

## Aurkibidea

1. ERRADIAZIOAK. OINARRIZKO KONTZEPTUAK ETA SAILKAPENA .....	1
1.1. Oinarrizko kontzeptuak.....	3
✓ Sarrera .....	3
✓ Sailkapenak.....	4
✓ Erradiazio elektromagnetikoaren ezaugarriak .....	7
1.2. Erradiazio elektromagnetikoen (EEM) izaera .....	11
1.3. EEMen sailkapena .....	11
✓ Erradiazio ez-ionizatzaileen sailkapena .....	13
✓ Erradiazio ionizatzaileen sailkapena .....	14
2. ERRADIAZIO EZ-IONIZATZAILEAK. UHINAK ETA EREMUAK.....	17
2.1. Uhinak eta eremuak neurtzeko magnitude eta unitateak .....	19
✓ Magnitude orokorrak eremuak neurtzeko.....	19
✓ Magnitude dosimetrokoak.....	23
2.2. Ereemu eta uhinen iturriak .....	24
✓ Ereemu estatikoak.....	24
✓ ELF erradiazioak .....	25
✓ Behe-maiztasuneko erradiazioak .....	28
✓ Irrati-maiztasunak eta uhinak .....	28
2.3. Ereemu eta uhinen eraginak .....	31
✓ Oro har .....	31
✓ Ereemu magnetiko estatikoak .....	35
✓ Oso maiztasun txikiko eremuak, ELF-ak .....	35
✓ Irrati-maiztasunak eta mikrouhinak.....	36
2.4. Erradiazioak neurtzea .....	40
✓ Erradiazioa neurtzeko ekipoak .....	41
✓ Erreferentzia-balioak .....	45
2.5. Ereemu eta uhinen aurreko babesa .....	50
✓ 0 Hz eta 10 kHz bitarteko eremu elektromagnetikoen aurreko babes-neurriak.....	51
✓ 100 kHz eta 300 GHz bitarteko eremu elektromagnetikoen (im eta mu) aurreko babes neurriak .....	53

3. ERRADIAZIO OPTIKOAK .....	63
3.1. Erradiazio optikoak .....	65
✓ Oinarrizko kontzeptuak eta sailkapenak .....	65
✓ Magnitudeak eta neurri unitateak .....	68
3.2. Erradiazio optikoen iturriak .....	75
3.3. Erradiazio optikoen eraginak .....	81
✓ Erradiazio ultramoreen eraginak .....	82
✓ Begien gaineko eraginak .....	82
✓ Azalaren gaineko eraginak .....	85
3.4. Erradiazio optikoen aurreko esposizioaren ebaluazioa .....	89
✓ Erradiazio optikoen aurreko esposizioaren neurteta .....	97
3.5. Erreferentziatzko balioak .....	99
✓ Erradiazio optikoen aurreko esposizioari buruzko legeria .....	100
✓ ICNIRP erakundea eta erradiazio optikoen aurreko esposizio-mugak .....	103
✓ Erradiazio ultramorearen aurreko esposizio-mugak .....	104
✓ Banda zabaleko erradiazio optiko (380 nm-tik 3 $\mu$ m-ra) inkoherentearen esposizio- mugak.....	108
3.6. Erradiazio optikoen aurkako babesa .....	116
✓ Erradiazio optikoen kontrola jatorrian (iturrian).....	116
✓ Erradiazio optikoak hedatzea saihesteko kontrol-neurriak .....	117
✓ Hartzailearengan hartu beharreko kontrol neurriak .....	117
3.7. Norbera babesteko ekipoa.....	120
✓ Erradiazio optikoen aurkako begi-babesak .....	120
✓ Nola hautatu erradiazio optikoen aurreko norbera babesteko ekipoa .....	121
✓ Norbera babesteko ekipoen identifikazioa .....	123
3.8. Datu bilketarako galdera sorta.....	128
✓ Erradiazio optikoen aurreko lan esposizioa .....	128

---

# 1

## ERRADIAZIOAK

### Oinarrizko kontzeptuak eta sailkapena

---



## 1.1 Oinarrizko kontzeptuak

### Sarrera

Gorputz bati energia ematen zaionean, hartutako energia igortzen du, baina igorritako energia horrek ez du zertan energia mota berekoa izan. Igorpena aldi berean energia mota bat baino gehiagokoa izan daiteke. Energia ez da sortzen eta ez da deuseztatzen, eraldatu egiten da.

