>Escherichia</i>	Hormonak	2, 3
<i>Thiobacillus</i>	Biolixibiazioa	1
<i>Bakterio aerobioak</i>	Hondakin-uren arazketa	1, 3
<i>Bakterio anaerobioak</i>	Biodigestio anaerobioa (metanoa)	1, 2

3.3.3. Prozesu-unitateen arriskuak

Industria kimikoan eta bioteknologikoan hainbat prozesu-unitate daude, hala nola biltegiak, erreaktoreak, destilazio-zutabeak, bero-trukagailuak eta ponpak. Ekipo horiek beren buruei lotutako hainbat arrisku dituzte.

Biltegietan, substantzien sukoitasuna da arrisku nagusia. Biltegietan, suteen aurkako sistemak behar dira (lurrerako harguneak), eta sutearen hedapenaren ondoko eremuak babestu behar dira.

Substantzien isuriak garrantzitsuak izan daitezke beren arrisku-mailaren arabera ere (batez ere, lurzoruaren kutsaduragatik).

Biltegiek arintze-sistemak izaten dituzte, presioa gehiegi igotzen bada korrontearen zati bat kanpora bidaltzeko. Korronte hori ezin daiteke zuzenean atmosferara bidali; beraz, adsortzio, erre-kuntza, eta antzeko prozesuetara bidali behar da atmosferara bota baino lehen.

Erreaktoretan, presioaren eta tenperaturaren gehiegizko igoera da arrisku nagusia. Presioa gehiegi igo daiteke prozesua gaizki kontrolatzeagatik, funtzionamendu-akats batengatik edo kontrolatu gabeko erreakzio batengatik. Hori dela eta, presioa murrizteko sistemak (arintze-sistemak) behar dira, ontziaren apurketa ekiditeko presioa igotzekotan. Arintze-sistemak ondo diseinaturik egon behar dira, babesa baldintza guztietan bermatzeko, mantentzean barne. Hori bi modutara

egin daiteke: (i) apurtze-diskoen bidez, eta (ii) gainpresioa arintzeko balbulen bidez. Arintze-balbula bat atmosferara husteko diseinatzen bada, huste-puntua alboko beste egitura guztien gainetik egon behar da, eta sakabanaketa-analisi bat egin behar da langileen eta inguruko biztanleen babes egokia bermatzeko. Apurtze-disko bat instalatzen bada, deskarga itxiko segurtasun-balbula batekin batera instalatu behar da, eta azken deskarga beti modu berean egin behar da, lehenago arintze-balbuletarako azaldu den bezala.

Bestalde, temperatura gehiegi igotzea ere bada erreazio exotermikoetan gerta daitezkeen arriskua. Hori prozesuaren hozketa txarra izateagatik, kontrol-sistemen akatsagatik, irabiatzea gelditzeagatik eta abarregatik gerta daiteke.

Gainera, akats elektriko bat edo tentsio eroriko bat gertatzen denerako, larrialdiko hozketa-sistemak behar dira. Martxan jartzeko energia elektrikorik behar ez duten larrialdiko hozte-sistema mekanikoak diseinatu ohi dira; adibidez, eskuzko irekierako hondoko balbulak, erreazio-nahasketa ur-biltegi handi batera deskargatzen dutenak.

Destilazio-zutabeen arrisku nagusia funtzionamendu-akatsak, suteak edo zerbitzuen (hozketa-ura, lurruna...) akatsak sortu ditzaketen presio-igoerak dira. Hori ekiditeko, presioa murrizteko arintze-balbulak erabiltzen dira, atmosferara edo sistema itxi batera hustuz, lehen esan bezala. Balbula hori zutabearen goiko aldean egon ohi da.

Destilazio-zutabeko gainpresioa husten denean, deskarga-emaria oso handia izan daiteke, eta purga-korrontera bidaltzea arriskutsua izan daiteke. Hori dela eta, batzuetan baliteke berau tratatzeko adsortzio-prozesuak edo bestelakoak erabiltzea ezinezkoa izatea, eta, kasu horietan, gainpresio-korrontea errekontzara bidaltzen da zuzenean. Lehen azaldu bezala, arintze-balbula bat atmosferara husteko diseinatzen bada, sakabanaketa-analisi bat egin behar da langileen eta inguruko biztanleen babes egokia bermatzeko.

Bero-trukagailuentzat eta baita ponpentzat ere, arrisku nagusia erabiltzen dituzten substantzia arriskutsuen isuriak dira, tutuerien eta karkasen zigilatzearen akatsen ondorioz. Kontuan izan behar da, gainera, euren mantentze eta konponketa drainatuetan isuriak gerta daitezkeela.

Galdarak presio-aparatu gisa defini ditzakegu, non energia-iturri batek ematen duen beroa energia erabilgarri bihurtzen baita fase likidoko edo lurruneko garraio-bide baten bidez. Galdarek duten arriskurik handiena leherketak dira. Fisikoak edo kimikoak izan daitezke. Galdaretan gelditzeko aginduak lehentasuna izango du, martxan jartzeko aginduaren aldean. Energia-hornidura eten egingo da ekipoa gelditu ondoren. Gainera, hesiak, pantailatzeak eta hartzeko eta erauzteko sistemak jarriko dira. Ekipoek detekzio-, alarma- eta itzaltze-sistemak izango dituzte.

Arreta berezia jarriko da ekipu guztien prebentziozko mantentzean, horiei lotutako arriskuak murrizteko. Aldian-aldean segurtasun-gailuen egoera kontrolatuko da: presioaren, tenperaturaren eta mailaren adierazleak, erregulagailuak, segurtasun-balbulak, etab. Aldez aurretik ekortzeko gailuak ere ikuskatuko dira. Fluidoa ixteko gailuak, sugarrak ez dutenak... ikuskatuko dira. Proba hidraulikoak egingo dira (eremua mugatuz). Segurtasun-ekipoen eta -gailuen korrosioa kontrolatuko da, eta behatxuloetatik eta ateetatik gertu gai erregairik eta su-iturririk ez dagoela kontrolatuko da.

Ikusi den bezala, prozesu-unitate guztiek berezko arriskua izango duten arren, unitate horien arriskuak minimizatu behar dira prozesu-unitateen kokapen on batekin (*layout*). Hona hemen prozesu-unitateen kokapenari buruzko oinarritzko ideia batzuk:

- Oro har, gainerako prozesu-unitateetatik bereizitako biltegiak kokatzeko ahalegina egingo da. Hori oso garrantzitsua da produktu sukoiak dituzten edo sute-arriskua duten biltegiatarako. Kasu horretan, beste ekipoetatik bereizi egin behar dira; batez ere, sua komunikatu dezaketenetatik.
- Likidoen biltegitratze-unitate guztiek atxikipen-kubetak izan behar dituzte, beste unitate batzuetara isurketak sakabanatzea saihesteko eta produktuak errazago biltzeko.
- Sute- eta/edo leherketa-arriskua duten ekipoak hormen edo lurrezko dikeen bidez bereizi behar dira, pusken (jaurtigaien) proiektzio bidezko hausturak saihesteko.
- Ekipoen arteko distantziak kalkulatzeko, metodo hauek hartu behar dira kontuan: sua geratuz gero, erradiazio-efektua, beroaren eroanbidea/konbekzioa, egitura eroriz gero luzetarako irismena, etab.

Industria-instalazio batean (kimikoa zein bioteknologikoa), arriskuak hiru faktorek eragin ditzakete:

- (i) **Osagaien akatsak.** Industria-instalazioetan hainbat osagai daude, eta horietako guztiek huts egin dezakete edota hautsi. Ekipo nagusiek (errektoreek, zutabeek, biltegiek...) huts egiten dutenean, horien diseinu ezegokiagatik izan ohi da; alegia, diseinu txarra egin bada barne-presioa, korrosioa, tenperatura eta abar jasateko. Tutuerien konexioak akastunak izan daitezke; hala nola, korrosioa, pitzadurak, buxadurak jasan ditzakete. Gerta litezke ponpa, konpresore eta haizagailuen akats mekanikoak ere. Baliteke kontrol-gailuak huts egitea ere (presio- eta tenperatura-neurgailuak, likido-mailen neurgailuak, emari-neurgailuak, kontrol-unitateak...). Segurtasun-sistema espezifikotik ere akatsak egon daitezke (segurtasun-balbulak, haustura-diskoak, arintze-sistemak, neutralizazio-sistemak, alarmak, etab.), eta juntura eta konexioetan ere arazoak gerta daitezke.
 - (ii) **Akatsak kontrol-sistemetan.** Prebentziozko mantentze-lanez gain, prozesu-unitateetan arriskuak murrizteko modurik eraginkorrenetakoa da prozesuak automatizatzea. Horretarako, hainbat kontrol-sistema erabiltzen dira: substantzien detektagailuak, emariaren, tenperaturaren eta presioaren neurgailuak eta kontrolagailuak, gehiegizko presioa arintzeko sistemak, etab. Kontrol-sistema horiek ere nahiko akats arruntak dituzte. Kontrol-sistemetak akats horiek prozesuak diseinu-baldintzetatik aldentzea eragiten dute, hau da, eragiketa normaleko baldintzetatik aldentzea. Ondorioz, prozesu-arriskuak sortzen dira. Operazio-baldintza nominalak desbideratuz gero, prozesuaren parametro nagusien (presioa, tenperatura, emaria, kontzentrazioak...) desbideratze kontrolaezinak jasateko arriskua dago. Gainera, diseinu-mailak gaindi ditzaketen presio-baldintzak lor daitezke, haustura mekaniko katastrofikoaren arriskua eraginez. Litekeena da, halaber, erreakzio-abiadura igotzen duten tenperatura altuko baldintzak lortzea, eta, erreakzio exotermikoen kasuan, beroa sortzeko mekanismo esponentzian sartzea. Bigarren mailako erreakzioak ere sortu daitezke, ezpurutasun-kontzentrazio handiagoa eragiten dutenak, produktu edo isomero desberdinak, etab. Nahi ez diren produktu horien arriskugarritasunak fabrikatzen den produktuak baino arrisku handiagoak ekar ditzake.
- Kontrol-sistemen kasuan, akats gehienak balbulek sortzen dituzte. Hutsegite modu ohikoak hauek dira: (I) hermetikotasun falta junturen materialak ahultzearen edo korrosioaren eraginez; beraz, bertatik pasatzen diren produktu arriskutsuen isuriak gerta litezke; (ii) operazio-akatsak: balbulen blokeoa, korrosio-arrailak, ixteko akatsak, akats elektrikoak, aire konprimatuaren ekarpen-mozketa, etab.; (iii) kontrolatzailearen eskaeren aurreko erantzun-akatsa, akats elektriko edo elektronikoen ondorioz; (iv) haustura, korro-

sioa, bibrazioak edo kolpeen eraginez, bertatik pasatzen den produktu arriskutsuen isuriak; eta (v) emariaren alderantzizkatzea atzeraezinezko balbuletan; kasu horietan emaria alderantziz mugitzen da, substantzia arriskutsuak biltegiatara eta abarretara helduz.

- (iii) **Giza akatsak eta antolakuntzakoak.** Operadoreen akatsik ohikoenak eskuzko eragiketaren akatsak dira; horregatik, beti saihestu egin behar da eskuzko eragiketa. Gerta daiteke segurtasun-sistemak deskonektatzea alarma faltsuen ondorioz. Beste akats arrunt bat substantzia arriskutsuen nahastea da. Gainera, komunikazio-arazoak egon daitezke, ekipoen mantentze-edo konponketa-lanetan akatsak gerta daitezke, eta alde zuzenetik idatzizko baimenik izan gabe egin daitezke lanak, hau da, baimendu gabeko lanak (soldadura, itxitura itxietan sartzea). Normalean, giza akatsak gertatzen dira arriskuak eta horien prebentzioa behar bestekoak ez direlako; prestakuntza eskasa eta lanerako trebezia; eta gehiegizko karga psikikoa.

Prozesu-instalazio baten segurtasuna diseinu fasean hasi behar da, dagozkion osagaiak hautatuta eta arauen eta kalitate-kontrol zorrotzen pean muntatuta.

Deskribatutako akatsak beti aurreikus daitezke. Martxan dagoen unitate baten proiektu- edo berrikuspen-mailako segurtasun-azterlan orok haren existentzia hartu behar du kontuan. Sistemen fidagarritasunari dagokionez, zehaztu egin behar da horiek gertatzeko probabilitatea.

Instalazio baten osagai orok, segurtasun-elementuek bezala (batez ere funtzionalki aktiboak badira), prebentziozko aginte-programa baten mende egon behar dute, egoera onean daudela bermatzeko. Gainera, mantentze horrek bermatu behar du berriro egingo dela fabrikatzaileak ezarritako batez besteko bizitza agortu baino lehen. Bestalde, giza erroreak arretaz aztertu behar dira, kontrolatzeko probabilitatearen arabera, istripu larriak gerta daitezkeela kontuan hartuta.

Prozesu-instalazioek, automatizazio-maila handia izan arren, gizakiaren esku-hartzea ere behar dute. Eragiketa arruntetan (gehigarriak kargatzea, ontziratzea, prozesuak kontrolatzea eta zaintzea, eta abar) eta lan-baldintzetako aldatzeen ondorioz, jarduera zuzenak eta azkarrak behar dituzte kritikotasuna murrizteko. Horregatik, horrelako instalazioetan akatsak minimizatzeko portaera egokia ziurtatzeko, langile egokiak hautatu behar dira, eta lan-prozedurak ondo ezagutu eta trebatu behar dira, bai egoera normalean, bai ohiz kanpoko edo ustekabeko egoeretan.

3.4. ARRISKUEN IDENTIFIKAZIORAKO TEKNIKAK

Arriskuak identifikatzea da arriskuak aztertzeke etapa garrantzitsua; izan ere, zerbait identifikatzen ez bada, ezin da ez ikertu, ez konpondu. Arriskuak instalazioaren bizitza osoan identifikatu behar dira, baina, esan bezala, diseinu fasean hasi behar da berezko segurtasuna areagotzeko (merkeagoa eta eraginkorragoa). Arriskuak identifikatzean, balizko istripuen sekuentzia identifikatu behar da, balizko gertaeren sekuentzian oinarrituta.

Istripuek bost elementu dituzte, eta horiek identifikatu behar dira. Alde batetik, **inguruabar arriskutsuak** ditugu, hala nola substantzia arriskutsuen gehiegizko biltegiatzea, errektibotasun handiko materialak maneiatzea, errektzio-abiadurak asko aldatzen dituen errektzioa izatea prozesuaren parametroekin edo ezpurutasunen presentziarekin... Istripu batean, gainera, badira **oinarrizko gertaera eragile batzuk**; hala nola, prozesuko ekipamenduetan akatsak, eusteko akats mekanikoak, giza akatsak, zerbitzurik eza (ura, elektrizitatea), kanpoko eragileak (ekaitzak edo uholdeak), eta metodo- edo informazio- edo komunikazio-akatsak. Behin istripua abiarazita, **gertaera hedatzaileak** daude; istripua hedatu egiten da, baita horren ondorioak ere, hala nola prozesuaren parametroen desbidera-

tzeak, euspen-hutsegite mekanikoa, substantzien isuria, substantzien igorpena, suteak edo leherketak (detonazioak), operadorearen akatsak eta/edo kanpoko agenteak. Badira, halaber, *egoera arintzaile* deitzen direnak ere, istripua saihestu edo haren ondorioak gutxitu ditzaketenak, hala nola segurtasun-erantzun automatikoak (arintze-balbulak, hozte-erreserbako zerbitzuak...), larrialdiko erantzun mekanikoak (haustura-diskoak, ur-ihintzagailuak, sprinklerrak...), operadoreen kontrol-erantzunak, larrialdi-planeko eragiketak (alarmak, sirenak, babes-ekipoak, babes-ekipo zuzenak...), kanpoko agenteak (suhiltzaileak, esku hartzeko taldeak...), eta informazioaren fluxu zuzena. Azkenik, istripuak *ondorio (efektu)* batzuk izango ditu; hala nola, suteak, leherketak, zatien proiektzio mekanikoa, substantzia arriskutsuak (toxikoak, etab.) airera barreiatzea (hodei toxikoak...), material arriskutsuak uretako ingurunean sakabatatzea (hondakin-uren kolektoreak, ibaiak, etab.).

Arriskuen identifikaziorako teknikak hiru taldetan bana daitezke:

- (i) **Metodo konparatiboak:** aurreko esperientzietan oinarritzen dira.
 - Kodeak eta arauak.
 - Egiaztapen-zerrendak (checklists).
 - Istripuen analisi historikoa.
- (ii) **Arrisku-indizeak:** ez dituzte arrisku zehatzak identifikatzen, baina arrisku-kontzentrazio altuko eremuak seinalatzen dituzte.
 - Dow indizea.
 - Beste indize batzuk: Dow-Mond, IFAL, etab.
- (iii) **Metodo orokortuak:** edozein kasutan aplika daitezkeen arrazoiketa-eskemak dira.
 - Arriskuen eta operagarritasunaren analisia (HAZOP).
 - Akats moduen efektuen azterketa (AMEA).
 - Hutsegite-zuhaitzaren analisia (FTA).
 - Gertakarien zuhaitzaren analisia (ETA).
 - Desbideratzeen analisi orokorra (What-if analysis).

3.4.1. Metodo konparatiboak

Konparazio-metodoak instalazio baten segurtasuna ebaluatzeko erabiltzen dira, konpainiaren alde aurreko eragiketetan edo kanpoko erakundeetan lortutako esperientziaren argitan. Metodo horien artean, honako hauek ditugu:

- (i) **Kodeak eta arauak.** Barne-eskuliburu teknikoak dira, eta, horietan, ekipamenduak diseinatzea, instalatzea, eragiketak egitea eta abar zehazten da. Eskuliburu horiek legeria bete behar dute, eta industria-kodeak eta -arauak bete (ASME, ASTM, API, NFPA). Diseinurako ez ezik, aldaketak egiteko ere aplikatu behar dira.
- (ii) **Egiaztapen-zerrendak (Check-list).** Egiaztapen-zerrendak dira eskakizun-zerrenda bat betetzen dela kontrolatzeko sortutako formatuak. Beraz, sistemaren egoera kanpo-erreferentzia batekin konparatzen da, sistemaren gabeziak identifikatuz. Egiaztapen-zerrendak aurreko diseinuen eta prozesuaren aurretiazko eragiketen esperientzian oinarritzen dira, ezer garrantzitsurik ahazten ez dela ziurtatzeko.
- (iii) **Istripuen analisi historikoa.** Industria-istripuei buruz iraganean bildutako datuak erabiltzen dituen tresna da. Horrek badu abantaila bat: identifikatutako arrisku guztiak benetakoak

koak izango dira zalantzarik gabe, baina desabantaila da gertatu diren istripuei bakarrik dagokiela analisia, eta, beraz, ez dituela estaltzen gerta daitezkeen aukera guztiak. Hala ere, arrisku zehatzak identifikatzea ahalbidetzen duen teknika erabilgarria da.

Gertatutako istripuei buruzko informazioa hainbat iturritatik etor daiteke: enpresaren datu propioetatik, prentsako informaziotik, istripuaren lekukoek emandako informaziotik, ikerkuntza-batzordeen txostenetatik... Iturri horiek erabiliz, hainbat erakunde publikok eta pribatuk datu-bankuak egin dituzte istripu industrialei buruz, eta hainbat irizpideren arabera antolatu da horietan eskuragarri dagoen informazioa: istripu mota, zirkunstantziak, produktu kimikoak, kausak eta ondorioak, eta pertsonari eta propietateari eragindako kalteen estimazioa. Istripuei buruzko datu-banku askok informazio garrantzitsua dute, hala nola: CHAFINC (Chemical Accidents, Failure Incidents and Chemical Hazards Data-bank), CHI (Chemical Hazards in Industry), HARIS (Hazard and Reliability Information System), MHIDAS (Major Hazard Incident Data Service), NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), SONATA (Summary of Notable Accidents in Technical Activities) WOAD (Worldwide Offshore Accident Databank).

3.4.2. Arrisku-indizeak

Arrisku-indizeek prozesu-unitate bati lotutako arrisku globala kalkulatzeko eta unitateak arrisku-maila orokorrari dagokionez hierarkizatze metodo zuzena eta nahiko sinplea ematen dute. Ez dira banakako arriskuak adierazteko erabiltzen diren sistemak; aitzitik, arrisku potentziala maila jakin batera iristen den eremuak identifikatzeko balio numerikoa ematen dute. Arlo horietan erabakiko da arrisku-analisi zehatzagoa aplikatzen den ala ez, eta, beraz, arrisku-indizetik lortutako balioa erabilgarria izan daiteke azterketaren sakontasuna erabakitze orduan.

Sute eta leherketetako Dow indizea

Metodo hori aplikatzeko gida bat dago, eta gida hori aplikatzeko urratsak xehetasunez deskribatzen dira bertan. Gainera, gidan Dow indizea kalkulatzeko ereduak inprimaki bat dago. Hala ere, laburbilduta, honako hauek dira metodo hori aplikatzeko etapak:

1. Prozesu-unitateak hautatzea. Prozesu-unitate bat lehen mailako edozein ekipo bezala definitu ohi da: biltegi-tankea, konpresorea, ponpa, errektorea, destilazio-dorrea... Batzuetan, prozesu-unitatetzat har daitezke elementu primarioen multzokatze murriztuak, baldin eta unitate funtzional argia badute eta espazio fisiko mugatu baten barruan badaude. Identifikatu diren prozesu-unitate guztietarako kalkulatu behar da indizea.
2. Hurrengo urratsa faktore materiala (MF) zehaztea da. Faktore materiala 1 eta 40 arteko zenbaki bat da, unitatean prozesatzen den substantziari esleitzen zaiona, sute edo leherketa batean energia askatzeko substantzia horrek duen berezko potentzialaren arabera. MFren balioak gidan daude, parametro garrantzitsu gehiagorekin batera: erreazio-beroa (errekuntzakoa), osasunerako arriskugarritasunaren NFPA indizeak (N_h), sukoitasun-indizea (N_f) eta erreaktibotasun-indizea (N_r), sukoitasun-puntua eta irakite-tenperatura. Substantzia ez badago gidaren gehigarrian, MF balioa NFPA arauan emandako sukoitasun- eta erreaktibotasun-indizeen arabera kalkula daiteke.
3. Aldi bereko arrisku-faktoreak zehaztea. (i) Arrisku horiek bi motatakoak izan daitezke, hala nola erreazio exotermikoak izatea edo karga- eta deskarga-eragiketak egitea, eta (ii)

prozesuaren arrisku bereziak, hala nola sukoitasun-tartetik gertu lan egitea edo atmosferaz bestelako presioetan aritzea. Arrisku horiek atal bakoitzean penalizazio bat esleituz kontabilizatzen dira; beraz, bi faktore definituko dira: bat arrisku orokorretarako, F_1 , eta bestea prozesuaren arrisku berezietarako, F_2 .

$$F_1 = 1 + \sum \text{arrisku orokor bakoitzeko penalizazioa} \quad (3)$$

$$F_2 = 1 + \sum \text{arrisku berezi bakoitzeko penalizazioa} \quad (4)$$

Kasu bakoitzean aplikatu beharreko penalizazioak zehazteko, Dow gida kontsultatu behar da.

4. F_3 unitatearen arrisku-faktorea zehaztea, prozesuko arrisku orokorren faktorearen (F_1) eta prozesuko arrisku berezien faktorearen (F_2) emaitza gisa. Produktua batuketa egin ordez erabiltzen da, efektuek izaera interaktiboa baitute; leherketa baten efektuak handietsi egin daitezke unitatea itxita badago, adibidez. Unitatearen arrisku-faktorea (F_3) 1 eta 8 artean dago.

$$F_3 = F_1 \times F_2 \quad (5)$$

5. Sute eta leherketetako Dow indizea kalkulatzeko (IIE), unitatearen arrisku-faktorearen eta materialaren faktorearen emaitza gisa. Beraz, penalizazio baliokideak dituzten prozesuek IIE balio desberdinak emango dituzte faktore materialaren (MF) balio desberdinak dituzten substantziak aplikatzen badira. IIEren balioa 1 eta 320 balioen artean dago, eta 160tik gora arrisku larritzat hartzen da.
6. Esposizio-azalera kalkulatzeko. Hori zirkulu ideal bat da, eta horren barruan egongo liriteke ebaluatzen den prozesu-unitatean sute batek edo leherketa batek eragin ditzakeen ekipoa eta instalazioak. Esposizioeko zirkulu ideal horren erradioa honela kalkulatu da:

$$R(m) = 0,256 \times \text{IIE} \quad (6)$$

Esposizio-eremua kalkulatu ondoren eta horren barruan dauden ekipoa guztien balio ekonomikoa, jabetzaren oinarritzko kalte maximoa (oinarritzko MPPD, jabetzari gerta dakioken gehieneko kaltea) kalkula daiteke. Segurtasun-instalazioei dagozkien hobari-faktoreak aplikatu ondoren, jabetzaren kalte maximo eraginkorra (MPDD efektiboa) kalkula daiteke. (Hobari horiek Dow indizearen gidan kontsulta daitezke).

MPPD balioarekin, ekipoa konpontzeko edo ordezkatzeko beharrezko kaltetutako ekipoa konpontzeko edo ordezteko gehieneko etenaldi-egunen (MPDO) estimazioa lor daiteke; beraz, EIEtik aurrera, istripu batek eragin ditzakeen galera materialen lehen estimazioa egin daiteke. Hala ere, kalkulatuak IIE balioaren erabilgarritasun nagusia unitate bakoitzerako arrisku-hierarkizazio bat ezartzean datza, arriskuak murrizteko ahaleginak zein instalaziotan kontzentratu behar diren adieraziz.

3.4.3. Metodo orokortuak

Arriskuaren eta operagarritasunaren analisia

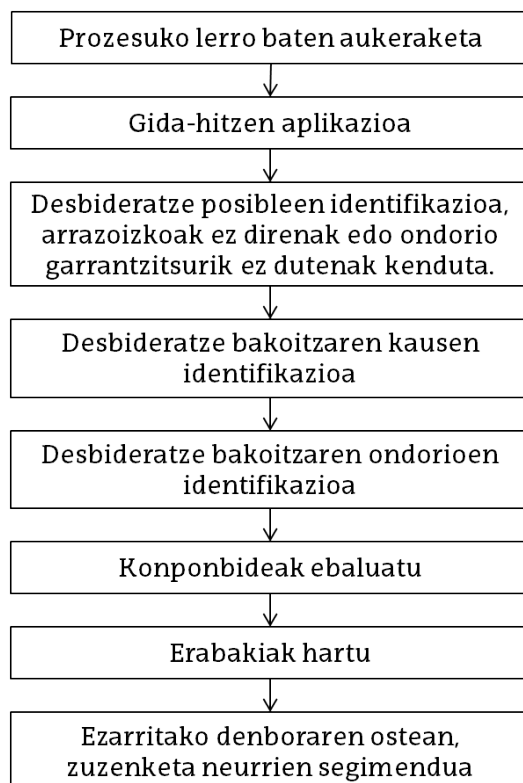
HAZOP analisia instalazio bateko segurtasun-problema identifikatzeko balio du, eta haren eraginkortasuna hobetzeko ere baliagarria da. HAZOP analisia, beraz, diseinu-etapan edo dagoeneko eraikita dagoen instalazio batean aplikatu daiteke, nahiz eta diseinu-etapan aplikatuz gero, lerro- eta tresneria-diagramak (P & ID diagramak) behar bezala zehaztuta egon behar duen. Une horretatik aurrera, HAZOP analisia ahalik eta azkarren egin behar da, beharrezko aldatetarik gutxienezko kostu batekin egin ahal izateko.

Metodo horren oinarria da arrisku eta arazo operatiboak etapa jakin bateko eragiketa-baldintza arruntekiko desbideratzeen ondorio gisa soilik agertzen direla (abiatzea, erregimen geldikorreko eragiketa, erregimen ez-egonkorreko eragiketa, edo gelditzea). Horrela, lerroz lerro eta ontziz ontzi, prozesu jarraitu bateko unitate guztietan edo prozesu eten bateko eragiketa guztietan egon daitezkeen desbideratzeen ondorioak ebaluatzean datza metodoa.

Metodo honek analisi sistematiko bat eskaintzen du, sistemaren azterketa bat egiten baita gida-hitz batzuen hurrenez hurreneko aplikazioan oinarrituta, desbideratzeen identifikazioa errazteko gai den arrazoiketa-egitura bat ematea helburu duena. Arrazoizko desbideratze bat identifikatzen den bakoitzean, haren kausak, ondorioak eta balizko ekintza zuzentzaileak aztertzen dira, eta horren guztiaren erregistro ordenatu bat eramaten da.

Metodoak, gainera, diziplina anitzeko izaera izatearen abantaila du; izan ere, aplikatzeko, esperientzia, prestakuntza eta jatorri desberdineko pertsonen osatutako taldeak eraten dira, enpresa barrutik zein kanpotik.

13. irudian HAZOP analisi baten sistematika adierazten da. Hasteko, prozesu-lerro bakoitzeko asmoa zehazten da; hau da, instalazioan betetzen duen helburua, jarduteko baldintza normaletan. Adibidez, R12 erreaktoreari berokuntza-lurrina ematea, presio, tenperatura eta emari jakin batekin. Hortik aurrera hasten da prozedura. Behin hori eginda, 13. taulako gida-hitzetatik abiatuz, prozedura hasten da, instalazioko elementu jakin batetik sartzen edo irteten diren prozesu-lerro bakoitzari gida-hitzak aplikatuz. Gida-hitz horiek aplikatzen zaizkie ekintzei (erreakzioa, transferentzia, etab.) zein parametro espezifikoari (presioa, tenperatura, etab.).



13. irudia

HAZOP analisisia aplikatzeko etapak

Gida-hitzen aplikazioak desbideratzeak identifikatzeko aukera ematen du, hau da, zehaztutako asmoa betetzen ez den inguruabarrak identifikatzeko aukera (adibidez, lerroko presioa al-tuegia da, emarian aldaketak daude...). Desbideratzeek ondorioak eragiten dituzte (adibidez, R12 erreaktorearen gehiegizko beroketa), eta horiek, aldi berean, eragiten dituzten kausak dituzte (adibidez, giza akatsa, kontrol-balbula bateko akatsa, etab.). Analisisian desbideratze bat kontuan hartzeko, segurtasun-arazoak eta arrazoizko kausak eragiten dituzten ondorio esanguratsuak izan behar ditu horrek. Ezaugarri horiekin desbideratze bat identifikatu ondoren, irtenbide zuzentzaileak proposatu eta horien kostua ebaluatu behar da.

Nabarmentzekoa da beharrezkoa dela HAZOP analisiaren emaitzen erregistro sistematikoa bermatzea, formatu tradizionala zutabeetan edo ordenagailurako programen bidez.

Instalazioak modu etenean jarduten badu, analisi-metodoak aldaketa batzuk izango ditu. Prozesu eten batean, ekipoaren egoeraren denborazko aldaketa bat gertatzen da. Beraz, instalazioa egoera desberdinetatik igarotzen da. Gainera, prozesu etenak hainbat helburutarako erabiltzen dira (produktu desberdinak lortzeko erreaktore etenak, adibidez) eta etapa anitzekoak dira (adibidez, erreaktore eten batean karga-etapa dugu, beroketa eragiketa-tenperaturan, erreakzioa, hoztea, des-karga eta garbiketa). Etapa bakoitzak baldintza nominalen gaineko desbideratze posibleak ditu. Etapa horiek guztiak ordena kronologikoan aztertu behar dira, eta etapa bakoitzerako egokiak diren gida-hitzak aplikatu.

13. taula

Prozesu jarraitu baten HAZOP analisisian erabilitako gida-hitzak

EZ	Ez dira diseinuan ezarri diren asmoak bete. Adibidez: ez dago emaririk lerro batean.
GEHIAGO/GUTXIAGO	Diseinuko asmoaren gaineko gehikuntza edo gutxitzeak. Adibidez: tenperatura-igoera, erreakzio-abiadura altuagoa, biskositate altuagoa...
GAINERA	Gehitze kualitatiboa. Diseinuko asmoak betetzen dira, eta zerbait gehiago ere geratzen da. Adibidez: lurrinak erreaktorea berotzen du, baina baita beste elementu batzuk ere.
KO BATZUK (PARTE BAT)	Gutxitze kualitatiboa. Egitateen zati bat bakarrik gertatzen da aurreikusita-koaren arabera. Adibidez: sistemaren konposizioa desberdina da.
ALDERANTZI-KATZE	Nahi den efektuaren kontrakoa lortzen da. Adibidez: emaria kontrako alderantz mugitzen da, alderantzizko erreakzioa gertatzen da.
ORDEZ	Nahi dena lortu beharrean, guztiz ezberdina den beste zerbait lortzen da. Adibidez: hutsegitea unitatearen operazioan, ustekabeko geldialdia...

Gida-hitzak apur bat desberdinak dira; izan ere, kontuan hartu behar da denbora aldagaia, beraz, gida-hitz berriak erabili behar dira horretarako; eta gida-hitzak lerroetan bakarrik aplikatu beharrean, prozesuaren etapetan ere aplikatu behar dira.

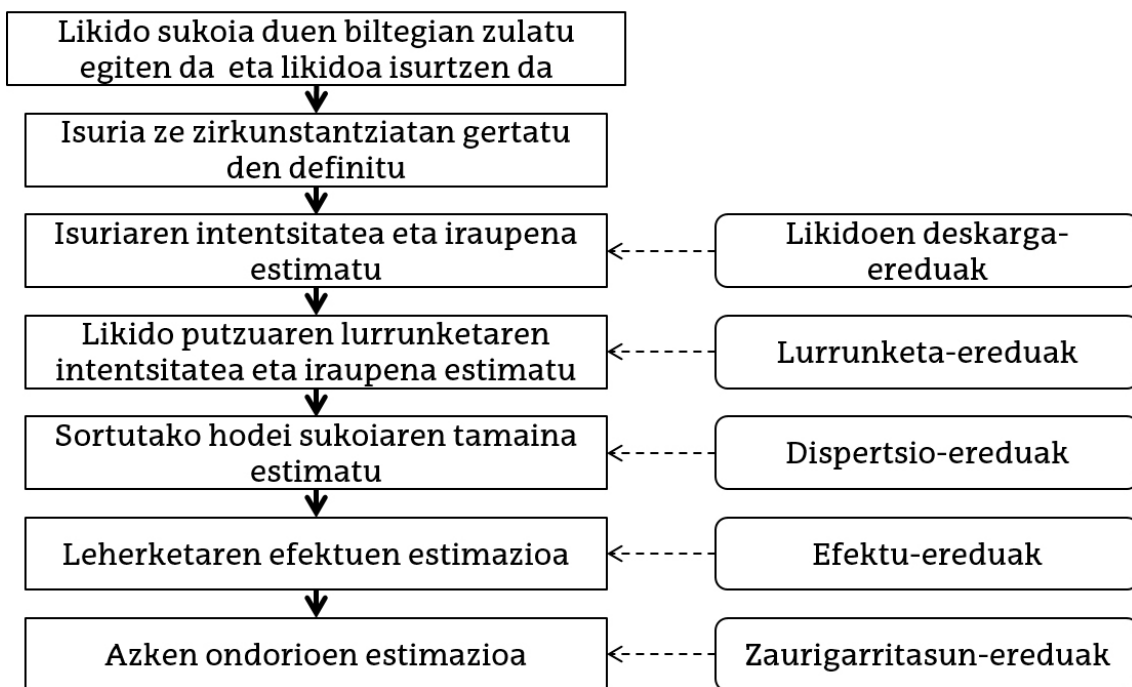
Adibidez, A errektibo bat errektorera kargatzeko, etaparako desbideratze hauek egongo lirateke:

- Ez da A kargatzen.
- A gehiago kargatzen da.
- A gutxiago kargatzen da.
- A-z gainera, B ere kargatzen da.
- A-ren parte bat bakarrik kargatzen da.
- A-ren orde B kargatzen da.
- A-ren alderantzikatzea (A errektoretik depositura doa).
- A goizegi kargatzen da.
- A beranduegi kargatzen da.
- A arinegi kargatzen da.
- A astiroegi kargatzen da.

4

Substantzia arriskutsuen ihesa

Substantzia likido edo gaseoso bat atmosferara isurtzen denean, garrantzitsua da istripua gertatu den agertokiaren ezaugarriak ezagutzea. Horrela, adibidez, hodei bateko lurrin sukoiaren kantitatea ezagutu behar dugu, su hartzearen ondorioz gertatuko den leherketaren ondorioak zenbatetsi ahal izateko. Bestalde, substantzia toxiko baten ihesa gertatzen bada, beharrezkoa da distantzia-denbora kontzentrazio-mapa kalkulatzeko, eraginpean dauden pertsonen kalteberatasuna zehaztu baino lehen. 14. irudian eskematizatzen dira kalkulu-prozesuaren etapak, likido sukoi baten ihesaren ondorioak zenbatesteko.



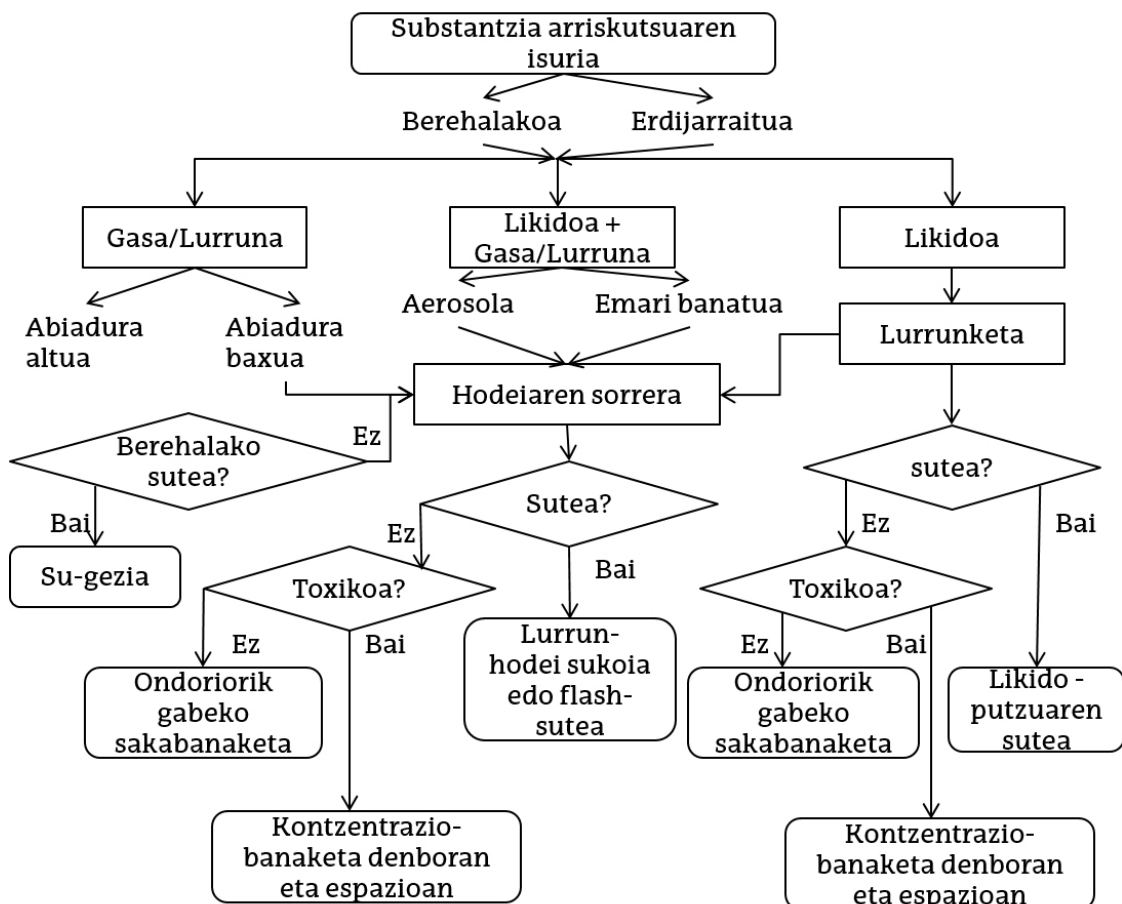
14. irudia

Hodei sukoi baten leherketaren ondorioak kalkulatzeko kalkulu-eskema, likido-ihes hipotetiko batetik aldentzeko

15. irudian ikus daitekeen bezala, substantzia arriskutsu (haren sukoitasun eta/edo toxikotasun ezaugarriak direla eta) baten ihesa gertatzen denean, gertaeren sekuentzia desberdinak ager daitezke.

Lehenengo eta behin, garrantzitsua da bereiztea ontziaren kolapsoari legokiokeen bat-bateko (berehalako) ihesa edo ihes erdijarraitua den, deskarga-prozesuaren iraupena esanguratsua izateko bezain txikia den zulaketa edo pitzadura baten emaitza dena.

- *Berehalako ihesa.* Suposatzen da fluido guztia berehala libre dagoela atmosferan sakabatzeko gasak direnean, edo lurrean zabaltzeko eta lurruntzeko dagoela, likido baten ihesa dagoenean. Edukia oso azkar isurtzen da, eta hasierako egoera fisikoa alda daiteke, ingurumen-baldintzen eraginpean geratzen baita.
- *Ihes erdijarraitua.* Ihesa gertatzen den ontziko baldintzak denborarekin aldatzen joango dira (likido-maila edo presioa gutxitzea, ontziak gas bat badu), baina, ihesa txikia bada, egoera pseudoegonkorraren hurbilketak onargarriak izaten dira denbora-tarte mugatu batean. Beraz, euste-galerak magnitude mugatua du. Hona hemen ihes mota horiek gertatzen diren kokaleku batzuk: zulaketak edo pitzadurak likido- edo gas-eroanbideetan, ihesak likido- edo gas-eroanbideen balbuletan, haustura-diskoa edo segurtasun-balbula, bridak eta loturak, zulaketak edo pitzadurak ontziaren gas- edo likido-eremuan, ponpak...



15. irudia

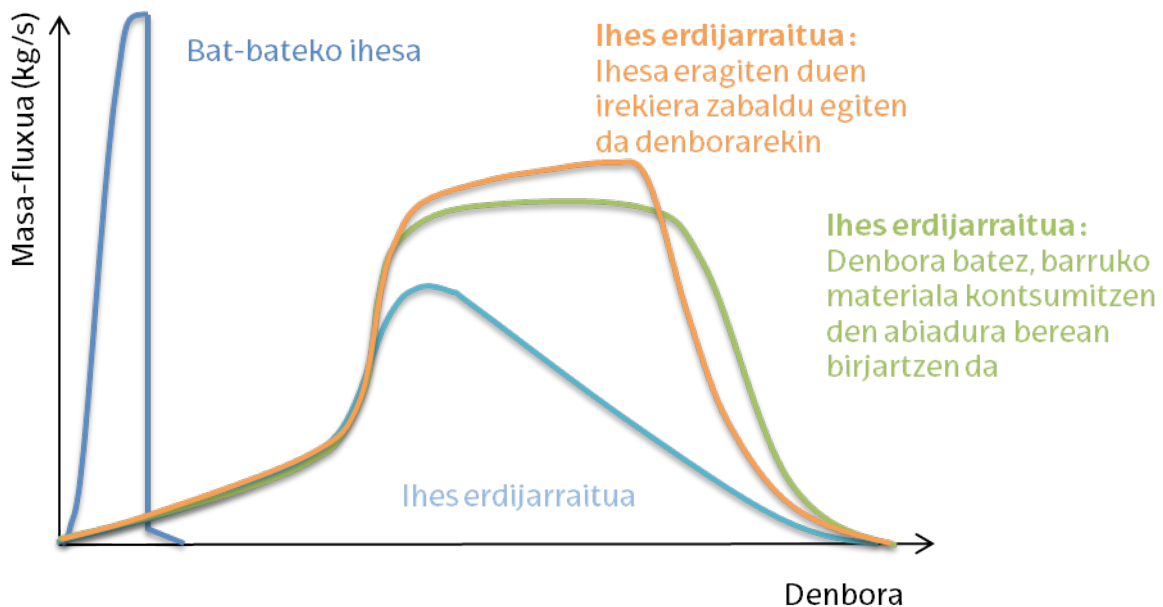
Eboluzio-sekuentziak, substantzia arriskutsu baten ihesetik abiatuta

Ondoren, kanpora ihes egiten duen materialaren egoera fisikoa da faktore garrantzitsuena, eta ihesaren kokapena faktore erabakigarria da horri dagokionez. Gerta daiteke kolapsatzen duen biltegi bateko likidoaren zati batek flash lurrunketa jasatea, likidotik lurrun fasera tantak eramatea...