Bonbilla bat konektatzen badugu, argia igortzen du eta, horrekin batera, berotu egiten da. Beraz, jasotako energia elektrikoa argi-energia eta energia termiko bihurtzen da.

Objektuek energia igortzeko hainbat modu dituzte, eta **erradiazioa** horietako bat da. Adibidez, paper bat erretzen dugunean, paperak era naturalean pilatutako energia bero eta argi moduan bueltatzen du. Objektu guztiek erradiazioa xurgatu eta igortzeko ahalmena dute, erradiazioa materiari eragiteko gai delako.

Badakigu, beraz, erradiazioak fenomeno fisikoak direla, zeinak energiaren igorpen, hedapen eta xurgapenean oinarritzen diren; hori guztia uhinen bidez (soinu-erradiazioak edo erradiazio elektromagnetikoak) edota partikula azpiatomikoen bidez (erradiazio korpuskularra gertatzen da, eta materiari aldaketak eragin ditzake).

Erradiazio elektromagnetikoa eremu elektromagnetikoari lotzen zaio, zeina karga elektrikoa ala magnetikoa mugitzen denean sortzen den. Karga elektriko finko bati eremu elektriko estatikoa dagokio, eta iman finko bati eremu magnetiko estatikoa dagokio; baina karga elektrikoa ala imana mugitzen badira, bakoitzari lotzen zaion eremua aldatzeaz gain, beste era bateko eremu bat ere sortzen da (induzitua). Hau da, ezin da existitu eremu elektriko aldakorrik eremu magnetiko aldakorrik gabe, eta alderantziz, eremu magnetiko aldakorra badago, horri estuki lotuta eremu elektriko aldakorra izango dugu.

Erradiazio elektromagnetikoak uhin edo partikulen bidez transmititutako energia dira. Zarata eta bibrazioek, higitzeko, oinarri-materiala (airea, gorputz solidoa) behar dute, eta erradiazio elektromagnetikoek, berriz, ez. Erradiazioak hutsean higitzen dira, baita airean zehar eta erradiazioekiko gardena den ingurune material batean ere. Hutsean, erradiazioen abiadura argiarena da,  $3 \times 10^8$  m/s, gutxi gorabehera. Erradiazioa ingurune batetik bestera pasatzen denean (adibidez, airetik uretara), haren norabidea eta abiadura aldatzen dira, erradiazio magnetiko baten abiadura materialaren araberakoa baita.

Erradiaziorik ezagunena argia da. Badaude ikusten ez ditugun beste erradiazio ezagun batzuk: irrati- eta telebista-antenek igortzen dituzten uhinak, etxeko zein industriako labeetan erabiltzen diren mikro-uhinak, radar-sistemak, erradiografiak egiteko erabiltzen diren X izpiak eta abar.

## Sailkapenak

- ✓ Jatorriari erreparatzen badiogu, hainbat erradiazio mota dago, batzuk, naturalak eta besteak, artifizialak.

- Erradiazio **naturalen** artean hauek ditugu: izpi kosmikoak, isotopo erradioaktiboen igorpenak (adibidez, radon isotopoarena), eguzki-erradiazioa, lurreko eremu magnetikoa (poloak), ekaitzak...

Normalean erradiazio naturalak oso potentzia txikikoak dira (elementu erradiaktiboenak izan ezik) eta eragin oso txikia dute gizakiengan. Adibidez, eguzkiaren erradiazioa (300 GHz-ekoa) dela eta, Lurrean materialak zentimetro karratuko  $10^{-5}$  mW-etik  $10^{-3}$  mW-erako esposizioa du, gutxi gorabehera.

- Erradiazio **artifizialak**, bestalde, iturri artifizialek baldintza jakin batzuetan igortzen dituztenak dira. Hauek ere oso ezagunak eta erabiliak dira. Adibidez, gamma izpiak, X izpiak, izpi ultramoreak, mikrouhinak, irrati-uhinak, maiztasuneko eremu elektromagnetikoak, eremu magnetiko estatikoak, radarra, telefono-lineak, linea elektrikoak, diatermia-ekipoak, telefonia mugikorra, instalazio erradioaktiboak eta abar. Horiek guztiak zenbait egoeratan arriskutsuak izan daitezke, hots, potentzia eta maiztasun handikoak direnean.

- ✓ Erradiazioak materiari nola eragiten dion kontuan hartuta, beste sailkapen bat egin dezakegu.