15. irudian ikusten denez, likido sukoi baten isuri batek putzuko likido-sute bat eragin dezake. Ihesa presurizatutako gas sukoi batena bada, berehala su-hartu ondoren suzko gezi bat izango dugu, baina sua atzeratzen bada, gasak sakabanatzeko denbora izango du, hodei bat sortuz. Gainera, gas fasean dauden beste deskargak edo deskargatutako likidoaren lurruntzeak ere hodei bat sortzea eragiten dute.

Lurrun toxikoa edo sukoi inguruko airearekin nahastearen ezaugarriek zehaztuko dute hodeiaren arriskugarritasuna, baita sua sortzen den unea (hodei sukoientzat), baldintza atmosferikoak, lurraren topografia eta abar ere.

Deskarga motaren arabera, emariak denboran izango duen bilakaera desberdina izango da, 16. irudian ikus daitekeen bezala. Bat-bateko ihesari, ihes erdijarraituari, non ontziaren barruko materiala kontsumitzen den abiaduran birjartzen baita, denbora batez, eta ihesa eragiten duen irekidura-denborarekin zabaltzen den kasuak azaltzen dira. Edozein kasutan, deskargatutako kantidadea zulaketaren altueraren eta hodian konfigurazio zehatzaren, isolamendu-balbulen eta abarren arabera da. Ihesaren iraupena isur daitekeen fluido kantidadea osoaren arabera izan daiteke, edo ihesaren aurrean emandako erantzun-denboraren arabera (detekzioa gehi ekintza zuzentzaileak).



16. irudia

Denborarekin deskargatutako emaria aldatzeko aukera desberdinak

4.1. IHESAK

4.1.1. Likidoen ustekabeko isuriak

Ontzi batean dauden likidoen ihesa gerta daiteke, ontzi horren horma edo deskarga-hodia, balbula, eta abar zulatuz. Ihesa biltegi baten horman dagoen zulo batetik gertatzen bada, deskargako masa-emaria ekuazio hauen bidez lortzen da:

$$m^* (kg / s) = F_C A \sqrt{2\rho(P_1 - P_2)} \quad (7)$$

$$m^* (kg / s) = F_C A \rho \sqrt{\frac{2(P - P_2)}{\rho} + 2gh} \quad (8)$$

Non F zuloaren deskarga koefizientea baita, A zuloaren zeharkako azalera (m^2), P_1 eta P_2 zuloaren bi aldetako presioak (Pa), P presio osoa ontziaren lurrun-espazioan (Pa), h likidoaren altuera zuloaren gainetik (m) eta ρ likidoen dentsitatea (kg/m^3). F_c -ren eta A -ren kalkulurako, zulo mota eta bere tamaina jakin behar dira.

Presioa zulaketaren barruko aldean, P_1 , likidoak zuloaren gainean duen altueraren eta tangaren lurrun-espazioko presioaren arabera da. Altuera denborarekin aldatuz doanez, deskarga-emaria ere aldatu egingo da, eta, ondoren, m^* balio desberdinak lortuko ditugu P_1 aldatu ahala.

Likidoaren maila zulaketa-mailara iristen denean, likidoaren isurketa eten egiten da, presioa tankearen lurrun-espazioan atmosferikoa baino handiagoa bada, gas-ihesarekin edo ihes bifasiko batekin ordeztuko.

Tanke zilindriko bertikal baten kasuan, zeinak lurrun-espazioan likidoaren gainean P presio konstantea baitu, nitrogenoarekin presioa inertizatze eta erregulatzeko sistema duten andeletan gertatzen den bezala edo atmosferara irekiak; emariaren aldaketa, denborarekin, honako ekuazio honek ematen du:

$$m^* (kg / s) = F_C A \rho \sqrt{\frac{2(P - P_2)}{\rho} + gh_0} - \frac{\rho g (F_C A)^2 t}{A_R} \quad (9)$$

Non P ontziaren lurrunaren espazioan dagoen presioa baita (P_2 -ren berdina, tankea atmosferara irekita badago) (Pa), h_0 likidoaren hasierako altuera zuloaren gainetik (m), A_R zilindroaren zeharkako azalera (m^2) eta t denbora (s).

Depositua zuloaren mailaraino (t_F) husteko denbora, (9) ekuazioan emaria Ora berdinduz lortzen da:

$$t_F = \frac{A_R}{F_C A g} \sqrt{\frac{2(P - P_2)}{\rho} + gh_0} \quad (10)$$

Hona hemen ordura arte isuritako likidoaren guztizko kopurua:

$$M_T = A_R h_0 \rho \quad (11)$$

4.1.2. Gasen edo lurrunen ustekabeko isuriak

Zulaketa baten bidez gasak edo lurrinak deskargatzen direnean, deskarga sonikoa eta subsonikoa bereizi behar dira, P₂ presioen (oro har, presio atmosferikoaren berdina) eta P₁ presioen arteko zatiduraren balioaren arabera, balio kritikoa baino txikiagoa izan edo ez; hau da:

$$r_{krit} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)_{krit} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (12)$$

Non k: espantsio isoentropikoko konstantea baita.

Horrela, hasierako P₁ presio nahiko altuen kasuan (nahikoa da 1,9 bar baino handiagoak izatea gas diatomiko gehienentzat), deskarga presio-erlazioaren balio kritikoa azpitik hasten da, eta fluxua sonikoa da. Deposituak materia-ekarpenik jasotzen ez badu, P₁ presioa gutxitu egingo da, P₂/P₁ balioa kritikoa baino handiagoa izan dadin, eta, beraz, fluxua subsoniko bihurtuko da. Oro har, gasak zulotik igarotzen ematen duen denbora hain da laburra, ezen kanpoarekiko berotrukea mespretxatu egin baitaiteke, eta prozesua adiabatikoa izan baitaiteke. Beraz, gas idealen fluxu subsonikoa, zuloen bidez, honako adierazpen honek ematen du:

$$m^* (kg/s) = F_C A P_1 \sqrt{\frac{2PM}{R_g T_1} \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \quad (13)$$

Eta fluxua sonikoa bada:

$$m^* (kg/s) = (m^*)_{\max} = F_C A \sqrt{P_1 \rho_1 k \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (14)$$

Non F_c zuloaren deskarga-koefizientea baita, A zuloaren zeharkako azalera (m²), P₁ eta T₁ ontziaren aldeko presioa (Pa) eta tenperatura (K), hurrenez hurren, P₂ isuriaren aldeko presioa (normalean atmosferikoa) (Pa), PM gasaren pisu molekularra (kg/mol), eta R_g gasen konstante unibertsala (8,31 m³Pa/molK). k espantsioa isoentropikoa bada, bero-gaitasunen zatiduraren balio bera du, eta, bestela, balio txikiagoa. Zuloen bidez fluidoak deskargatzeko kasu praktikoa bat da, garrantzi handikoa, ontzi baten presioa haustura-diskoaren edo segurtasun-balbulen bidez arintzea.

4.1.3. Isuri bifasikoa

Kasu askotan, zulaketa batetik ihes egiten duen fluidoak ez du fase bakar bat izaten; likidoaren eta lurrunaren arteko nahasketa bat da, bataren eta bestearen proportzioak dituen, eta aldatu egin daiteke fluidoak kanporantz deskargatzen duen heinean. Fluido bifasikoa gerta daiteke gasa eta likidoa dituen ontzi bat hustean, bereziki likidoak aparra sortzeko joera badu eta zulaketa interfasearen mailatik gertu badago, edo faseetako baten eraldaketa partzialaren ondorioz gerta daiteke.

Adibidez, presiopean eta irakitekoa baino tenperatura altuagoetan biltegitutako likidoek bat-bateko lurrunketa edo «flash» lurrunketa bat izango dute, deskargak dagokion presio-jaitziera eragiten duen heinean.

Garrantzitsua da nolabaiteko zehaztasunez jakitea noiz gerta daitekeen fluxu bifasikoa eta haren ezaugarriak; izan ere, baldintza jakin batzuetan deskargatutako emari bifasikoa eta fase bakarra dagoenean lortzen dena oso desberdinak izan daitezke. Oro har, fluxu bifasikoa lurrun puruen fluxua baino handiagoa izaten da, eta hori oso garrantzitsua da deposituen presioa arintzeko sistematik diseinatzerakoan.

Fluxu bifasikoa zenbatesteko eta ulertzeko zailtasunaren ondorioz, ekuazio enpirikoak erabili behar dira haren karakterizaziorako eta deskarga-emarien kalkulurako.

Isuri bifasikoa ontzian zulo bat dagoelako gertatzen bada, deskarga-emaria flash lurrunketa-rik gertatuko ez balitz bezala kalkula daiteke, zeren eta lurruntze-prozesua ez da gertatzen zulaketatik igarotzean, eta, beraz, ez du eraginik deskarga-abiaduran. Beraz, likidoen isuriko ekuazioak erabiltzen dira.

Isuria ontzira konektatuta dagoen hodi baten bidez gertatzen bada, honako ekuazio hau erabiltzen da presioa arintzean berehalako lurrunketa (flash lurrunketa) jasaten duen likido baten deskarga-emaria (G , $\text{kg/m}^2\text{s}$) kalkulatzeko:

$$G = F_C \sqrt{(G_{hozte})^2 + \frac{(G_e)^2}{N}} \quad (15)$$

Non G_{hozte} -k azpihoztearen ekarpena adierazten baitu, eta honako ekuazio hau erabiliz kalkulatu da:

$$G_{hozte} = \sqrt{2(P - P_v)\rho_f} \quad (16)$$

Eta G_e -k, honako ekuazioa erabiliz:

$$G_e = \frac{\Delta h_v}{v_{fg} \sqrt{TC_p}} \quad (17)$$

P ontziko presioa totala (Pa) da, P_v lurrun-presioa ontziratze-tenperaturan (Pa), eta ρ_f likidoaren dentsitatea (kg/m^3). Δh_v lurruntze-bero sorra (kJ/kg) da, C_p bero espezifikoa (kJ/kg K); T : ontziaren tenperatura (K), eta v_{fg} bolumen espezifikoaren aldaketa likidotik lurrunera pasatzean (m^3/kg)

G_e -ren kalkuluan suposatu da likido saturatua orekan dagoela hodia 0,1 m baino luzeagoa denean (edo $L > 10D$). Hodia 0,1 m baino txikiagoa (edo $L < 10D$) denean deskargan zehar lurruntzen den likido kantitatearen aldaketa hartu behar da kontuan. Horretarako, N zuzenketa-faktorea erabiltzen da. Izan ere, berehalako lurrunketa pairatzen duen likido kantitatea azkar txikitzen da hodiaren luzera txikitzean, zerorantz joz.

$$N = \frac{(\Delta h_v)^2}{2\Delta P \rho_f v_{fg} TC_p (F_C)^2} + \frac{L}{0.1} \quad (18)$$

Non ΔP ontziaren barne- eta kanpo-presioen arteko desberdintasuna (Pa) baita, eta L ontziaren luzera ($0 < L < 0,1$ m).

4.2. LIKIDO-ISURIEN LURRUNKETA

Likidoen, gasen eta bien nahasketaren deskargaren emaria eta iraupena zenbatetsi ondoren, beharrezkoa da deskarga horren ondoriozko gertaerak planteatzea. Hiru kasu bereiziko dira: (i) gainberotutako likidoen lurruntzea (konpresio bidezko gas likidotuetatik datozenak), likido irakinak (hozte bidez likidotutako gasetatik datozenak) eta likido ez-irakinak.

4.2.1. Gainberotutako likidoen lurrunketa

Presiopean likidotutako gas bat duen andel batean, euste-galera bat gertatzen denean, likidoak kanpora ihes egiten du presio atmosferikora iritsi arte. Depositua giro-tenperaturan edo tenperatura baxuagoan egongo denez, ihes egiten duen likidoa gehiegi berotuta dago (gainberotutako likidoa), irakite-tenperatura normala baino tenperatura altuagoarekin, eta, beraz, «flash» lurrunketa gertatuko da ingurumen-baldintzak betetzean.

Flash lurruntzean, likidoaren zati bat tanta (aerosol) moduan arrastatuko da, eta gero lurrundu egingo da, inguruneke beroa hartuz. Likidoaren beste zati bat lurrera eroriko da, eta likido-putzu bat sortuko da lurrean.

Lurrean geratzen den likido-putzuari dagokionez, deskarga txikia bada, lurruntzea hain da azkarra, likido guztia denbora gutxian sartzen baita atmosferara. Garrantzi handiagoko deskargetan, hasierako lurrunketa azkarraren ondoren, likidoaren tenperatura jaitsi egingo da, eta lurrunketa pixkanaka gertatuko da.

Hasierako flash lurrunketa hain azkar gertatzen denez, prozesua gutxi gorabehera adiabatikoa dela esan daiteke. Gainberotutako likidoaren gehiegizko energia inbertitzen da lurruneztapenaren bero sorra ematen, eta horri esker kalkula daiteke flashlurruneztatzearen maila. Likido kantitate diferentzial bat lurruntzeak (dm) tenperatura-jaitsiera eragiten du (dT):

$$\Delta h_v dm = m C_p dT \quad (19)$$

Flash lurruntzeak likidoaren tenperatura irakite-punturaino jaisten den arte jarraitzen du. (19) ekuazioa integratuz, masa lurrundua kalkula daiteke. Osagai bakar baterako, honako hau da:

$$m_v = m_0 \left(1 - e^{-\frac{C_p(T_0 - T_B)}{\Delta h_v}} \right) \quad (20)$$

Non m_0 eta m_v likidoaren hasierako eta lurrundutako masak baitira, T_0 eta T_B : hasierako tenperatura eta irakite-tenperatura (K), hurrenez hurren, eta C_p eta Δh_v T_0 eta T_B artean kalkulaturako bero espezifikoa eta lurrunketaren bero sorra.

f_v bat-batean lurrundutako frakzioaren balioa da, m_v eta m_0 arteko zatidura gisa definitua.

Konposizio anitzeko nahasketetarako, simulazio-programak (PRO II, ASPEN...) erabiltzea gomendatzen da, lurrundutako frakzioa zenbatesteko, eskuzko kalkulua oso aspergarria izan baitaiteke. Konposatu ezberdinen nahasketetarako, simulazio-programak erabiltzea gomendatzen da.

(20) ekuaziotik lortutako lurrundutako frakzioaren balioa (f_v) esperimentalki behatutakoa baino askoz txikiagoa izan ohi da, tanta eran eraman den likidoaren eraginez. Aerosol horien formazioa zenbatestea ez da erraza, eta askotan lurrundutako likido kantitatea bera baino handiagoa izaten da. Hori dela eta, f_v -ren balio teorikoak % 20a baino handiagoa diren kasuetarako, isuri den likido guztia lainora gehitzen dela jotzen da, bai lurrunketaren eraginez eta baita aerosolaren sor-kuntzagatik ere. Aitzitik, f_v -ren balio teorikoa % 10-20 tartean dagoenean, f_{va} (20) ekuazioaren bidez kalkulaturakoaren bikoitza dela joko da.

Hasierako flash lurruntzearen ondoren likido-masa hautemangarri batek irauten badu, likido-putzu bat lortuko da irakite-tenperaturan, eta une horretatik aurrera lurruntzea jarraian deskribatzen den moduan kalkulatu beharko da.

4.2.2. Likido irakinen lurrunketa

Likido irakinen lurrunketa gertatuko da (i) konpresio bidezko gas likidotuetatik datozen isurketetan, hasierako bat-bateko lurrunketa («flash») gertatu ondoren (geratzen den likido-putzua irakite-tenperaturan dago), edo (ii) gas likidotuen isuriak lurruntzean, hoztearen bidez, horiek hurbilko tenperaturan daudelako.

Ezaugarri horiek dituen likido bat lurrarekin kontaktuan jartzen denean, beroaren transferentzia gertatzen da lurretik likidora. Isuria lur lehor batean gertatzen bada eta likidoa ez bada nabarmentzen, bero-transferentzia Fourierren ekuazioak erregulatzen du:

$$\rho_s C_{ps} \frac{\partial T_s}{\partial t} = K_s \frac{\partial^2 T_s}{\partial z^2} \quad (21)$$

Non ρ_s , C_{ps} , K_s eta T_s lurzorua dentsitatea, bero espezifikoa, eroankortasun termikoa eta tenperatura baitira, hurrenez hurren. Z koordenatuaren hazkunde-zentzua da lurraren barrualderantz.

(21) ekuazioa ebazteko, honako mugalde-baldintza hauek erabiltzen dira:

$t = 0, \rightarrow T = T_s$, z -ren edozein baliotarako.

$t > 0, \rightarrow T = T_B$, $z=0$ denean eta $T = T_s$, $z = \infty$ denean.

Beraz, lursailetik eroanbide bidez transferitutako beroa (W/m^2) honela kalkulatu da:

$$Q = K_s \left. \frac{\partial T_s}{\partial z} \right|_{z=0} \quad (22)$$

(21) eta (22) ekuazioak ebatzita, lurretik likidora gainazal-unitate bidez transmititutako bero-fluxua lortzen dugu (W/m^2):

$$Q = \frac{K_s (T_s - T_B)}{\sqrt{\pi \alpha_s t}} \quad (23)$$

Non K_s lurzorua dentsitatea (W/mK), T_s eta T_B lurzorua tenperatura eta irakite-tenperatura (K), α_s lurzorua difusibitate termikoa (m^2/s), eta t denbora (s) baitira.

Lurruntze-emaria, M_e (kg/m²s), honela kalkulatzen da:

$$M_e = \frac{K_s(T_S - T_B)}{\Delta h_v \sqrt{\pi \alpha_s t}} \quad (24)$$

Non Δh_v lurrunketa-entalpia baita J/kg-tan.

Neurri kontserbatzaile gisa, lurruntze-emariaren balio hori likido ez-irakineterako kalkulatu litzatekeenarekin alderatzea gomendatzen da (hurrengo atala), eta bietatik handiena hartzea. 14. taulan agertzen dira hainbat materialen eroankortasun eta difusibitate termikoen balio tipiko batzuk.

14. taula

(24) ekuazioan erabiltzeko eroankortasun eta difusibitate termikoen balio tipiko batzuk

Materiala	K_s (W/mK)	$\alpha_s \cdot 10^7$ (m ² /s)
Lurzoria (batezbestekoa)	0,9	4,3
Lurzori hareatsu lehorra	0,3	2
Lurzori hareatsua (%8ko hezetasuna)	0,6	3,3
Egurra	0,2	4,5
Legarra	2,5	11
Altzairua	15	127
Zementua (aldakorra hezetasunaren arabera)	1,1	10

Denbora igaro eta lurra hozten doan heinean, lurruntze-abiadurak zerora jotzen du. Izan ere, ekuazioen dedukzioan suposatzen da lurruntzeko bero guztia lurra hoztetik datorrela. Denbora luzeko kalkuluetan, kontuan hartu beharko da giroko eta inguruko airearen bero-transferentzia konbektzio bidez, baita eguzki-erradiazioa ere. Gainera, isuria termikoki isolatutako gainazalean gertatzen bada, eguzki-erradiazioaren edo konbektzio bidezko bero-transferentziaren ondoriozko zuzenketa horiek domiatzaileak izan daitezke, baita denbora laburrera ere. Gainera, likidoa lurrean infiltratzen bada (substratu sarkorrak, legarra kasu), ekuazio horiei zuzenketa egin beharko zaizkie.

4.2.3. Irakiten ez dauden likidoen lurrunketa

Giro-tenperatura baino irakite-puntu handiagoa duen likido bat deskargatzen denean, eta deskarga-unean duen tenperatura irakite-tenkadurara igarotzea denean, emaitza irakiten ez dagoen likido-putzu bat da, eta bertatik lurruntzea gertatzen da. Lurrunketa gertatzen da likidoaren gainazalean dagoen lurrun-presioaren eta inguruan dagoenaren arteko aldearen ondorioz (gradiente bultzatzailea ($P_s - P_{ing}$) izango da). Prozesuaren kontrola bero-transferentziatik materia-transferentziara igarotzen da. Likido horien lurruntze-abiadura asko baldintzatzen dute putzuaren gainean egon daitezkeen aire-korronteek, materia-transferentziaren koefizientea aldatzen dutelako.

Likido-azalera unitateko lurrundutako masa-emaria ($\text{kg/m}^2\text{s}$) honela adieraz daiteke:

$$M_e = \frac{kM_m}{R_g T} (P_S - P_{mg}) + \frac{P_s M_e}{P} \quad (25)$$

Non, k materia-transferentziaren koefizientea (m/s) baita, P_s lurrun-presioa likidoaren gainazalean (Pa), P_{mg} lurrun-presioa ingurumenean (Pa), P presio totala (Pa), M_m pisu molekularra (g/mol), eta R_g gasen konstantea ($8.31 \text{ m}^3\text{Pa/molK}$)

Materia-transferentziaren koefizientearen (k) estimazioa egiteko (m/s) honako ekuazio hau erabil daiteke, gainazal zirkular baterako:

$$k = 2 \cdot 10^{-3} (U_{w,10})^{0.78} r^{-0.11} \quad (26)$$

Non $U_{w,10}$ haizearen abiadura baita, 10 metroko altueran neurtua (m/s), eta r putzu zirkularren erradioa (m).

(25) ekuazioaren lehen terminoak lurrundutako osagaiaren fluxua adierazten du, lurrun-presioen diferentziaren ondorioz, eta bigarren terminoak konbekzio bidezko garraioaren ondorioz. Irakiten ez dauden likidoen kasurako, normalean bigarren terminoa mespretxagarria da ($P_s < 2 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ dererako), eta lurrunketa-emaria, beraz, era honetan kalkulatu da.

$$M_e = \frac{kM_m}{R_g T} (P_S - P_{mg}) \quad (27)$$

4.3. GASEN ETA LURRUNEN SAKABANAKETA ATMOSFERAN

Gas-isurketek edo likido lurrunkorren deskargetatik sortutako lurrunek barreiadura jasaten dute atmosferan, isuritako substantziaren kontzentrazioa jaisten duena, eta, aldi berean, espazioko gero eta eskualde handiagoetan hedatzen duena. Dispersio-ereduen erabilerak aukera ematen du isuritako substantziaren kontzentrazioak leku eta denbora jakin baterako iragartzeko, emisioaren baldintzak eta baldintza atmosferikoak direla eta.

4.3.1. Isurketa motak

Emisioaren izaeraren eta denboran duen jarraitutasunaren ikuspegitik, 15. taulan erakusten den sailkapena ezar daiteke.

15. taula

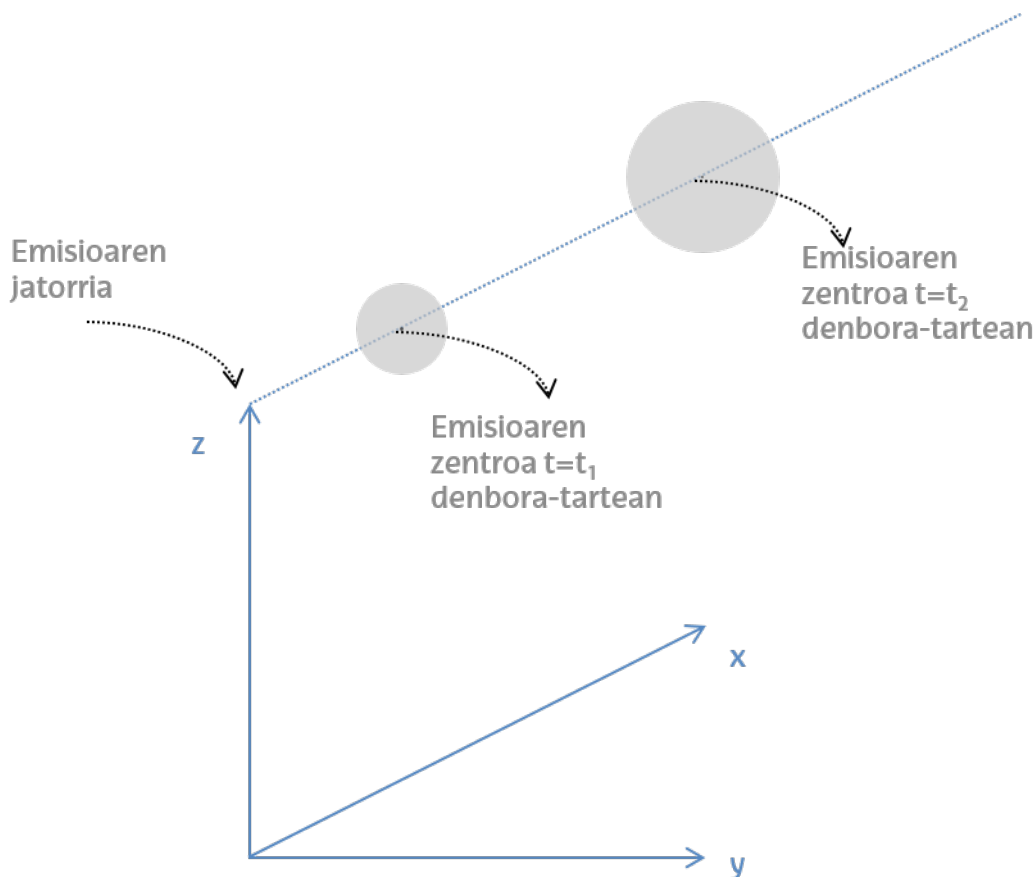
Gas-isurien sailkapena

Emisioaren izaera	Emisioaren jarraitutasuna
Neutroa	Berehalako emisioa (puff)
Flotazio positiboa	Emisio jarraitua (plume)
Flotazio negatiboa	Denboran aldatzen den emisioa

Deskargaren jarraitutasunaren ikuspegitik, isurtze mota inplikaturako denboren eskalaren araberakoa da; hala, bat-bateko emisio bat izango da igorritako materiala distantzia jakin batera dagoen hartzaile batera iristeko behar den denbora material guztia deskargatzeko behar den denbora baino askoz handiagoa denean (adibidez, presiozko gasa duen ontzi bat lehertzea). Emisio jarraitu batean, emisio-denbora luzea da hartzailearengana iristeko behar den denborarekin alderatuta (esate baterako, tximiniatik isurtzeko denborarekin alderatuta); beraz, dispertsio-eredu bat konpon daiteke kontzentrazioen egoera egonkor bat lortzeko. Ikusten denez, definizioa erlatiboa da; izan ere, iraupen jakin bat duen emisio bat bat-batekotzat jo daiteke ala ez, hartzailearen kokapenaren eta ingurumen-baldintzen arabera.

Praktikan, ustekabeko emisio gehienak bat-bateko emisioaren eta emisio jarraituaren arteko tartean daude, eta, gainera, isurketaren ezaugarrietan nolabaiteko aldakuntza-maila dute; baina muturreko bi egoera horiek errealitatea deskribatzen dute gutxi gorabehera, eta sakabanatze-ereduak erai-kitzeko baliagarriak dira. Aurrerantzean, eguraldiaren baldintzak eta emisio jarraituen ezaugarriak (emaria, kontzentrazioa, etab.) konstante mantenduko dira denborarekin.

Bat-bateko emisio bat hodei mugikor gisa sakabanatuko da, eta emisioaren erdigunea jatorrizko distantziatik gero eta urrunago eramango da, haizeak arraste-ekintza eragiten duelako, x norabidean (17. irudia).

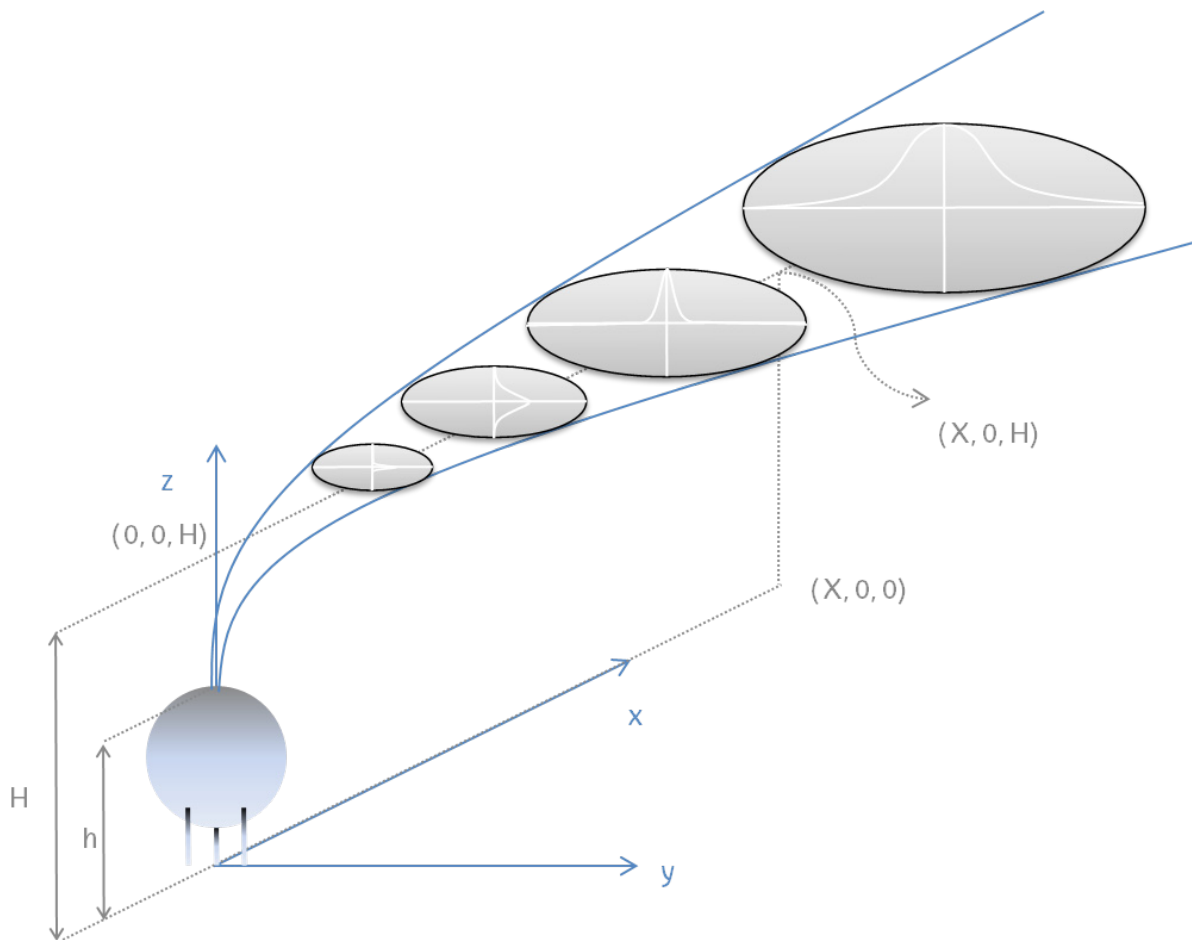


17. irudia

Bat-bateko emisio baten sakabanatzea

18. irudian emisio jarraitu baten kasua agertzen da. Emisioak jatorri erreala du $(0, 0, h)$, eta jatorri birtuala $(0, 0, H)$, denboran finkoa. Deskargatutako substantziak x norabidean nagusi den haizeak eraman ahala, zurrumbilo zurrumbilotsuen eraginez aire atmosferikoa sartzen da luman, eta horrek diluzioa eta sakabanatzea eragiten ditu igorpen-puntutik urrundu ahala.

Emisioaren izaerari dagokionez, igorritako materialaren eta airearen dentsitate erlatiboari dagokie ezarritako sailkapena. Horrela, airearekiko flotazio positiboko edo negatiboko emisioa izatea, tartean dagoen substantziaren mende ez ezik, isurketaren eta inguruko airearen tenperaturaren, hezetasun erlatiboaren eta aerosolen eraketaren mende ere badago. Adibidez, metanoa airea baino arinagoa da, baina emisioa bere irakite-tenperaturan geratzen bada ($-162\text{ }^\circ\text{C}$), emisioaren lekuan dentsitatea altuagoa izango da, flotazioa negatiboa izanik; baina, ondoren, diluzioaren eta bero-transferentziaren eraginez aldatu egingo da.



18. irudia

Flotazio positiboko emisio jarraitua sakabanatzea

4.3.2. Sakabanaketan eragina duten faktoreak

Egonkortasun atmosferikoa

Praktikan baldintza meteorologiko guztiak kontuan hartzea zaila denez, «egonkortasun mota» izeneko parametro bat garatu da, atmosferan lurrunak sakabanatzearen ikuspegitik garrantzitsuak diren baldintzak laburbiltzen dituena. Testuinguru horretan, egonkortasuna aire-geruzen nahasketa bertikalari dagokio. Egonkortasuna tenperatura-gradienteen eta haizearen eraginaren araberakoa da.

Kontuan izan behar da, egunean zehar, atmosferako airearen tenperatura jaitsi egiten dela lur-raren gaineko altuera handitzen den heinean, gutxi gorabehera 1 °C/100 m-ra. Aire beroa igo eta hotza jaitsi egiten da, eta airearen nahasketa bertikala sortzen da. Kontrako efektua gertatzen denean (altuerarekin tenperatura igotzea), *inbertsio termikoa* deritzona, nahasketa bertikala eragozten da. Inbertsio termikoa gaez gertatzen da maiz.

Egonkortasun-eskalak erabiltzen dira egonkortasun termikoa neurtzeko. Gehien erabiltzen dena Pasquill eskala da (16. taula). Intsolazio-maila hodei-mailaren (1/8ean neurtuta) eta eguzkiaren angeluaren araberakoa da.

16. taula

Pasquill egonkortasun motak definitzeko baldintza meteorologikoak

Haizearen gainazal-abiadura (m/s)	Eguneko intsolazioa			Gaueko baldintzak	
	Indartsua	Moderatua	Arina	Behe hodeien 4/8 baino gehiago estaltzea	Behe hodeien 4/8 baino gutxiago estaltzea
< 2	A	A-B	B		
2-3	A-B	B	C	E	F
3-4	B	B-C	C	D	E
4-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

A: baldintza oso ezegonkorak, B: baldintza ezegonkorak, C: baldintza arinki ezegonkorak, D: baldintza neutroak, E: baldintza egonkorak F: baldintza oso egonkorak.

Haizea

Ikusi den bezala, haizea garrantzitsua da egonkortasun mota zehazteko orduan. Jakina, haizea garrantzitsua da, gainera, atmosferarako igorpen baten portaera zehazteko orduan. Ikuspegi horretatik, hiru ezaugarri hauek dira garrantzitsuenak:

- **Norabidea.** Emisioa hedatzeko norabide nagusia zehazten du, eta, beraz, emisioaren ondorioak pairatzeko probabilitate handiena duten eremuak. Oro har, haizearen norabide bat baino gehiago hartu behar da kontuan arriskuen analisian.
- **Abiadura.** Haizearen abiadura handitu ahala, igorritako substantzia lehenago iristen da haizearen norabidean dagoen hartzailearengana, baina diluzio handiagoa ere izaten du, aire kantitate handiagoa eta turbulentzia handiagoa baititu tartean. Kalkulua-
ren konplexutasuna handia da, haizearen abiadura altuerarekin aldatzen delako, modu konplexu eta aldakorrean denboran zehar. Orokorrean, haizearen abiadura altuerarekin aldatu egiten da, abiadura-profil bat sortuz. Altuera jakin batean, muga-geruzara heltzean, profil laura mantenduko da. Muga-geruzaren altuera lursailaren araberakoa da. Hori dela eta, substantzi aarriskutsu baten emisioaren efektu nagusiak lurzoruaren mailan edo hortik hurbil gertatzen dira. Beraz, haizearen abiaduraren aldakuntza, lursailak ondorio nabarmenak dituen eskualdean ($U_{w,z}$), erlazio esponentzial batekin adierazi ohi da, erreferentziatzen haizearen abiadura hartuta, lurrarekiko 10 metroko kotara neurtuta ($U_{w,10}$).

$$U_{w,z} = U_{w,10} \left(\frac{z}{10} \right)^n \quad (28)$$

(28) ekuazioan erabili beharreko n esponentearen balioak 17. taulan ageri dira.

17. taula

n esponentearen balioak (28) ekuazioa erabiltzeko

Egonkortasun mota	Hirigunea	Landa-lurra
A	0.15	0.07
B	0.15	0.07
C	0.20	0.10
D	0.25	0.15
E	0.40	0.35
F	0.60	0.55

- **Maiztasuna eta iraunkortasuna.** Haizearen maiztasunak adierazten du noranzko jakin batean haizeak orientazio hori duen denboraren ehunekoa. Iraunkortasuna da haizeak norabide jakin batean jotzen duen konstantziari dagokion nolakotasuna; hau da, zenbat denbora irauten duen haizeak norabide berdinean jotzen. Datu hori ondo ezagutu behar da, eta ezin daiteke maiztasun-datuetatik kalkulatu.

Arriskuen analisirako, haizearen norabide, abiadura, maiztasun eta iraunkortasunaren datu fidagarriak izan behar dira (intsolazio, tenperatura, airearen hezetasun, prezipitazio ... datuekin batera). Estatistikoki fidagarriak diren datuak bakarrik hartuko dira adierazgarritzat, arriskuen analisia egiterako orduan.

4.3.3. Sakabanaketa-ereduak

Atal honetan eredu simple batzuk aurkeztuko ditugu, baina oso maiz aplikatu beharrekoak. Atmosferara konposatu arriskutsuak isurtzen direnean, eboluzio-aukera desberdinak dituzten etapa bat baino gehiago daude.

Flotazio neutroko edo positiboko isuriak

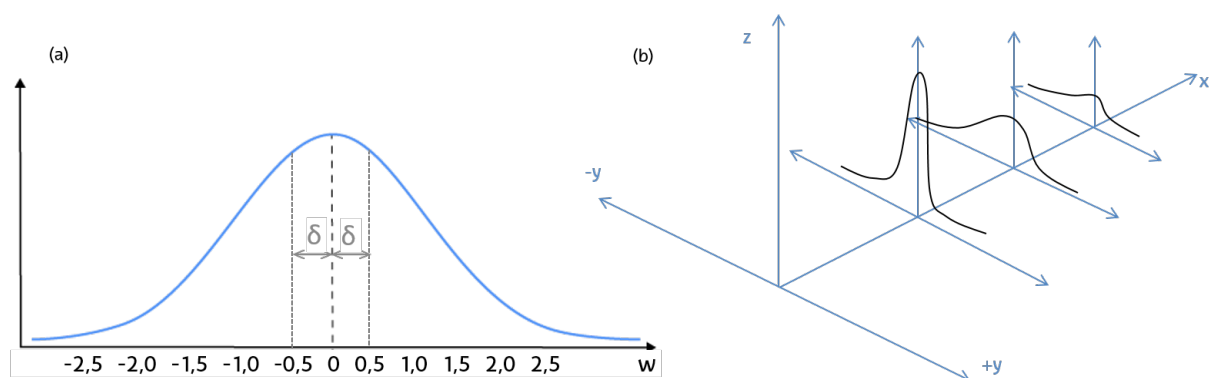
18. irudian, flotazio positiboa duten lurrunen igorpen jarraitu batetik espero daitekeen portaera erakutsi da. Grabitate-eragin garrantzitsurik ez dagoenean (flotazio negatiboa), atmosferan emisio bat barreiatzea turbulentsia atmosferikoak gobernatzeko duen prozesu bat da, isuritako substantzia inguruko airearekin nahastea errazten duena. Horrelako emisioetan, eredu gausstarrak erabiltzen dira substantziaren kontzentrazioaren bilakaera kalkulatzeko.

Gas baten Q kg-ko bat-bateko emisio bat bada, U (m/s) abiadura duen haize batek x norabidean jotzen duen unean egina, koordinatuen jatorria emisioa sortzen den puntuan kokatzen bada eta airean isurtzen den substantziaren hedapen-koefiziente zurrunbilotsua D (m^2/s) dela suposatzen bada (norabide guztietan konstantea), honako ekuazio honek ematen du atmosferako sakabanaketa, koordinatu angeluzuzenetan:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) \quad (29)$$

Non C espazioaren puntu batean, une jakin batean, igorritako substantziaren kontzentrazioa baita (kg/m^3).

Kontuan izan behar da, sakabanaketa matematikoki adierazterakoan, substantzien sakabanaketak Gauss-en kanpaiaren itxura hartzen duela. Substantzia igorpen-fokutik urrundu ahala, kanpaiaren forma zabalagoa izango da (bariantza handiagoa), eta baita baxuagoa ere (19. irudia).



19. irudia

- (a) Banaketa-kurba normala, 0,5 desbiderapen tipiko baterako, eta (b) Kontzentrazioen banaketaren formaren aldaketa y norabidean, igorpen-puntura dagoen distantzia handitu ahala

Berehalako emisioentzat (17. irudia) emisioak esfera-forma hartzen duela suposatzen da, haizearen x norabidean desplazatzen doana. Substantziaren sakabanaketa norabide guztietan gertatuko da, esferaren tamaina handituz eta diluituz.

(29) ekuazio garatuz, substantziaren kontzentrazioa (x,y,z) puntuan eta emisioaren ondorengo t denboran:

$$C = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{(x-Ut)^2}{2(\sigma_x)^2} - \frac{y^2}{2(\sigma_y)^2}\right] \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2(\sigma_z)^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2(\sigma_z)^2}\right] \right\} \quad (30)$$

Q isuritako gasaren kantitatea izanik (kg), U haizearen abiadura (m/s) eta H altuera efektiboa (m) (H=0 emisioa lurzorua mailan gertatzen bada).

Emisio jarraituen kasuan, haizearen x norabidean gertatzen diren kontzentrazio-aldaketak haizeak eragindako masa-desplazamenduaren ondorio izango dira. Beraz, x ardatzeko dispersioa mespretxagarria izango da, eta y eta z ardatzetako kontzentrazioek, eredu gausstarra jarraituko dute. (29) ekuazioan $\partial C / \partial t = 0$ eginez (emisio jarraitua delako), substantziaren kontzentrazioa (y,z) puntuan honako hau izango da:

$$C = \frac{Q^*}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2(\sigma_y)^2}\right] \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2(\sigma_z)^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2(\sigma_z)^2}\right] \right\} \quad (31)$$

Non Q^* emisio-emaria baita (kg/s), eta σ_x , σ_{oy} eta σ_z dispersio-koefizienteak baitira; eta x, y, z ardatzetan sortutako desbideratzeak adierazten dituzte.