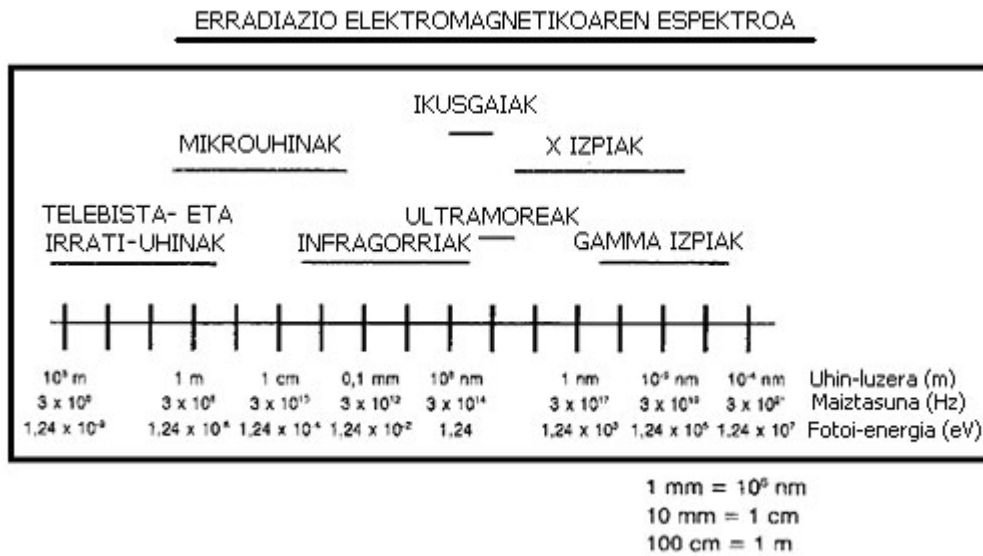
Erradiazioak eta materialak elkarri eragiten diotenean, erradiazioak materia zeharkatu dezake (erradiazio horrentzat gardena bada), edo materialak erradiazioa islatu, xurgatu edo barreiatu dezake. Normalean, fenomeno horiek guztiak batera gertatzen dira neurri handiago ala txikiagoan, betiere guztizko energia erasotzailea beste energia guztien batura dela (energiaren kontserbazio-legea).

$$E_{\text{erasotzailea}} = E_{\text{islatua}} + E_{\text{xurgatua}} + E_{\text{igorria}} + E_{\text{barreiatua}}$$

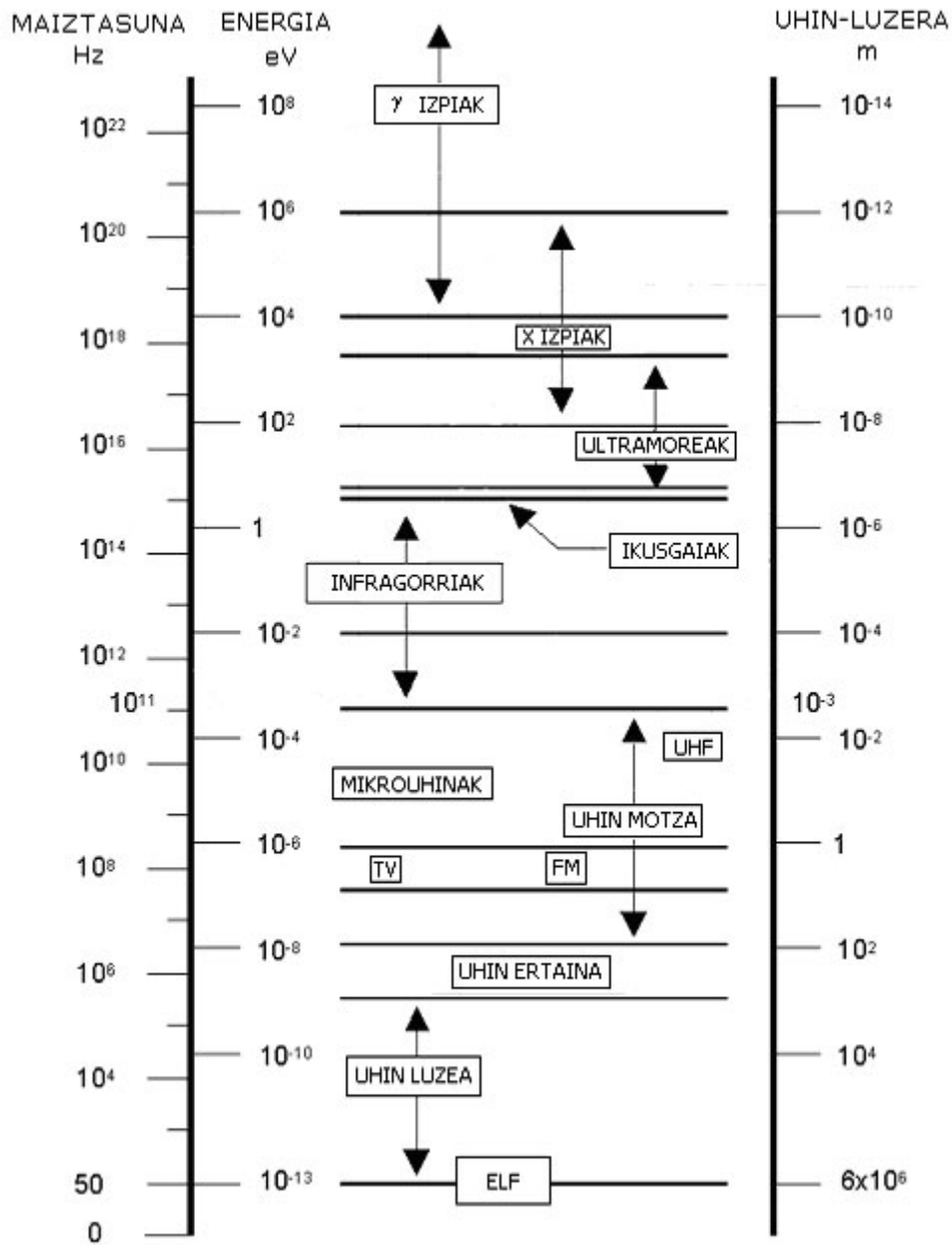
Erradiazio elektromagnetikoak eroan dezaketen energiaren kantitatearen arabera ere ezberdintzen dira; energia hori **elektronvoltetan** (eV) neurtzen da. Erradiazio elektromagnetikoen eragin biologikoak eroaten duten energia kantitatearen eta gizakiaren gorputzak xurgatzeko duen ahalmenaren arabekoak dira.