Dispersio-koefiziente horiek haizearen norabidean dagoen distantziarekin aldatzen dira (x), eta horiek 100 m eta 10 km arteko distantzietan kalkulatzeko, honako ekuazio hauek erabiltzen dira emisio jarraituentzat:

$$\sigma_y = ax^b \quad (32)$$

$$\sigma_z = cx^d \quad (33)$$

Eta honako hauek bat-bateko emisioentzat:

$$\sigma_x = 0.13x \quad (34)$$

$$\sigma_y = 0.5ax^b \quad (35)$$

$$\sigma_z = cx^d \quad (36)$$

Non koefizienteak metrotan kalkulatu baitira eta x (distantzia) metrotan ere adierazten baita. Lau koefizienteen balioak 18. taulatik lortzen dira.

18. taula

(32)-(36) ekuazioen koefizienteetarako erabili beharreko balioak, ingurumen-egonkortasunaren arabera

Egonkortasun mota	a	b	c	d
A	0,527	0,865	0,280	0,900
B	0,371	0,866	0,230	0,850
C	0,209	0,897	0,220	0,800
D	0,128	0,905	0,200	0,760
E	0,098	0,902	0,150	0,730
F	0,065	0,902	0,120	0,670

Norabide horizontaleko desbideratze tipikoaren balioak, σ_{oy} , batez besteko gisa interpretatu behar dira hamar minutuko tartearen ganean; σ_z -ren balioak 20 metrotik beherako altuerarako ulertzen dira; eta z_0 luraren zimurtasun-parametroaren (aurrerago zehaztuko da) balioa 0,1 metrokoa da.

Dispersio-eredu gausstarrari egindako zuzenketak

1. **Lurraren zimurtasunagatik zuzentzea**

Z_0 luraren zimurtasunaren parametroa sartzen da erliebeak luraren gainazalean duen eragina kuantifikatu ahal izateko isurketaren sakabanaketa bertikalean (z). 19. taulan adierazitakoak dira hainbat lursailentarako z_0 balioak.

19. taula

Hainbat lursailentarako z_0 -ren balioak

Z_0	Lursail mota
0,03	Lursail laua, zuhaitz gutxirekin
0,1	Lursail irekia (laua zuhaitz askorekin)
0,3	Landatutako lurra edo istripu ugari eragiten dituen lurra, hala nola laboreak, negutegiak, etxe isolatuak, etab.
1	Bizitegi-eremua, eraikin trinkoa baina altuera gutxikoa
3	Hiri-eremua, eraikin altuak, tamaina handiko egiturak dituzten industria-eraikinak

c eta d koefizienteetatik lortzen diren σ_z -ren balioak ((36) ekuazioa) halakotzat erabili daitezke 0,1eko z_0 balio baterako. Beste balio batzuetarako, zuzenketa bat sartu behar da, honako hauen arabera:

$$\sigma_z = cx^d (10z_0)^m \quad (37)$$

$$m = 0.53x^{-0.22} \quad (38)$$

2. *Esposizioaren iraupenagatiko zuzenketa*

Denboran zehar ezaugarri konstanteak dituen emisio jarraitua idealizazio bat da. Egia esan, isurketaren inguruek ausazko aldaketak izaten dituzte puntu jakin batean. Etengabeko emisio batean sortutako lumak une jakin batean muga gutxi gorabehera zehaztuak izan ditzake, baina horiek gorabeherak izaten dituzte kontuan hartu beharreko denborarekin. Beraz, emisio jarraituetan, isurketa-inguruek ausazko aldaketak izaten dituzte puntu bakoitzean, turbulentiaren ondoriozko fenomeno kaotikoen ondorioz; eta, hori dela eta, fluktuazio konplexuak izaten dituzte denborarekin.

Fluktuazioen eragina kuantifikatu ohi da y ardatzeko σ_{σ_y} balioan egindako zuzenketaren bidez:

$$C_t = (t/600)^{0.2} \quad (39)$$

$$\sigma_y = C_t \sigma_{y,10} \quad (40)$$

Non t hartzaile batek emisioarekiko duen esposizio-denbora baita, segundotan neurtuta, eta $\sigma_{y,10}$, hamar minutuko esposizio baterako desbiderapen tipikoa, (32) ekuaziotik lortzen dena.

3. *Iturriaren neurriengatiko zuzenketa*

Arestian azaldutakoari dagokionez, inplizituki suposatu da iturria puntuala zela, edo kontzentrazio-zenbatespenak distantzia handi batera egiten zirela, iturriaren neurriak haren aurrean mespretxagarritzat jotzeko adinakora. Hala ere, gerta daiteke iturriak neurri handiak izatea (adibidez, likido lurrunkor baten isurketan eta ondorengo lurruntzean putzu baten gainazaletik), eta kasu horretan kontuan hartu behar dira.

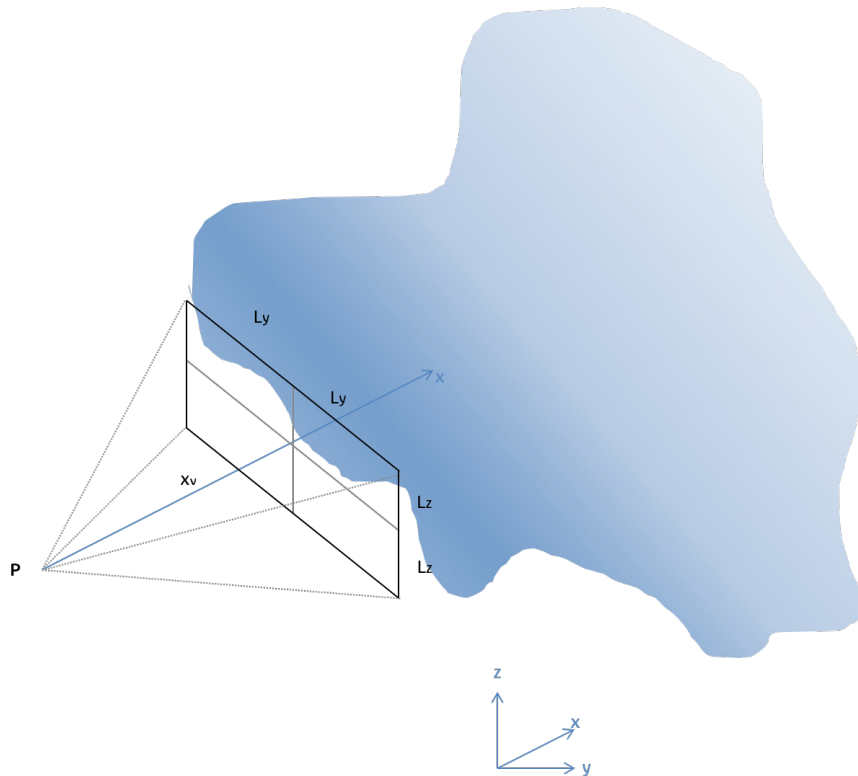
Sarrin erabiltzen den metodo bat da iturri birtualarena, 20. irudian erakusten dena ($2L_y$) \times ($2L_z$) dimentsio angeluzuzeneko iturri baterako. Prozedura horren arabera, benetako iturritik x_v distantzia birtualean kokatutako P fikziozko iturri puntual bat hautatu behar da; horrela, x_v distantzia egin ondoren, igorpen birtualak iturriaren benetako dimentsioak ditu. Norabide horizontaleko desbideratze tipikoa, σ_y , honela kalkulatzen da:

$$\delta_y = \frac{L_y}{2,15} \quad (41)$$

Desbideratze tipikoaren balioa zenbatetsi ondoren, x eta z helbideetarako distantzia birtuala ekuazio hauen arabera kalkula daiteke:

$$x_{vy} = \left(\frac{\delta_y}{2,15a} \right)^{1/b} \quad (42)$$

$$x_{vz} = \left(\frac{\delta_z}{2,15c} \right)^{1/d} \quad (43)$$



20. irudia

Geometria angeluzuzeneko emisio baterako iturri birtual bat hautatzea

4. *Lur heterogeneoaren gaineko transmisioagatiko zuzenketa*

Gerta daiteke sakabanatze-kalkuluak egiten diren distantziaren barruan lurraren izaera aldatzea. Adibidez, egitura altuak dituzten industriak dituen poligono batetik datorren emisio bat zimurtasun txikiko eremu ireki baten bidez transmiti daiteke, ondoren bizitegi-eremu zabal batera iristeko.

Bizitegi-eremuan hartzaile bat industrialdean gertatutako emisio baten eraginpean ote dagoen ebaluatu nahi bada, kontuan hartu beharko dira lursailaren ezaugarrien aldaketak. Kasu horretan, iturri birtualen laguntzarekin egiten dira kalkuluak.

Beraz, emisio batek x_A luzerako lursail bat zeharkatzen badu, z_{0a} zimurtasunaren parametroaren balio batekin, eta, ondoren, z_{0B} zimurtasuna duen x_B luzerako lursaila zeharkatzen badu, kalkulu-metodoa z_{0A} zimurtasuna erabiltzea da, x_A -ren ondoren σ_A desbiderapen tipikoa zehazteko. Hori ezagututa, desbideratze tipikoaren balio horrek berak B eremuko zimurtasun-parametroekin sortuko lukeen $x >_{vB}$ distantzia birtuala zehazten da, eta, horrela, desbideratze tipikoa kalkula daiteke fikziozko eremu homogeneo baterako, B eremuko ezaugarriekin eta $B+x_B$ hedadurarekin.

Flotazio negatiboa

21. irudian, hasieran airea baino dentsuagoa den konposatu bat igortzeko eboluzioa erakusten da. Azelerazioaren eta diluzioaren hasierako fasean, isurketa dakarren momentua (mugimendu kan-

titatea) da nagusi, eta deskarga 21. irudian erakusten den bezala egiten da. Fase horretan hedapen azkarra gertatzen da, emisioaren kontzentrazioa magnitude-ordena batean edo bitan dilui dezakeena.

Hasierako fasearen ondoren, oraindik flotazio negatiboa duen bigarren etapa batean sartzen da, eta, beraz, hodeiak lurmuturrerantz hondoratzeko joera du. Aire zirkundatzailearekin diluzioa gertatzen jarraitzen denez, une batean flotazio-efektuak hutsalak dira turbulenzia atmosferikoari dagokionez, eta 2. eta 4. etapen arteko trantsizioa gertatzen da.

Flotazio negatiboa sortzen da gasak eta aireak duten dentsitate desberdintasunaren eraginez. Laino horren tamaina kalkulatzeko, R erradiodun eta h_F altueradun zilindro bertikal baten forma duela suposatzen da. Bera abiadura honela kalkula daiteke:

$$\frac{dR}{dt} = c \sqrt{\frac{gV^{1/3}(\rho_p - \rho_a)}{\rho_a}} \quad (44)$$

Non V hodeiaren bolumena baita, une bakoitzean, eta c konstantea 1 baliotik hurbil baitago.

Berehalako emisio baten kasuan, lainoaren eta inguruaren artean bero-transferentziarik ez dagoela jotzen bada, (44) ekuazioa honako era honetan idatz daiteke:

$$R^2 = (R_0)^2 + 2t \sqrt{\frac{g(V_0)^{1/3}(\rho_p - \rho_a)_0}{\rho_a}} \quad (45)$$

Laino hori hedatzen doan bitartean, bere kontzentrazioa txikituz joango da. Diluzio hori honako ekuazio honen bidez kalkula daiteke ($V_0^{1/3}$ -ren baliokidea den distantzia baino distantzia altuagoetarako bakarrik), x haizearen norabideko distantzia izanik:

$$\frac{V}{V_0} = \left[\frac{x}{V_0^{1/3}} \right]^{3/2} \quad (46)$$

Denbora aurrera joan ahal (berehalako emisioak) edo jatorritik distantzia batera (emisio jarraituak), airearekin diluzioa handitu eta dentsitate-efektuak ez du eraginik izango; orduan, emisioa flotazio neutrotzat har daiteke. Trantsizioaren unea zehaztea zaila da, eta gas dentsoak isurtzeko ereduak bereizteko puntuetako bat da. Hurbilpen bezala, ekuazio hau betetzen denean gertatzen dela suposatzen da:

$$\frac{\rho_p - \rho_a}{\rho_a} < 0.01 \quad (47)$$

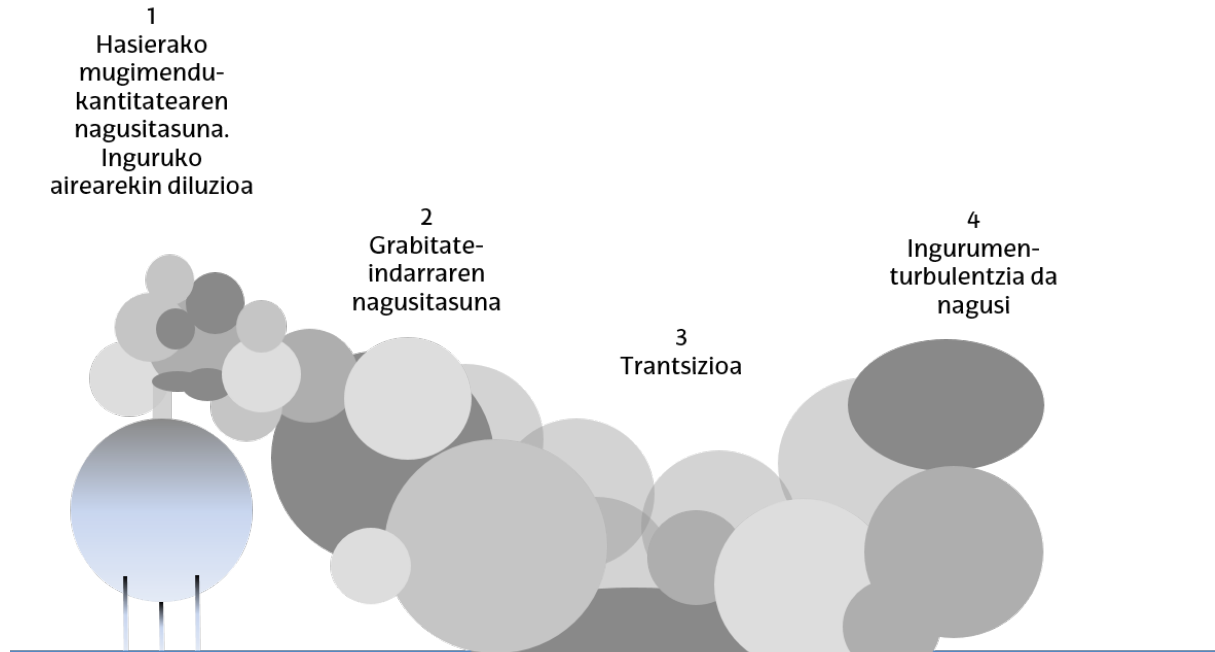
4. urratsetik aurrera, hodeia flotazio neutroko igorpenzat har daiteke. Hortik aurrerako eboluzioa deskribatzeko, arestian azaldutako eredu gausstarrak aplikatu daitezke.

Jatorri birtualaren metodoa aplikatu daiteke, trantsizio fasean dagoen lainoa ordezkatzeko. Trantsizio-puntuan dauden dispersio-koefizienteak honako hauek izango dira:

$$\sigma_y = 0.707R \quad (48)$$

$$\sigma_z = 0.707h_F \quad (49)$$

Berehalako emisioen kasuan, haizearen norabideko desbideratze tipikoa, σ_x , (49) ekuaziotik ere lortzen da. Dispersio-koefiziente horiek kalkulatu, distantzia birtuala kalkulatu da. Ondoren, eredu gausstarreko ekuazioak zuzendutako distantzia horrekin aplika daitezke.



21. irudia

Etapak, airea baino dentsuagoa den emisio batean

4.4. ZAURGARRITASUN-EREDUAK: PROBIT METODOLOGIA

Istripu jakin batek eragindako ondorioak, hala nola isuri bat, fenomenoaren intentsitatea adierazten duten aldagaien arabera adieraz daitezke; adibidez, kontzentrazioen mapa, substantzia toxikoaren bost minutura. Hala ere, pertsonak eta instalazioek magnitude jakin bateko efektu fisikoen aurrean duten kalteberatasuna ere balioetsi behar da. Pertsonen kalteberatasuna honela adierazten da: istripu baten ondorioz nolabaiteko kaltea izan dezaketen pertsonen kopurua. Aurreikuspenak aipatzen duen kaltearen maila analisisian definitu behar da, eta alda daiteke, eragozpen eta zauri arinetatik hasi eta eraginpean dauden pertsonen heriotzaraino. Bestalde, instalazioen kalteberatasuna kalte fisikoen zenbatespenaren arabera kuantifikatzen da (eraikinen eraispun partziala, kristalak haustea, eraikinen sutea, etab.).

Pertsonen eta instalazioen kalteberatasuna kalkulatzeko metodarik erabilienak probabilitate motakoak dira, Probit metodologia kasu. Probit *Probability Unit* ingelesezko laburdurari dagokio. Hainbat aldagairen kontrako efektuak iragartzeko erlazio errazak ematen ditu, betiere probabilitatearen banaketa normalaren transformazioen bidez deskriba badaitezke.

Probit eskala probabilitateak neurtzeko modu bat da, oso erabilgarria zenbait alderditan. Probabilitatearen eta Probit unitateen arteko erlazio biunibokoa dago, eta Probit banaketa ba-

naketa gausstar normala eta simetrikoa da, 5 batezbestekoa eta 1 bariantzakoa. Probabilitate-balioen (portzentaje gisa adierazita) eta Probit unitateen (Pr) arteko erlazioa dago, 20. taulako balioen arabera.

20. taula

Probabilitate-balioen (%) eta Probit unitateen (Pr) arteko erlazioa

Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%
0,00	0	4,16	20	4,75	40	5,25	60	5,84	80	7,37	99,1
2,67	1	4,19	21	4,77	41	5,28	61	5,88	81	7,41	99,2
2,95	2	4,23	22	4,80	42	5,31	62	5,92	82	7,46	99,3
3,12	3	4,26	23	4,82	43	5,33	63	5,95	83	7,51	99,4
3,25	4	4,29	24	4,85	44	5,35	64	5,99	84	7,58	99,5
3,35	5	4,33	25	4,87	45	5,39	65	6,04	85	7,65	99,6
3,45	6	4,36	26	4,90	46	5,41	66	6,08	86	7,75	99,7
3,52	7	4,39	27	4,92	47	5,44	67	6,13	87	7,88	99,8
3,59	8	4,42	28	4,95	48	5,47	68	6,18	88	8,09	99,9
3,66	9	4,45	29	4,97	49	5,50	69	6,23	89		
3,72	10	4,48	30	5,00	50	5,52	70	6,28	90		
3,77	11	4,50	31	5,03	51	5,55	71	6,34	91		
3,82	12	4,53	32	5,05	52	5,58	72	6,41	92		
3,87	13	4,56	33	5,08	53	5,61	73	6,48	93		
3,92	14	4,59	34	5,10	54	5,64	74	6,55	94		
3,96	15	4,61	35	5,13	55	5,67	75	6,64	95		
4,01	16	4,64	36	5,15	56	5,71	76	6,75	96		
4,05	17	4,67	37	5,18	57	5,74	77	6,88	97		
4,08	18	4,69	38	5,20	58	5,77	78	7,05	98		
4,12	19	4,72	39	5,23	59	5,81	79	7,33	99		

Esperimentalki aurkitu da faktore kaltegarri batek eragindako biztanleriaren ehunekoa adierazten bada haren intentsitatearen logaritmoarekin alderatuta, emaitzek, askotan, banaketa normala jarraitzen dutela. Kasu honetan, Probit aldagaiaren ezaugarriak kontuan hartuta, honako hau idatz daiteke:

$$\text{Pr} = a + b \ln V \quad (50)$$

Non Pr kaltea sortzeko probabilitate-funtzioa baita (Probit unitateak), a eta b kalte mota eta kaltea sortzen duen aldagaiaren araberako konstante enpirikoak baitira, eta V kaltea sortzen duen faktorearen intentsitatea adierazten duen aldagaia.

4.4.1. Isuri toxikoekiko zaugarritasunaren Probit ekuazioak

Probit ekuazioak istripuen ondoriozko berehalako ondorio akutuak deskribatzen ditu. Ez da aplikagarria kontzentrazio baxuetan eta/edo esposizio-denbora luzeetan; kasu horietan, balorazio-irizpideak Higiene Industrialak ezartzen ditu. Kontuan izan behar da, horrelako istripuetan, kanpoan dauden pertsonak izango dituztela ondorioak (ez die eragiten substantzien ihesa gertatzen den eraikinaren barruko pertsonen).

Substantzia toxiko baten arnasketaren ondorioz intoxikazioa jasango duten pertsonen ehuneko kalkulatzeko, lehenik eta behin, Probit unitateak kalkulatu dira, ekuazio honen arabera:

$$Pr = a + b \ln(c^n t) \quad (51)$$

non c substantziaren kontzentrazioa baita (ppm), eta t : esposizio-denbora (min). n parametro esperimental bat da (0.3 eta 6 balioen artean), eta a eta b parametroen balioekin batera taularatu dago (21. taula). Behin Probit unitateak kalkulatu, 20. taulan dagokien portzentaje-balioa lortuko da.

21. taula

Toxikotasun altua duten ohiko substantzientzat a , b eta n balioak

Substantzia	a	b	n	Substantzia	a	b	n
Akronitriloa	-29,40	3,01	1,43	Nitrogeno dioxidoa	-13,79	1,04	2
Akroleina	-9,93	2,59	1	Hidrogeno fluoruroa	-35,80	3,35	1
Amoniakoa	-35,90	1,85	2	Formaldehidoa	-12,24	1,30	2
Bentzenoa	-109,78	5,30	2	Fosgenoa	-19,27	3,59	1
Bromoa	-9,04	0,92	2	Metil isozianatoa	-5,64	1,64	0,65
Metil bromuroa	-56,81	5,27	1	Karbono monoxidoa	-37,98	3,70	1
Zianuroa	-29,42	3,01	1,43	Propileno oxidoa	-7,41	0,51	2
Cl ₂	-8,29	0,82	2	Hidrogeno sulfuroa	-31,42	3,01	1,43
HCl	-16,85	2,00	1	CCl ₄	-6,29	0,41	2,50
SO ₂	-15,80	2,10	1	Toluenoa	-6,79	0,41	2,50

Kontzentrazioa mg/m³-an edukiz gero, a eta b konstanteen balioak aldatu egingo lirateke; beraz, balio taularatuak erabiltzeko, kontzentrazio-unitateak aldatu behar dira, honako ekuazio honen bidez (gas idealak suposatuz)

$$c_{ppm} = c_{mg/m^3} \frac{22.4T_a}{M273} \quad (52)$$

5

Suteak eta leherketak

Industria kimikoaren eta bioteknologikoaren fabrikazio-prozesuetan material sukoi asko erabiltzen dira; beraz, gas likidoek eta horien lurrunek, hautsek, aerosolek eta abarrek zein sute- eta eztanda-arrisku dituzten jakitea interesatzen zaigu. Industria horietan normalean prozesatzen diren substantzien ezaugarriak direla eta, istripurik ohikoenak suteak dira, ondoren leherketak, eta, azkenik, substantzia toxikoen igorpena.

Kapitulu honetan, suteen eta esposizioen ondorioak ebaluatzeko metodoak ikusiko ditugu. Horretarako, sutearen edo leherketaren egoera definitzen duten datuak ezagutu behar ditugu: leherketaren unean hodei batean sukoitasun-mugen barruan zenbat material dagoen, edo su hartu duen isurian zenbat likido sukoi dagoen...

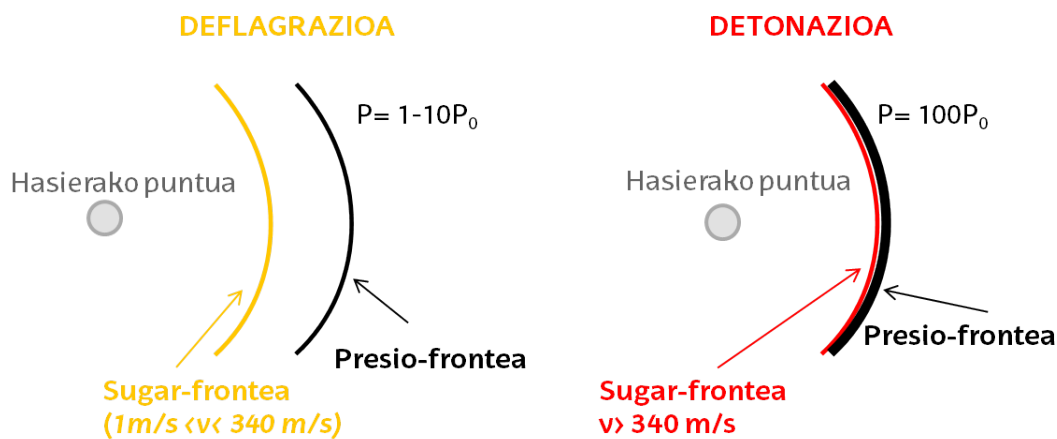
Beraz, industria horietako arriskuen analisiaren arloan lan egiten duen edonork ezagutza hauek izan behar ditu:

- Suteei eta leherketei dagokienez, materialen ezaugarriak zehaztea.
- Agertoki jakin batean sute edo esposizio baten ondorioak zenbatzea.
- Sute- eta esposizio-arriskua murrizteko prozedurak proposatzea, edo, hala badagokio, horien ondorioak arintzea.

Sute eta leherketak oxidazio-erreakzioak (errekuntza-erreakzioak) dira; hau da, erreakzio kimiko bat, non material jakin baten oxidaziotik energia askatzen baita, eta sua, egoera jakin batzuetan, horren ondorio ikusgarri bat da. Suteek eta leherketek antzekotasun ugari dituzte, eta desberdintasun nagusia energia askatzeko abiadura dute; izan ere suteetan leherketetan baino astiroago askatzen da energia.

- Oxidazio-erreakzioa oso motela denean, ez-erreakzioa argirik igorri gabe gertatzen da; ez dago tenperaturaren igoerarik, eta askatutako eta giroan desagertzen den bero gutxi isurtzen da. Adibidez, iltze baten oxidazioa.
- Oxidazio-abiadura normala denean, sutea gertatuko da; argia (sugarra) eta beroa isuriz sortzen da, eta gizakiak hauteman dezake. Energiaren parte bat giroan desagertzen da, eta beste zati bat kate-erreakzioa elikatzeke erabiltzen da. Suteetan, sugar-frontearen abiadura 1 m/s baino txikiagoa izaten da.

— Oxidazio-abiadura arina denean, leherketa gertatzen da. Leherketa presio-mugimendu edo talka-uhin baten ondoriozko gasen hedapen azkarra da. Leherketak deflagrazioak (konbustio azpisonikoa) edo detonazioak (konbustio supersonikoak) izan daitezke. 22. irudian ikusten den lez, deflagrazioa da sugarraren frontearen hedapen-abiadura soinuarena baino txikiagoa denean sortzen den errekuntza; bere balioa segundoko metroen ordenan kokatzen da. Hasierako presioa bider 1-10 presio-uhinak sortzen dira. Erreakzioa are bizkorragoa bada, detonazioa da; sugarraren frontea zabaltzeko abiadura soinuarena baino handiagoa denean sortzen den errekuntza, segundoko kilometro-abiadurara iritsiz. Hasierako presioa bider 100 arteko presio-uhinak sortzen dira. Era berean, onartzen da deflagrazioan beroa transferitzeko ohiko mekanismoak erabiltzen direla, eta detonazio batean, berriz, tenperaturaren igoera batez ere sortutako talka-uhinaren ondorio dela. Detonazioa egoteko baldintzak zorrotzagoak dira sukoitasuna izatekoak baino, eta detonagarritasun-tarteak txikiagoak dira. Gas-erregaien eta airearen arteko nahasketak leherrarazteko, nolabaiteko konfinamendua behar izaten da, eta zuzenean gerta daiteke, edo trantsizioz, deflagrazio batetik abiatuta. Arestian esandakoaren arabera, kasu honetan sugarraren frontearen azelerazio handia behar da, eroanbideetan gerta daitekeena, baina oso gertagaitza da ontzietan. Industria kimikoan eta bioteknologikoan, nahasketa sukoien leherketa gehienak deflagrazioak dira.



22. irudia

Deflagrazioa eta detonazioa

Gainera, suteak eta leherketak erlazionatuta egon ohi dira; sute batek leherketa bat eragin ohi du, eta alderantziz.

5.1. SUKOITASUNAREN EZAUGARRIAK

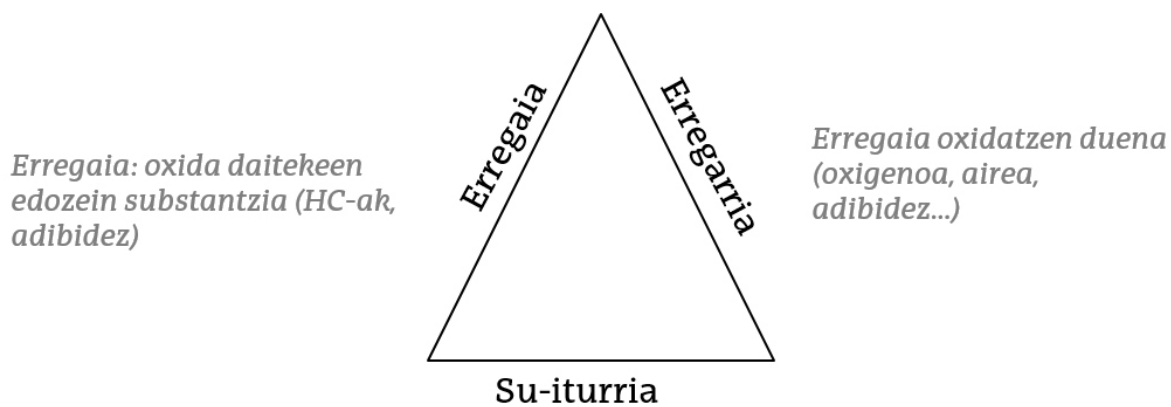
5.1.1. Sukoitassuna

Sukoitasun terminoak substantzia batek airean (edo erregarri izan daitekeen beste gas batean) erre dezakeen erraztasuna adierazten du. Errekuntza konbentzionala lurrun fasean gertatzen dela onartzen da, eta horrek esan nahi du likidoak lurrundu egin behar direla edo solidoak deskonposatu eta lurrundu egin behar direla errekuntzan sartu aurretik.

Sute bat gertatzeko beharrezkoak diren elementuak batzen dira «suaren triangeluan» (23. irudia). Elementurik ez badago, sutea ezin da gertatu. Hala, sute bat ezin da gertatu erregairik ez badago, eskatutako proportzioan eta kopuruan ez badago, oxigenorik edo bestelako erregarririk kopuru egokietan ez badago, edo potentzia nahikoa duen su-iturririk ez badago.

Sua gerta dadin, beharrezkoa da su-energia minimoa hornitzea, nahasketaren sua eragiteko adinakoa. Material guztiek dute sutze-energia minimoa, ingurumen-baldintzekin aldatzen dena (presioa, erregai-nahasketaren konposizioa...). Beraz, su-iturrien presentzia saihesten bada, sua saihesten da.

Su-iturri ugari izan daitezke: azalera beroak, erregailuen sugarrak, ekipo elektrikoak, berezko suak, marruskaduraren ondoriozko txinpartak, eta beroa, fosforoak, elektrizitate estatikoa... Nabarmenezkoa da industria kimikoan sute-iturri ohikoenak azalera beroak eta sugar irekiak direla. Arrazoi elektrikoek eragindako sua oso maiz agertzen da industria-inguruetan ere.



23. irudia

Suaren triangelua

5.1.2. Sukoitasun-puntua edo flash puntua (T_F)

Substantzia baten flash puntua da likido erregai baten gainazaletik gertu sukoitasun-mugen barruan dagoen airearekin nahasketa bat sortzeko adinako lurruna sortzen den tenperatura minimoa.

Flash puntua, oro har, handitu egiten da presio osoa handitzen denean. Hori zenbatesteko, metodo normalizatuak erabili ohi dira, hala nola ASTM E502 araua. Hala ere, hidrokarburoen kasuan, honako ekuazio hau erabil daiteke flash puntuaren lurrunaren estimazioa egiteko:

$$T_F(^{\circ}\text{C}) = 0.683 T_B - 71.7 \quad (53)$$

T_B irakite-tenperatura da, Celsius gradutan.

5.1.3. Autosutze-puntua (T_A)

Autosutze-tenperatura da substantzia sukoi bat airean erretzeko gai den tenperatura, kanpoko su-iturririk gabe.

Autosutzea gas-nahasketaren maila termikotik bertatik edo gainazal bero batekin kontaktuan egoteagatik gertatzen da. Tenperatura hori aldagai askoren mende dago, sistemaren bolumenaren igoerak, operazioaren presio osoak edo oxigenoaren kontzentrazioak gutxitzen dute tenperatura horren balioa. Erregai-kontzentrazioaren aldakuntzak eragin konplexuagoa du. Gainera, azaleko materialak berak edo bertan utzitako materialek eragin katalitikoak izan dezakete. Horregatik, funtsezkoa da autosutze puntua prozesu-baldintzetatik ahal bezain hurbilen zehaztea.

5.1.4. Sukoitasun-mugak

Sukoitasun-mugek erregai-kontzentrazioen tartea ematen digute (bolumenaren ehunekotan, normalean), eta tarte horren barruan gas sukoiaren nahasketa batek su hartu dezake.

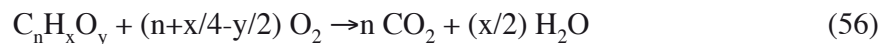
Sukoitasunaren behe-mugaren (SBMren) azpitik, ez dago errekuntza hedatzeko adina erregai. Era berean, sukoitasunaren goi-mugakoak (SGM) baino erregai-kontzentrazio handiagoetan, ez dago erreakzioa su-iturritik urrun hedatzeko adinako erregarririk (ez da kate-erreakziorik gertatuko). 22. taulan, hainbat substantziaren sukoitasun-mugak zerrendatzen dira, baita horien autosutze-tenperaturak eta flash puntuak ere.

Sukoitasun-mugen neurketa esperimentalak substantzien erabilera-baldintzetatik ahalik eta gertuen egin behar da beti. Neurri hori modu zehatzean gauzatzen da, aparatu eta baldintza estandarizatuak erabiliz, ASTM E681 araua jarraituz. Sukoitasun-mugak ezin badira esperimentalki zehaztu, ekuazio enpirikoak daude zenbatesteko, baina kontuan izan behar da erroreen mende daudela. Jones-en ekuazioak askotan erabiltzen diren ekuazio enpirikoak dira:

$$SBM = 0.55 C_{est} \quad (54)$$

$$SGM = 3.5 C_{est} \quad (55)$$

C_{est} : Aire-nahasketa batean produktu sukoiaren (erregaiaren) kontzentrazio estekiometrikoa da. $C_n H_x O_y$ formula orokorreko konposatu baterako kalkulua errekuntzaren ekuazio estekiometrikoa doitu egiten da, karbono dioxidoa eta ura emateko.



22. taula

Hainbat substantziaren sukoitasun-ezaugarriak

Substantzia	SBM airean (%)	SGM airean (%)	Autosutze-puntua, T_A (°C)	Sukoitasun-puntua, T_F (°C)
Hidrogenoa	4.0	75.0	400	—
Metanoa	5.0	15.0	538	-188.0
Azetaldehidoa	4.0	60.0	175	- 38.0
Etanoa	3.0	12.5	51	-135.0
Azetilenoa	2.5	80-100	305	—
Propanoa	2.1	9.5	450	<-104.0
Butanoa	1.6	8.4	405	- 60.0
Azetona	2.5	13.0	538	- 18.0
Bentzenoa	1.3	7.9	562	- 11.1
Estirenoa	1.1	6.1	490	31.1

Airean sukoitasunaren beheko muga iragartzeko sarritan erabiltzen den beste korrelazio enpiriko bat Spakowski-rena da:

$$SBM (\Delta H_C) = 4,354 \cdot 10^3 \quad (57)$$

($-\Delta H_C$) errekontza-bero estandarra (goi-mailakoa) da, eta kJ/mol-etan adierazi behar da; SMB, berriz, bolumenaren portzentaje gisa lortzen da.

Ingurunean lurrin sukoiaren nahasketa dagoenean, nahasketaren sukoitasunaren behe-muga kalkulatzeko Le Chatelier-en ekuazioa erabili behar da.

$$SBM_{nahasketa} = \frac{1}{\sum \left(\frac{Y_{i,erregai}}{SBM_i} \right)} \cdot 100 \quad (58)$$

$Y_{i,erregai}$ da nahasketako konposatu sukoi bakoitzak erregai kopuru osoan adierazten duen mol zatikia. SMB_i da, halaber, sukoitasunaren behe-muga, frakzio molar gisa ere adierazia.

Sukoitasun-mugak ingurumen-baldintzek alda ditzakete. Bereziki garrantzitsua da tenperaturak sukoitasun-mugetan duen eragina, sukoitasun-tartea handitzen baitu. Horrela, 100 °C inguruko tenperatura-igoera batek goiko muga % 8 igotzen du gutxi gorabehera, eta behekoa kopuru berean jaisten du. Burgess-Wheeler ekuazioa erabili ohi da hidrokarburoen lurrunen sukoitasun-mugak estimatzeko, giro-tenperaturatik urrun dauden tenperaturetan:

$$SBM_{(T)} = SBM_{(25\text{ }^\circ\text{C})} [1 - 0,75 \cdot (T-25) / (\Delta\Delta H_C)] \quad (59)$$

$$SGM_{(T)} = SGM_{(25\text{ }^\circ\text{C})} [1 + 0,75 \cdot (T-25) / (\Delta\Delta H_C)] \quad (60)$$

Non T tenperatura gradu zentigradutan baita, eta (ΔH_C) errekontza-bero estandarra (behe-mailako) kcal/mol-etan emana.

Presio-aldaketek gutxi eragiten diote beheko mugari, 5kPa baino balio txikiagoetara iritsi arte, non sugarraren fronteak nekez hedatzen baitira. Aitzitik, goiko muga handitu egin daiteke presioa handitzean, eta, ondorioz, sukoitasun-tartea zabaldu. Zabetakis-en ekuazioa erabili ohi da hori kalkulatzeko:

$$SGM_{(P)} = SGM_{(1atm)} + 20.6 (\log P + 1) \quad (61)$$

Presioa atmosferatan sartu behar da ekuazioan.

Aipatzekoa da sukoitasun-mugak oxigenoarekin edo beste erregari batzuekin ere kalkula daitezkeela, eta, kasu horretan, mugak nabarmen aldatzen direla. Bibliografian hainbat substantziaren sukoitasun-mugei buruzko datuak daude: kloroari, nitrogeno oxidoari, eta abarri dagozkionak.

5.1.5. Errekuntzarako oxigeno minimoa, O_{min}

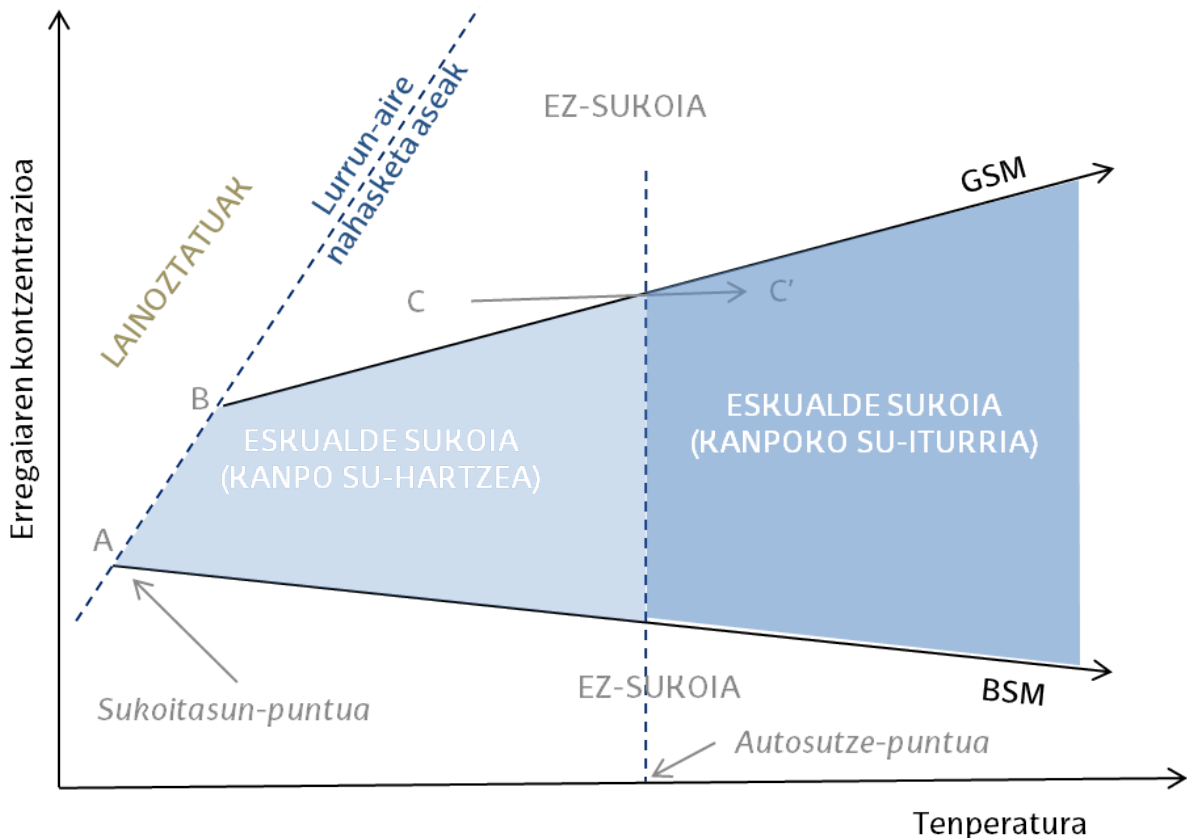
Aireko erregai-kontzentrazioan oinarritutako sukoitasun-mugak ikusi ditugu. Hala ere, kontuan izan behar da, gasaren edo lurrin erregaiaren kontzentrazioa edozein dela ere, nahasketak su hartzea eragotz daitekeela oxigeno kantitatea maila jakineraino jaisten bada. Oxigeno maila horri errekuntzarako oxigeno minimoa, O_{min} , deritzo.

Errekuntzarako gutxieneko oxigeno-kontzentrazioaren (%) azpitik (O_{min}), erreakzioak ez du nahasketaren tenperatura igotzeko adina energia sortzen (bertan dauden inerteak barne), sugarra zabaltzeko balio bateraino. Kontzeptu horren erabilgarritasuna agerikoa da, erregai-kontzentrazioa alde batera utzita leherketak egiteko aukera ezabatzea ahalbidetzen baitu. Beraz, O_{min} parametro garrantzitsua da nahasketa sukoiak dituzten ontzien inertizazio-sistemak diseinatzeke.

Logikoa denez, balio horren zehaztaperik esperimenterik zehatza gomendatzen da. Hala ere, ezinezkoa denean, nitrogenoarekin inertizatzeke O_{min} balioaren balioaren estimazioa egitea gomendatzen da, erregaiaren kontzentrazioa sukoitasunaren beheko mugaren berdina denean errekuntzarako behar den oxigeno estekiometrikoa bezala kalkulatu. Nitrogenoaren ordez bero-ahalmen handiagoko gas edo lurrin bat (ura edo CO_2 , adibidez) erabiltzen bada inertizaziorako, O_{min} balioak modu egokian handituko dira.

5.1.6. Sukoitassun-diagramak

Sukoitasun-diagramak kontzentrazio-tenperaturaren grafikoak dira. Bertan, gas-nahasketa baterako sukoitasun-mugak adierazten dira. 24. irudian sukoitasun-diagrama bat erakusten da. Bertan, irudi horretan, A puntua flash puntuari dagokio (hau da, lurrin-nahasketa ase bati), halako tenperatura batean non ondoriozko kontzentrazioa sukoitasunaren beheko mugari baitagokio. Era berean, B puntuan, nahasketa ase dago, eta haren kontzentrazioa sukoitasunaren goiko puntuari dagokio.



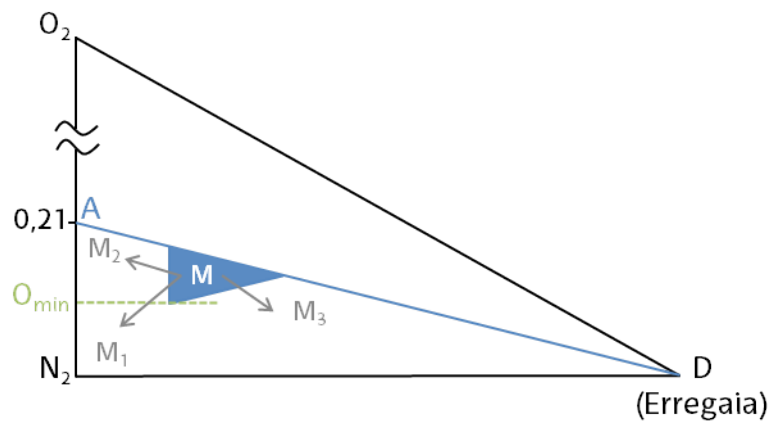
24. irudia

Kontzentrazio-tenperatura diagrama eta sukoitasun-ezaugarriak

Grafikoa ikus daitekeenez, lehen esan bezala, tenperaturaren igoerak sukoitasun-tartea zabalitzen du. Ondorioz, tenperatura igotzen bada, gerta daiteke hasieran sukoia ez den C nahastea sukoitasun-eremuaren barruan sartzea (C').

A eta B puntuei dagozkien tenperaturen arteko aldeak adierazten digu orekan dagoen sistema bat sukoitasun-mugen artean zer tenperatura-tartetan egongo litzatekeen. Gainera, 24. irudian bi gune ikus daitezke: autosutze-tenperaturatik behera, suak kanpoko su-iturri bat behar du; eta, gainera, nahasketa osatzen duten molekulek jada badute hura hasteko adina energia.

Lehen esan bezala, sukoitasun-mugetatik kanpo jar daiteke nahasketa bat, hura geldotuz (inertizatuz). 25. irudian, airea, erregaia edo inerte (nitrogenoa) gehitzeak gas-nahasketa adierazten duen puntuaren kokapenean duen eragina erakusten da. AD lerroan daude erregaiaren eta airearen arteko nahasketa bitar posible guztiak. B puntuan (BSM) erregaia gehitzeak edo C puntuan (GSM) airea gehitzeak sukoitasun-eremuan kokatzen du sistema; nitrogenoa B eta C puntuetan gehitzeak, berriz, hortik kanpo kokatzen du. Nahasketa globala M puntuan kokatzen bada, sistema sukoitasun-mugetatik kanpo eraman daiteke nitrogenoa gehituz ($M-M_1$ ibilbidea), airea gehituz ($M-M_2$ ibilbidea), edo erregaiaren nahasketa aberatsago egin eta erregaia gehituz ($M-M_3$ ibilbidea).



25. irudia

Airea, erregaia edo geldoa (nitrogenoa) gehitzeak nahasketa baten sutean duen eragina

5.1.7. Sukoitasun-mailak (NFPAren arabera)

Ez dago parametro bakar bat materialen sukoitasuna karakterizatzeko gai dena, baizik eta zenbait propietatek esku hartzen dute garrantzi-maila desberdinetan. Besteak beste, honako hauek aipa ditzakegu: flash puntua, sukoitasun-mugak eta autosu-tenperaturak, su-energia (nahasketa pizten hasteko energia), errekontza-abiadura, errekontza-beroa, solidoen fusio-puntua, biskositatea, karbonoa/hidrogenoa erlazioa, etab.

NFPAk (National Fire Protection Association siglak), gai honetan autoritate gorena duenak, materialak beren sukoitasun-ezaugarrien arabera sailkatzen ditu, eta bost ataletan banatzen ditu, honela:

- *Sukoitasun-maila 0.* Bost minutuz airean 815°C-ko tenperaturaren eraginpean badaude erretzen ez diren materialak. Adibideak: aluminio kloruroa, nitrato amonioa.
- *Sukoitasun-maila 1.* Kiskaltzeko aurreberokuntza handia behar duten materialak, edozein direla ere ingurumen-baldintzak. Multzo horren barruan sartzen dira bost minutu baino lehenago erretzen diren materialak, 815 °C-an airean jartzen direnean, eta 93,4°C-tik gorako flash puntua duten likido, solido eta erdisolido erregaiak. Adibideak: dietilenglikola, alkohol bentzilikoa.
- *Sukoitasun-maila 2.* Baldintza normaletan airearekin kontaktuan dauden atmosfera arriskuak osatzen ez dituzten materialak, baina beroketa moderatu baten ondoren edo tenperatura altuen eraginpean egon daitezkeenak. Talde horren barruan daude 37,8°C-tik 93,4°C-ra bitarteko flash puntua duten likidoak, eta baita lurrin sukoiak erraz samar sortzen dituzten solido eta erdisolidoak ere. Adibidez: azido azetikoak, anilina.
- *Sukoitasun-maila 3.* Ingurumen-baldintzetan edo horietatik hurbil erre daitezkeen likidoak eta solidoak, suaren eraginpean egonez gero. 3. mailako likidoek atmosfera sukoiak sortzen dituzte airean, normalean ohiko baldintza guztietan. Solidoei dagokienez, talde horretakoak dira fibrosoak (adibidez, kotoia), edo, hala badagokio, granulometria lodi samarrekoak, normalean aireko atmosfera leherkorak eratzten ez dituzten arren erraz erre daitezkeenak, bai eta beste solido batzuk ere, molekulen oxigenoa dutelako erraz erretzen direnak (adibidez, nitrozelulosa lehorra). Bestelako adibideak: azetona, dietilamina.

— *Sukoitasun-maila 4*. Material horiek azkar lurruntzen dira ingurumen-baldintzetan, eta azkar erretzen dira. Talde honetan sartzen dira material kriogenikoak, 22,8°C-tik beherako flash puntua duten likido sukoiak eta forma fisikoa edo propietateak direla-eta airean erraz barreia daitezkeen materialak, nahaste leherkorak sortuz, hala nola hauts erregaiak, fin-fin zatituak eta likido sukoiaren lainoak. Adibideak: azetaldehidoa, butanoa.

5.2. LEHERKETAK

Leherketa batek energia bat-batean eta bortizki askatzen du. Leherketak presio-energia askatzeagatik edo energia kimikoa askatzeagatik geratzen dira. Lehenengo kasuan, gas konprimatu baten energia bat-batean askatzen da oro har, akats mekaniko baten ondorioz, eta, ondoren, euste-ontzia kolapsatu egiten da. Energia kimikoa askatzearen ondoriozko leherketak erreazio kimiko batek eragiten ditu. Erreazio horrek tenperatura igotzea edota gas fasean dauden mol kopurua handitzea eragiten du.

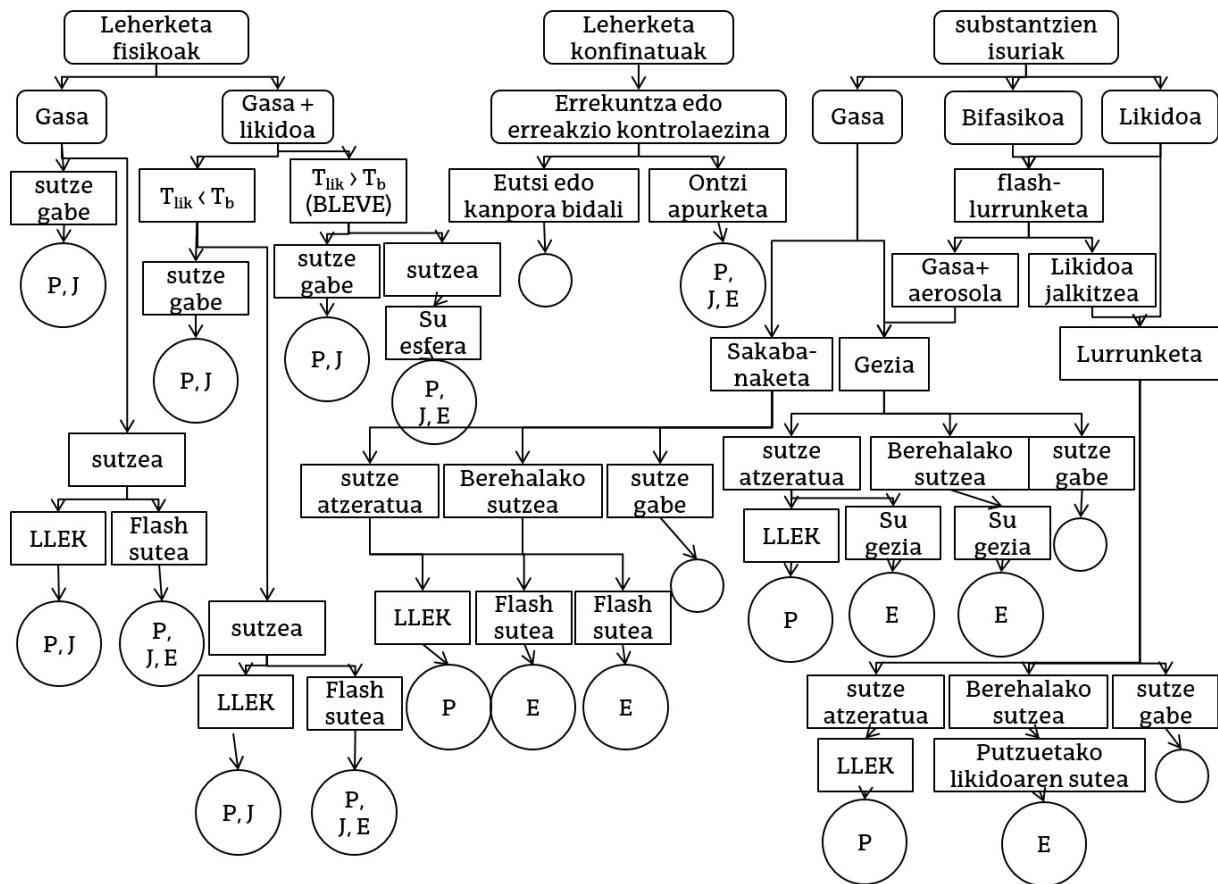
Substantzia sukoi baten sutea, leherketa edo isurketa gertatzean, hainbat ondorio sor daitezke, substantzien ezaugarrien, ingurunearen baldintzen eta dauden segurtasun-neurrien arabera. Istripuaren izaera istripuaren elementuak osatzen dituzten inguruabarren segidaren arabera da. 26. irudian hainbat bilakaera-kate ageri dira, espero daitezkeen azken emaitzekin: gainpresio-uhina (P), jaurtigaiaren sorrera (J), edo erradiazio termikoa (E).

Horrela, leherketa fisikoen barruan, gas fasea bakarrik badago; balizko efektuak talka-uhinen eraketara eta, hala badagokio, jaurtigaietara mugatzen dira, betiere nahasketaren sua sortzen ez bada. Hasierako leherketa fisikoa leherketa kimiko bihurtu daiteke (prozesu horren ondorioak nahasketaren errekuntza-erreazio kimiko batek zehazten ditu), tartean dagoen gasa erregai bada, airearekin sukoitasun-tartearen barruan nahasketa bat eratzen badu eta su hartzen badu. Hortik aurrera, konfinatu gabeko lurrun-hodeiaren leherketa bat (LLEK) edo flash sute bat gerta daiteke. LLEKaren azken ondorioak presio-uhin bat eta jaurtigaiak sortzea dira; izan ere, efektu termikoak ez dira aurrekoak bezain garrantzitsuak izaten.

Leherketa fisikoan likidoa eta lurruna baditugu, eta likidoa irakiteko tenperatuaren azpitik badago, lurrun fasean dagoen materialak eta prozesuak irauten duen denbora laburrean sartzen denak esku hartzen dute leherketan; eta eboluzio-katea aurreko kasuaren paraleloa da. Likidoaren tenperatura irakitekoa baino handiagoa bada, ontzia hausten duen hasierako presio fisikoak bat-bateko despresurizazioa eragiten du, eta gainberotutako likidoaren lurrunketa masiboa gertatzen da, BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) izenez ezagutzen dena. BLEVE-ek tenperatura altuko gas-masa bat sortzen dute, suzko esfera deritzona, erradiazio termikoko efektu garrantzitsuak dituen.

Leherketa konfinatuetan, egiturak leherketa behar bezala geldiarazteko edo aireztatzeko aukera ematen badu, ez dago ondorengo ondorioz; bestela, berriz, kontrako efektuetako bat edo gehiago gerta daitezke.

Leherketak eta suak ere izan daitezke euste-galaren ondorioz. Gas bat edo lurruntzeko gai den likido bat isurtzen bada, edo ihes bifasiko bat gertatzen bada, horren emaitza hodei bat sortzea da; su hartu ondoren, LLEK bat edo flash sute bat eragin dezake. Beste kasu batzuetan, berriz, su-gezi bat sortzen da, likidoa putzuan erretzen da, edo, su hartzen ez bada, ez da bestelako ondorioz sortzen. Sua sortzen den uneak garrantzi handia du azken finean gertatzen den gertakari mota zehazteko.



26. irudia

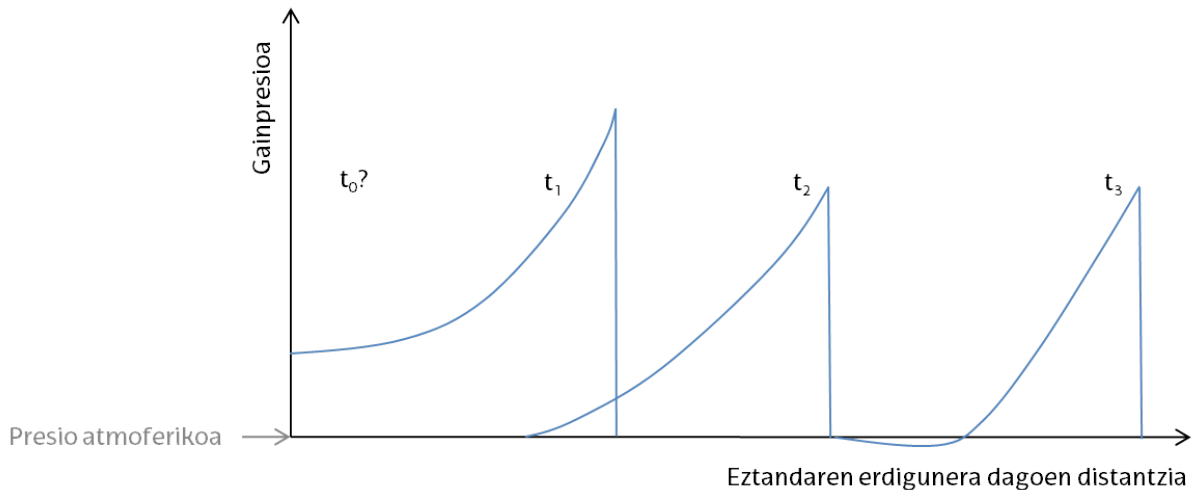
Leherketa baterako efektuen diagrama. P: gainpresio-uhina, J: jaurtigaien sorrera, E: erradiazio termikoa

5.2.1. Konfinatu gabeko leherketak

Konfinatu gabeko leherketak prozesu-ontzietatik edo eraikinetatik kanpo gertatzen direnak dira. Multzo horren barruan sartzen dira konfinatu gabeko lurrun-hodeien leherketak (LLEK) (ingelesez, *Unconfined Vapour Cloud Explosion (UVCE)*), industria kimikoan gertatutako istripu garrantzitsuenetako batzuk eragin dituztenak. Lurrun-hodei bat lehertzeko, alde aurretik hodei hori sortu behar da; adibidez, likido sukoi lurrunkor bat duen ontzi bat kolapsatu ondoren, edo gas sukoi batek ihes egin ondoren. Erregaiaren emisioa hasten denetik su hartzea gertatzen den arteko denbora faktore kritikoa da leherketaren botere suntsitzailea zehazteko orduan. Su goiztiar batean, hodei sukoiaren tamaina txikia da oraindik, ondorioak txikiak izan daitezke. Sua piztu arte denbora luzatu ahala, efektuak handituz doaz hodeian materiala pilatzearen ondorioz. Baina sua behar adina atzeratzen bada, isuritako material gehienak sukoiatasun-mugaren azpiko kontzentrazioetara diluitu daitezke; beraz, ondorioak txikiak izango lirarteke, ala ez.

Hodei baten eztandak erreakzio-fronte bat sortzen du, su-puntutik desplazatzen dena, aurretik talka-uhin bat edo presio-fronte bat duela. Talka-uhin horrek iraun egiten du hodeiaren materiala kontsumitu ondoren, su-puntutik gero eta distantzia handiagora mugituz, harik eta inguruarekin

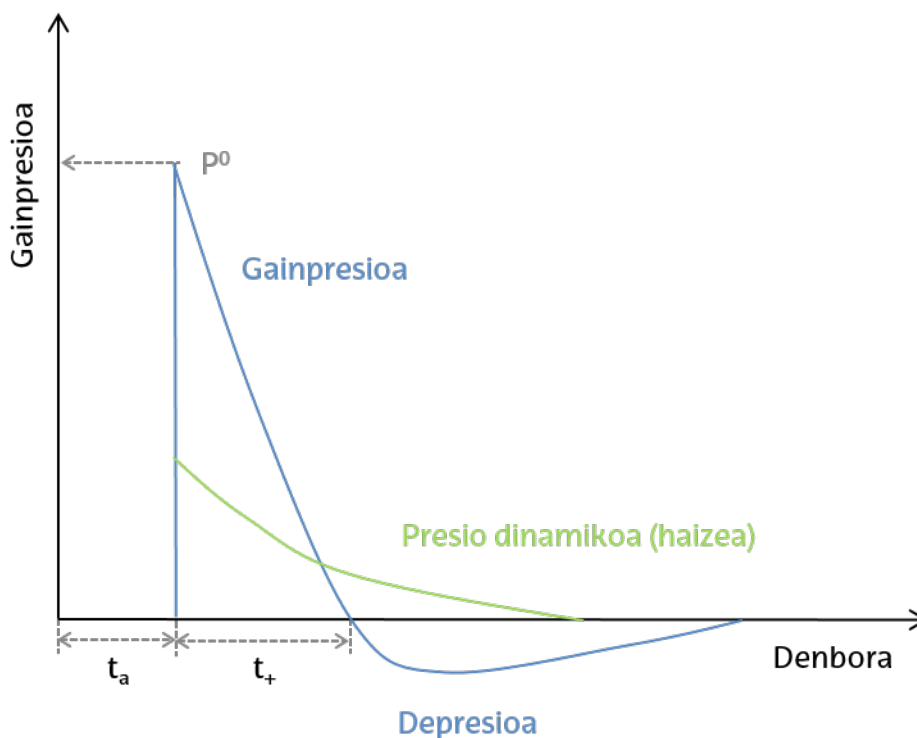
mugimendu kantitatea trukatzuz erabat moteltzen den arte. 27. irudian gainpresioiko profilen bila-kaera erakusten da, uhina jatorrizko puntutik urrundu ahala. Hasierako uneetako presio-profilaren forma zehatza leherketa motaren araberkoa da. Nolanahi ere, jatorrizko puntutik urrun samar, presio positiboko eskualdea (gainpresioa) bakantze-eremu batez jarraituta egon ohi da, eta gune horretan atmosferikoarekiko presio negatibo txikia izaten da, oro har balio absolutuan 0,25 bar gainditzen ez dituen. Hala eta guztiz ere, efektu suntsitzaileak oso garrantzitsuak izan daitezke, normalean eraikinak ez daudelako diseinatuta barrualdean kanpoan baino presio handiagoei aurre egiteko.



27. irudia

Presio-uhin baten bilakaeraren irudikapen idealizatua

Leherketaren jatorritik distantzia jakin batera puntu finko batean denborarekin gertatzen diren presio-aldaketak kontuan hartzen badira, gainpresioaren aldaketak 28. irudian adierazitako forma du. Talka-uhinak objektu bat kolpatzen duenean, uhinaren hedapen-direkzioarekiko paraleloak diren gainazalen gaineko presioa ia berehala handitzen da P^0 gehieneko presioaren baliora. Puntu jakin bateko presio-aldaketa karakterizatzeko beste parametro garrantzitsu batzuk hauek dira: iritsiera-denbora, t_a , fase positiboaren iraupena, t_+ (hau da, hedapen-norabidearekiko paraleloa den gainazal baten gainean neurtzen den presioak presio atmosferikoak baino balio handiagoa edo berdina duen denbora), eta presioaren gainbehera-parametroa, a , kurbaren forma deskribatzen duena, gehieneko gainpresioa lortzen den unetik aurrera. 23. taulan, TNT tona baten ezandaren ondoriozko hedatze-uhinerako hiru parametroen aldaketa agertzen da. Parametroen balio desberdinak ageri dira bibliografian.



28. irudia

Gainpresio intzidentearen eta gainpresio dinamikoaren aldakuntza, leherketaren jatorritik urrun samar dagoen puntu batean

23. taula

TNT tona baten leherketaren ondoriozko uhin hedatzailerako distantziarekiko presioaren aldakuntza-kurbaren parametro bereizgarrien balioa

Distantzia (ft)	30	6	80	120	200
t_a (ms)	4,00	18,00	37,00	5,0	123,0
t_+ (ms)	5,50	12,00	16,00	18,0	22,5
α	3,50	1,08	0,87	0,9	1,15

28. irudian erakutsitako gainpresio-kurbaren fase positiboa matematikoki deskribatzeko, Friedlander mota aldatua erabil daiteke.

$$P = P^0 \left(1 - \frac{t}{t_+}\right) \exp(-\alpha t / t_+) \quad (62)$$

Non t presio-uhina iristen denetik hasten baita zenbatzen.

Beste propietate garrantzitsu batzuk dira talka-uhinaren abiadura (U), presio dinamiko maximoa eta islapen bidezko gainpresio maximoa.

Talka-uhinaren abiadura airean, U , honela kalkulatzen da:

$$U = C_0 \left(1 + \frac{6P^0}{7P} \right)^{1/2} \quad (63)$$

Non, C_0 , soinuaren abiadura airean baita, P , presio atmosferikoa, eta P^0 , gainpresio maximoa.

Presio dinamikoa leherketan sortutako haizearen energia zinetikoa bere bidean gainazal bat aurkitzean sortutako presio-energia bihurtzeari dagokio (28. irudian ere agertzen da bere eboluzioa), eta honela kalkula daiteke:

$$q_0 = \frac{5}{2} \frac{(P^0)^2}{7P + P^0} \quad (64)$$

Non q_0 presio dinamiko maximoa baita.

Garrantzitsua da, halaber, islapen bidezko gainpresio maximoa kontuan hartzea. Presio-uhinak hedapen-norabidearekiko paraleloa ez den azalera solido batekin talka egiten duenean, horren islapena gertatzen da, eta islatutako presioa, P^0 balioarekin ez ezik, intzidentzia-angeluarekin ere aldatzen da. Gehienezko gainpresioa gertatzen da presio-uhinak hedapen-norabidearekiko perpendikularra den gainazal bat aurkitzen duenean. Kasu horretan, honelakoa da hedapen-norabidearekiko paraleloa den gainpresioaren eta gainpresioaren arteko erlazioa:

$$(P^o)_r = 2P^0 \left(\frac{7P + 4P^0}{7P + P^0} \right) \quad (65)$$

Ikus daitekeenez, islatutako gainpresio maximoa P^0 halako bi da, gutxienez, leherketa ahuletarako, non P^0 mespretxagarria baita presio atmosferikoaren aurrean, eta 8 aldiz handiagoa ere izan daiteke kontrakoa gertatzen den P^0 balio handiko leherketetarako.

Leherketa baten ondorioak distantziaren arabera kalkulatzea

Beste faktore batzuek ere eragiten badute ere —hala nola, presioa handitzen duen abiadurak, fase positiboaren iraupenak eta ondorengo arrarotzearen magnitudeak—, leherketa batek eragindako kaltea gehieneko gainpresioaren mende dago nagusiki. Beraz, 0,15 psi-ko gainpresioak kristalak haustea eragiten du normalean, 1 psi-ekoak etxe baxuak partzialki eraistea, eta 10 psi-ko bat nahikoa da eraikinak erabat suntsitzeko. 24. taulan agertzen da gainpresioek eragindako kalteen zerrenda osoagoa.

24. taula

Leherketek gainpresioaren arabera eragindako kalteak

Gainpresioa (psi)	Kalte mota
0.03	Tentsiopean dauden kristal handien haustura
0.1	Tentsiopean dauden kristal txikien haustura
0.3	Kalte garrantzitsurik ez pairatzeko %95eko probabilitatea. Kristalen %10 apurtzea
1	Etkeen eraisketa partziala
2-3	Zementuzko 20-30 cm-ko hormak suntsitzea
2.4	Tinpanoa apurtzeko atalasea (%1)
3-4	Biltegi-ontzien haustura
5-7	Etkeen erabateko suntsitzea
7	Zamatutako tren-bagoiak iraultzea
10	Ekipamendu astuna (3.500 kg) mugitua eta kaltetua
12.2	%90eko probabilitatea tinpanoa apurtzeko
14.5	Birika-odoljariora dela eta hiltzeko atalasea (%1)
25.5	%90eko probabilitatea birika-odoljariora dela eta hiltzeko
280	Krater baten sorrera

Izaera sinplifikatuari dagozkion mugak gorabehera, «TNT baliokidea»ren eredia asko erabiltzen da oraindik ere leherketa baten zentrotik distantzia jakin batera egindako gainpresioen iragarpean. Eredu hori eskalatzearen legean oinarritzen da, enpirikoki ezarrita baitago lehergailuak erabiliz egindako probetan oinarrituta. Lege horrek ezartzen du bi leherketen ondorioak berdinak direla distantzia murriztu berean dauden puntuetan, eta distantzia murriztu hori honela adierazten da:

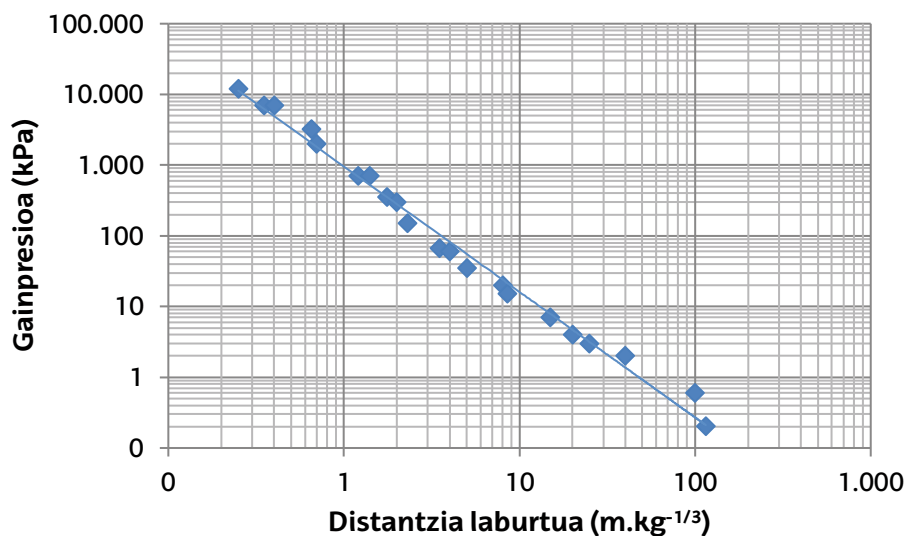
$$z = \frac{R}{(W_{TNT})^{1/3}} \quad (66)$$

Non z distantzia laburtua ($m \text{ kg}^{-1/3}$) baita, R benetako distantzia (m), W_{TNT} , leherketan erabiltako TNT masa, edo, hala badagokio, askatutako energiaren TNT baliokidea.

(66) ekuaziotik ondoriozta daitekeenez, bi leherketek efektu berberak eragiten dituzten distantziak erlazio honen bidez ematen dira:

$$\frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{W_{TNT,1}}{W_{TNT,2}} \right)^{1/3} \quad (67)$$

Gainpresioa distantzia murriztuaren arabera irudikatzen da (29. irudia).



29. irudia

Gainpresioaren (P^0) eta distantzia laburtuaren arteko erlazioa, TNT eredua aplikatzeko.
 J.M. Santamaría Ramiro, P.A. Braña Aísa, *Análisis y reducción de riesgos en la industria química*,
 Editorial MAPFRE, D. L., Madril, 1994tik egokituta

Distantzia jakin batean (R jakinean) leherketaren ondorioak ezartzeko prozedura tarteko energia kalkulatu hasten da, TNT masa baliokidean adierazita. Horretarako, honako ekuazio hau erabiliko dugu:

$$W_{TNT} = \frac{\eta W (-\Delta H_c)}{(-\Delta H_{c,TNT})} \quad (68)$$

Non W askatu den substantziaren masa (kg) baita, $(-\Delta H_c)$ gas edo lurrunaren beheko errektuntza-beroa (kJ/kg), $(-\Delta H_{c,TNT})$ TNTren errektuntza-beroa (4680 kJ/kg), eta η leherketaren errendimendu enpirikoa (0,01-0,1 artean egongo da). Azken termino horrek islatzen du leherketan askatutako energia teorikoki eskuragai dagoenaren zati txiki bat bakarrik izan ohi dela.

Datu horrekin distantzia murriztua kalkulatzen da, $(W_{TNT})^{1/3}$ ekin zatituz, eta gainpresioa 29. irudia erabiliz kalkulatzen da. Distantzia jakin batean gainpresioa lortu ondoren, pertsonen eta instalazioen kalteberatasuna zenbatets daiteke, Probit metodologia (zaugarritasun-ereduak) erabiliz, aurrerago azalduko den moduan.

Hala ere, efektu batzuk balioesterakoan (zaugarritasun-ereduen bitartez) —esate baterako, leherketaren ondorioz jasotako inpaktuek eragindako heriotzak edo zauriak—, korrelazioaren parametro garrantzitsua bulkada da, I_p , honela definitzen dena:

$$I_p = \int_0^{t_n} P(t) dt \quad (69)$$

69 ekuazioa ordeztu eta integratzen bada, Friedlanderren ekuazio aldatuaren parametroen araberaren lortzen da bultzadarako adierazpena.

$$I_p = P^0 t_+ \left[\frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\alpha^2} (1 - e^{-\alpha}) \right] \quad (70)$$

TNOren korrelazio-eredua

Arestian adierazi den bezala, TNT eredua ondo garatuta dagoen arren eta TNT eta beste lehergai altu batzuen leherketen emaitzak zehatz-mehatz iragartzen dituen arren, mugatuta dago lurrun-hodei konfinatu gabeen eztandei aplikatzea, zaila baita leherketaren errendimenduaren balio egokia zenbatestea. TNOren korrelazio-eredua hodeiko lurrun sukoiaren erre-kuntzatik datorren energia totala leherketaren ondorioekin lotzeko saiakera alternatiboa da, eredu oso sinplifikatu baten bidez, baina kasu honetan LLEK datu historikoak zuzenean erabiltzen ditu.

TNO eredua $5 \cdot 10^9$ J (100 kg hidrokarburoko hodei bati dagokiona) eta $5 \cdot 10^{12}$ J arteko hodeiko energia totaletarako garatu zen. Tarte horretatik behera, leherketaren ondorioak txikiak direla jutzen da; tarte horretatik gora (100 tona hidrokarburoko hodeiak), berriz, estrapolazioa handiegia da, eta iragarpenak ez dira fidagarriak.

Eredu hori ezin da leherkortasun handiko materialetan aplikatu (adibidez, azetilenoa, hidrogenoa eta etileno oxidoa), ezta leherkortasun txikikoetan ere (adibidez, metanoa edo amoniakoa); baina erabil daiteke leherkortasun ertaineko materialetan, hala nola hidrokarburo arinetan (etanoa, etilenoa, propanoa, propenoa, butanoa, isobutanoa, pentanoa eta zikohexanoa).

TNO ereduak kalte-zirkuluak ezartzen ditu, honako adierazpen honen arabera:

$$R_i = C_i (\eta W (-\Delta H_c))^{1/3} \quad (71)$$

R_i , metrotan dagoen gehienezko distantzia da, zeinetan kalte mota jakin bat espero baitaiteke; C_i , i kalte motarako enpirikoki lortutako konstante bat da (ikus 25. taula); W , askatu den substantziaren masa (kg); $(-\Delta H_c)$, gas edo lurrunaren beheko erre-kuntza-beroa (kJ/kg); eta η , leherketaren errendimendua. Kasu honetan, leherketaren errendimendua bi faktoreren emaitza da:

$$\eta = \eta_c \eta_m \quad (72)$$

η_c hodeiaren estekiometria ezaren ondoriozko errendimenduaren galera adierazten du, (balioa edonola 0,3an finkatzen da) eta η_m errendimendu mekanikoa. Errekuntza isokorikoan η_m 0,33koa bada, eta isobarikoan 0,18koa. LLEK baterako (konfinamendu moduren bat egon daitekeela uste da), beraz, η_m -ren balioa erre-kuntza isokorikoaren errendimendutik hurbilago egongo da, eta errendimendu globalaren (η) balioa 0,1 izango da

25. taula

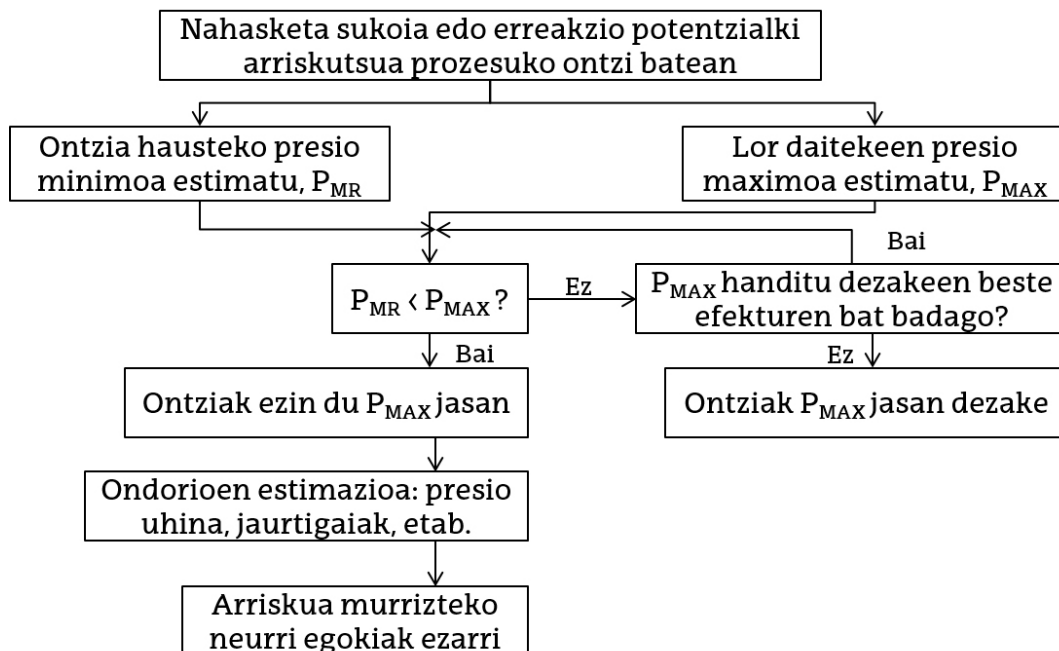
C_i konstantearen balioak, TNO korrelazio-eredua aplikatzeko

C_i ($m J^{-1/3}$)	Kalte mota
0.03	Eraikuntza eta prozesuetako ekipoei kalte oso garrantzitsuak.
0.06	Eraikuntzetan, konpon daitezkeen kalteak.
0.15	Kristalen haustura.
0.4	Kristalen haustura-atalasea (% 10)

5.2.2. Leherketa konfinatuak

Leherketa konfinatuak ontzien barruan gertatzen dira. Leherketa horiek funtsezko bi parametro dituzte: presio maximoa eta presioa handitzeko abiadura. Ontzi batean leherketa konfinatu bat gertatuz gero jarraitu beharreko kalkulu-eskema 30. irudian agertzen da.

Presio maximoak ontziaren erresistentzia gainditzen badu, sortutako gainpresioa distantziaren arabera kalkulatu behar da, baita sortutako jaurtigaien efektuen zenbatespena ere. Kalkulu hori «ontzien haustura» atalean deskribatuko diren metodoekin egin daiteke, baina kontuan hartu behar da bi prozesu moten arteko aldea. Horrela, ontziaren haustura barruan leherketa batek eragindako presio-gehikuntzak eragiten badu, prozesuaren inertzia hain da handia, ezen presio-gehikuntzaren abiadura, oro har, ontzia hausteko abiadura baino handiagoa baita; beraz, hausturaren benetako presioa ontziaren erresistentzia mekanikoa gainditzen duen presioaren eta leherketa erabat geratuz gero lortutako presio maximoaren artean egongo da.



30. irudia

Leherketa konfinatuen jarduteko eskema

Presio maximoa leherketa konfinatuetan

Deflagrazio bat (gasen arteko erreakzio kimiko bidezko leherketa) ontzi baten barruan gertatzen denean, lor daitekeen gehieneko presio absolutua, gas idealen legea kontuan hartuta, hasierako presio absolutuaren eta hasierako eta amaierako mol kopuruaren eta tenperatura absolutuen arteko erlazioen arabera da, honako hauen arabera:

$$P_{MAX} = P_{hasiera} \frac{n_{bukaera} T_{bukaera}}{n_{hasiera} T_{hasiera}} \quad (73)$$

n, mol kopurua izanik.

Gehieneko presioa linealki aldatu egiten da hasierako presioarekin; hau da, erreakzioaren hasieran dauden errektibo-mol gehienei dagokie.

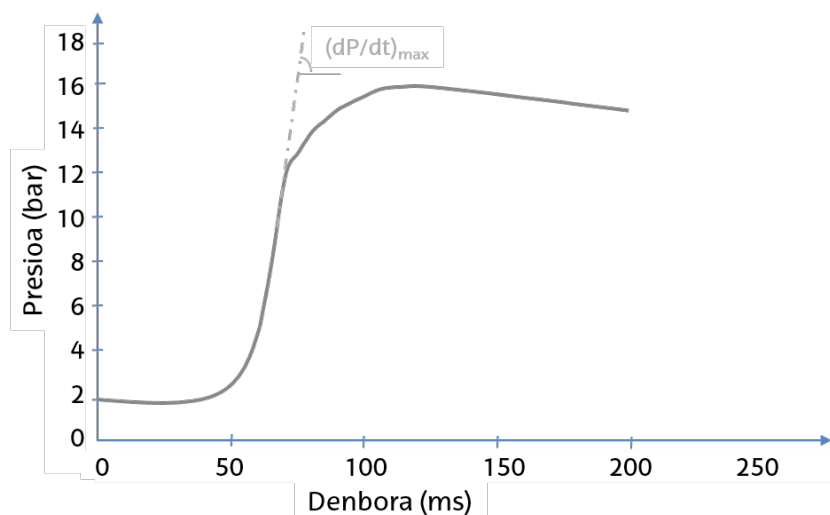
Presiozko ontzietan, ontzia hausteko presio minimoa (P_{MR}) lanerako onar daitekeen gehieneko presioa baino 3-4 aldiz handiagoa da gutxienez (MAWP, ingelesetik, Maximum Allowable Working Pressure). 2,5 aldiz balio hori P_{MAX} eta PMR konparatzeko gida gisa erabil daiteke; hau da, P_{MAX} 2.5 MAWP baino handiagoa bada, ontziaren haustura gerta liteke.

Ontzi batean lortzen den gehieneko presioa nahaste horren konposizioaren arabera da, eta maximoa estekiometrikotik hurbil dauden kontzentrazioetara iristen da. Aireko deflagrazioetarako, lor daitekeen presio maximoa hasierako presioa baino 8 aldiz handiagoa da; oxigenoan, berriz, presio maximoa ebakiduna baino 16 aldiz handiagoa da. Detonazioen kasuan, gehieneko presioa 20 aldiz handiagoa izan daiteke, edo handiagoa, ontziko hormetan islapen-efektu garrantzitsuak badaude. Ontzien diseinuan, haustura-diskoak edo PMR presio txikiagoetara doitutako arintze-balbulak sartzen dira, ontzi osoa haustea saihesteko eta hondamendi-eztandaren arriskuak murrizteko.

Leherketa likidoetatik edo solidoetatik abiatuta erreakzio leherkorragatik konfinatzen bada, P_{MAX} testu honetatik kanpo geratzen diren metodo espezifikoaren bidez kalkulatzen da.

Presioa handitzeko abiadura

Presioa handitzeko abiadurak (dP/dt) garrantzi handia du prozesuko ontzietako presioa arintzeko sistemen diseinuan. Barrualdeko presioa egonkor mantentzeko, beharrezkoa da lasaitze-sistemak diseinatzea, presio maximoaren igoerari aurre egiteko adina mol hustu ahal izateko. Presio-kurbaren ohiko aldakuntza, denborarekin, 31. irudian irudikatzen da.



31. irudia

Presioaren aldaketa denborarekin leherketa konfinatu batean.

J.M. Santamaría Ramiro, P.A. Braña Aísa, *Análisis y reducción de riesgos en la industria química*, Editorial MAPFRE, D. L., Madril, 1994tik egokituta

Ikus daitekeenez, hasierako aldi batean, presioa poliki-poliki handitzen da, eta, ondoren, oso azkar hazten da. Aldi horretan, presio-igoera bizkortu egiten da, eta presio-gehikuntzaren gehieneko abiadurara iristen da $(dP/dt)_{max}$. Presioa handitzeko abiadura jaitsi egiten da, eta, ondoren, baliogabetu egiten da, ontzian presio maximoa lortzen baita.

$(dP/dt)_{max}$ balioa: (i) hazi egiten da tenperatura igotzen denean (erreakzio-abiadura tenperaturarekin handitzen da); (ii) hasierako presioarekiko ($P_{hasiera}$) linealki gehitzen da (dependentzia lineala dauka); (iii) posizioarekiko mendekoa da, sutzea ontziaren zentroan geratzen bada, eta $(dP/dt)_{max}$ altuagoa da hormatik hurbil geratzen bada baino; eta (iv) ontziaren bolumenaren menpe dago: ontziaren bolumena zenbat eta handiagoa izan, orduan eta txikiagoa da $(dP/dt)_{max}$, eta «lege kubikoa» izenez ezagutzen den ekuazioa jarraitzen du, ontzi handiagoetarako presioa handitzeko abiadura txikiagoak ezartzen dituen.

$$\left(\frac{dP}{dt}\right)_{max} V^{1/3} = Kst \quad (74)$$

Non Kst deflagrazio-indizea baita (erregai bakoitzarentzat espezifikoa), eta V ontziaren bolumena.

Ekuazio hau erabil daiteke tamaina industrialeko ontzietan presioa handitzeko abiadurak aurreikusteko, antzeko ontziak dituzten laborategiko esperientzietatik abiatuta.

Presio-metaketa

Elkarri konektatutako ontzien sistemetan, litekeena da aurrez aipatutakoak baino presio handiagoak lortzea, presio-metaketaren ondorioz. Bi prozesu-ontzi baditugu gidatze baten bidez lotuta, eta horietako batean su bat gertatzen bada, errekuntza-fronteak oraindik harrapatu ez duen nahasketa sukoiaren zati bat bigarren ontzirantz bultzatzen du presio-fronteak, lotzen di-

tuen eroanbidearen bidez. Horrek presioa areagotzen du ontzi horretan, sua piztu baino lehen. Hori gertatzen denean, sugar-frontea bigarren ontzira iristean, «Hasierako» presio handiago batetik abiatzen da, eta, beraz, azken presioak ere handiagoak dira, aurretik ikusitakoaren arabera. Bigarren ontziaren eztabideraren presio-igoera oso handia izan daiteke (kasurik txarrean $(P_{MAX})^2$ raino iritsiz); beraz, presioa metatzeko aukera kontuan hartu behar da elkarri konektatutako ekipamenduen diseinuan.

Bigarren ontziko azken presioa sistemaren geometriaren arabera da, eta eragin handia du bi ontziak lotzen dituen eroanbidearen tamainak eta ontzi horretan murrizketarik izateak ala ez izateak.

5.2.3. Ontzien haustura

Esan bezala, ontzi baten haustura leherketa konfinatu baten ondorioz edo leherketa fisiko baten ondorioz gerta daiteke. Leherketa konfinatuei dagokien haustura dagokion atalean aipatu da. Presurizatutako fluido bat (leherketa fisikoa) duen ontzi bat hausteko, erresistentzia mekanikoa gainditu behar da. Berehalako kausak askotarikoak izan daitezke: presioa arintzeko sistemak huts egitea, diseinuak huts egitea, korrosioak eragindako hormaren lodiera gutxitzea, materialaren erresistentzia murriztea tenperatura gehiegi aldatzeagatik, etab. Garrantzitsua da ontzia hausteko arrazoiak kontuan hartzea, horren arabera akatsa gutxi gorabehera eragiketa-presioan gertatuko baita (adibidez, korrosioaren ondorioz hormaren lodiera murrizten denean), edo presio altuetan (adibidez, erregulazio- eta presio-ekipoak huts egiten duenean). Nolanahi ere, biltegitratutako energia askatzen da, eta, horren ondorioz, dagokion talka-uhina eratzten da eta hausturaren ondoriozko ontziaren zatia bizkortzen dira. Horiek jaurtigai arriskutsu bihurtzen dira, eta kalte gehigarriak eragin ditzakete. Era berean, adierazi den bezala, nahiz eta hasieran leherketa fisikoa bakarrik egon, tartean dagoen gasa erregaia bada, sua piztu daiteke, eta, beraz, leherketa fisikoaren ezaugarriez haragoko beste alderdi batzuk sartzen dira jokoan.

Leherketaren energia

Jasan dezakeena baino presio handiagoa duen ontzi baten hausturan aska daitekeen gehieneko energia ontzi horretan dagoen gasaren hedapenak ematen duena izango litzateke. Oro har, hedapen isoentropiko batera hurbil daiteke hedapena, eta, beraz, gas ideal batentzat:

$$E = \frac{P_1 V_1}{k-1} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k} \right] \quad (75)$$

Non P_1 eta V_1 hasierako presioa eta bolumena baitira, P_2 bukaerako presioa (atmosfera), eta k espantsio isoentropikoko konstantea.

Konfinatu gabeko leherketekin gertatzen den bezala, gehieneko energia guztia ez dago erabilgarri talka-uhina eratzeko. Galera txikiagoez gain, energia horren benetako leherketa batean, leherketaren ondoriozko zatiei energia zinetikoa eta potentziala emanaz inbertitzen da. Horrela, zati txikietan dagoen ontzi baten haustura hauskorrean, energiaren % 80raino, talka-uhinean inberti daiteke; jaurtigai handiak sortzen badira, berriz, balio hori % 40 jaits daiteke, eta gainerako % 60a zatiei energia emateko erabiltzen da.

Jaurtigaiaiek sortzea

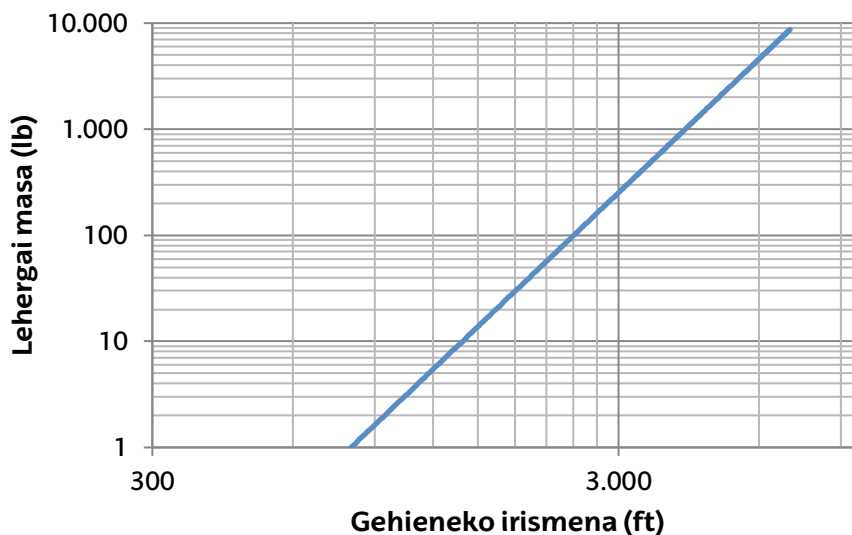
Biltegitratutako energia izugarri handia ez bada, ontzi baten leherketaren arriskurik handiena sortutako jaurtigaiek eragiten dute. Zati batek abiadura handian jotzeak pertsonentzat eta instalazioentzat dakarren berezko arriskuaz gain, sortutako jaurtigaiek kate-istripuak eragin ditzakete, «domino efektua» izenekoak. Horrela, adibidez, jaurtigaiaiek eratzean gertatzen den leherketa txiki samar baten ondorioz, sortutako jaurtigaiaietako batek gas-erregaia duen ontzi bat zula dezake, eta horrek, aldi berean, eztanda handiagoa eragingo duen hodei sukoi bat osatuko du.

Jaurtigaiaiek sortzea eragiten duten leherketetan, garrantzitsua da horien irismena eta sartzea zenbatestea. Jaurtigaiekin hasierako abiadura leherketaren energiaren, zatiaren masaren eta dimentsioen arabera da, eta horrek eragina du airetik libratzean aurkitzen duen erresistentzian. Moore-ren ekuazioa erabil daiteke hasierako abiadura kalkulatzeko

$$u = 2.05 \left(\frac{PD^3}{W} \right)^{0.5} \quad (76)$$

Non u jaurtigaiaiekin hasierako abiadura (ft/s) baita, P haustura presioa (psi), D jaurtigaiaiekin diametroa (inch), eta W jaurtigaiaiekin masa (lb).

Jaurtigaiekin irismena, oro har, TNT leherketetan lortutako datuen korrelazio empirikoetatik abiatuta kalkulatzen da. 32. irudian, Canceyk lehergaiaren irismenerako eta masarako lortutako korrelazioa agertzen da. Sartzeari dagokionez, ekuazio ugari daude bibliografian, jaurtigaiekin penetrazioa iragartzeko azalera desberdinetan, ia beti haiekiko perpendikularrean dauden inpaktuetan, eta irakurleak kontsulta ditzake interes handia izanez gero.



32. irudia

TNT karga batek lurzoruan eztanda egin ondoren sortutako zatien gehieneko irismen horizontala. J.M. Santamaría Ramiro, P.A. Braña Aísa, *Análisis y reduccion de riesgos en la industria química*, Editorial MAPFRE, D. L., Madril, 1994tik egokituta

Presio-efektuak

Distantzia jakin bateko gainpresioa TNTko baliokidearen metodoarekin kalkula daiteke, betiere ontziak presio-uhinaren propagazioan duen eragina ezagutzen bada. Hasiera batean edukiontzian zegoen gasaren hedapena isotermikoki gertatzen dela suposatuz gero, leherketaren energia honela adieraz daiteke:

$$W_{TNT} = 0.0219 P_1 V_1 \ln \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \quad (77)$$

Non W , TNT gramo baliokideetan adierazita baitago, V_1 ontziaren hasierako bolumena baita (m^3), eta P_1 eta P_2 ontziaren leherketaren aurreko eta ondorengo presioa baitira (bar).

Gasa ez da libreki hedatzen, eta ez dago kolapsatzen duen ontzi batean. Ontziaren eragina kontuan hartzeko, leherketa-zentrorako distantzia birtuala kalkulatu da, eta horrek ontziaren gainazalaren gaineko presioaren alde aurreko estimazioa eskatzen du, P_s . Prughen ekuaziotik lortzen da.

$$P_B = P_s \left[1 - \frac{3.5(\gamma - 1)(P_s - 1)}{[(\gamma T / PM)(1 + 5.9 P_s)]^{0.5}} \right]^{-2\gamma/(\gamma - 1)} \quad (78)$$

Non, P_B leherketa gertatzen den presioa (bar) baita, γ bero-ahalmenen zatidura, T tenperatura absolutua (K), eta PM gasaren pisu molekularra.

P_s iterazio bidez lortu behar da, ekuazioa P_s balioarentzat implizitua baita. P_s ontziaren gainazaleko presioa ezagutu ondoren, TNT-baliokide ereduaren bitartez, (W gisa hartuta 77. ekuazioarekin kalkulaturakoa) R distantzia kalkulatu da. Kalkulatoriko R da P_s presioa lortuko litzatekeen distantzia ontzirik egongo ez balitz. Balio horren eta ontziaren erradioaren arteko diferentzia erabili beharko dugu distantzia birtuala kalkulatzeko. Distantzia birtuala erabiliko dugu, presioak izango duen efektua kalkulatzeko erabiltzen diren estimazioekin.

Kontuan izan behar dugu ontziaren hormaren efektua dela gainpresioa gutxitzea puntu jakin batean, konfinatu gabeko lehergai-masa baliokideko leherketatik lortuko litzatekeenari dagokionez. Beraz, ontziaren horma egoteak esan nahi du, efektu berberak lortzeko, distantziak leherketa librekoak baino txikiagoak izan behar direla.

5.3. SUTEAK

5.3.1. **Flash suteak**

Flash sute esaten zaio lurrun sukoiaren eta airearen nahasketa baten errekontza azkarrari, baldin eta horien ezaugarriak (haien masaren, errekontza-beroaren, sukotasunaren eta abarren arabera) presio-ondorio gutxiesgarriak badira, eta erradiazio termikoari dagozkionak bakarrik gertatzen badira kontuan hartu beharreko kaltetzat.

Flash sute baten eta LLEK baten arteko trantsizio-puntua ez da zehatz-mehatz ezagutzen. Bestalde, flash suteen modelaketa ez dago ondo garatuta. Sugarraren tenperaturatik abiatuta kalkulaturako erradiazio termikoan oinarritutako efektuak simulatzeko saiakerak egin dira. Hala ere, tenperatura horren estimazioan dauden zehaztasun faltek akats inportanteak eragiten dituzte, erra-

diatutako energiak tenperaturaren laugarren potentziarekiko duen mendekotasuna dela eta. Beste eredu batzuk gasen sakabanatze-eredu bat erabiltzean oinarritzen dira, irismen-eremu bat zehazteko (oro har, sukoitasunaren beheko mugari dagokion espazioaren eskualdea), eta efektu termikoak eremu horren barrualdera mugatzen dira.

5.3.2. Likido-putzuko suteak

Likido sukoiaren isuri, ihes edo ihes baten ondorioz, likido-putzu bat sortzen da, eta haren hedadura lurzorua geometriaren eta izaeraren arabera izango da. Lurrunketa bidez gas sukoiak sortzen dira, likidoaren tenperatura substantziaren su-hartzearen tenperaturaren gainetik badago; hau da, likido sukoiak igorritako lurrunek nahasketa sukoiaren eragin dezakete likidoaren tenperatura flash puntutik gora badago, eta horrek putzua bera sutera eraman dezake. Su-hartzean sugar batzuk sortzen dira, eta horien altuera putzuaren diametroaren eta errektantza-beroaren arabera izaten da batez ere.

Hori likido sukoiaren andel batean edo kanpora isuri edo ihes egin ondoren gerta daiteke, eta, azken kasu horretan, isuria konfinatu egin daiteke (eusteko kubeta), ala ez.

Istripu horien ondorio kaltegarriak, funtsean, bi motatakoak dira: (I) suteek sortutako erradiazio termikoa eta (ii) errektantza sor daitezkeen gas toxikoen ondorioak. Horrelako suteetan, hedapenak sortzen dituzte kalte handienak (beste biltegitate edo gordailu batzuen eraginez).

Horrelako suteen ondorioak minimizatzerakoan, igorritako erradiazio termikoaren estimazioa egiten da, beharrezko euste- eta babes-sistemak diseinatu ahal izateko.

Jarraitu beharreko kalkulu-eskema 33. irudian zehazten da. Putzuko likido-suteen izena gora-behera, benetan erretzen den sugarren oinarrian dagoen likidotik lurruntzen den materiala da. Sute konfinatuen kasuan, biltegiaren edo euste-dikearen neurriak zehazten dute sutearen tamaina. Konfinatu gabeko suteen kasuan, aldaketa handia gerta daiteke sutearen dimentsioetan, isuritako likidoa hedatu ahal. Nolanahi ere, sutearen neurriak denboraren arabera ezarri behar dira, aldakorak badira.

Isurketaren emaria eta sutearen zehar likidoaren lurruntzean eta errektantza izandako galerak kontuan hartuta, eta isuriaren ondoko zonaren topografiari buruzko informazioarekin batera, putzuaren (eta, beraz, sutearen) neurriak une jakin batean zenbatetsi daitezke. Hurrengo urratsek inguruko gorputzek jasotzen duten erradiazioa zenbatesteko balio dute. Informazio hori Probit metodologiarekin batera erabili daiteke, pertsonen eta instalazioen eragindako kalteak zenbatesteko.

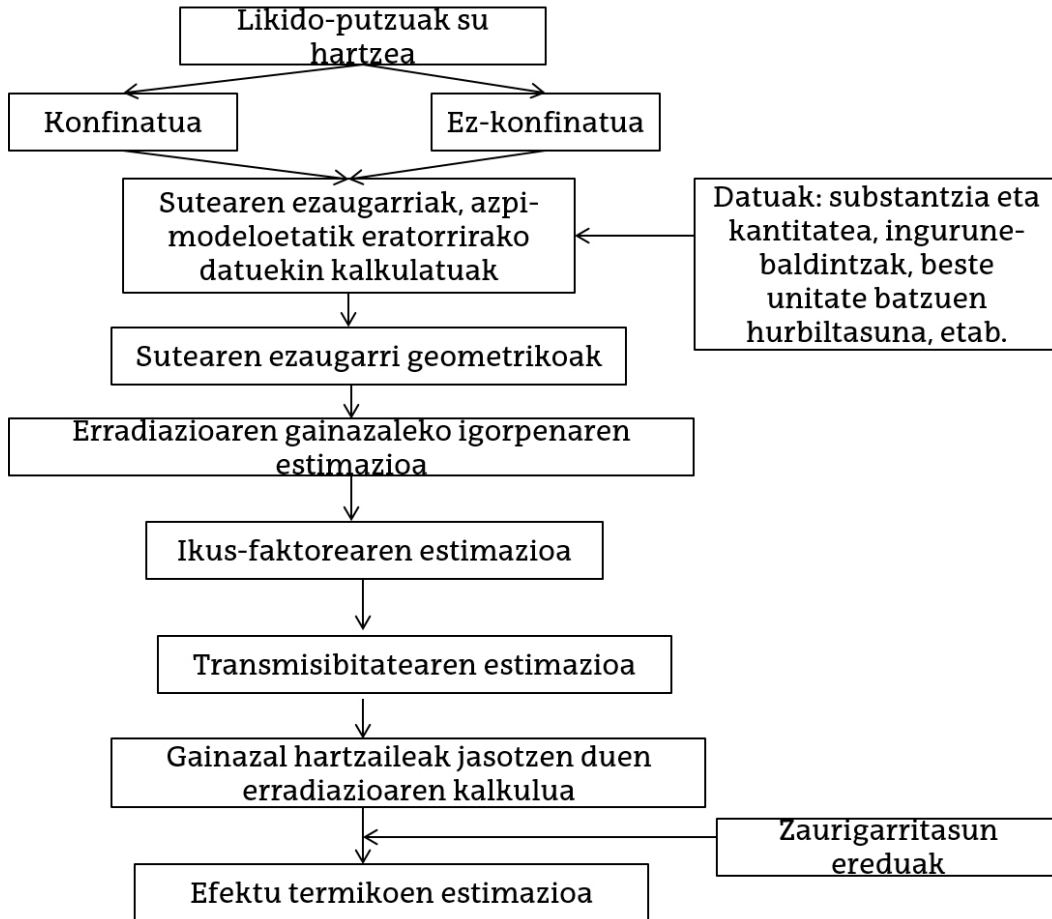
Su-putzuen ezaugarri nagusiak hauek dira: erretzeko abiadura, bero-igorpenaren tasa, sugarren altuera, sugarren lumaren deflexioa eta bero-fluxu erradiatzailea. Su-putzu bat behar bezala modelatzeko, kalkuluak egiteko behar den informazioak barne hartzen ditu putzuaren azalera, erretako fluidoaren propietate fisikoak, substratuaren propietate fisikoak eta termikoak, eta giro-baldintzak.

Jarraian, su-putzu baten parametro garrantzitsuenak nola kalkulatu ikusiko dugu.

Sugarren neurriak

Kasu askotan, sutearen tamaina muga fisikoek mugatzen dute, eta, beraz, sutearen diametroa zuzenean ezagutzen da. Betiere suposatzen da sutearen oinarria zirkularra dela; izan ere, putzua laukiduna denean, diametro baliokidea erabiliko da.

Sutea mugatzen duen hesirik edo oztoporik ez badago, likidoak putzura egiten duen ekarpenaren emariak sutearen ondorioz kontsumitutakoa (erretzen dena) berdintzen duenean lortzen da diametrorik handiena.



33. irudia

Putzuko likido-suteetarako kalkulu-eskema

Berehalako isurketarentzat, honako formula hau erabil daiteke putzuaren erradio maximoa kalkulatzeko:

$$r = \left(\frac{t}{B}\right)^{0.5} \quad (79)$$

Non t denbora (s) baita, eta B parametroa honako formula honen bidez kalkulatuko baita:

$$B = \left(\frac{\pi\rho_L}{8gW}\right)^{0.5} \quad (80)$$

ρ_L likidoaren dentsitatea da (kg/m^3), g grabitatearen azelerazioa (m/s^2), eta W likidoaren masa (kg).

Ihes jarraituarentzat, honako formula hau erabil daiteke putzuaren erradio maximoa kalkulatzeko:

$$r = \left(\frac{t}{B}\right)^{0.75} \quad (81)$$

t denbora (s) da, eta B parametroa honako formula honen bidez kalkulatu da:

$$B = \left[\frac{9\pi\rho_L}{32gm_L}\right]^{0.33} \quad (82)$$

ρ_L likidoaren dentsitatea da (kg/m^3), g grabitatearen azelerazioa (m/s^2), eta m_L likidoaren masa-fluxua (kg/s).

Haizerik ez dagoenean, sugarraren altuera (H) haren diametrorik handienarekin (D) erlazionatzen da, formula honen bidez:

$$\frac{H}{D} = 42 \left(\frac{M_C}{\rho_a \sqrt{gD}}\right)^{0.61} \quad (83)$$

Non M_C gainazal-unitateko errekontza-abiadura baita ($\text{kg/m}^2\text{s}$), ρ_a airearen dentsitatea (kg/m^3), eta g grabitatearen azelerazioa (m/s^2).

Haizea egoteak sugarraren forma alda dezake, eta, haize gogorragoekin, sugarren fasea deforma daiteke haizearen norabidean. Nahiz eta haizearen abiadura ezagutzuz sugarraren inklinazioaren kalkulua posible den, sarritan ez da kontuan hartzen efektu-analisi gehienetan, salbu eta, inklinazioaren ondorioz, sugarrek zuzenean beste unitate batean eragiten dutenean. Efektu termikoen ikuspegitik, baldin eta sugarraren zuzeneko eraginik ez badago, haizea egoteak ondorio kontrajariak ditu neurri bateraino; izan ere, alde batetik, sugarraren beheko korrontearen inguruko azalerek erradiazio handiagoa jaso dezakete sugarraren inklinazioaren ondorioz, baina, bestetik, haize handiago batek erradiazioak jasotzen duen gainazala hozten laguntzen du neurri batean.

Errekuntza-abiadura

Errekuntza lurrun-fasean geratzen denez, errekontza-abiadura likidoaren lurruntze-abiadurak zehazten du.

Errekuntza-abiadura kalkulatzeko badugu eta ezagutzen badugu, sute-azaleraren unitate bakoitzeko sortutako beroa lor dezakegu, eta, gainera, sutearen iraupena ebalua daiteke.

Bi egoera desberdintzen dira:

$$- T_B < T_{\text{ingurugiro}}$$

Sutea eragiten duen isuri bat gertatzen denean, likidoaren zati handi bat azkar lurruntzen da, eta gainerako likidoa hoztu egiten da, irakite-tenperaturara iritsi arte. Lurruntzeko behar den beroa errekontza-entalpiatik dator (beharrezko beroa garren erradiazioak ematen du).

Errekuntza-abiadura, M_C ($\text{kg/m}^2\text{s}$):

$$M_C = 0.001 \frac{(-\Delta H_C)}{\Delta H_{ev}} \quad (84)$$

Non ΔH_C errekontza-entalpia eta ΔH_{ev} lurruntze-entalpia baitira.

— $T_B > T_{\text{ingurugiro}}$

Likido guztia gainazalean lurruntzen da (irakin gabe). Errekuntzatik datorren beroa likidoa irakite-temperaturan eramateko eta lurruntzeko erabiltzen da.

Errekuntza-abiadura, M_C ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$):

$$M_C = 0.001 \frac{(-\Delta H_C)}{(C_p \Delta T + \Delta H_{ev})} \quad (85)$$

Non ΔT hasierako temperaturaren eta irakite-temperaturen arteko desberdintasuna baita, eta C_p substantziaren bero espezifikoa, likido fasean.

Igorritako erradiazioaren intentsitatea

Igorritako erradiazioa erregai motaren eta suaren dimentsioen arabera izango da. Sugararren tenperatura jakitea zaila denez, hurbilketak erabiltzen dira igorritako erradiazioaren intentsitatea kalkulatzeko.

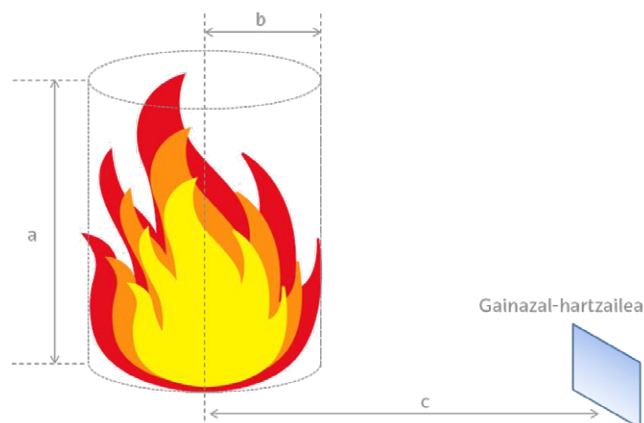
Kalkulua esperimentalki ere egin daiteke, beste sute batzuen datuetan oinarrituta neurtuz eta estrapolatuz; baina datu gutxi daude horretarako. Beraz, honako ekuazio hau erabili ohi da igorritako erradiazioaren intentsitatea zenbatesteko.

$$I = \frac{F_R M_C D(-\Delta H_C)}{4H} \quad (\text{kw} / \text{m}^2) \quad (86)$$

Non F_R erradiazio faktorea baita, eta igortzen den energiaren eta errekuntzan askatzen denaren arteko erlazioa. Balio enpirikoa da, eta 0,15-0,35 artean kokatzen da.

Ikusmen-faktorea

Atmosferak xurgatu ezean, sutearen perimetrotik kanpo dagoen gainazal batek jasotzen duen erradiazioa ikusmen-faktore geometrikoaren mende dago, F_{vg} . Ikusmen-faktore horren kalkulua sutearen eta azalera hartzailearen geometriak eta horien posizio erlatiboak ezagututa egin daiteke. Zilindro baten eta lurzoruko azalera baten arteko ikusmen-faktoreak interesatzen zaizkigu, 34. irudiko eskemaren arabera.



34. irudia

Likido-sute baten parametro geometrikoak, forma zilindrikoko putzuan

26. taulan ikus-faktorearen zenbakizko balioak ematen dira azalera hartzaile horizontaletarako, eta 27. taulan gainazal bertikalerako.

26. taula

Ikusmen-faktorea gainazal hartzaile horizontalerako (F_H) (lurzoruko gainazala)

c/b	a/b								
	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	
1,1	0,132	0,242	0,332	0,354	0,360	0,362	0,363	0,363	
1,2	0,044	0,120	0,243	0,291	0,307	0,312	0,313	0,313	
1,5	0,005	0,024	0,097	0,170	0,212	0,228	0,231	0,232	
2,0	0,001	0,005	0,027	0,073	0,126	0,158	0,164	0,166	
4,0	0	0	0,001	0,007	0,022	0,057	0,073	0,078	
10,0	0	0	0	0	0,001	0,007	0,017	0,026	
20,0	0	0	0	0	0	0,001	0,003	0,008	

27. taula

Ikusmen-faktorea gainazal hartzaile bertikalerako (F_V) (zilindro bertikala)

c/b	a/b								
	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	
1,1	0,330	0,415	0,449	0,453	0,454	0,454	0,454	0,454	
1,2	0,196	0,308	0,397	0,413	0,416	0,416	0,416	0,416	
1,5	0,071	0,135	0,253	0,312	0,329	0,333	0,333	0,333	
2,0	0,028	0,056	0,126	0,194	0,236	0,248	0,249	0,249	
4,0	0,005	0,010	0,024	0,047	0,080	0,115	0,123	0,124	
10,0	0	0,001	0,003	0,006	0,013	0,029	0,042	0,048	
20,0	0	0	0	0,001	0,003	0,007	0,014	0,020	

Erradiazioaren intentsitate maximorako ikusmen-faktorea, (F_M), gainazal inklinatu baterako, formula honen arabera lortzen da:

$$F_M = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} \quad (87)$$

Transmisibitate atmosferikoa

100 metroko distantzian, atmosferak sute batek isuritako energia erradiatzailearen % 20-40 inguru xurgatu edo barreia dezake, batez ere atmosferan dagoen CO₂-ren eta ur-lurrunaren xurgapenaren ondorioz.

Beraz, hori kontuan hartzeko, transmitibitate atmosferikoa (τ) definitzen da. Transmisibitate atmosferikoa transmititutako energia-frakzio gisa definitzen da, eta haren gutxi gorabeherako kalkulua egin daiteke ur-lurruna soilik kontuan hartuta:

$$\tau = 2.02(P_w X)^{-0.09} \quad (88)$$

Non P_w ur-lurrunaren presio partziala baita (Pa), eta X erradiazio-fokutik gainazal hartzaileraren dagoen distantzia (m).

Jasotako erradiazio termikoa

Putzuetako suteei dagokienez, parametro garrantzitsuena sutetik urrun dagoen gainazal batek jasotzen duen erradiazio-fluxua da:

$$I_R = I\tau F_{vg} \quad (89)$$

Jasotako erradiazioa distantziaren arabera ezagututa, irradiazio termikoko mapa bat ezar daiteke, puntu jakin batean jasotako erradiazio-fluxua jakiteko modu erraz eta intuitiboan.

Gainera, zaurgarritasun-ereduak aplikatuta, erradiazio-denbora jakin batzuetarako sortutako kalteak ere kalkula daitezke.

5.3.3. Su-geziak

Presurizatutako gas batek zulo batetik atmosferara ihes egiten duenean, gas-turruta haizebidean deskargatzen da. Gasa erregaia bada eta su hartzen badu, «su-gezi» bereizgarria sortzen da.

Su-gezi batek igortzen duen erradiazioaren kalkulua haren oinarritzko dimentsioetatik abiatuta egin daiteke. Horretarako, forma beti zilindro batera hurbiltzen da, 35. irudian ikus daitekeen bezala, eta honako formula hau erabiltzen da:

$$\frac{L}{d_0} = \frac{5.3}{C_t} \sqrt{\frac{T_f (C_t + (1 - C_t) PM_a / PM_f)}{N_T T_i}} \quad (90)$$

Non C_t parametroa honako formula hau erabiliz kalkulatzen baita:

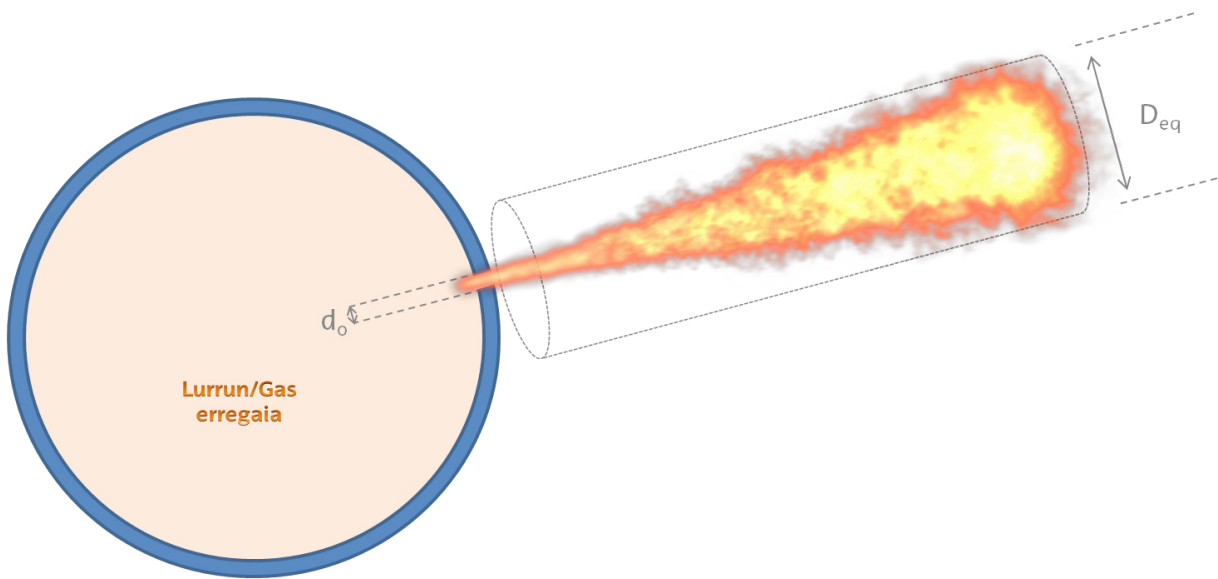
$$C_t = (1 + rM_f / M_a)^{-1} \quad (91)$$

L geziaren luzera da, d_0 irekigunearen diametroa, N_T erreakzionatzaile molen eta produktu molen arteko zatidura (erreakzioaren estekiometria jarraituz), T_f eta T_i sugar- eta giro-tenperaturak, hurrenez hurren (K), PM_i eta PM_f airearen eta erregaiaren pisu molekularrak hurrenez hurren, eta r aire/erregai erlazio estekiometrikoa da.

Su-geziaren diametro baliokidea (D_b) kalkulatzeko, datu esperimentaletan oinarritutako honako ekuazio hau erabiltzen da.

$$\frac{D_b}{d_0} = \sec\left(\frac{\varphi}{2}\right) + \frac{L}{d_0} \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right) \sec^2\left(\frac{\varphi}{2}\right) \quad (92)$$

non φ garraren irekiera-angelua baita (10-20° artean).



35. irudia

Errekuntzako jet efektua dardoan leherketarako trantsiziorik gabe, eta sortutako su-geziaren dimentsio bereizgarriak

Su-geziek igortzen duten erradiazioa putzuko suteetan bezala kalkulatu da. Kasu honetan, F_R faktorea 0,15 hidrogenoarentzat, 0,2 metanoarentzat eta 0,3 beste hidrokarburoentzat izango da. Gainera, 0,67 baliodun koefizientea ere aplikatu behar zaio formulari, errekuntza osatugabea kontuan hartzeko.

Su-gezien arrisku nagusia da hurbileko beste gainazal batzuetan zuzeneko eragina izatea; kasu horretan, eroapen/konbekzio bidezko bero-transferentziaren ondorioak erradiazioa baino askoz ere kaltegarriagoak dira.

5.3.4. BLEVEak eta su-bolak

BLEVE ingelesezko «Boiling liquid expanding vapour explosion» akronimoa da («likidoa irakitean hedatzen diren lurrunen leherketa»). Leherketa mota hori presiopean likidotutako substantzia sukoi bat duen ontzi bat bat-batean apurtzen denean gertatzen da.

Istripu horietan, likidoa irakite-puntua baino tenperatura altuagoan biltegitzen da, eta hausturak likidoa bat-batean lurruntzea eragiten du. BLEVE gertatzen da, nahiz eta edukitako likidoa produktu sukoi ez izan. Gainpresioaren uhin hedakorra likidoa gas bihurtzen denean gertatzen da, bolumena izugarri aldatzen baita (Gay-Lussac-en eta Boyleren legeak), eta horrek gainpresio-uhin hori eragiten du. Produktua erregaia eta sukoi bada eta puntu bero bat badago (elektrizitate estatikoaren txinparta, etab.), edukiaren errekuntza oso azkarra (bat-batekoa) gertatuko da, baina hori bigarren leherketa bat da, konfinatu gabeko lurrun-hodeien leherketa (LLEK), hain zuzen. Eta BLEVEren ondorio da, eta ez haren parte.

Beraz, BLEVEren ondorioak dira presio altuko talka-uhina (*shock wave*), ahalmen suntsitzaile handia duena, eta ontzi zatiak abiadura handian proiektatzea.

Historikoki, BLEVE leherketak sarri samar gertatu dira, eta ia beti pertsona hilekin batera.

Normalean, BLEVEak ontzitik edo gordailutik kanpoko suteen ondoren gertatzen dira. Askotan, instalazio osagarrietako edo erantsitako ekipamenduetako kanpoko sute txikiek eragiten dituzte, baita aparkatutako ibilgailuek edo likidoa garraiatzen duten kamioiek ere (zisterna-kamioiek).

Kanpoko suaren bidez depositua berotzen denean, lurruntzen den frakzio likidotua (gas faserara pasatzen da) gero eta handiagoa da, andelaren presioa handituz. Ontziaren goiko aldean, gasa dagoen lekuan, hormatik gaserako bero-transferentzia baxuagoa denez, horma asko berotuko da, hormaren erresistentzia mekanikoa txikituz, ontziaren haustura gertatu arte.

Beste batzuetan, ontzia hausten da erresistentzia mekanikoa gaintu delako materialakatsengatik, ustekabeko gehiegizko presurizazioagatik, kanpoko surik gabe. Kasu horietan, ontzia hausten den bitartean sua sor daiteke, edo atzeratu egin daiteke, hedatzen ari den hodeiak metalezko materialak igurtziz puntu bero bat edo txinparta bat aurkitu arte. Hala ere, presioaren efektuak berdintsuak dira.

BLEVE leherketen ondorioak kalkulatzeko

PRESIO-UHINAK SORTUTAKO GAINPRESIOA

Presio-uhinak sortutako gainpresioa kalkulatzeko, TNT eredu erabiltzen da, eta, horretarako, TNT masa baliokidea kalkulatu behar da honako pauso hauek jarraituz:

1. Presioa atmosferaraino murriztean bat-bateko lurrunketa jasango lukeen likido kopurua zenbatestea (f_v , (20) ekuazioarekin).
2. Kalkulatu lurrun-bolumen gehigarria (eztandaren aurreko presioan), lurrundutako likido kopuru horrek (V^*) dakarrena, honako ekuazio hau erabiliz:

$$V^* = V_v + V_f(f_v D_{LO} / D_{vs}) \quad (93)$$

Non V_v , V leherketa baino lehen ontzian zeuden lurrun eta likido bolumenak (m^3) baitira, D_{Lo} , D_{Vs} leherketa baino lehen likidoaren eta lurrunaren dentsitateak, hurrenez hurren, sistemaren baldintzetan, eta, f_v bat-bateko lurrunketa jasaten duen likidoaren frakzioa (flash lurrunketa).

3. Bolumen osoaren TNT masa baliokidea zenbatestea (W_{TNT}), azken hori formula honen arabera kalkulatu:

$$W_{TNT} = 0.024 \frac{PV^*}{k-1} \left[1 - \left(\frac{1}{P} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \quad (94)$$

Non P ontzian hasieran zegoen presioa baita (bar) eta k espansio isoentropikoko konstantea. W_{TNT} kg-tan dago.

JAURTIGAIK SORTZEA

Jaurtigaien eraketak eta erradiazio termikoak deflagrazioan sortutako presio-uhinak adinako arriskua (edo handiagoa) dute. BLEVE batean sortutako jaurtigaiak handiak izan daitezke, eta distantzia handiak lor ditzakete. Izan ere, historikoki argi geratu da heriotza ugari eragin ditzaketela eta, era berean, kasu askotan istripua beste instalazio batzuetara zabaltzea eragin dezaketela. Adibide gisa, aurkitu da petrolio-gas likidotuen BLEVE-etan sortutako zatien % 10 gutxi gorabehera 400 metrotik gorako distantziara iristen direla, gas likidotu kantitate txiki samarrak eragiten dituzten leherketetan. Eztrandatik datozen zatiak nahiko desberdinak izan ohi dira, eta, normalean, zati gehiago aurkitzen dira ardatzaren norabidean, zilindro-formako ontziak leheretzen direnean.

700 eta 2.500 m^3 arteko edukiera duten ontzietarako, honako hau da leherketan sortutako zatien gutxi gorabeherako korrelazioa:

$$N_j = -3,77 + 0,0096 V \quad (95)$$

non N_j jaurtigai kopurua baita eta V ontziaren bolumena (m^3).

ERRADIAZIO TERMIKOAK

BLEVE leherketen efektu termikoak suzko bola edo esfera baten eraketarekin lotzen dira. Hori da BLEVE baten arriskurik handiena, erradiazio termikoko fluxu oso altuak lortzen baitira.

Suzko bolaren erradiazio termikoak gainerako efektuek baino irismen handiagoa izaten du, eta horrek eragiten ditu kalte gehien. Erradiazioaren irismena biltegitatutako produktu motaren eta kantitatearen arabera da, baita giroko tenperaturaren eta hezetasun erlatiboaren arabera ere.

Efektu termikoak BLEVEan parte hartzen duen hasierako likidoaren kantitatearen arabera (W , kg-tan) kalkulatu dira, ekuazio enpirikoen bidez:

Su-bolaren diametro maximoa (m):

$$D_{max} = 6.48 W^{0.325} \quad (96)$$

Su-bolaren iraupen-denbora (s):

$$t_{BLEVE} = 0.825 W^{0.26} \quad (97)$$

Su-bolaren zentroaren altuera (m):

$$H_{BLEVE} = 0.75 D_{\max} \quad (98)$$

Su-esferak igorritako energia (J):

$$Q_R = 0.27W (-\Delta H_C) P_0^{0.32} \quad (99)$$

Non P_0 likidoa ontziratuta dagoen hasierako presioa baita (Mpa).

Distantzia batera dagoen gainazal batek jasotzen duen erradiazio termikoa (89) ekuazioarekin kalkulatu da. BLEVE baten kasuan igorritako erradiazio-fluxua honako ekuazio honekin kalkulatu dugu (kW/m^2):

$$I = \frac{F_R (-\Delta H_C) W}{\pi (D_{\max})^2 t_{BLEVE}} \quad (100)$$

Non F_R 0,25 eta 0,4 bitartean egon ohi baita (faktorearen balioa ziur ez badakizu, baliorik kontserbadoreena hartuko da, hau da, maila barruko altuena).

Transmisibitate atmosferikoa, honako ekuazio hau erabiliz kalkulatu dugu:

$$\tau = 2.02(P_w X)^{-0.09} \quad (101)$$

Non P_w ur lurrunaren presio partziala baita (Pa), eta X su-esferaren gainazaletik gainazal hartzailerako distantzia (m).

Ikusmen-faktore geometrikoa, F_{vg} , esfera batekiko norabide perpendikularrean dagoen azaleratzat hartuko da, honela:

$$F_{vg} = \frac{D_{\max}^2}{4X^2} \quad (102)$$

Kasu horretan, X su-esferaren zentrorra dagoen distantzia da.

5.4. LEHERKETEN ETA SUTEEN EFEKTUETARAKO PROBIT METODOLOGIA

Aurreko kapituluaren aurkeztutako Probit metodologia suteek eta leherketek pertsonengan eta instalazioetan dituzten ondorioak kalkulatzeko ere erabiltzen da.

5.4.1. Leherketekiko kalteberatasuna

Kalteberatasun-ereduek aukera ematen dute sortutako efektuen magnitude fisikoa eta pertsonen edo instalazioen eragindako azken kaltea lotzeko. Leherketen ondorioz, pertsonen hainbat kalte jasan ditzakete zuzenean: tinpanoaren hausturatik hasi eta biriketako odoljarioaren edo gor-

putzaren proiektzioaren ondoriozko heriotzaraino. Zeharkako kalteen artean, kristal zatiek eta jaurtigaiek eragindako zauriak daude, baita eraikinen eta estrukturen kolapsoak eragindako heriotza ere. Bestalde, egiturazko kalteak oso ezberdinak izan daitezke, kristalak haustetik hasi eta egiturak guztiz eraitsi, prozesu-instalazioak suntsitu eta kraterrak sortu arte.

Leherketa baten ondorio zuzenen ebaluazioan erabili beharreko Probit ekuazioak honako hauek dira:

— Biriketako odoljarioagatik hilkortasunerako:

$$Pr = 77.1 + 6.91 \ln P^0 \quad (103)$$

— Era berean, tinpanoa hausteko, dagokion ekuazioa honako hau da:

$$Pr = 15.6 + 1.93 \ln P^0 \quad (104)$$

Non P^0 gainpresio maximoa baita (Pa).

Aurreko ondorioetarako, honako hauek gehitu behar dira: leherketan sortzen diren abiadura handiko material zatiek eragindako bajak, translazioaren edo gorputz osoaren proiektzioaren ondoriozko inpaktuek eragindakoak, eta leherketarekin lotutako beste efektu batzuekin lotutakoak, hala nola estrukturen eta suteen kolapsoa edo, hala badagokio, gas toxikoak sortzea.

Leherketan sortutako jaurtigaieen efektuetan, baita gorputzaren translazioaren ondoriozko efektuetan ere, Probit adierazpenetan erabili beharreko aldagai kausatiboa (70) ekuazioak definitutako I_p (Ns/m^2) bultzada da.

— Jaurtigaiek, bereziki beira zatiek, eragindako zauri larriei dagokien Probit ekuazioa honako hau da:

$$Pr = 27.1 + 4.26 \ln I_p \quad (105)$$

Non I_p gainpresioak sortutako bulkada baita (Pa/s).

Gainpresio-uhinak gorputz osoaren translazioa ere eragin dezake, askotan distantzia handietara proiektatuta, eta garezurreko traumatismoa eragin dezake.

— Gorputz osoaren translazio bidezko heriotzarako Probit ekuazioa honako hau da:

$$Pr = 46.1 + 4.82 \ln I_p \quad (106)$$

— Eta zauri larriei dagokien ekuazioa honako hau da:

$$Pr = 391 + 4.45 \ln I_p \quad (107)$$

Instalazioei dagokienez, oro har, uste da gainpresioak 28. taulan agertzen diren ondorioak dituela:

28. taula

Gainpresioaren ondorioak

Gainpresioa (psi)	Kalte mota
0.03	Tentsiopean dauden kristal handien haustura.
0,1	Tentsiopean dauden kristal txikien haustura.
0.3	Kalte garrantzitsurik ez pairatzeko %95eko probabilitatea. Kristalen %10a apurtzea.
1	Etxeen eraisketa partziala.
2-3	Zementuzko 20-30 cm-ko hormen suntsiketa.
2.4	Tinpanoa apurtzeko atalasea (%1).
3-4	Biltegi-ontzien haustura.
5-7	Etxeen erabateko suntsitzea.
7	Zamatutako tren-bagoiak iraultzea.
10	Ekipamendu astuna (3.500 kg) mugitua eta kaltetua.
12.2	%90eko probabilitatea tinpanoa apurtzeko.
14,5	Birika-odoljarioa dela eta hiltzeko atalasea (%1).
25,5	%90eko probabilitatea birika-odoljarioa dela eta hiltzeko.
280	Krater baten sorrera.

5.4.2. Efektu termikoekiko kalteberatasuna

Sute batetik sortutako erradiazio termikoak ondorio kaltegarriak eragin ditzake pertsonengan zein instalazioetan. Zuzenean, eraginpean dauden subjektuek erredurak jasan ditzakete, hainbat mailatakoak, eta heriotza eragin dezakete jasotako erradiazioaren intentsitatearen eta esposizio-denboraren balio jakin batzuetatik abiatuta. Bestalde, efektu termikoek eraikinei edo instalazioei eragin diezaiekete, egiturak ahulduz eta erabat edo partzialki txikituz; horrek, era berean, zuzenean erradiazioaren eraginpean ez dauden pertsonen heriotza edo zauriak eragin ditzake.

Honako ekuazio hauek erabiltzen dira kasu partikular bakoitzarekin lotutako Probit unitateak (eta, ondorioz, probabilitate-ehunekoak) zenbatesteko.

— Heriotza eragiten duten erredurak (baita arropa egokiarekin babestutako gizabanakoetan ere):

$$Pr = -37.23 + 2.56 \ln(tI_R^{4/3}) \quad (108)$$

— Heriotza eragiten duten erredurak (babesik gabeko pertsonak):

$$Pr = -36.38 + 2.56 \ln(tI_R^{4/3}) \quad (109)$$

— Bigarren mailako erredurak:

$$Pr = -43.14 + 3.0188 \ln(tI_R^{4/3}) \quad (110)$$

— Lehen mailako erredurak:

$$Pr = -39.83 + 3.0186 \ln(t I_R^{4/3}) \quad (111)$$

Non t esposiziopeko denbora baita (s) eta I erradiazioaren intentsitatea (W/m^2).

Erradiazioak instalazioetan izango dituen ondorioak desberdinak izango dira haren materialaren arabera: erre egin dezake (egurra), edo, besterik gabe, erresistentzia mekanikoa gutxitu dezake beroaren eraginez, ontzia hautsiz.

Ondorio nagusiak sutearen sugarrak instalaziora zuzenean iristen direnean sortuko dira. Efektuak kalkulatzeko, onena energia-balantze bat egitea da, erradiazio, eroapen eta konbektzio bidez transferitutako beroa kontuan hartuta, eta, horrela, materialek inguruan izango duten tenperatura ezagutzea.

Erreferentzia gisa, 29. taulan ikus daiteke hainbat materialek jasan dezaketenen erradiazioa.

29. taula

Hainbat materialek jasan dezaketenen erradiazio termikoa

Materiala	I_R (W/m^2)	Materiala	I_R (W/m^2)
Zementua	60000	Egurra	10000
Hormigoia	200000	Beira	30000-300000
Altzairua	40000	Adreilua	400000

6

Laneko giroa. Kutsatzaile kimikoak, fisikoak eta biologikoak

6.1. HIGIENE INDUSTRIALA

Lantokian dauden agente edo kutsatzaile higienikoak honela sailkatzen dira: fisikoak, kimikoak eta biologikoak. Horiek kalte itzulgarri edo itzulezinak sor ditzakete, eta higiene industrialak kutsatzaile horietaz arduratzen da, higiene industrialaren helburua gaixotasun profesionalak prebenitzea baita.

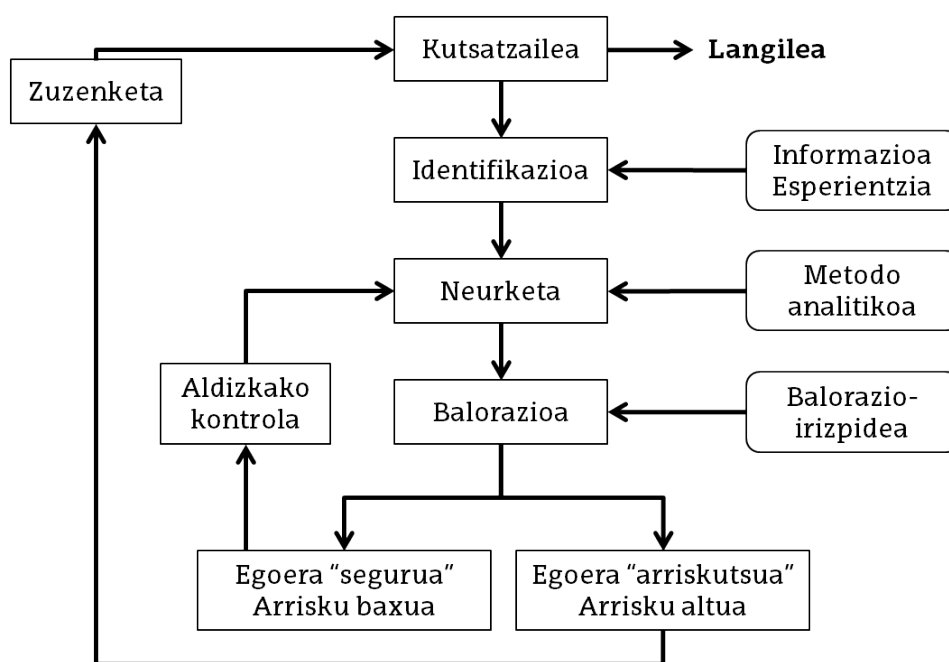
Oro har, kutsatzaileak hainbat modutan sar daitezke organismoan: (i) inhalazioz, (ii) azala eta mukosak (ahoa, etab.) ukitutuz, (iii) irensteagatik, edo (iv) sarbide zuzenetik (zaurien bidez, etab.). Eta hainbat faktorek eragiten dute kutsatzaileek organismoetan dituzten ondorioetan: (i) substantziaren toxikotasunak, (ii) organismora sartzeko bideek, (iii) kutsatzailearen dosiak (hau da, substantziaren kontzentrazioaren eta esposizio-denboraren biderkadurak), (iv) substantziaren ezaugarri fisikoek eta kimikoek, eta (v) organismoaren egoera fisiologikoak eta ezaugarri indibidualak.

Bestalde, kutsatzaileen ondorioak honela sailka daitezke:

- ***Efektu akutuak edo kronikoak.*** Lan-arrisku askoren eraginpean egotearen ondorioz, organismoak berehalako erantzun nabarmena ematen du, efektu akutua deritzona. Efektu akutuak esposizioa amaitu bezain laster desagertzen dira askotan, eta askotan itzulgarriak izaten dira. Efektu akutuaren adibide dira langile batek automobil baten piezak garbitzean disolbatzaile batek eragin dezakeen goragalea, buruko mina edo gorakoa. Substantzia arriskutsu batzuek efektu kronikoak eragiten dituzte, normalean esposizioa gertatu eta denbora luzez agertzen direnak eta luzaroan irauten dutenak. Gaixotasun kroniko bat, normalean, denbora asko igaro ondoren gertatzen da, bere latentzia-aldiaren ondorioz (esposizioaren eta gaixotasunaren lehen seinaleen artean igarotzen den aldia). Gaixotasun kronikoek, laneko minbizi askok bezala, 20 eta 30 urte artean iraun dezakete garatzeko.
- ***Efektu itzulgarriak edo itzulezinak.*** Efektu itzulgarriak izango dira, esposizioaren amaieran organismoa jatorrizko egoerara itzultzen bada; itzulezinak, berriz, organismoa jatorrizko egoerara itzultzen ez bada, nahiz eta agente kutsatzailearekiko esposizioa amaitu.

— **Efektu ez-estokastikoak eta estokastikoak.** Ondorio ez-estokastikoak (edo ez-probabilistikoak). Dosiarekin modu deterministan erlazionatzen diren efektuak dira; hau da, dosi baliokide nahiko altua utzi bada, efektu mota jakin batzuk agertuko dira. Adibidez, X izpien dosi bat 100 rem baino gehiagokoa bada, larruazala gorritu egingo da, dosi jakin baten ondoren begi-lausoak sortzen dira begietan, etab. Ondorio estokastikoak (probabilistikoak), ager daitezkeen efektuak dira, baina ez dute nahitaez eragiten. Esan daitezkeen gauza bakarra da efektu horiek gertatzeko nolabaiteko probabilitatea dagoela. Adibide ezagunenak minbiziaren garapena eta mutazio genetikoak dira.

Higiene industrialean jarduteko metodologia *higiene-inkesta* deritzon oinarritzen da. Higiene-inkestak honako puntu hauek ditu: (i) ingurumen kutsatzailearen identifikazioa (fisikoa, kimikoa edo biologikoa), (ii) esposizioaren neurketa, (iii) neurketaren balorazioa, (iv) neurri zuzentzaileak ezartzea ala ez, eta (v) aldizkako kontrola.



36. irudia

Higiene-inkestaren etapak

6.2. KUTSATZAILEAK IDENTIFIKATZEA

Prozesuaren fase honetan, funtsezkoa da zehaztea zer agente erasokor dauden giroan, zer jatorri eta kausa dituzten, eta zer arrazoi espezifiko izan daitezkeen lotuta epe laburrean edo epe luzean eragin ditzaketen ondorio patologikoekin. Kasu batzuetan, agente kutsatzailearen identifikazioa agerikoa izan daiteke (zarata, bibrazioak, etab.); hala ere, beste egoera batzuetan (substantzia kimikoak), balizko agente kutsatzaileen identifikazioa oso konplikatu izan daiteke industria-prozesu batean sor daitezkeen substantzia edo prestakin kimiko ugariekin, horien propietate toxikologikoak ez baitira behar bezala ezagutzen. Ingurumen-kutsatzaileak identifikatzean, funtsezkoa da prozesu hori sortzen duen prozesu industrialaren ezaugarriak ezagutzea, bai eta ahalik eta informa-

zio gehien izatea ere, iturri bibliografikoetan, segurtasun-datuen fitxetan eta abarretan oinarrituta. Oro har, eragile fisikoentzat (zarata, bibrazioak) zuzeneko informazioa detektatzen edo lortzen da, inplikaturako edo sortutako prozesu eta energia motaren bidez. Ingurumen-kutsatzaileak identifikatu eta erabilitako informazio-iturrien arabera eraginpean dauden langileei eragin diezazkieketen ondorioei buruzko informazioa aurkitu ondoren, ingurumen-neurketak egin daitezkeen ala ez eta erreferentzia-irizpide batzuk dauden zehazteko moduan gaude.

6.2.1. Kutsatzaile kimikoen identifikazioa

Produktu kimikoen esposizioarekin lotutako arriskuak behar bezala baloratzeko, beharrezkoa da lan-ingurunean egon daitezkeen substantzia arriskutsu guztiak identifikatzea eta kontuan hartzea.

Batez ere materia bizigabez osatutako kutsatzaile kimikoak molekula indibidual gisa aurkeztu dira airean, edo taldeka, eta horrek tratamendu berezia dakar, egoeraren arabera organismoan modu ezberdinean sartzen baitira.

- **Gasak edo lurrinak.** Prozesuetako gasak edo lurrundutako substantziak arnasketaren edota azalaren bidez sartzen dira.
- **Likidoak.** Zipritinak azalaren bidez edo lurrinak arnasketaren bidez sar daitezke.
- **Hautsak.** Batez ere arnasketaren bidez sartzen dira, eta partikula organikoak edo inorganikoak izan daitezke (azalarekin/mukosekin kontaktuan ere sar daitezke).
- **Keak.** Errekuntzan sortzen diren tamaina oso txikiko (< 0.1 mikra) solidoak dira. Arnasketaren bidez sartzen dira, eta biriketetan kalteak sortzen dituzte.
- **Lainoak.** Likido-partikula oso txikiak, gasean suspentsioan daudenak, arnastuz batez ere (azalarekin/mukosekin kontaktuan ere sar daitezke).

6.2.2. Kutsatzaile biologikoen identifikazioa

Agente biologikoei dagokienez, nahita eta jakinaren gainean erabiltzen diren kasuak eta besteak ezberdindu behar dira, batean ondo identifikatuta ditugulako eta beste kasuetan ziurgabetasuna handia delako.

Beraz, azken kasu horretan, oso garrantzitsua da identifikazio teoriko bat egitea, egon daitezkeen eta langileengan eragina izan dezaketen agenteen gainean.

Kutsatzaile biologikoen sortzen dituzten eraginak ezberdinak izan daitezke pertsona eta kasu bakoitzerako, eta, beraz, zailagoa izaten da lan-ingurunean sortutako arazoak ebaluatzea.

Hauts eta bioaerosol eran agertzen dira. Organismora arnasketaren, irenstearen, azalaren edo begien bidez edo ziztaden bidez sar daitezke; probabilitate altuena arnasketaren bidez sartzekoa da.

6.2.3. Kutsatzaile fisikoen identifikazioa

Agente fisikoak dira langilearengan kaltea edo eragozpena sortzen duten energia mota ezberdinak (oro har, energia termikoa edo elektromagnetikoa), eta, beraz, banaka tratatu behar dira ja-

torri energetiko horren arabera. Zarata eta bibrazioak, bero/hotz muturreko egoerak, erradiazio ionizatzaileak eta ez-ionizatzaileak (laserra, mikrouhin-labea, izpi infragorriak eta ultramoreak) dira kutsatzaile fisiko nagusiak.

Zarata

Kanpoko fenomeno entzungarriek oreka fisiologikoa edo psikologikoa aldatzen dute. Zaratek kalteak eragiten dituzte (entzumena galtzea, arkuak, muskuluen kontrola galtzea, etab.) edo eragozpenak sortzen dituzte (atsedenik ez izatea, loa etetea, etab.).

Maila eta maiztasuna ditu ezaugarri. Zenbat eta gogorrago jo bi objektuk elkarren artean, orduan eta zarata-maila handiagoa izango da; baina haien maiztasuna ez dago horren mende, talka egiten duten materialen baitakoa da. Anbulantzia baten sirena da maiztasun altuen zarataren adibidea, eta auto baten motorrak, berriz, batez ere maiztasun ertain eta baxuen soinua egiten du. Gizabanako ertainak 20 eta 20.000 Hz (Hertzio) arteko soinuak entzuteko gaitasuna du, eta elkarrizketa arruntek 500 eta 3.000 Hz arteko soinuak dituzte.

Zaratak iraunkorrak edo jarraituak (sonometroan irakurtzen den abiadura 5 dB (A)-tik beherako tartea hartzen duenean), aldizkakoak edo ez-jarraituak (zarata-maila, denboraren arabera marjina handiagoaren edo txikiagoaren gainean, ausaz aldatzen denean), eta aldakorak edo puntualak (talka-zarata deritzenak, zarata-maila bat-batean aldatzen denean oso denbora-tarte laburrean, normalean segundo bat baino gutxiagoan) izan daitezke.

Bibrazioak

Lurraren, eraikinen edo industria-ekipamenduen beraren mugimendu azkar kulunkariak dira.

Eragin nagusiak bibrazioen bidez (mailu pneumatiko perkusoreak, etab.) lan egiten duten eki-poak manipulatuta eta erabiltzera behartuta dauden pertsonengan gertatzen dira. Ondorio horiek gaitasun erreumatologikoak eta baskularrak sortzen dituzte.

Ingurune termikoa

Tenperatura baxuek, batez ere korranteekin eta hezetasunarekin batera gertatuz gero, gaitasun infekziosoak ekar ditzakete.

Tenperatura altuak dira kaltegarrienak osasunarentzat, epe laburrera zein luzera. Efektu anitzak izan daitezke, konfort termiko eza edo estres termikoa, adibidez.

Erradiazioak

Erradiazio elektromagnetikoa da ingurune baten bidez (airea, ura) uhin edo partikula moduan transmititzen den energia. Lantokian eremu elektromagnetikoekiko esposizioa ez da zaratarena bezain agerikoa. Esteka hori leiho berri batean edo bibrazio mekanikoetan irekiko da, adibidez. Hala ere, giza gorputzean alterazioak eragin ditzake, eta, horregatik, zenbait arrisku izan ditzake

erradiazio-maiztasunaren (zenbat eta maizago, orduan eta energia gehiago) eta jasotako erradiazioaren intentsitatearen arabera.

Erradiazioak bi tipologia handitan banatzen dira: (I) erradiazio ionizatzaileak eta (ii) erradiazio ez-ionizatzaileak. Erradiazio ionizatzaileen eta ez-ionizatzaileen arteko aldea transmititzen duten energia da. Lehenengoen kasuan, eduki energetiko handia dute, eta energia hori gai da materia ionizatzeko; hau da, atomoen azaletik elektroiak erazteko gai da, eta, beraz, ehunetan kalte itzulezinak eragiteko gai. Organismoan sartzeko ahalmena masa eta karga elektrikoaren arabera da. Aldiz, erradiazio ez-ionizatzaileek ez dute igortzen atomoan aldaketa horiek eragiteko adina energia; bai, ordea, ondorio kaltegarriak izan ditzaketela langileen osasunean, eta erradiazioaren uhin-luzeraren arabera neurtzen direla organismoaren gaineko ondorioak. Zenbat eta uhin-luzera handiagoa, orduan eta sakonago sartuko dira barne-ehunetan.

Erradiazio ionizatzaileak bi motatakoak izan daitezke:

- Uhin erakoak: ez dute masarik ez karga elektrikorik; talde honetan daude X izpiak (normalean iturri kontrolatuetatik sortzen dira, eta beraz ezabatzeko errazak dira) eta gamma izpiak (istripuz askatzen dira).
- Korpuskularrak: masa eta karga elektrikoa dituzte; talde honetan daude alfa partikulak (He nukleoak), beta partikulak (elektroiak) eta neutroiak.

Erradiazio ez-ionizatzaileak dira mikrouhinak, erradiazio infragorria, erradiazio ultramorea eta laserra.

6.3. KUTSATZAILEEKIKO ESPOSIZIOA NEURTZEA

Jarduteko metodologiaren hurrengo etapa ingurumen-kutsatzailea neurtzea da. Neurketak erakusten du, gutxi gorabehera, zer esposizio-mailatan dagoen langilea bere lanpostuan lanaldian. Neurketa aztertu beharreko kutsatzailearen ezaugarriek zehazten dute. Agente fisikoentzat neurketa zuzena izan ohi da, eta emaitza berehala lortzen da. Agente kimiko eta biologikoen kasuan, gehienetan metodo analitiko bat aplikatu behar da lanpostuan dagoen kutsatzaile-kontzentrazioa zehazteko. Hala ere, zuzeneko irakurketarako tresnak eta monitoreak daude kutsatzaile jakin batzuentzat.

6.3.1. Kutsatzaile kimikoen laginketa eta analisisa

Kontuan izan behar da organismoak agente kimikoak xurgatzen dituela sartzeko bide bate-tik edo batzuetatik, garrantziaren arabera, arnasbideak, dermikoak, digestiboa eta parenterala baitira. Beraz, toxikoak batez ere arnasketaren bidez sartzen direnez gure organismoan, garrantzitsua da jakitea substantzia kimikoak nola ager daitezkeen inguratzen gaituen airean; hau da, kutsatzaileak airean duen kontzentrazioa neurtu behar da, edo partikulen kasuan arnas daitekeen frakzioa. Hala ere, kontzentrazio-kalkuluek ziurgabetasun handia izan dezakete, eta, hori murrizteko, hainbat neurketatan lortutako datuen tratamendu estatistikoa egiten da.

Garrantzitsua da gogoratzea agente kimiko baten arnaste-dosia eragilearen ingurumen-kontzentrazioaren eta esposizio-denboraren arabera dela. Gainera, gasek eta lurrunez nahasketa

perfektua osatzen dute airearekin, eta denbora luzez egoten dira giroan, arnasteko arriskua areagotuz. Hala ere, likidoak eta solidoak ere denbora luzez egon daitezke airean esekita, aerosol moduan, hau da, fin-fin zatitutako partikula moduan. Lainoak, hautsa, keak eta abar izan daitezke. Partikularen tamainak airean egoteko denbora baldintzatzen du, eta, horrela, arnasteko arriskua.

Substantzia batzuen kasuan, azalaren bidezko adsortzioa oso garrantzitsua da, eta ez da nahikoa aireko kontzentrazioa neurtzea. Kasu horietan, esposizio osoa ezagutu behar da, eta batzuetan zuzenean neurtzen da gizakiengan sartu den substantzia arriskutsuaren kontzentrazioa, odol, gernu eta abarren analisiak eginez (kontrol biologikoa esaten zaio horri). Neurketa-metodo hori ohikoa da beruna, artsenikoa, antimonioa eta abar maneiatzen duten industrietan.

Neurketa-eremuak

Kutsatzaile kimikoen laginketa langilearen arnasketa-eremuaren barruan edo kanpoan egin daiteke. Bi kasuetan desberdinak dira helburuak. Helburua langileek agente kimiko batekiko duten esposizioa ezagutzea denean, laginak hartzen dira haren arnasketa-eremutik, lagin pertsonalak deritzenak (buruaren inguruan 300 mm-ko erradioan). Kasu horretan, laginak hartzeko ekipoa (dosimetroak) pertsonak berak eramaten du neurketa-aldiak irauten duen bitartean.

Lagin pertsonalen kasuan, pertsona bakoitzaren neurketak egiten dira aste batzuetan edo hilabete batzuetara arte. Ezinezkoa denez plantillako pertsona guztiak neurtzea enpresa handia denean, lanpostuak talde homogeneotan sailkatzen dira, teorikoki azalpen berdinekin, eta talde bakoitzeko pertsona jakin batzuk aukeratzen dira.

Kutsatzaileen iturriak eta langileen inguruko kutsatzaile-mailak ezagutu nahi badira, arnasketa-eremuko laginak hartu behar dira. Kasu honetan, neurketa-ekipoa leku finko batean jartzen da. Neurketek ez dute langileek arnas ditzaketen substantzietan buruzko informazio fidagarririk ematen; beraz, neurketa horietatik lortutako balioak erreferentzia-balio gisa erabiltzen dira.

Neurketaren iraupena

Kutsatzaileak hainbat erregimenetan/denbora-tartetan neur daitezke.

- *Denbora errealeko neurketa.* Neurketak berehala edo jarraian aztertzen dira (berehalako emaitza lortzen da). Mota honetako neurketa erabiltzen da ondorio toxiko larriak (akutuak) izateko arriskua duten substantziekin. Metodo horiek ez daude eskuragarri kutsatzaile guztientzat, eta sentikortasun- eta interferentzia-arazoak daude. Horregatik erabiltzen dira maiz larrialdi-egoerarako (CO, gas-nahasketa leherkorak, etab.). Metodo horiek ordezkazinak dira ekipo konfinatuetera, putzu septikoetara, lurpeko hodietera eta abarretara sartzeko.
- *Laginketa integrala.* Hainbat lekutako eta garaitako laginak biltzen dira, laginketa-sistema independenteekin, eta, ondoren, laborategira bidaltzen dira, azter ditzaten. Abantaila bat dute: substantzia asko detekta daitezke, eta, gainera, sentibiltate eta espezifikotasun handia dute. Laginketaren iraupena prozesuaren edo kontzentrazio-gailurak agertzen diren unearan araberakoa da. Puntako emisioen kasuan, laginketa laburra izan behar da identifikazio on bat egiteko.

Laginketa-teknikak

Laginketa egiteko, aztertu beharreko substantzia puntu batean biltzen da, eta substantzia puntu horretara eramateko, oinarrizko bi forma daude:

- *Laginketa aktiboa*. Lagina ponpa baten bidez erauzten da ingurunetik. Kontzentrazioa kalkulatzeko ponpak erauzten duen bolumena jakin behar da, beraz, ekipoak kalibratu behar dira.
- *Laginketa pasiboa*. Lagina pasiboki, difusio edo permeazio bidez heltzen da jasotze-puntura.

Bi kasuetan, bilketa-puntuan metatutako masa neurtzen da, eta kontzentrazioa neurtutako edo zenbatetsitako bolumenaren arabera zehazten da (mg/m^3 edo ppm).

Laginketan erabiltzen diren bilketa-gailuak ezberdinak dira analizatzen den substantziaren arabera:

- Gasak eta lurrinak biltzeko honako gailu hauek erabil daitezke:
 - *Adsortzio-hodiak (Dräger hodiak)* gainazalean substantziak xurgatzen dituen solido pikortsu batez betetako beirazko hodiak dira. Ohiko adsorbatzaileak dira ikatz aktibatua, silize-gela edo Tenax.
 - *Inpingerretako disoluzioak*, sarreran hodi bat duten ontziak; bertan, gasa likido batetik igarotzen da, eta likido hori xurgatuta geratzen da (erreakzio kimikoarekin edo gabe).
 - *Detektagailu pasiboak*. Kutxa komertzialak dira, non laginketa estalkia kendu ondoren hasten baita, eta berriro jartzean amaitzen. Adsorbatzailea ikatz aktibatua izan ohi da. Oso eraginkorrak dira laginketa-denbora luzeetarako.
 - *Poltsak*. Neurtu beharreko puntutik zuzenean gas-laginak jasotzeko erabiltzen dira. Ura-rikiko iragazgaitzak diren poltsak dira, eta ez dute neurtu beharreko substantzia xurgatzen. PTFE edo polibinil fluoruroz eginak izaten dira. Irekitzeko eta azkar ixteko balbula bat dute. Hutsean itxita eramaten dira laginketa-puntura.
- Partikulak edo aerosolak biltzeko honako gailu hauek erabil daitezke:
 - *Filtroak*. Iragazkirako aukeratutako materiala substantziaren ezaugarri fisiko eta kimikoen, laginketa motaren eta erabili beharreko teknika analitikoaren arabera da. Laginketa amaitu ondoren, iragazkiari erantsitako kutsatzaile-masa eta aztertutako aire-bolumena jakinda, kutsaduraren kontzentrazioa kalkulatu daiteke. Zatiki arnasgarria kalkulatzeko (10 mikra baino gutxiagoko partikulak), laginketaren ondoren zikloi bat erabiltzen da, partikula handienak bereizten dituena, eta ondoren kalkulua egiten da.
 - *Laginketa granulometrikoa*. Gaur egun erabiltzen den teknika da, eta baheketaren bidez egiten da. Partikulak osasunaren gaineko arriskuaren arabera sailkatzen dira, eta laginketa berezia egiten da: (i) arnastutako partikulak (sudurretik eta ahotik sar daitezkeen guztiak), (ii) partikula torazikoak (laringeraino irits daitezkeenak), eta (iii) arnastutako partikulak (biriketaraino sar daitezkeenak).
- Kontrol biologikoa egiten denean (kutsatzaile kimikoen efektuak biologikoki kontrolatzeko), odolaren, gernuaren eta botatako airearen laginak hartuko dira, edota, analisi zehatzagoa egiteko, ile, listu edo azazkal-hondarrak har daitezke. Kasu horretan, laginketa lantokian bertan egiten da; arnasaren kasuan, Tedlar poltsetan edo adsorbatzaile hodiedetan biltzen da, eta lekuan bertan edo laborategian analizatzen dira.

Teknika analitikoak

Lagin gehiago hartu ondoren, horien analisia egin behar da, horietan dagoen kutsatzaile kantitatea/kontzentrazioa zehazteko. Horretarako erabilitako teknika analitikoak bi motatakoak izan daitezke:

- *Denbora errealeko neurketa*. Laginketa-ekipoak berak egiten du analisia, eta kontzentrazio-balioa ematen du. Gas edo lurrunetarako erabiltzen da. Aztertutako substantzia eza-gutu egin behar da, neurgailua/analizatzailea substantzia horrentzat kalibratuta egongo baita. Analisia metodo fisiko eta kimikoen bidez egiten da, hala nola eroankortasuna, ionizazioa, fotometria, errekuntza, kromatografia, espektrometria, etab. Horrelako neurgailu/analizatzaile erabilienak dira Cl_2 , H_2S , CO eta NO_2 detektatzen dituztenak.
- *Laginketa integratua*. Kutsatzaileen analisia laborategian egiten da, eta, beraz, kimika analitikoko edozein teknika mota erabil daiteke, bereziki instrumentalak, hala nola kromatografia (GC, HPLC) edo espektrometria (IR, UV/VIS, AAS).

6.3.2. Kutsatzaile biologikoen laginketa eta analisia*Laginketa-teknikak*

Kutsatzaile biologikoak bioaerosol moduan agertzen dira ia beti. Beraz, laginketa-metodoak partikuletarako erabiltzen diren antzekoak dira, mikroorganismoetarako beharrezko egokitzapenekin. Oro har, bildutako mikroorganismoak zaindu egin behar dira laborategian hazi ahal izateko. Lagin pertsonalak edo ingurukoak har daitezke, eta laginketa integratua erabiltzen da, metodo aktibo zein pasiboekin.

Hona hemen erabiltzen diren teknikak:

- Sedimentazio bidezko laginketa: Petri plakak jartzen dira, hainbat euskarri dituzten hazkuntza-inguruneak dituztenak (agar-agarra, glukosa, odola, etab.) denbora jakin batean, laginketa egin nahi den eremuaren mugetan (teknika pasiboa).
- Disoluzioak (inpingerrak): airea disoluzio batetik pasatzen da, eta mikroorganismoak disoluzio horretan atxikitzen dira.
- Iragazketa: airea iragazkitik pasatzen da, eta mikroorganismoak bertan atxikitzen dira (adibidez, espora aerobaganteak).
- Inpaktazioa: teknika aktibo edo pasiboen bidez (airea mugituz edo libreki heltzen utziz), hautsean dauden mikroorganismoak haztegi egokia duten plaketan atxikitzen dira. Horretarako erabiltzen dira honako gailu hauek:
 - *Andersen biltzailea*: airea pasarazten da haztegia duten 6 plaketatik; plaka bakoitzetik pasatzean, airearen abiadura igotzen doa, tamainaren bidezko banaketa lortuz.
 - *RCS (Reuter centrifugal system)* biltzailea: indar zentrifugoaren bidez, mikroorganismoak haztegia duten zinta batera jaurtitzen dira.
 - *SAS (Surface Air System)* biltzailea: airea xurgatu eta zulatutako gainazal batetik haztegia duen plaka batera eramaten da.
- Gainazaleko laginketa: gainazal bateko laginak hartzeko. Horretarako erabiltzen dira honako gailu hauek:

- Ukipenezko plaka: haztegi egokia duen plaka gainazalaren kontra jarri eta zanpatzen da.
- Frotisa (swab-rinse): kotoizko makilatxo esterilak erabiltzen dira, eta ondoren haztegi egoki baten gainean jarriko dira.

Haztegi mota ezberdinak daude, analizatu nahi den mikroorganismoaren arabera:

- Unibertsala: agar nutritiboa (mikroorganismo mota guztiak haziko dira eta kontaketa osoa egiteko egokiak dira) eta Sabouraud agarra (onddoak eta legamiak analizatzeko) agertzen dira.
- Espezifikokoak: mota askotakoak daude, mikroorganismoaren arabera.

Askotan, haztegi unibertsalak eta espezifikokoak batera erabiltzen dira, kutsatzaile guztiak bildu direla ziurtatzeko, kutsatzaile guztiak aldezturik ez ditugulako identifikatuta.

Teknika analitikoak

Lagina hartu eta laborategira eramaten denean, beharrezkoa da gailuak esterilizatuta egotea eta jasotako laginak behar bezala kontserbatzea. Laborategira iristean, laginak egun batzuetan inkubatzen dira, eta, ondoren, hazi diren organismoak identifikatzen dira.

Laginetatik bi eratako informazioa lor daiteke:

- *Kuantitatiboa*. Bolumeneko mikroorganismo kopurua adierazten du (unitateak: kolonia-sortzaileak unitate (UFC) metro kubikoko). Horretarako, ikusizko analisia erabiltzen da, edo kolonia kontagailu baten bidez egin daiteke.
- *Kualitatiboa*. Mikroorganismo motak analizatzen dira. Haztegian sortu diren kolonia ezberdinak analizatzen dira, teknika biokimikoa eta morfologia adierazten duten tekniken bidez (tindaketak eta mikroskopia). Mikroorganismo mota bakoitzarentzat egokiena den metodoa aplikatzen da.

6.3.3. Kutsatzaile fisikoen laginketa eta analisia

Kutsatzaile fisikoen kasuan, lanpostu bakoitzaren ezaugarriak ezagutu behar dira (zereginak, zikloak, esposizio-denborak), kutsatzaile fisikoen iturriak identifikatu behar dira (makinak, eki-poak, erremintak) eta baita horien kontrolerako eta babeserako dauden neurriak ere.

Zarata

Zarata-maila (dB-etan) neurtuko da, eta ezagutu beharreko parametroak honako hauek dira:

- Etengabeko soinu-maila baliokidea ($L_{eq,d}$): aztertutako aldiaren zarata aldakor baten energia berbera izango lukeen zarata konstante baten maila islatzen duen balioa da.
- Zarataren goiko maila edo balio maximoa (L_{max}): berehalako gehienezko presioari dagokion maila da, dB «C»-tan neurtuta.

- Eguneko zarata jarraituaren maila baliokide haztatua ($L_{Aeq,d}$): lanpostu bati esleitu dakiokeen soinu-presioaren (zarata-mailaren) (hau da, esposizio-denbora 8 orduko lanaldi bati dagokio) eguneko batezbestekoa da, «A» dezibeliotan (dBA). dBA A haztapen-eskalako zarata-maila neurtzen duen unitatea da. Horren bidez, neurgailuak jasotzen duen soinua giza belarriak egiten duen antzera iragazten da.

Zarata neurtzeko ekipoak honako hauek dira: (i) sonometroak, zarata egonkorrentzat; (ii) sonometro integratzaileak, edozein motatako zaratarentzat; eta (iii) dosimetroak, zarata aldakorra neurtzeko.

Ingurune termikoa

Kasu honetan, lanpostu bakoitzeko hezetasuna, airearen abiadura eta tenperatura (airearen tenperatura) neurtu behar dira. Neurgailuak normalean instrumentalak dira, termopareen edo termorresistentzien bidez.

Temperaturaren kasuan honako hauek neurtu behar dira:

- T_{HN} , erraboil hezearen tenperatura: erraboila urarekin bustitako muselina batez estalitako merkuriozko termometro batekin neurtutakoa (hezetasunak sentsazio termikoan duen eragina neurtzeko).
- T_G , globoaren tenperatura: erraboila kobrezko 15 cm-ko esfera huts batean daukan eta kanpotik beltzez margotuta dagoen merkuriozko termometro batekin neurtutakoa (batez besteko tenperatura erradiatzailea izango da).
- T_A , erraboil lehorraren tenperatura: erradiazioarengatik babestuta dagoen merkuriozko termometro batekin neurtutakoa.

Kontuan izan behar da globoaren eta erraboil hezearen tenperaturak itxurazko tenperaturaren neurketa bat direla, tenperaturak, hezetasunak, haizearen abiadurak (airearen efektu freskagarria) eta erradiazio ikusgarri eta infragorriak (oro har, eguzki-erradiazioa) gizakiengan duten eragina balioesten dutenak.

Hezetasuna asetahun-portzentajea neurtzen da, ondoren, zuzenean konfort termikoarekin erlazionatzen den sentsazio termikoaren tenperatura ebaluatzeko. Oro har, tenperatura gutxi gorabeherakoa baino txikiagoa denean, 32°C (azalaren tenperatura), haizeak sentsazio termikoa gutxitzen du. Aldiz, tenperatura 32°C-tik gorakoa bada, haizearen presentziak sentsazio termikoa areagotzen du. Hezetasun erlatibo altuak sentsazio termikoa tenperatura altuetara igotzen du, larruazalean lurruntze naturala eta gorputzaren beroaren disipazio termikoa zailtzen direlako. Tenperaturaren eta hezetasun erlatiboaren korrespondentzia-taulak erabiltzen dira sentsazio termikoaren tenperaturaren kalkulu zenbatetsia egiteko.

Erradiazioa

Erradiazio ionizatzaileen kasuan jasotzen den dosia neurtzen da, energia-masa unitateko ($J\text{ kg}^{-1}$, adibidez). Bi parametro definitzen dira:

- Dosi baliokidea: organo edo ehun bakoitzak jasotzen duen dosia, erradiazio motaren arabera.
- Dosi efektiboa: organo edo ehun guztiek jasotako dosiaren batuketa haztatua.

Neurketa gailuak erradiazio-detektagailuak (zuzeneko neurketa ematen dutenak) edo dosimetroak (denbora-tarte batean metatu den erradiazioa neurtzen dutenak) dira.

Erradiazio ez-ionizatzaileentzat, erradio elektromagnetikoen kasuan, uhinaren frekuentzia (Hz), eremu elektrikoaren intentsitatea (V/m), eremu magnetikoaren intentsitatea (A/m) eta potentzia dentsitatea (W/m^2) neurtzen dira. Erradiazio optikoen kasuan (UV, ikusgarria, IR) erradiazio-fluxuak kalkulatu behar dira, eta uhin mota bakoitzerako dagokion detektagailua jarri behar da.

Horiek neurtzeko erabiltzen diren gailuak: erradiometroak eta espektroerradiometroa dira.

6.4. KUTSATZAILEEKIKO ESPOSIZIOAREN BALORAZIOA

Neurketa egin ondoren, esposizioaren ebaluazioaren bidez, langileek kutsatzaile baten aurrean duten esposizioaren magnitudea, maiztasuna eta iraupena ezagutu behar dira, haren ondorioak zenbatetsi ahal izateko. Baloraziotik lortzen den emaitzako balioa balioespen-irizpide izeneko erreferentzia-patroi batekin alderatu behar da. Balorazio-irizpideak kutsatzaileen esposizioaren eta efektuaren eta langileentzat onargarriak diren gehieneko ondorioen arteko erlazioan oinarritutako azterlanen emaitza dira. Irizpide horiek, oro har, bi motatakoak izan daitezke: (i) legegileak (esposizioaren legezko mugak), edo (ii) gomendio teknikoak (normalean nazioartekoak), datu epidemiologikoak, animaliei buruzko saiakuntzak, antzeko substantzietatik abiatuta egindako kalkulu teorikoak (Q-SAR, Read across).

Espainiako estatuan, erreferentziazko irizpidea Laneko Segurtasun eta Higieneko Institutu Nazionalak argitaratutako agente kimikoentzako esposizio profesionalaren muga-balioak dira. Eragile fisikoek (zarata, erradiazioak, etab.) berriazko araudia dute. Legezko baliorik ez badute, beste herrialde edo erakunde zientifiko batzuetako irizpideak edo araudiak kontsultatu behar dira. Agente biologikoek ez dute erreferentzia-irizpiderik. Ildo horretan, emaitzak baloratu ahal izateko modu bat da lanpostuan lortutako kontzentrazio-datuak erreferentziazko leku batean lortutako balioekin alderatzea. Printzipio orokor gisa, adierazi behar da ingurumen-eragileentzat erabilitako erreferentzia-balioak ez direla muga guztiz seguruak langileentzat. Hau da, erreferentzia-balioak baino esposizio-maila txikiagoak izateak ondorio kaltegarriak eragin diezazkieke sentsibilitate berezia duten langile jakin batzuei.

6.4.1. Kutsatzaile kimikoekiko esposizioaren balorazioa

Substantzia arriskutsuaren neurtutako parametroa (atmosfera kontzentrazioa edo langilearen bizi-fluidoaren kontzentrazioa) esposizio profesionalerako gomendatutako edo nahitaezko muga-balioekin konparatzen da.

Oso erabiliak dira «American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)» erakundeak garatutako balorazio-irizpideak, eta herrialde askok antzeko irizpideak hartu dituzte.

Estatuan, 374/2001 Errege Dekretuak substantzia kimiko askoren okupazio-mugak ezartzen ditu. Muga-balioak aldian-aldian eguneratzen ditu INHSTk (Laneko Segurtasun eta Higieneko Institutu Nazionala).

Kutsatzaile atmosferikoekiko esposizio-balioak

Erabilitako balorazio-irizpidea ingurumenaren muga-balioak dira (TLV-Threshold Limit Values deituak ACGIH-en arabera; VLA-Valores Limite Ambientales deituak INSHTren arabera). Balio horiek gomendatutako mugak dira, eta mg/m³ edo ppm-tan adierazten dira.

VLA/TLV balioek substantzien kontzentrazioak adierazten dituzte (mg/m³ edo ppm-tan), eta horien azpitik ez da ondorio negatiborik sortzen langile gehienengan. Bi muga-balio nagusi daude:

- VLA-ED / TLV-TWA. Kutsatzaile kimikoaren batez besteko balio haztatua eguneko 8 ordurako eta asteko 40 ordurako. Balio honetatik behera, langilea bere lan-bizitza osoan egon daiteke kutsatzaile honen eraginpean, ondoriorik jasan gabe.
- VLA-EC / TLV-STEL. Iraupen laburreko esposiziorako maila. Muga honen azpitik 15 minutu baino gehiago jardun gabe, langile gehienek ez lukete kalterik jasango. Balio hau inoiz ezingo da gainditu eguneko edozein momentutan.

Substantzia batzuentzat ez da VLA-EC muga-baliorik ezagutzen. Kasu hauetan, VLA-ED / TLV-TWA balioei desbideratze-mugak jartzen zaizkie; agente kimikoek lantokian dituzten benetako kontzentrazioek gorabehera handiak izan ditzaketenez egunean zehar, iraupen laburreko esposizioak VLA-EDren gaineratik kontrolatu behar baitira. Hori dela eta, iraupen laburreko esposizioak VLA-ED balioa baino 3 aldiz handiagoak izan daitezke 15 minutuz, gehienez 4 aldiz 8 orduko lanaldi batean, eta gutxienez ordubeteko tartearekin segidako bi puntako esposizioen artean. Inolaz ere ez da VLA-EDren balioa baino 5 aldiz handiagoa izan behar. Gainera, 8 orduko VLA-ED ez da lanaldian zehar gainditu behar.

Lan-giroan hainbat kutsatzaile kimiko badaude, VLA/TLV balioak nahasketa-efektuaren bidez hartu behar dira kontuan. Ondorioak gehigarriak dira; beraz, muga-balioekiko kontzentrazioen batukaria kalkulatu behar da, eta balioak 1etik beherakoa izan behar du, honako ekuazio honen arabera:

$$\sum \frac{c_i}{VLA_i} \leq 1 \quad (112)$$

Substantzia kartzinogeno edo mutagenoen kasuan, ezin daitezke efekturik sortzen ez duten kontzentrazio-mugak definitu. Kasu horietan, lege-eskakizunak zorrotzagoak dira, eta gai horietarako berariazko legeetan jasota daude: RD 349/2003 (99/38/CE Zuzentarauaren transposizioa). Bertan substantzien sailkapena ematen da: 1A pertsonengan minbizia sortzen dutenak eta 1B animaliangen minbizia sortzen dutenak.

Substantzia batzuek gaitasun handia daukate organismora azaleko adsortzioaren bidez sartzeko. Berezitasun hori VLA / TLV zerrendetan espezifikatzen da «Via dérmica» edo «Skin» oharrekin. Kasu horietan, esposizioa baloratzeko eta plantillako pertsonak babesteko, ez da nahikoa

atmosfera kontzentrazioa neurtzea, eta larruazalarekiko esposizio-arrisku hori aztertu, kausak zehaztu, eta arriskua minimizatu behar da.

Kontrol biologikoa

Gizakiarengan dagoen kutsatzaile kantitatea baloratzeko irizpidea kontrol biologikoan oinarritzen da, *adierazle biologikoak* deritzenen bidez. Bi adierazle biologiko daude:

- *Dosiaren adierazlea*. Substantzia kimikoen edo metabolitoren baten kontzentrazioa neurtzen du. Adibidez, «Kadmioa edo kadmioaren konposatuak» esposizioetarako, gertuaren Cd kontzentrazioa edo B2 izeneko metabolitoaren kontzentrazioa neur daiteke odoleko mikroglobulinan.
- *Efektuaren adierazlea*. Langilea eraginpean dagoen substantziek sortutako aldaketa biokimikoak identifikatzen ditu. Adibidez, arnas ahalmenaren neurketa (botatako airearen bolumena), birika-ahalmena murrizten duten agenteekiko esposizioaren adierazle gisa.

Muga-balio biologikoak BEI Biological Exposure Indices ACGIH-en arabekoak edo VLB, Valores Límite Biológicos INSHT-en arabekoak dira. Balio horiek VLA-ED / TLV-TWA kontzentrazioari dagokion arnasketa-maila izanik langileek izango lituzketen adierazle biologikoaren mailak adierazten dituzte. Ez dituzte efektuak adierazten, eta ez dute gaixotasun profesionalik diagnostikatzeko balio.

6.4.2. Kutsatzaile biologikoekiko esposizioaren balorazioa

Kutsatzaile kimikoekin ez bezala, ez dago balorazio-irizpide normalizaturik, kutsatzaile biologikoek duten konplexutasuna dela eta: bioaerosolak partikula ezberdinez osatutako nahasketa konplexuak dira, pertsona bakoitzarengan ondorio oso ezberdinak sor ditzakete, laginketa eta analisiak muga asko ditu, etab.

Askotan, kontzentrazioa instalazioen barruan eta kanpoko lekuren batean neurtzen da, beren artean konparatzeko. Hala ere, nahiz eta atmosferako kontzentrazioa neurtu, arriskua istripu puntual bat dela eta gerta daiteke (ziztada, zauria ...), atmosferan dagoen kontzentrazioarekin zerikusirik eduki gabe. Arriskua ebaluatzeko irizpide kualitatiboak erabiltzen dira, ondoren dagozkion prebentzio- eta babes-neurriak aplikatzeko.

Agente biologikoak nahita erabiltzen badira edo lan-ingurunean egon daitezkeenak ondo identifikatuta baditugu, horien fitxa teknikoak betetzea proposatzen da, beren ezaugarriekin (30. taula).

30. taula

Agente biologikoen fitxa teknikoa

Izena		
Arrisku-taldea		
Lantokiko fokuak eta gordailuak		
Sakabanaketa erak		
Lan-ingurune kontzentrazioa		
Osasun efektuak	Epidemiologia	
	Infekzioa	
	Ostalaria	
	Esposizio/sarrera bideak	
	Infekzio-dosi minimoa	
	Toxinen sorrera	
	Efektu alergikoak	
	Minbizia	
	Tratamendu eraginkorra	
	Txertoa	
Bideragarritasuna	Erresistentzia erak	
	Desinfektatzaileekiko sentikortasuna	
	Antibiotikoekiko sentikortasuna	
	Metodo fisikoen bidezko ezabatzea	
	Babes kolektiborako neurriak	
	Euspen-maila	
	Lan-prozedura	
	Babes pertsonala	
Bestelako informazioa		

Horretaz aparte, lan-prozedura eta metodoak ebaluatzeko galdetegi bat betetzea proposatzen da, esposizioa kontrolatuta dagoen ala ez egiaztatzeko, eta horrekin neurri zuzentzaileak proposatzeko (31. taula).

Hala ere, ACGIH protokolo batzuk garatzen saiatu da bulegoetan egon daitezkeen mikroorganismoak ebaluatzeko. Bertan, erabili beharreko laginketa eta analisi-teknikak definitzen ditu, eta datuen analisirako irizpide batzuk proposatzen ditu:

- 10.000 kolonia-sortzaile unitate metro kubikoko baino gehiago badaude, bertan azaltzen dituen neurri zuzentzaileak aplikatzeko esaten du.
- Balioa baxuagoa bada, hiru eratako agenteak identifikatu (onddoak, bakterioak eta aktinomizetoak) eta neurtzeko esaten du, eta bakoitzerako 500 kolonia-sortzaile unitate metro kubikoko balioa gainditzen bada, zuzenketa-neurriak aplikatzeko.

31. taula

Kutsatzaile biologikoekin lan egiten denerako lan-prozedurak eta metodoak ebaluatzeko galdetegia

- (1) Agente biologikoen sakabanaketa ekiditen da?
- (2) Euspen-neurriak zehaztu dira?
- (3) Euspen fisikoa periodikoki egiaztatzen da?
- (4) Instalazioak era egokian diseinatu dira?
- (5) Aireztapena egokia da?
- (6) Esposizio-denbora murrizten da?
- (7) Eraginpean dauden langileak ahalik eta gutxienak dira?
- (8) Hondakinak kudeatzeko sistemarik badago?
- (9) Istripuzko ziztada edo inokulazioak ekiditen dira?
- (10) Intsektu edo animalien ziztadak edo horzkadak ekiditen dira?
- (11) Neurri higienikoak betetzen dira?
- (12) Langileen osasunaren jarraipen egokia eta espezifikoa egiten da?
- (13) Langileari txertoak edo bestelako neurriak eskaintzen zaizkio?
- (14) Seinaleztapena egokia da?
- (15) Arriskua ezin daitekeenean babes kolektiboen bidez murriztu, babes indibidualerako neurriak erabili behar dira.
- (16) Formazioa eta informazioa.
- (17) Agintariei dokumentazio eta informazio egokia eskaini.

6.4.3. Kutsatzaile fisikoekiko esposizioaren balorazioa*Zarata*

Entzumena galtzeko arriskua eguneko 80 dBA-ko maila baliokidetik ($L_{Aeq,d}$) aurrera hasten da esanguratsua izaten, hainbat urtetako esposizioa eta 8 orduko lanaldiak eraginez. Hori horrela izanda, lanpostu bakoitzerako neurtutako zarata-maila ezberdinak honako balorazio-irizpideekin konparatzen dira, lanpostu bakoitza dagokion arrisku-mailan ezartzeko:

- Arriskurik ez: $L_{Aeq,d} < 80$ dB (A). Langile gehienentzat entzumena galtzeko arriskurik ez dagoela jotzen da.
- Arriskuaren behe-maila: $L_{Aeq,d} = 80$ dB (A) eta $L_{max} = 135$ dB(C).
- Arriskuaren goi-maila: $L_{Aeq,d} = 85$ dB (A) eta $L_{max} = 137$ dB(C).
- Muga-maila: $L_{Aeq,d} = 87$ dB (A) eta $L_{max} = 140$ dB(C).

Lanpostu bakoitza mailaren arabera sailkatu eta dagozkion babes-neurriak ezarri beharko dira.

Ingurune termikoa

Lehenik eta behin, tenperatura altuek edo baxuek eragindako arriskua bereizi behar da, bi egoera mota horiek estres termikoa sortzen baitute.

Beroagatik sortzen den estres termikoa:

Legeak (R.D. 486/1997), 32. taulan agertzen diren gutxieneko baldintzak jartzen ditu:

32. taula

Lanpostuan izan beharreko gutxieneko baldintza termikoak

Lan mota	Tenperatura (°C)	Hezetasun erlatiboa	Airearen abiadura (m/s)		
			Ingurune ez beroa	Ingurune beroa	Aire girotua
Sedentarioa (bulegoak...)	17-27	% 30-70	0,25	0,50	0,25
Arina (ez-sedentarioa)	14-25			0,75	0,35

Horretaz aparte, balorazio-metodo normalizatuak erabiltzen dira, estres termikoa kalkulatzeko, hala nola WBGT metodoa (UNE-EN 27243.95): aplikazio mugatukoa da, eta, beraz, lehen balorazio gisa erabiltzen da. Formula hauen bidez kalkulatzen da:

Barruko lanak, eguzki-erradiaziorik gabe:

$$WBGT = 0,7 T_{HN} + 0,3 TG \quad (113)$$

non T_G globoaren tenperatura eta T_{HN} erraboil hezearen tenperatura baitira.

Kanpoko lanak, eguzki-erradiazioarekin:

$$WBGT = 0,7 T_{HN} + 0,2 TG + 0,1 T_A \quad (114)$$

non T_G globoaren tenperatura, T_{HN} erraboil hezearen tenperatura eta T_A erraboil lehorraren tenperatura baitira.

Ondoren, pertsonaren kontsumo metabolikoa (M) (hau da, gorputzak sortzen duen beroa) kalkulatu behar da, 33. taula erabiliz. WBGT eta M balioekin 37. 37 lan-baldintzak seguruak diren ikus daiteke.

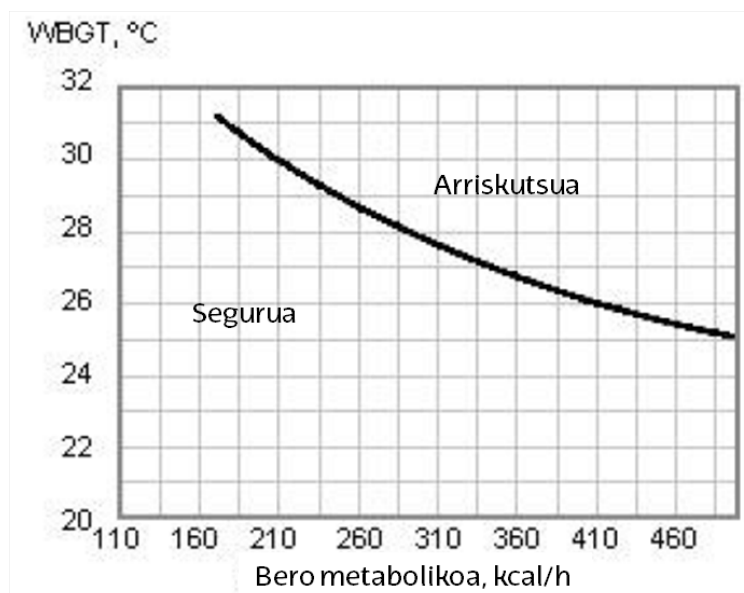
Askotan erabiltzen den beste metodo bat da zenbatetsitako gainkarga termikoaren metodoa (UNE-EN ISO 7933.05/ ISO 7933:2004), WBGT metodoa baino zehatzagoa baita.

Oreka termikoaren mantentzean oinarritzen da, izerdiaren bidez galdutako ura estimatuz eta lanaren ondorioz gorputzaren barne-tenperaturan gertatuko den igoera kalkulatu. Gorputzaren barneko tenperatura gehiegi igotzen bada edo ur gehiegi galtzen bada, metodoak esposizio-denbora maximoa kalkulatzen du, osasunean arazorik ez izateko.

33. taula

Pertsona baten kontsumo metabolikoa

A. Gorputzaren posizioa eta mugimendua			
		Kontsumo metabolikoa (Kcal/min)	
Eserita		0,3	
Zutunik		0,6	
Ibilian		2-3	
Malda igotzen		0,8 gehitu igoerako metro bakoitzeko	
B. Lan mota			
		Batezbestekoa (Kcal/min)	Tartea (Kcal/min)
Eskulana	Arina	0,4	0,2-1,2
	Astuna	0,9	
Beso batekin	Arina	1,0	0,7-2,5
	Astuna	1,7	
Bi besoekin	Arina	1,5	1,0-3,5
	Astuna	2,5	
Gorputzarekin	Arina	3,5	2,5-15
	Tartekoa	5,0	
	Astuna	7,0	
	Oso astuna	9,0	

**37. irudia**

Lan-baldintza seguruak eta arriskutsuak WBGT eta bero metabolikoaren arabera

Metodo konplexua da, eta WBGTrako beharrezko neurketatik aparte, datu gehiago neurtzea eskatzen du, hala nola esposaturiko pertsonaren altuera eta pisua, airearen abiadura, metabolismoa, egindako lanaren potentzia, arropen sortzen duten isolamendu termikoa... INHSTko kalkulagailuaren bidez kalkula daiteke, beharrezko datuak sartuta.

Hotzagatik sortzen den estres termikoa:

Legeak (R.D. 486/1997) hozkailuetan lan egiteko 34. taulan agertzen diren gutxienerako baldintzak ezartzen ditu.

34. taula

Hozkailuetan lan egiteko gutxienerako baldintzak

Hozkailu mota	Lanaldia	Berreskuratze-denbora
0 eta -5°C artean	8 ordu	10 minutuko atsedena 3 orduero
-5 eta -18°C artean	6 ordu	15 minutuko atsedena orduero
-18°C baino gutxiago	6 ordu	15 minutuko atsedena 45 minutuero

Bestalde, UNE-EN- ISO 11079.98 balorazio-metodoa erabil daiteke. Metodo honen arabera, lehenengo, gorputz osoaren hoztea galarazteko behar den arropen bidezko isolatzea (I_{req}) kalkulatu behar da, gorputzean oreka mantentzeko. Gero, isolatze-maila baxua bada, kalterik ez sortzeko esposizio-denbora kalkulatu da.

Bestalde, aurpegi eta gorputz-adarren hoztea galarazteko, WCI parametroa erabiltzen da. Babesik gabeko azalaren hoztea kalkulatu da, tenperatura eta haizearen eragina dela eta.

$$WCI = 1,16 \times (10,45 + 10v^{1/2} - v)(33 - T_A) \quad (115)$$

Non v haizeraren abiadura baita.

Hoztea dela eta kalteak ekiditeko, WCIk izan dezakeen balio maximoa 16000 W/m² da.

Erradiazioak

ERRADIAZIO IONIZATZAILEAK

Estatuan, 783/2001 Errege Dekretuak arautzen ditu betekizunak, eta bertan jasotzen dira dosien mugak (35. taula), eta lanpostuen (36. taula) eta langileen sailkapena (37. taula).

35. taula

Erradiazio ioniztzaileen dosi-mugak

Dosi efektiboa	Eraginpean dauden pertsonak		100 mSv/ 5 urtetan jarraian (50 mSv gehienez urtean)
Dosi baliokidea	Eraginpean dauden langileak	Kristalinoa	150 mSv/urteko
		Azala	500 mSv/urteko
		Eskuak, besurreak, oinak eta orkatilak.	500 mSv/urteko
	Haurdun dauden langileak	Fetua	Ahalik eta baxuena, ezin du 1 mSv gainditu haurdunaldi guztian.
	Edoskitzaroan dauden langileak	Ezin zaie kutsadura erradioaktibo adierazgarria suposa lezakeen lanik jarri.	
Baimendutako espesizioak	A mailako langileen kasuan bakarrik, ezohiko kasuetan, agintariak muga-balioa baino dosi altuagoa baimendu dezakete, denbora mugatuz.		

ERRADIAZIO EZ-IONIZATZAILEAK

Erradiazio ez-ioniztzaileek pertsonengan dituzten ondorioak erradiazio ioniztzaileen kasuak baino askoz gutxiago ezagutzen dira. Ez dago irizpide bateraturik, eta ziurgabetasun handia dago erradiazio mota horiek organismoetan (irradi-uhinak, WIFI, smartphone-ak) duten benetako eraginari buruz.

Gaur egun, estatuan, 486/2010 Errege Dekretuan aurki daitezke erradiazio optiko artifizialei buruzko legezko mugak, eta 299/2016 Errege Dekretuan eremu elektromagnetikoetatik babesteari buruzkoak (38. taula).

36. taula

Lanpostuen sailkapena erradiazio ioniztzaileen mailaren arabera

Eremu mota	Dosi-mugak
Kontrolpeko eremua	Urteko 6 mSv-tik gorako dosi efektiboak jasotzeko aukera daukan eremua, edo kristalinoaren, larruazalaren eta gorputz-adarren dosi baliokideen 3/10etik gorako dosia jasotzeko aukera daukan eremua.
Egonaldi mugatuko eremua	Muga-balioak baino dosi altuagoak hartzeko arriskua dagoen eremua.
Araututako egonaldiko eremua	Denbora-epe laburretan muga-balioak baino dosi altuagoak hartzeko arriskua dagoen eremua.
Debekupeko eremua	Esposizio bakar batean muga-balioak baino dosi altuagoak hartzeko arriskua dagoen eremua.
Zaindutako gunea	Eremu kontrolatua ez den arren, urtean 1 mSv-ko dosi efektiboak edo kristalinoaren, larruazalaren eta gorputz-adarren dosi baliokideen 1/10etik gorako dosi baliokidea jasotzeko aukera dagoen eremua da.

37. taula

Langileen sailkapena erradiazio ionizatzaile mailaren arabera

A maila	Lan egiteko baldintzak direla-eta, urte bakoitzeko 6 mSv-tik gorako dosi efektiboa edo kristalinoaren, larruazalaren eta gorputz-adarren dosi baliokidearen 3/10etik gorako dosi baliokidea jaso dezaketen pertsonak.
B maila	Lan egiteko baldintzak direla-eta, urtean 6 mSv-tik gorako dosiak edo kristalinoaren, larruazalaren eta gorputz-adarren dosi baliokidearen 3/10etik gorako dosiak jasotzea oso zaila duten pertsonak.

Erradiazio ez-ionizatzaileei buruzko muga-balioak ezartzeko ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection) izeneko erakundearen proposamenak daude (ikerketa esperimental eta epidemiologikoetan oinarritutakoak), baina ez dago benetako ondorioei buruzko adostasun nahikorik. Erradiazio ez-ionizatzaileei buruzko mugak ezartzea oso konplexua da; izan ere, erradiazio horien muga-balioetan eragina baitute espektro-tarteak, fokuaren angeluak eta espozizio-denborak. Gainera, espektro bakoitza analizatzeko magnitude erradiometriko ezberdinak erabiltzen dira.

38. taula

Eremu elektromagnetikoen lege-mugak

Frekuentzia (f)	Eremu elektrikoaren intentsitatea (V/m)	Eremu magnetikoaren intentsitatea (A/m)	Potentzia-dentsitatea (W/m ²)
0-1 Hz	—	1,63 10 ⁵	—
1-8 Hz	20000	1,63 10 ⁵ / f ²	—
8-25 Hz	20000	2.104/f	—
0,025-0,82 kHz	500/f	20/f	—
0,82- 2,5 kHz	610	24,4	—
2,5-65 kHz	610	24,4	—
65-100 kHz	610	1600/f	—
0,1-1 MHz	610	1,6/f	—
1-10 MHz	610/f	1,6/f	—
10-110 MHz	61	0,16	10
110-400 MHz	61	0,16	10
400- 2000 MHz	3 f ^{1/2}	0,008 f ^{1/2}	f/40
2-300 GHz	137	0,36	50

6.5. PREBENTZIOA ETA NEURRI ZUZENTZAILEAK

Egindako balorazioarekin, lantokian dagoen egoera segurua den zehazteko moduan gaude, eta horrek arriskua dakar langilearentzat. Horrelako kasuetan, kutsadura-fokuaren, hedabidearen edo langilearen gainetik jardunez, arriskua murrizteko ekintza zuzentzaile egokiak egingo dira. Ezarritako neurri zuzentzaileen eraginkortasuna baloratzeko, lanpostuaren baldintzak berriro bermatu beharko dira.

Kutsatzaile guztiak foku edo iturri batean sortzen dira, ingurunean sakabanatzen dira, eta, azkenik, lan-giroan dauden pertsoneri eragiten diete. Beraz, prebentzio- eta babes-neurriak ordena honetan aplikatu behar dira: (i) fokua, (ii) ingurunea, eta (iii) pertsona.

Fokuari dagokionez, lehenik eta behin, fokua identifikatu eta berriro diseinatu behar da, kutsatzaile-isuria ezabatzeko edo minimizatzeko. Inguruari dagokionez, gertuko dispertsioa ezabatzeko neurriak hartu beharko dira, lanpostuko immisioa ezabatzeko edo murrizteko. Tratamendu- edo arazketa-metodoak aplikatu daitezke, kutsatzailea toxikotasun gutxiagoko substantzia bihurtzeko, edo, are hobeto, toxikotasunik gabeko substantzia bihurtzeko. Azkenik, fokuan edo ingurunean jardutea nahikoa ez bada, norbera babesteko ekipamendua erabiliko da (hau da, kasakoak, betaurrekoak, eskularruak, maskara, segurtasun-zapatak, arropa berezia, etab.).

6.5.1. Fokuaren gaineko neurriak

Fokuaren gainean hartu beharreko neurriak lehentasun-hurrenkera honetan hartuko dira normalean:

- Prozesua diseinatzeko proiektuaren fasean, junturak, hodiak, haizatzeak eta abar diseinatzean, higiene-arriskuak kontuan hartzea.
- Substantzia toxiko bat ez den edo toxikotasun txikiagoa duen beste batekin ordezkatzea (adibidez, disolbatzaile hidrokarburo linealekin kloratutako disolbatzaileak).
- Likidoak/gasak/lurrinak fase solidoan dauden eta helburu edo erabilera bera duten substantziekin ordezteak.
- Eragiketa-baldintzak hautatzea, ingurunetik hurbilen dauden baldintzak erabilita (adibidez, prozesuaren tenperatura altua murriztea katalizatzaile bat erabiliz).
- Prozesu-eremua isolatzea, «No Access» eremua erabiliz, funtzionamendua sistema automatikoetan edo kontrol-gelatik oinarrituz.
- Ohiko lanorduetatik kanpo eragiketak egitea, eraginpean dauden pertsonen kopurua minimizatzeko (adibidez, instalazioen mantentze-lanen kasuan).
- Fokuan metodo hezeak erabiltzea, ura atomizatuz, partikulak askatzea ekiditeko (adibidez, mekanizatua egiten duten makinetan, mineralen tratamenduan...).
- Aireztapen lokalizatua erabiltzea, airearen erauzketa erabiliz.

Neurri horiek ekipo guztien aldizkako mantentzearekin batera joan behar dute.

6.5.2. Ingurunearen gaineko neurriak

Fokuaren gainean hartutako neurriak nahikoak ez direnean, ingurunean jarduerak egiten jarraitzen da. Honako neurri hauek har daitezke, besteak beste:

- Lan-eremuaren garbiketa egokia, metodo hezeen edo xurgatzearen bidez. Lan-eremuaren desinfekzio egokia.
- Isuriak metodo hezeen bidez (*wet scrubbers*), edo fase lehorrean (iragazkiak, zikloak) tratzea.
- Diluzioaren bidezko aireztapen orokorra. Aireztapenaren edo erauzketa lokalizatuaren bidez kutsatzailea diluzionatzea.
- Fokuaren eta hartzailearen (pertsona) arteko distantzia handitzea.
- Kutsatzaileak detektatzen dituzten eta, kontzentrazio handia badago, aktibatzen diren alarma-sistemetara konektatuta dauden ekipoak izatea (adibidez, H₂S sentsoreak langiroan).
- Hesi akustikoak, erradiazioaren aurkako hesiak (berunezko xaflak), hormetako estaldurak, isolamendu termikoa...

6.5.3. Pertsonen gaineko neurriak

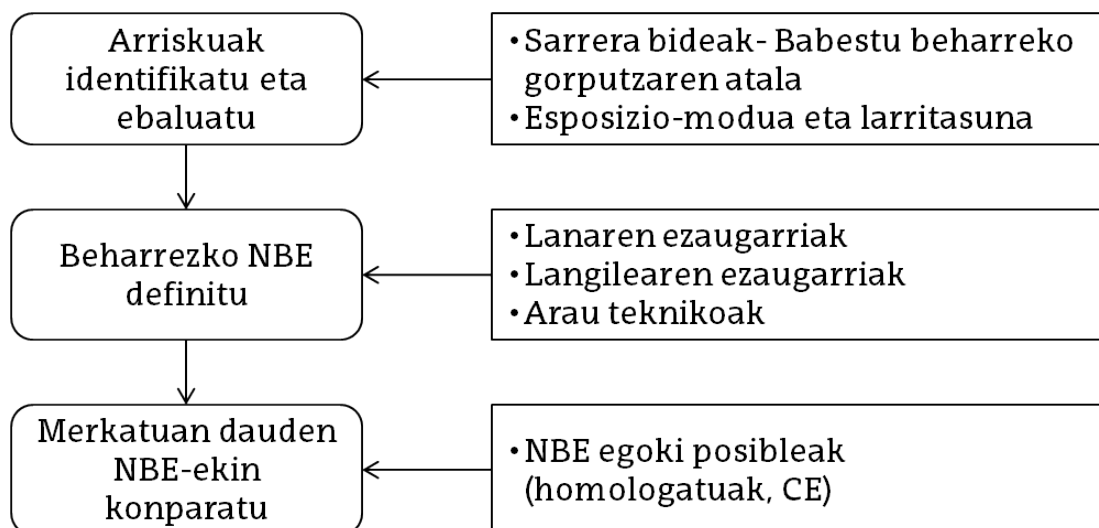
Arriskuak ezabatzea edo jatorrizko iturritik ahalik eta gertuen kontrolatzea ezinezkoa denean, langilearen gaineko neurriak hartuko dira. Honako neurri hauek har daitezke pertsonengan:

- Kutsatzaileen arrisku higienikoei eta arrisku horiei aurrea hartzeko moduari buruzko prestakuntza eta informazioa ematea langileei.
- Esposizio-denbora murriztea txandak txandakatuz, lanpostuz aldatuz, etab.
- Babes kolektiboko gune bereziak erabiltzea (kabina itxiak, etab.)
- Norbera babesteko ekipamenduak erabiltzea (NBE).

Norbera babesteko ekipoak (NBE)

Norberaren babeserako ekipamendua edo elementua (NBE) baldintzek hala eskatzen dutenean bakarrik erabili behar da, ez baitituzte arriskuak ezabatzen, eta, beraz, horietan akatsen bat badago, pertsona erabat arriskuan geratzen da. Gainera, segurtasun-sentsazio faltsua sortzen dute, baita deserosotasunak eta eragozpenak ere lanean.

NBEak aukeratzekoan, gure erabilera-beharrak asetzen dituztenak aukeratu behar dira, halaberrez aukeratu gabe. Norberaren babeserako ekipamendua, berriz, segurtasunari eta osasunari dagokienez eragiten dioten diseinuari eta eraikuntzari buruzko xedapenetara egokitu behar da. Nolanahi ere, norbera babesteko ekipamendu bat egokia izan beharko da babestu behar dituen arriskueterako, eta berez ez da arrisku gehigarri bat izango. Lantokian dauden baldintzei erantzun behar die, eta kontuan izan behar ditu langilearen eskakizun ergonomikoak eta osasunari dagozkionak; era berean, langileari egokitu behar zaio, beharrezko doikuntzekin. Norbera babesteko ekipamendu bat baino gehiago aldi berean eramatea eskatzen duten arrisku anitzen kasuan, ekipamendu horiek bateragarriak izan beharko dute, eta eraginkortasunari eutsi beharko diote, arriskuari edo arriskuei dagokienez. Norbera babesteko ekipamendu bat aukeratzeko, 38. irudian agertzen den metodologiari jarraitu behar zaio.

**38. irudia**

NBEak aukeratzeko metodologia

Oinarrizkoa da NBE guztiek betetzea fabrikatzaileak azaroaren 20ko 1407/1992 Errege Dekretuaren 10. artikuluan ezarritako CE markaketaren betebeharra (abenduaren 21eko 89/686/EEE Zuzentarauaren transposizioa). CE markaketa (39. irudia) modu ikusgarri, irakurgarri eta ezabaezinean fabrikatutako NBE-etako bakoitzean jarri da eta jarriko da, NBEaren iraupen aurreikusgarrian edo balio-bizitzan. Gainera, nor bere burua babesteko ekipamendu guztiek fabrikatzailearen informazio-liburuxka bat izan behar dute nahitaez. Hainbat motatako NBEak daude, gorputzaren zein zati babesten duten.

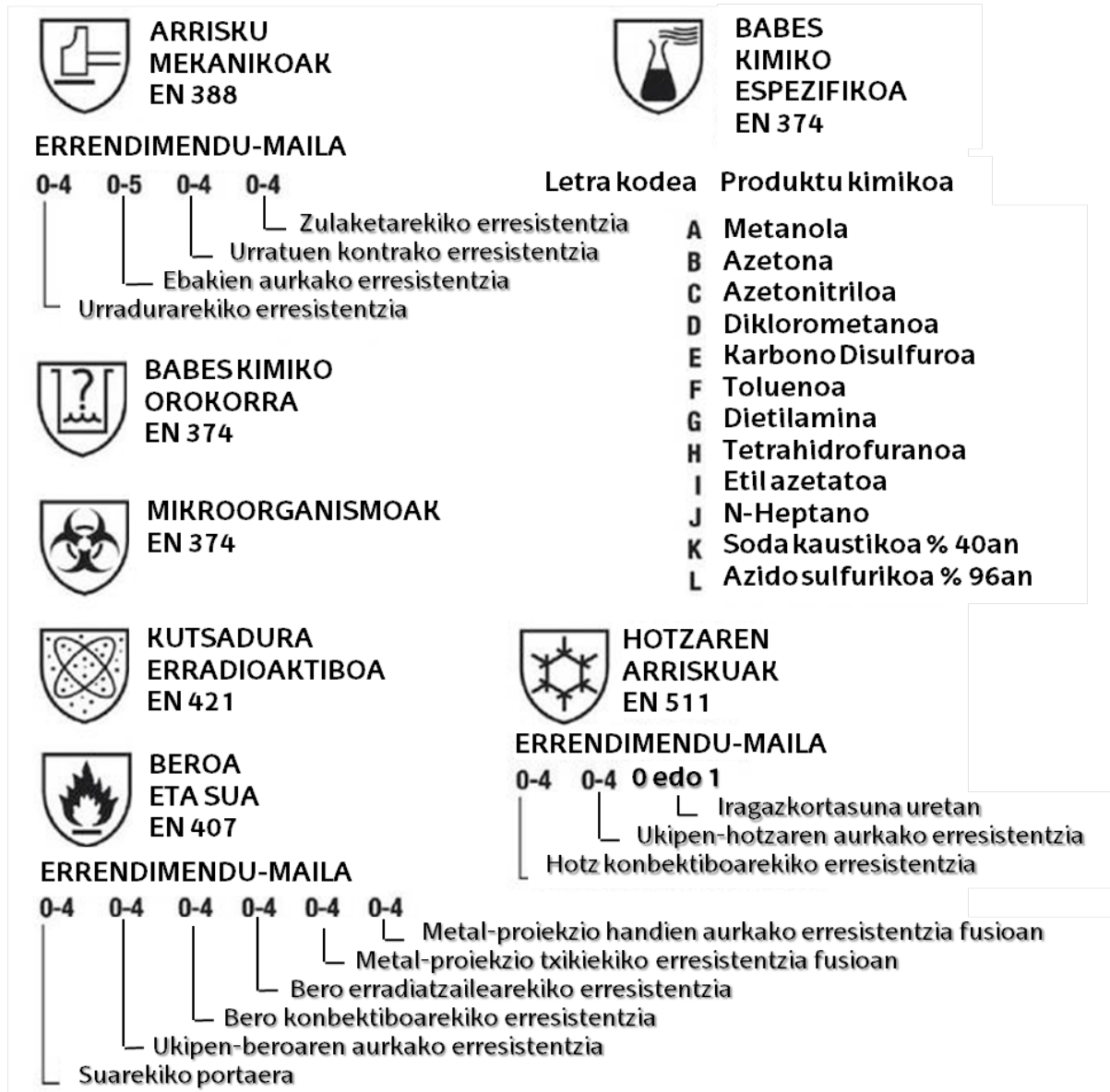
ARNASKETA-BABESERAKO EKIPOAK

Arnas babeserako ekipamenduek eragotzi egiten dute substantzia kaltegarriak arnastea lanean ari garen bitartean, eta, aldi berean, arnasa ondo hartzea ahalbidetzen dute. Hautsa, partikulak, lurrinak, gasak edo aerosolak arnasteak arnas nahasmenduak eta gaixotasun larriak eragin ditzake, hala nola asma, bronkitisa edo biriketako minbizia. Langileek jasaten dituzten gaixotasunak partikula motak bezain anitzak dira, eta lantokietan arnastu ditzakete. Adibidez, irinetan, bernizetan, persulfatoetan edo animalien ileetan dauden alergenok batzuk arnasteak alergiak edo asma eragin ditzake. Horrela, okinak, pintoreak, ile-apaintzaileak eta albutariak, hurrenez hurren, bereziki egongo lirake gaitz horien eraginpean.

Beste partikula narritagarri batzuek hainbat hantura eragin ditzakete arnasbideetako hainbat eremutan: sudur-mukosan, trakean, biriketan...

Arnastutako substantzia toxiko batzuek gaixotasun larriak eragin ditzakete, hala nola minbizia. Ezaguna da amiantoaren kasua, arnastutako zuntzek asbestosia edo biriketako minbizia eragin baitezakete. Formaldehidoarekiko esposizioak, zuraren industrian oso ohikoa denak, sinu paranasaleko edo nasofaringeko minbizia eragin dezake.

Azkenik, azken urteetan egiaztatu ahal izan dugunez, aerosol itxurako germen infekzioso batzuk arnasteak tuberkulosia, legionelosi edo koronabirusa eragin ditzake.



39. irudia

NBE-etarako CE kodeak

Oro har, arnasketa-babeserako NBE bi mota daudela esan dezakegu: ekipo isolatzaileak eta ekipo iragazleak. Ekipo iragazleek kutsatutako airea iragazten edo garbitzen dute. Babestu nahi den elementu kutsatzailearen arabera sailkatzen dira.

— Partikula eta aerosolentzako filtroak: filtrazio materiala kutsatzailea atxikitzen duen zuntz plastikoz osatuta dago. Eraginkortasunaren arabera sailkatzen dira:

- *P-1*: eraginkortasun baxua.
- *P-2*: eraginkortasun ertaina.
- *P-3*: eraginkortasun altua (arisku biologikoa ekiditeko).

— Gas eta lurruntzako filtroak: filtrazio materiala ikatz aktibatua da. Atxiki nahi den substantziaren arabera, tratamendu ezberdinak ematen zaizkio.

- *A mota*: gas eta lurrun organikoentzat. $T_b > 65\text{ }^\circ\text{C}$.
- *AX mota*: gas eta lurrun organikoentzat. $T_b < 65\text{ }^\circ\text{C}$.
- *B mota*: gas eta lurrun inorganikoentzat.
- *E mota*: SO_2 eta lurrun azidoentzat.
- *K mota*: amoniako eta eratorrientzat.
- *SX*: gas eta lurrun espezifikotentzat.

— Partikula, gas eta lurruntzako filtroak: filtrazio materiala aurreko bi kasuen konbinaziotik eginda dago.

- *NO-P₃*: nitrogeno oxidoentzat.
- *Hg-P₃*: merkurioarentzat.

Ekipo iragazle mota bakoitza kolorearen arabera ezberdintzen da (39. taula).

Ekipo isolatzaileek aire arnagarria ematen dute iturri independente batetik abiatuta, hala nola mahuka batetik edo bonbona batetik. Aire freskoko ekipo isolatzaileak izan daitezke, kutsatutako espaziotik kanpo mahukaren mutur bat dutenak, edo isolatzaile autonomoak, aire garbia ematen dutenak zirkuitu irekien bidez (aire konprimatuko botila) edo itxien bidez (oxigenoa sortzea). Horrelako ekipoak oso kutsatuta dauden edo oxigeno-maila oso baxua duten lan-inguruneetan erabiltzen dira.

39. taula

Ekipo iragazleen kolore-kodea

Mota	Kolorea	Mota	Kolorea
A	Marroia	P	Zuria
AX	Marroia	SX	Morea
B	Grisa	NO-P ₃	Urdina/Zuria
E	Horia	Hg-P ₃	Gorria/Zuria
K	Berdea		

OINAK ETA ZANGOAK BABESTEKO EKIPAMENDUA

Erabilera profesionaleko oinetakoak oina/hanka lantokiko arriskuetatik babesteko diseinutako norbera babesteko ekipamendua da; batez ere, arrisku mekanikoetatik (objektuak erortzea, harrapatzea, objektu zorrotzak, ebakiak, lerradurak, kate-zerra bidezko ebakiak, etab.), termikoeetatik (giro-tenperatura, lurzorua tenperatura, sua, metal urtuaren zipriztina, etab.), kimiko eta elektrikoetatik (kontaktu elektrikoa, deskarga, etab.).

Erabilera profesionaleko oinetakoen ezaugarriak, oro har, erabilitako fabrikazio-materialek (adibidez, larrua, kautxua, etab.), horien formek edo diseinuek, eta ekipoari erantsitako babes-elementuek zehazten dituzte (segurtasun-mugak, isolamendu-zola, etab.).

Funtsean, erabilera profesionaleko hiru oinetako mota daude:

- Segurtasun-oinetakoak (gutxienez 200 J eta gutxienez 15 kN konpresioa).
- Babesteko oinetakoak (gutxienez 100 J eta gutxienez 10 kN konpresioa).
- Laneko oinetakoak (ez du bermatzen talkaren aurkako babesik, ezta oinaren aurrealdeko konpresioa ere).

Era berean, aurreko motek oinaren babes espezifikoak eskain ditzakete, hala nola:

- Irristadurarekiko erresistentzia, baldintza jakin batzuetan.
- Zolaren isolamendu termikoa.
- Zoruan dauden objektu zorrotzetatik babesten dituzten metalezko zolak.
- Portaera elektrikoa; oinetakoak honela sailkatzen dira: eroalea, elektrizitatearen isolatzailea edo antiestatikoa.
- Takoiaren energia xurgatzeko ahalmena, taloiaren talkei lotutako lesioetatik babesteko.

BURUA BABESTEKO EKIPAMENDUA

Burua da entzefaloea eta organo sentzorialak dauden giza gorputzaren goialdea. Garezurreko barrunbearen funtzio nagusia entzefaloea babestea da. Babes-kaskoak lantokian dauden arriskuetatik burua babesteko diseinatutako norbera babesteko ekipamenduak dira, edo istripu batek eragindako kalteak saihesteko edo gutxitzeko diseinatutakoak.

Babes-kaskoak, nagusiki, elementu zurrun batek (kaskoaren kanpoko forma orokorra definitzen duen kaskoa), barneko arnesak (talkaren ondoriozko energiari eusten eta xurgatzen dio) eta osagarriek (doitzera eta buruari eustera bideratutakoak) osatzen dituzte.

Hainbat babes-kasko mota daude erabilera-eremuaren arabera; adibidez: industria-erabilerako kaskoak (babes- edo segurtasun-kaskoa, prestazio handiko kaskoa, kolpeen aurkako kaskoa), suhiltzaileen kaskoak, behe-tentsioko instalazioetan erabiltzeko elektrikoki isolatzaileak diren kaskoak, baso-kaskoak, erreskate teknikorako kaskoak eta kiroletarako kaskoak (alpinismoa, zaldiketa, kanoa, etab.).

BEGIAK ETA AURPEGIA BABESTEKO EKIPOAK

Begiak giza gorputzeko atalik sentikorrenetako bat dira hainbat motatako arriskuekiko: arrisku kimikoak, mekanikoak eta fisikoak.

Begietako babesak honela sailka daitezke (40. taula):

- Eskainitako babesa (inpaktuen, erradiazioen, zipriztinen eta abarren aurrean).
- Zolaren diseinua (aurpegiko pantaila, integrala edo unibertsala).
- Begietakoak dituen prestazio gehigarriak (zikintzearen aurkakoak, laguntzearen aurkakoak, etab.).

40. taula

Begiak eta aurpegia babesteko ekipoak

Babesaren diseinua	Erabilpena	Ezaugarriak
Unibertsala	Talka	Lausotzea ekiditen dutenak Graduazioa
Integrala	Tamaina handiko hautsa	Urradurerekiko erresistentzia
Aurpegiko pantaila	Tamaina txikiko hautsa eta gasa Arku elektrikoa Zipriztinak eta likido tantak Metal urtuak Erradiazio optikoak	Erradiazio ikusgarria islatzeko gaitasuna

ENTZUMENA BABESTEKO EKIPAMENDUA

Entzumen-babesak dagokion araudiak zehazten duen ekintza-mailaren azpitik murriztu behar du zarata-maila.

Zarataren ezaugarrien (presio akustikoaren maila, horren arabera isolamendu-maila ezberdina izango da), maiztasun-edukiaren, zarataren ezaugarri oldarkorren edo ez-oldarkorren, eta lanaren eta langilearen ezaugarrien arabera izango da hautaketa.

- Belarri-babesa: belarriak estaltzen dituzten bi kasko dira, kuxin isolatzaile batzuk dituztenak.
- Babes-kaskoei akoplatutako belarri-babesak: babes akustiko bereziak dira.
- Tapoiak: mota ezberdinetakoak daude.

Ekipoaren informazio-liburuxkan agertu behar duen entzumen-babesaren karakterizazio akustikoak honako hauek jaso behar ditu:

- 125 Hz-etik 8.000 Hz-era bitarteko zortzidun bandaren herenaren maiztasunek bere gain hartutako indargabetzea.
- H-M-L balioak, soinu-indargabetze globalak, maiztasun altu, ertain eta baxuko zaratarako.
- SNR balioa, soinu-indargabetze globala espektro lauaren zaratarako.
- Babeslearen ezaugarri akustikoek, gure zarataren karakterizazioarekin batera, PNR balioa kalkulatzeko aukera ematen dute, baita zarata-maila murriztekoa ere (inguruneko A soinu-presio haztatuaren mailaren eta babeslea duen benetako soinu-presioaren arteko aldea).

ALTUERAKO ERORIKOEN AURKAKO BABESA

Erorikoetatik babesteko ekipamendua bi taldetan sailkatzen da:

- Atxikipen-sistemak edo «bizi-lerroak»: segurtasun-sokak dira, eta eraikuntzan erabiltzen dira gehien, nahiz eta beste hainbat tokitan erabil daitezkeen. Soka horietan euste-sistema pertsonalak lotzen dira. Bizi-lerroak derrigorrezkoak dira altuerako lanak egiten direnean, hau da, langilea 2 m-tik gorako altueran dagoenean.
- Eusteko arnesa, segurtasunez eta bi esku askerekin lan egitea ahalbidetzen duena.

ESKUAK ETA BESOAK BABESTEKO EKIPAMENDUA

Babes-eskularru batek esku bat edo esku zati bat babesten du; adibidez, esku-ahurra, arrisku batzuen aurka. Horrez gain, besaurrearen eta besoaren zati bat estal dezake. Arrisku kimikorako eta mikroorganismoetarako eskularruak, diseinuaren arabera, berrerabilgarriak edo erabili eta botatzekoak izan daitezke. Beraz, segurtasun-eskularru mota asko daude. Hona hemen adibide batzuk:

- Produktu kimiko eta mikroorganismoetatik babesteko eskularruak: ez da desberdintzen kutsatzaile kimiko edo biologikoetarakoak direnik, baina bai esterilizatuta dauden ala ez. Eskularru hauei iragazkortasun-testak egiten zaizkie, seguruak direla ziurtatzeko, arriskurik handiena poroak edo akatsak izatea delako. Elastomeroz eginak daude: latexa, PVC, nitriloa, neoprenoa, polietilenoa, vitoia, butiloa, PVA.
- Arrisku mekanikoetatik babesteko eskularruak: abrasio, perforazio edo urraduren kontra-koak. Ehun, elastomero edo larruz egindakoak.
- Ebakidura eta ziztadetatik babesteko eskularruak: burdin sare, ehun edo larruz egindakoak.

BABES-JANTZIAK

Laneko arropa orokorra hainbat arriskutatik babesteko diseinatuta dago. Kutsatzaile kimiko eta biologikoetatik babesteko laneko jantzien kasuan, mota desberdinetan sailkatzen dira, babes-mailaren eta ezaugarri partikularren arabera (41. taula).

41. taula

Kutsatzaile kimiko eta biologikoetatik babesteko arropa

Arrisku kimikoentzako arropa	Deskribapena	Arrisku biologikoentzako arropa
1. mota	Gas eta lurruntentzako hermetikoak. Arnasketa-ekipo bat behar dute, airea emateko. Horren arabera, honako sailkapen hau egiten da: 1a: arnasketa-ekipoa trajearen barruan. 1b: arnasketa-ekipoa trajearen kanpoan. 1c: arnasketa-ekipoa erdi-autonoma da.	1-B mota
2. mota	1c motakoaren antzekoak, baina josturak ez dira hermetikoak	2-B mota
3. mota	Likido presurizatuentzako hermetikoak.	3-B mota
4. mota	Likido langarrentzako hermetikoak.	4-B mota
5. mota	Aireko partikulentzako hermetikoak diren josturak dituzte.	5-B mota
6. mota	Likidoen zipriztinen aurrean babes mugatua eskaintzen dute.	6-B mota
Babes partziala	Gorputzeko atal batzuk babesten dituzten jantziak.	Babes partziala

Hotzetik babesteko arropa ere badago. Ingurune hotzetan lan egitekoak -5°C arte erabil daitezke, eta hotzaren kontrakoak direnak -5 eta -50°C artean.

Berotik eta sutatik babesteko arroparen kasuan, gar txikiekin kontaktuan denbora laburrez egoteko arropak daude, berotik babesteko arropak, metal urtuen zipriztinetatik babesteko arropak, etab.

Arrisku elektrikotik babesteko arropa ere badago, tentsio baxuko instalazioetan erabiltzekoa.

Kutsadura erradiaktibotik babesteko arropa ere bada. Kasu horretan, partikula solido erradioaktiboekin osatutako aerosolentzat bakarrik da, ez erradiazioarentzat. Erradiaziotik babesteko berun-xaflak erabiltzen dira.

Azkenik, arropa islatzailea hiru materialez eginga dago: (i) atzeko material fluoreszentea, (ii) material islatzailea eta (iii) material ez-islatazalea. Talde honetan, hiru motatako arropak daude, ikusgarritasun baxuagoa eta altuagoa eskaintzen dutenak.

7

Larrialdi-planak, ikuskapenak eta kudeaketa

7.1. AUTOBABESERAKO PLANAK

Babes Zibilari buruzko urtarrilaren 21eko 2/1985 Legeak autobabesari buruzko alderdiak jasotzen ditu. 5. eta 6. artikuluetan zehazten du Gobernuak larrialdi-egoera sor dezaketen era guztietako jardueren katalogo bat ezarri behar duela, eta jarduera horiek egiten diren zentro, establezimendu, bulego edo antzeko bitartekoen titularrek autobabes-sistema bat izan behar dutela, nor bere baliabideekin hornitua, arriskuak prebenitzeko eta horiei aurre hartzeko ekintzetarako. 2007an, artikulua hori betez, martxoaren 23ko 393/2007 Errege Dekretua agertu zen, Autobabeserako Oinarrizko Araua (NBA) onartzen duena. Dekretu horren I. eranskinean ezartzen da zer jardueratan den derrigorrezkoa arau hori aplikatzea, eta, beraz, autobabeserako plan bat egitea.

393/2007 Errege Dekretuaren arabera, autobabeserako plana industria-instalazio baterako (fabrika, egoitza soziala, biltegia, etab.) aurreikusitako esparru organiko eta funtzionala ezartzen duen dokumentua da. Plan horren helburua da pertsonen eta ondasunen gaineko arriskuak prebenitzea eta kontrolatzea, bai eta larrialdi-egoerei erantzun egokia ematea ere, jardueraren titularraren ardurapeko eremuan, jarduketa horiek babes zibileko sistema publikoan integratzea bermatuz.

Beraz, autobabeserako planak (AP) arriskuak identifikatu eta ebaluatzen ditu, arriskuak prebenitzeko eta kontrolatzeko beharrezko ekintzak eta neurriak zehazten ditu, baita babes-neurriak eta larrialdietan hartu beharreko beste jarduketa batzuk ere.

Larrialdi-planei dagokienez, hiru plan mota bereiz daitezke: barneko larrialdi-plana (BLP), autobabeserako plana (AP) eta kanpoko larrialdi-plana (KLP).

Barruko larrialdi-planaren eta autobabes-planaren arteko desberdintasun nagusia da autobabes-planak Errege Dekretuan araututako edukia duela, eta larrialdi-plana, berriz, Laneko Arriskuen Prebentzioari buruzko Legeak arautzen duela. Gogoratu behar da, Lan Arriskuen Prebentzioari buruzko azaroaren 8ko 31/1995 Legearen 20. artikuluaekin bat etorritik, enpresaburu orok larrialdi-egoeretan langileen segurtasuna eta osasuna bermatu beharko dituela, hau da, barruko larrialdi-plan bat izan beharko duela. Beraz, aplikazioari dagokionez, barruko larrialdi-plana nahitaezkoa da edozein enpresa motarentzat, eta hori ez da gertatzen autobabeserako planarekin, Errege Dekretuan sartzen diren kasuetan soilik aplikatuko baita.

Autobabeserako Plana (AP) enpresan aurreikus daitezkeen larrialdiei aurre egiteko barnejarduketako jarduerak ezartzeaz arduratzen da: sutea, eztanda, isuria, uholdea, mozketa elektrikoa, bonba-mehatxua, seismoa... Kanpoko larrialdi-plana (KLP) agintaritza eskudunak egiten du, zehaztutako eremu bateko APetan oinarrituta (adibidez, industrialde bat). Babes Zibilaren, Ingurumenaren, Lurralde Antolamenduaren, Herrizaingo Sailaren, Trafikoaren, udalen eta abarren arteko koordinazio-dokumentu bat da. Haren helburua da eremu jakin batean dauden instalazioetako edozeinetan komunitateak larrialdiei eman beharreko erantzuna ezartzea, industriakoak ez diren jarduerak, jendea bizi den eremuak, domino-efektua eta abar kontuan hartuta.

Legez nahitaezkoa da Autobabes Plana edukitzea, besteak beste, honako kasu hauetan:

- Substantzia arriskutsuak ekoizten, erabiltzen eta/edo biltegitzen dituzten establezimenduak (beraz, ia substantzia kimiko guztiak).
- Lehergai industrialak ekoizteko establezimenduak.
- Hondakin arriskutsuak kudeatzeko jarduerak.
- Meatzaritzarekin lotutako industriak eta ustiategiak.
- Genetikoki eraldatutako organismoak erabiltzen dituzten instalazioak.
- Material biologiko arriskutsuak ekoizten, tratatzen eta/edo biltegitzen dituzten instalazioak.

Autobabeserako plan bakoitza agintaritzari aurkeztu behar zaio, berrikusi eta onar dezan, eta, ondoren, PAREN erregistro ofizialean sartzen da.

7.1.1. Barne-larrialdietarako planen gutxieneko edukia

Autobabeserako plana egituratzeko behar den gutxia autobabeserako oinarritzko arauaren II. eranskinean dago jasota. Hala ere, autobabeserako planaren puntu garrantzitsuenak honako hauek dira:

1. Titularrak eta kokalekuaren egoera:
 - Enpresaren izen komertziala.
 - Legezko erakundearen izena.
 - Autobabeserako Planaren arduraduna (larrialdien aurreko jarduna zuzentzen duen pertsona).
2. Kokalekuaren deskribapena
 - Industria-jardueraren deskribapen zehatza (jarduera/prozesu guztiak eta jarduera horiek egiten diren leku guztiak).
 - Ingurune fisikoaren deskribapen zehatza (urbanizazioak, industriak, etxebizitzak, errepedeak, trenbideak).
 - Ingurumen-ingurunearen deskribapen zehatza.
 - Kokapen-planoa, sarbideekin. Kanpoko laguntzarako irisgarritasun-baldintzak.
 - Industria-jarduerak egiten diren eremuen xehetasun-planoa.
3. Arriskuen inbentarioa, analisia eta ebaluazioa
 - Arriskuak sor ditzaketen elementu-instalazioen, produkzio-prozesuen, biltegien eta abarren deskribapena eta kokapena.
 - Instalaziorako sarbidea duten pertsonen identifikazioa.
 - Kokalekuko eta kanpoko eremu mugakideetako elementu guztien kokapen-planoak.

4. Autobabeserako neurrien eta baliabideen deskribapena eta inbentarioa
 - Larrialdiei aurre egiteko eta kanpoko laguntza errazago eskuratzeko baliabideen (pertsonek eta ekipamenduak) deskribapena eta inbentarioa.
 - Autobabeserako baliabideen kokapen-planoak.
 - Barneko babeslekuen eta ebakuazio-ibilbideen planoak.
 - Sektore edo eremu arriskutsuak bereizteko planoak.
5. Instalazioak mantentzeko programa
 - Laneko eta industriako arriskuen prebentzioarekin lotutako mantentze-lanen deskribapena.
 - Araudia betez segurtasun-ikuskapenak egiteko programak.
6. Larrialdietarako jarduera-plana: Autobabes Planaren barruko dokumentua da. Bertan, larrialdi mota bakoitzaren hasierako kontrola egiteko jarduerak definitu behar dira, alarma, ebakuazioa eta erreskatea bermatzeko. Plan honek, beraz, honako hau jasotzen du:
 - Larrialdiak sailkatzea eta identifikatzea:
 - Arrisku motaren arabera: naturak, ondoko industria batek, garraiobide batek eta abarrek sortutako barneko edo kanpoko jatorria dutenak.
 - Larritasunaren arabera: larrialdi-hasiera (langileek kontrola dezakete); larrialdi partziala (talde bereziek parte hartu behar dute, eta eremu bakar bati eragiten dio) edo larrialdi orokorra (instalazioko talde guztiek hartu behar dute parte, baita erreskateko kanpoko taldeek ere).
 - Okupazioaren eta giza baliabideen arabera: momentuan instalazioan dauden pertsonen ebakuazioa egiteko.
 - Larrialdietan jarduteko prozedurak:
 - Detekzioa eta alerta detektagailuen eta abarren ekipamendu automatikoaren bidez edo pertsonen emandako abisuen bidez egin daiteke. Larrialdi-taldeein instalazioaren berri ematean eta kanpoko laguntza eskatzean datza alerta.
 - Alarma pizteko tresnak: abisua emango duen pertsona identifikatu behar da, barne-abisua emateaz arduratuko da, eta kanpoko laguntza eskatuko du. Kanpoko agintaritzari identifikatzeko eta larrialdiari buruzko informazio garrantzitsua emateko modua definitzea (EAEn, Eusko Jaurlaritzaren SOS Deiak-en Jarduerak Koordinatzeko Zentroa).
 - Larrialdiei aurre egiteko tresnak: larrialdietako taldeak zehaztu behar dira (agertokiaren arabera: sutea, eztanda, isuria eta abar), baita larrialdi mota bakoitzean jarraitu beharreko protokoloak ere.
 - Ebakuazioa edo barne-babesa: langileei nola jakinaraziko zaien eta nola egingo den zehaztu behar da, zein kasutan egingo den ebakuazioa edo barne-babesa (ibilbideak eta elkarguneak definitzea).
 - Lehenengo laguntzak: lehenengo laguntzailea nor izango den eta laguntza nola emango den zehazten da, betiere parte hartzen duen/duten pertsonentzako segurtasuna mantenduz.
 - Kanpoko laguntza jasotzeko moduak: istripuari buruzko informazio guztia eman behar da.

- Larrialdietako jarduerak egingo dituzten pertsonen eta taldeen identifikazioa eta zereginak. Larrialdietako taldeak enpresako plantillako pertsonak osatzen dituzte, eta horiek zeregin bakoitzerako prestakuntza eta entrenamendu espezifikoa jaso behar dute. Pertsona eta talde hauek definitu behar dira:
 - **Larrialdietako zuzendaria:** larrialdietako taldearen jarduerak kontrolatuko ditu Kontrol Zentrotik.
 - **Koordinazioko burua:** larrialdia izan den lekuan egindako jarduerak kontrolatuko ditu, zuzendariari jakinaraziko dio, jasotako aginduak betez.
 - **Lehen esku-hartzeko taldea:** larrialdiaren hasiera kontrolatzeko ardura du, mota guztietako baliabideak (pertsonak, suteak itzaltzeko ekipamendua...) antolatuz eta koordinatuz.
 - **Bigarren esku-hartzeko taldea:** lehen esku-hartzeko taldeak kontrolatu ezin duenean, esku hartuko du, eta kanpoko laguntza-zerbitzuei lagunduko die ahal den neurrian.
 - **Alarma eta ebakuazio taldea:** instalazioan dauden pertsona guztiak (txantiloia, bisitak, kontratak, etab.) guztiz eta ordenatuta ebakuatzeaz arduratzen dira larrialdia deklaritzen denean.
 - **Lehen laguntzarako taldea:** larrialdian edo ebakuazio fasean zehar zauritutako pertsonetako lehen laguntza dira, etab. Kanpoko laguntza iritsi arte jarduten dute (osasun-zerbitzuak, anbulantziak, 112, etab.)
 - Larrialdi-plana abian jartzeko arduraduna identifikatzea. Bat etorri ohi da APko arduradunarekin (1. puntuan zehaztua).
7. Autobabeseko Plana goi-mailako planetan sartzea.
- Larrialdien berri emateko protokoloak ezartzea.
 - Autobabesa antolatzeke eta babes zibileko sistemen artean, planak eta jarduerak lan-kidetzan aritzeko prozedurak ezartzea.
8. Autobabeserako Plana ezartzea/hedatzea
- Ezarpen-arduradunaren identifikazioa.
 - Autobabeseko Planean parte-hartze aktiboa duten plantillako pertsonak prestatzeko eta gaitzeko programa
 - Kanpoko alderdi interesdun guztiei (bizilagunak, agintariak, etab.) informazioa emateko programa.
 - Kokalekura sartzen diren bisitarietarako, kontratentzako eta abarrentzako arauak eta seinaleak.
9. Autobabeseko Planaren eraginkortasunari eta eguneratzeari etengabe eustea
- Prestakuntza eguneratzeko programa.
 - Bitartekoak berrikusteko eta eguneratzeko programa (su-itzalgailluak, etab.).
 - Simulakroak egiteko programa (ariketak).
 - PAren dokumentazioa berrikustea eta eguneratzea, kokalekuan egindako prozesu eta/edo jardueretan aldaketarik badago.
 - Aurrerapen teknikora egokituz gero, PA berrikustea.
 - Aldizkako auditoriak eta ikuskapenak ezartzea.

7.1.2. Kanpoko Larrialdi Planak

Sevesoko (Italia) istripuaren ondoren (1976. urtean, pestizidak egiten ziren planta kimiko batean substantzia toxikoen isuria gertatu zen, eta inguruko biztanleriarengana heldu zen), Europako Ekonomia Erkidegoak Seveso zuzentaraua ezarri zuen. Azken eguneraketa 2012koa da: Seveso III. 2012/18/UE.

Zuzentarau hori EBko herrialde guztiek garatu dute, berezko, estatuko, eskualdeko eta tokiko araudi gisa.

Deialdiaren oinarrizko baldintzak honako hauek dira:

- Europako herrialdeak behartuta daude industriagune arriskutsuak identifikatzera, substantzia arriskutsuek eragindako istripu larriak prebenitzeko neurriak hartzera.
- Arriskuak aztertzea eta egon daitezkeen istripuen ondorioak prebenitzera behartzen da, pertsonen eta ingurumenaren kanpoko ondorioak murrizteko.
- Enpresek Segurtasuna Kudeatzeko Sistemak izan behar dituzte, eta agintariek Kanpoko Larrialdi Planak garatu behar dituzte.
- Bi erakundeek giza baliabide eta baliabide material nahikoak izan behar dituzte aurreikus daitezkeen istripu larriei aurre egiteko.

Beraz, zuzentarauak arriskuak dituzten industria-eremuak identifikatzera eta substantzia arriskutsuek parte hartzen duten istripu larrien prebentziorako neurriak ezartzera (hala nola, pertsonentzat eta ingurumenarentzat izan ditzaketen ondorioak murriztera) behartzen ditu Europako herrialdeak. Neurri horien artean, Kanpoko Larrialdietarako Plana agertzen da.

Kanpoko Larrialdietarako Plana da enpresan gerta daitekeen istripu batek biztanleengan izan ditzakeen ondorioak murrizteko plana. Bertan esku hartzeko agintarien eta zerbitzuen koordinazio-eginkizunak eta eskema ezartzen dira, eta baita aplikatzeko behar diren giza baliabideak eta baliabide materialak eta babesteko neurri egokiak ere.

Industria batean istripuren bat gertatzen denean, eta horrek kanpoko ondorioak izan ditzakeenean, Autobabes Plana aktibatzen da (Barruko Larrialdietarako Plana). Ondoren, egoera baloratzeko eta agintariei jakinarazten zaie, behar izanez gero, Kanpoko Larrialdi Plana aktiba dezaten.

Normalean, honako kasu hauetan aktibatzen da Kanpoko Larrialdietarako Plana:

- Industriagunearen barruan eta kanpoan biktima edo kalte material handiak eragiten dituzten istripuak gertatzean.
- Kutsatzaile-hodeiak (toxikoak edo ez-toxikoak) eragiten dituzten istripuak izatean, industrialdetik kanpora atera eta jendea bizi den eremuetan, komunikazio-korapiloetan eta abarretan eragina izan dezaketenak, eta gizarte-alarma sortzen dutenak inguruetan (ikusmen-inpaktua, eragin toxikoa, istripuaren etorkizuneko bilakaerari buruzko ziurgabetasuna, etab.).

Kanpoko Larrialdietarako Planak eskuragarri daude jendearentzat. Agintarien webgunean argitaratu ohi dira (Ingurumen Sailak, udalak, Aldundiak, etab.). Kanpoko Larrialdietarako Plana administrazioko (tokian tokiko gobernuko) arduradunak aktibatzen du.

7.2. SEGURTASUN-IKUSKAPENAK

Segurtasun-ikuskapenak lan-baldintzen berrikuspen sistematikoak dira, eta teknika analitiko baten bidez egiten dira. Teknika horrek instalazioen baldintza fisikoak eta lan-arlokoak ikertzeko aukera eskaintzen du, eta helburua arriskuak detektatzea eta aplikatutako neurriak (minimizatzeko edo saihesteko) eraginkorrak diren baloratzea da.

Segurtasun-ikuskapen mota desberdinak daude, nahitaezkotasunaren arabera:

- Arauzkoa: nahitaezko kanpo-ikuskapena, legezko baldintzak betetzen diren egiaztatze.
- Borondatezkoa: enpresak barne-mailan edo kanpo-aholkulari objektibo baten bidez egina.

Ikuskapena kudeaketa-tresna bat da, eta bere helburua Laneko Segurtasuna eta Osasuna Kudeatzeko Sistemaren (LSOKS) irudi bat islatzea da, haren eraginkortasuna baloratu eta balizko akatsak (desadostasunak) hautemanez, baldin eta horiek arriskuak badira eta/edo lege-baldintzak betetzen ez badituzte. Ondoren, zuzentzeko eta hobetzeko ekintzak proposatuko dira.

Ikuskapenek laneko arriskuen prebentziorako neurrien analisi sistematikoa, dokumentatua eta objektiboa egiten dute, eta honako alderdi hauek hartzen dituzte kontuan:

- Arriskuen hasierako eta aldizkako ebaluazioa, emaitzen analisia eta, zalantzarik izanez gero, egiaztapena nola egiten diren egiaztatzea.
- Arriskuen prebentziorako jarduketa motak eta plangintza enpresako SGSSTrekin eta aplikatu beharreko araudiarekin bat datoze egiaztatzea.
- Beharrezko prebentzio-jarduerak egiteko beharrezkoak diren bitartekoak eta prozedurak eta enplegatzaileak dituen baliabideak ebaluatzen ditu.
- Laneko Arriskuen Prebentziorako Plana kritikoki baloratzea, zuzendaritza-lerroaren inplikazioa kontuan hartuta eta Zuzendaritzaren lidergoaren eraginkortasuna eta SGSSTren eraginkortasun globala ebaluatuta.

Ikuskapenen bidez, honako hauek detekta daitezke (40. irudia):

- Seguruak ez diren baldintzak: ekipamenduetako arriskuen seinaleztapenik eza, babes-neurririk ez izatea.
- Ekintza ez-segueruak: ikuskapenetan, pertsonak nola lan egiten duten ikusten da, eta seguruak ez diren benetako ekintzak (edo ohiturak, hau da, prozeduretan sartzen ez direnak) antzeman daitezke.
- Neurri zuzentzaile ez-eraginkorrak: arriskuak detektatu eta dagozkien neurri zuzentzaileak hartu ondoren, ondorengo ikuskapenetan egiaztatu behar da neurri horiek benetan eraginkorrak izan diren.
- Diseinu-arazoak: erabiltzen diren diseinuak aztertu behar dira, instalazioak diseinatzeko, hobetzeko, eguneratzeko edo konpontzeko orduan kontuan hartu ez ziren arriskuak dauden egiaztatze.

Segurtasun-ikuskapen batek honako etapa hauek ditu:

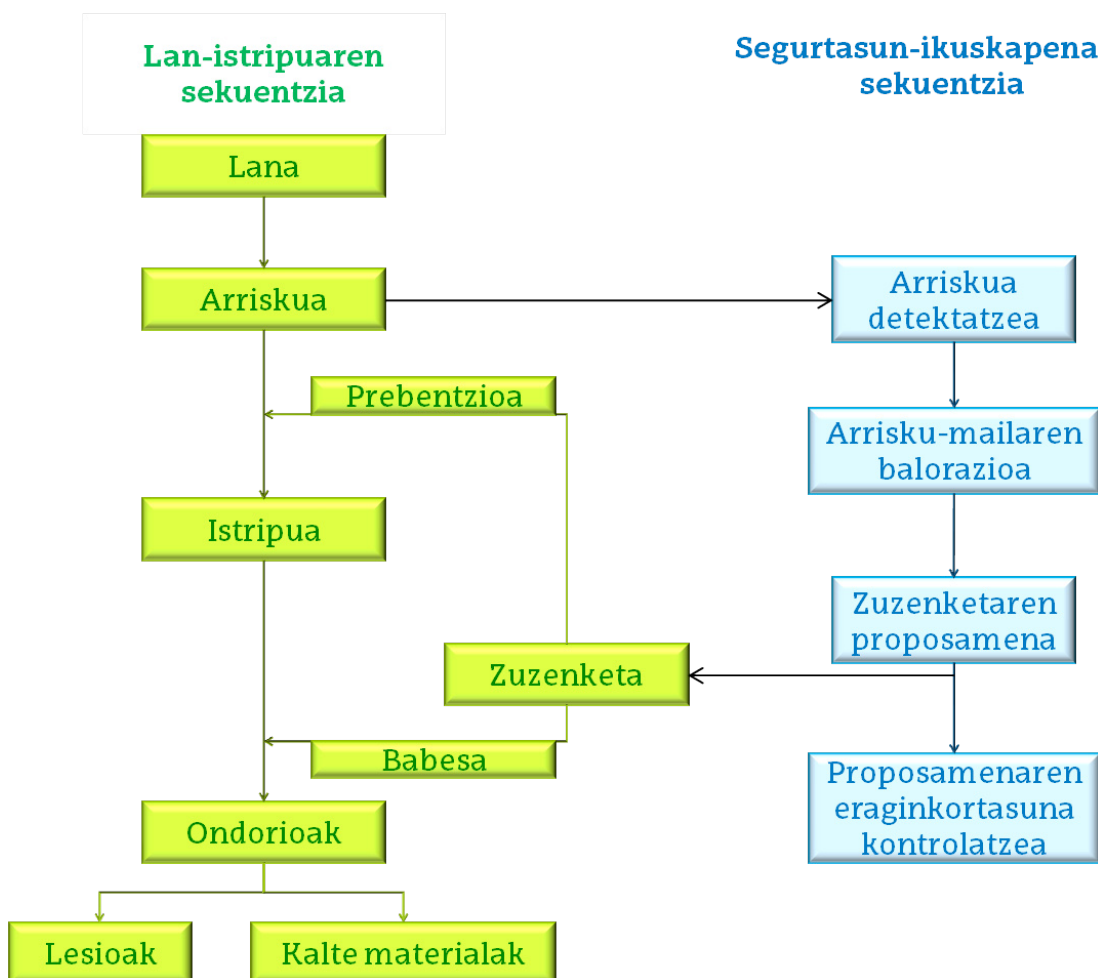
1. Ikuskapenaren planifikazioa. Etapa honetan honako hauek prestatu behar dira:

- Ikuskapena egingo duten pertsonak hautatzea: prozesu eta instalazio guztiak ulertzeko eta arriskuak ebaluatze dagokion prestakuntza izan behar dute.

- Ikuskatu beharreko jardueretan, tekniken ezaugarriei, prozesuei, pertsoneri eta lanaren antolamenduari buruzko informazioa biltzea.
- Lehengaien, bitarteko substantzien eta fabrikatutako produktuen zerrenda biltzea. Segurtasun-datuen fitxak lortzea (SDF, EBko 2015/830 Erregelamenduaren arabera) edo bere arriskugarritasun-sailkapen ofizialari buruzko informazio nahikoa lortzea.
- Instalazioak izan ditzakeen arriskuei buruzko informazioa izatea, kontuan hartuta analisi dokumentala, estatistikoa eta, kasu bakoitzean, aplikatu beharreko arauak edo legeak.
- Ikuskatuko diren puntuaren zerrenda egitea (Check-list), instalazioaren ezagutza teknikoaren eta izan daitezkeen arriskuen arabera.
- Ikuskapena alde aurretik jakinarazita edo abisurik eman gabe egingo den erabakitzea. Giza faktoreari garrantzi handia eman behar zaio.

2. Ikuskapena egitea

- Beharrezkoa da, alde aurretik, ikuskaritza egingo duen saileko arduradunarekin harremanetan jartzea, haien lankidetzaz lortzeko eta informazio fidagarriena emateko.



40. irudia

Lan-segurtasuneko ikuskapen batek lan-istripu baten sekuentzian duen jardueren maila.

- Funtzionamendu normalean dauden instalazioak berrikusi behar dira, baita hainbat erregimenetan daudenak ere (abiaraztea, gelditzea...).
- Azterketa xehatua egin behar da, sartzeko zailak diren lekuak edo itxuraz antzekoak diren instalazioak bisitatzeari utzi gabe.
- Gomendagarria da prozesuaren fluxuari jarraituz ikuskapena egitea (lehengaitik produktura arte; hasieratik amaierara arte).
- Gomendagarria da alderdi materialak eta giza faktoreak kontuan hartzea (adibidez, pertsonen portaerak).
- Gomendagarria da aplikatzen diren arriskuen prebentzio-neurriak aztertzea eta neurri berriak iradokitzea, ikuskaritzan bertan hautemandako baldintza ez-segurua bete zeko beharrezkoak badira. Neurri horiek berehala aplikatu behar dira (ikuskapenean), antzemandako arriskuak larriak eta garrantzitsuak badira.

3. Ikuskapenaren emaitzak ustiatzea

- Ikuskaritzan bildutako datuak eta gertakariak lehenbailehen osatu eta antolatzea.
- Antzemandako arriskuak berreskuratzeko edo ezabatzeko aplikatu beharreko neurriak (prebentzio-neurriak) lehenbailehen aztertzea eta ondorioztatzea.
- Aplikatu beharreko neurriak «ondorioak» dira, eta Segurtasuneko Ikuskaritzaren txostenean jasotzen dira.
- Ahal den kasuetan, komeni da lortutako emaitzei tratamendu informatikoa eta estatistikoa ematea, ondorio gehigarriak lortzeko; hala nola, hainbat sailetan errepikatzen diren arrisku-egoerak, prebentzio-kulturako alderdi orokorrak, eta abar.

7.3. LANEKO SEGURTASUNA ETA OSASUNA KUDEATZEKO SISTEMA ISO 45001

ISO 45001 arauak mundu osoan Laneko Osasunaren eta Segurtasunaren (LSO) kudeaketarako aitortuta dagoen sistema bakar baten baldintzak definitzen ditu, eta antolakundeei LSO eremuko arriskuak kontrolatzen laguntzera eta LSO eremuko jarduerak hobetzera bideratuta dago, neurri eta sektore guztietako erakundeei beren langileentzako lan-ingurune seguru bat sortzen laguntzeko. LSOk profesional askoren ustez, ISO 45001 sistemak nazioarteko esparru bat ematen du, eta horrek, azken batean, langileen segurtasuna bultzatzen du, lan-arriskuak murriztuz eta lan-baldintza hobekiak eta seguruagoak sortuz mundu osoko langileentzat.

ISO 45001 arauak esparru argi eta bakarra eskaintzen die LSO arloan beren jarduna hobetu nahi duten erakunde guztiei. Erakundeetako arduradun nagusiei zuzenduta dago, eta lantoki seguru eta osasungarri bat sortu nahi du langileentzat eta erakundeetan sartzen den edonorentzat. Hori lortzeko, funtsezkoa da gaixotasunak, lesioak eta, muturreko kasuetan, heriotza eragin ditzaketan faktore guztiak kontrolatzea, pertsonen egoera fisikoan, mentalean eta kognitiboan ondorio kaltegarriak arinduz. Bada, ISO 45001 arauak alderdi horiek guztiak biltzen ditu.

Arau hori Kalitatearen eta Ingurumenaren Kudeaketarako ISO 9001 eta ISO 14001 arauen balio-kidea da, eta ISO 9001 eta ISO 14001 arauekin integratzeko diseinatuta dago, erakundeei lan-arloko osasunari eta segurtasunari buruzko betebeharrak eraginkortasunez betetzen laguntzeko.

Ez da nahitaezkoa ISO arauak betetzea, baina nahitaezkoa da legea betetzea. Era berean, enpresa bat ISO arauaren arabera ziurtatuta badago, horrek ez du esan nahi lege-baldintzak nahitaez ehuneko ehun betetzen dituenik (bereizita egiaztatuta behar da). Hala ere, oso erabilia da, mota guz-

tietako erakundeei gero eta interesgarriagoa baitzaie, beren arriskuen kontrolaren bidez LO & S Laneko Osasuna eta Segurtasuna lortzeko eta erakusteko, beren LO & S politika eta helburuei jarraituz.

ISO 45001 arau hori 2018ko martxoan onartu zen, eta aplikagarritasun mugatua zuen 2007ko OHSAS 18001 arau zaharra ordezkatu zuen.

Bi arauen artean alde dezente daude; garrantzitsuena da ISO 45001 araua erakunde baten eta bere negozio-ingurunearen arteko elkarrekintzan zentratzen dela, eta OHSAS 18001 estandarrak, berriz, SST arriskuen kudeaketan eta beste barne-alderdi batzuetan jartzen zuela arreta. Hala ere, dokumentuak beste zentzu batzuetan ere desberdinak dira:

- ISO 45001 prozesuan oinarritzen da; OHSAS 18001 prozeduretan.
- ISO 45001 dinamikoa da klausula guztietan; OHSAS 18001 ez da.
- ISO 45001 arauak arriskua eta aukerak hartzen ditu kontuan; OHSAS 18001 arauak arriskua bakarrik jorratzen du.
- ISO 45001 arauak alderdi interesdunen ikuspegia jasotzen du, OHSAS 18001 arauak ez bezala.

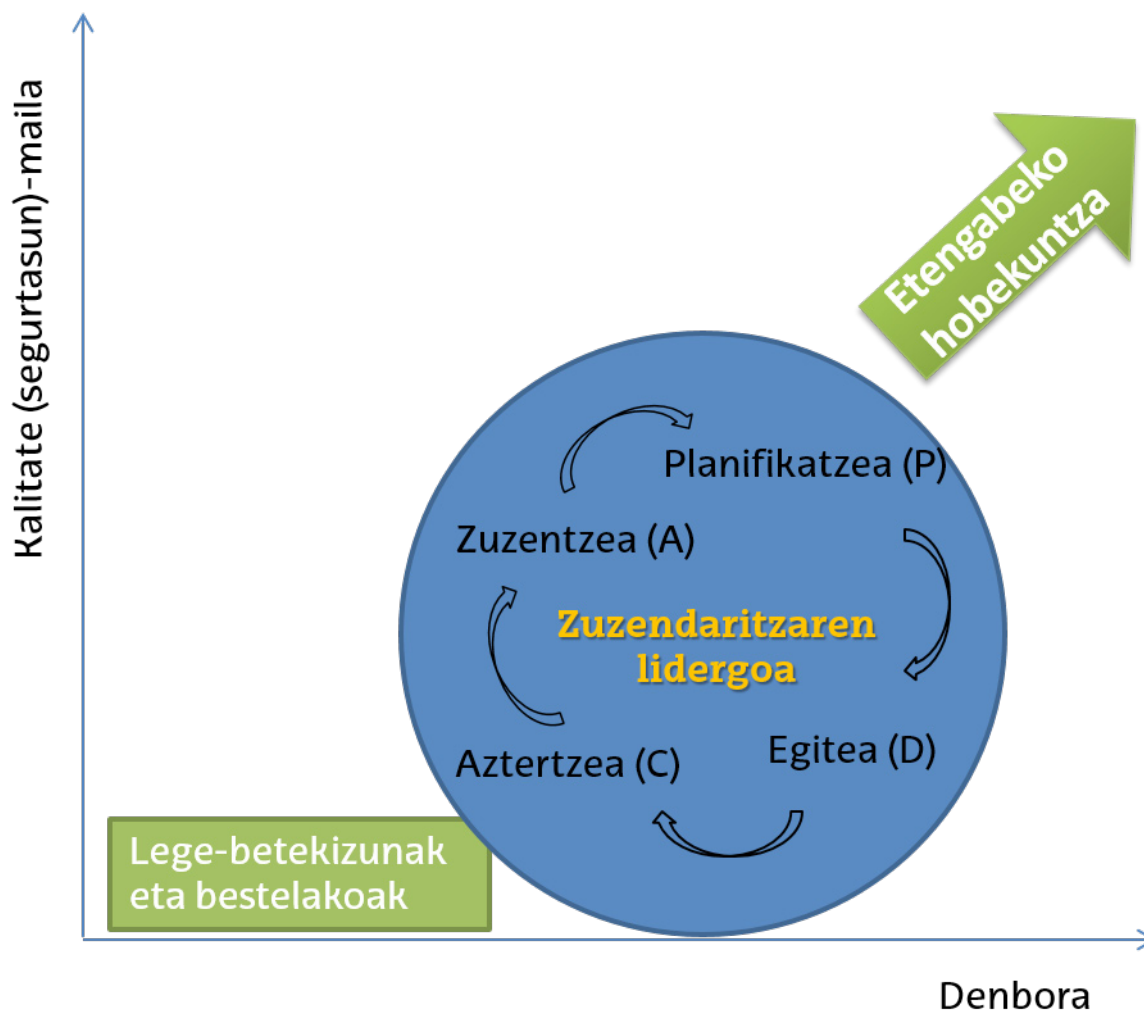
ISO 45001 arauaren arabera, laneko seguratasuna eta osasuna kudeatzeko sistema (LSOKS) bat ezartzeak hainbat abantaila ditu. Alde batetik, lanpostuen arriskuak murrizten dira, produktibitatea handitzea dakarrena, arrisku horiek identifikatuz eta ebaluatuz, eta, ondoren, etengabeko hobekuntza-prozesu bat aplikatuz, Deming zikloa, hain zuzen. Bestalde, lan-istripuak eta laneko gaixotasunak eragiten dituzten kausak saihesten dira. Erakundearen prozesu guztietan legeria betetzen dela ziurtatzen da; baita, langileekin, ordezkariekin, agintariekin eta gainerako alderdi interesdunekin komunikazioak erraztuz ere. Azkenik, arriskuen prebentzioaren kultura sustatzen da, oso garrantzitsua dena, enpresaren kudeaketa-sistema orokorrean sartuz eta langile guztiei LSO alderdiak hobetzeko konpromisoa zabalduz.

ISO 45001 sistemaren arabera, LSOKS bat ezartzeak aukera ematen du, ondoren, kanpo-ziurtagiri bat lortzeko (nazioartean aitortutako erakunde batek emana (BSI, DNV, LLOYDS, AENOR...)). Ziurtagiria erakundearen ISO 45001 arauaren puntuen egokitasuna ebaluatzen duen auditoria baten ondoren lortzen da. Ziurtagiri hori garrantzitsua da, agerian uzten duelako arriskuen prebentzio-kultura aplikatzen dela, eta bezeroek, langileek, agintariak eta abarrek asko baloratzen dutelako.

LSOKS bat Deming zikloaren arabera inplementatzen da (41. irudia) (PDCA zikloa ere esaten zaio, Ingelesetik, Plan (P), Do (C), Correct (C), Act (A)), eta honako etapa hauetan eskematiza daiteke:

1. LSO politika ezartzea.
2. Legezko eskakizunak identifikatzea eta ebaluatzea.
3. Bete beharreko helburuak erabakitzea.
4. Helburuak betetzeko bitartekoak eta metodoak planifikatzea.
5. Planifikatutakoa aplikatzea (egin).
6. Emaizak monitorizatzea (aztertu) eta aurrez definitutako helburuekin alderatzea. Zer mantendu eta zer aldatu behar den erabakitzea.
7. Etengabeko hobekuntza lortzeko helburuak eta/edo planak eta/edo bitartekoak/metodoak zuzentzea (jardun).

Deming zikloa etengabe errepikatzen den zikloa da, eta ziklo bakoitzean LSOKSren alderdi guztiak hobetzen dira.



41. irudia

Deming (PDCA) zikoa

Bibliografia

- A. Fraile Cantalejo, NTP 1046: *Investigación de accidentes: recogida de testimonios*, Laneko Segurtasun eta Higieneko Institutu Nazionala (LSHIN), Madril, 2015.
- A. Hernández Calleja, M. C. Martí Solé, NTP 203: *Contaminantes biológicos: evaluación en ambientes laborales*, Laneko Segurtasun eta Higieneko Institutu Nazionala (LSHIN), Madril, 1997.
- D. I. Machuca Sánchez, J. L. Posada Vela, C. Navas Reyes, *Prevención de riesgos en industrias químicas*, Ed. Síntesis, Madril, 2018
- E. Turmo Sierra, NTP 321: *Explosiones de nubes de vapor no confinadas: evaluación de la sobrepresión*, Laneko Segurtasun eta Higieneko Institutu Nazionala (LSHIN), Madril, 1997.
- Guía técnica sobre señalización de seguridad y salud en el trabajo*, 485/1997 Errege Dekretua, apirilaren 14koa, BOE 97. zk., 1997ko apirilaren 23koa.
- Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos*, 664/1997 Errege Dekretua, maiatzaren 12koa, BOE 124. zk., maiatzaren 24koa.
- H. K. Fauske and M. Epstein, *Source term considerations in connection with chemical accidents and vapour cloud modelling*, J. Loss Prev. Process Ind., 1988, 1. lib., apirila.
- Índice de incendio y explosión, guía para la clasificación de riesgos*, traductores, V. Estalella Morey, E. Turno Sierra, D. Turuguet Mayol, coordinador, J. L. Villanueva Muñoz, Laneko Segurtasun eta Higieneko Institutu Nazionala (LSHIN), Madril, 1983.
- J. Bartual Sánchez, NTP 108: *Criterios toxicológicos generales para los contaminantes químicos*, Laneko Segurtasun eta Higieneko Institutu Nazionala (LSHIN), Madril, 1997.
- J. Bartual Sánchez, NTP 151: *Toma de muestras con captadores pasivos*, Laneko Segurtasun eta Higieneko Institutu Nazionala (LSHIN), Madril, 1987.
- J.M. Santamaría Ramiro, P.A. Braña Aísa, *Análisis y reducción de riesgos en la industria química*, Editorial MAPFRE, D. L., Madril, 1994.
- 31/1995 Legea, azaroaren 8koa, lan-arriskuen prebentzioari buruzkoa, BOE 269. zk., 1995eko azaroaren 10koa.
- Límites de exposición profesional para agentes químicos en España*. 2021, Laneko Segurtasun eta Higieneko Institutu Nazionala (LSHIN), Madril, 2021.
- M. Bestratén, A. Gil Fisa eta T. Piqué, NTP-592, 2001, *La gestión integral de los accidentes de trabajo (I): tratamiento documental e investigación de accidentes*, Laneko Segurtasun eta Higieneko Institutu Nazionala (LSHIN), Madril, 2001.

- M. Bestratén Bellovi, NTP 302: *Reactividad e inestabilidad química: análisis termodinámico preliminar*, Laneko Segurtasun eta Higieneko Institutu Nazionala (LSHIN), Madril, 1997.
- M. Bestraten Belloví, NTP 293: *Explosiones BLEVE (I): evaluación de la radiación térmica*, Laneko Segurtasun eta Higieneko Institutu Nazionala (LSHIN), Madril, 1997.
- Official Journal of the European Union, L 353, 31 December 2008
- P. Luna Mendaza, NTP 322: *Valoración del riesgo de estrés térmico: índice WBGT*, Laneko Segurtasun eta Higieneko Institutu Nazionala (LSHIN), Madril, 1997.
- Prevención de Riesgos en la Industria Química*, 1. edizioa, Asepeyo, Madril, 2017ko ekaina.
- 485/1997 Errege Dekretua, apirilaren 14koa, BOE 97. zk., 1997ko apirilaren 23koa.
- 363/1995 Errege Dekretua, martxoaren 10ekoa, substantzia berrien jakinarazpenei eta substantzia arrisku-tsuen sailkapenari, ontziratzeari eta etiketatzeari buruzko Araudia onartzen duena, BOE 133. zk., 1995eko ekainaren 5ekoa.
- Europako Parlamentuaren eta Kontseiluaren 1272/2008 CLP Araudia, 2008ko abenduaren 16koa, substantzien eta nahasketen sailkapenari, etiketatzeari eta ontziratzeari buruzkoa.
- S. López Riera, FDN, *Planes de emergencia, planes de autoprotección y medidas de emergencia*, Laneko Segurtasun eta Higieneko Institutu Nazionala (LSHIN), Madril, 2015.
- T. Piqué, NTP 442: *Investigación de accidentes-incidentes: procedimiento*, Laneko Segurtasun eta Higieneko Institutu Nazionala (LSHIN), Madril, 1997.

Unibertsitateko eskuliburuak Manuales universitarios

UPV/EHUko Argitalpen Zerbitzua
argitaletxea@ehu.eus

Servicio Editorial de la UPV/EHU
editorial@ehu.eus

Tel.: 94 601 2227
www.ehu.eus/argitalpenak

eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

ISBN: 978-84-1319-597-1