- Materia bizia ionizatzeko adinako energia eroaten duen eta barneratze-ahalmen handia duen erradiazioari **erradiazio ionizataile** deritza (EI)
- Aurreko bi ezaugarriak ez dituen erradiazioari **erradiazio ez-ionizataile** deritza (EEI).

Unibertso irradiazio-energia guztien adierazpen eskematikoa da espektro elektromagnetikoa. Erradiazioen sailkapena, beraz, energia txikienetik handienera ordenatuta, bai horizontalean, bai bertikalean. (1.1. eta 1.2. irudiak).



1.1. irudia. Erradiazio elektromagnetikoen espektroa.



1.2. irudia. Espektro elektromagnetikoa.

Grafiko horietan energia (eV-etan), uhin-luzera (m-tan) eta maiztasuna (Hz-etan) adierazi dira. Teorian, erradiazio ionizatzaileen eta erradiazio ez-ionizatzaileen arteko muga 100 nm-ko uhin-luzeran kokatzen da.

Erradiazio elektromagnetikoaren ezaugarriak

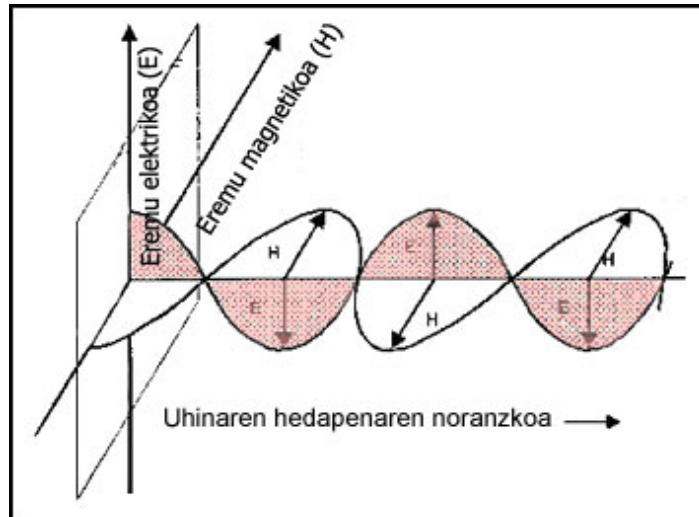
Ezer baino lehen, erabiliko ditugun unitateak eta haien multiplo eta azpimultiploak aztertuko ditugu. 1975etik, Pisu eta Neurrien Nazioarteko Batzordeak unitate fisikoen Nazioarteko Sistema erabiltzea gomendatzen du. Multiplo eta azpimultiploak, sistema horretan,  $10^3$  faktorearen bidez handitzen eta txikiagotzen dira, taula honetan adierazten den moduan:

MULTIPLORAK			AZPIMULTIPLORAK		
BILAKAERA-FAKTOREA	AURRIZKIA	SINBOLOA	BILAKAERA-FAKTOREA	AURRIZKIA	SINBOLOA
$10^{18}$	exa	E	$10^{-3}$	mili	m
$10^{15}$	peta	P	$10^{-6}$	mikro	$\mu$
$10^{12}$	tera	T	$10^{-9}$	nano	n
$10^9$	giga	G	$10^{-12}$	pico	p
$10^6$	mega	M	$10^{-15}$	femto	f
$10^3$	kilo	k	$10^{-18}$	atto	a

1.1. taula. Nazioarteko Unitate Sistemaren multiplo eta azpimultiploak.

Erradiazio elektromagnetiko batek eroaten duen energia uhinen bidez higitzen da. Energia hori ez da jarraitua, energia kantitate txikiz (kuantuz) osatua baizik. Uhina bi eremu elkarzutek osatzen dute: eremu elektriko oszilakorrak (E) eta horri lotuta dagoen eremu magnetiko oszilakorrak (H). Bi eremuak uhinaren hedapen-abiaduraren norabidearekiko ere elkarzutak dira. Uhina Y ardatzean hedatzen da, eremu elektrikoak ZY planoan oszilatu eta eremu magnetikoak XY planoan oszilatu du (3.irudia).

Beste era batera ikusita, uhin elektromagnetikoetan, denboran aldatzen den eremu magnetikoak eremu elektriko sorrarazten du. Eremu elektriko eremu elektromagnetikoari lotzen zaionez, eremu elektriko ere denborarekiko aldakorra da. Oszilatu, eremu elektriko horrek beste eremu magnetiko bat sortzen du, denborarekiko aldakorra eta lehenengoaren berdina. Prozesu hori behin eta berriz errepikatuz joaten da uhinaren energia argiaren abiaduran.



1.3. irudia. Uhin elektromagnetikoa. E eta H bektoreak.

Eremu elektriko eta magnetikoen intentsitateak sinusoidalki aldatzen dira, uhinaren maiztasuna duen sinusoidearen arabera. Aldaketen ziklo oso bat gertatzeko,  $T$  denbora behar da. Denbora horri uhinaren **periodo** deritzen. Zikloaren luzera edo **uhin-luzera** ( $\lambda$ ) intentsitate bera duten bi punturen arteko distantzia da. Segundo batean gertatzen diren zikloen kopurua **maiztasuna** ( $\nu$ ) da. Eta aldagai horiek elkarren artean erlazionatzen dira, honela:

$$\lambda = \nu \cdot T \qquad T = \frac{\lambda}{\nu} \qquad \nu = \lambda \cdot \nu$$

Uhinak eroaten duen energia maiztasunarekiko zuzenki proportzionala da, proportzionaltasun-konstantea  $h$  dela (Planck-en konstantea).

$$E = h \cdot \nu$$

- ✓  $\lambda$  uhin-luzera (m)
- ✓  $\nu$  maiztasuna (Hz = ziklo/s)
- ✓  $T$  periodoa (s)
- ✓  $\nu$  uhinaren hedapen-abiadura (m/s); normalean argiarena hartzen da ( $c = 2.998 \times 10^8$  m/s)
- ✓  $E$  uhinaren energia (J)
- ✓  $h$  = Plack-en konstantea ( $h = 6,63 \times 10^{-34}$  J·s =  $4,136 \times 10^{-15}$  eV)

Uhin elektromagnetikoak definitzeko, hiru ezaugarri hauetatik bat aipatu behar da: energia, maiztasuna edo uhin-luzera, gero ikusiko dugun moduan, elkarri lotuta baitaude. Horretaz gain, uhinaren hedapen-abiadura aztertzea ere beharrezkoa da.

- ✓ **Abiadura (v):** uhin elektromagnetikoak argiaren abiadura higitzen dira, zeina ingurunearekin aldatzen den (airean, gutxi gorabehera,  $3 \times 10^8$  m/s-koa).
- ✓ **Energia (E):** erradiazio elektromagnetikoak errotan duen energia bi eratara neur daiteke: jouletan eta elektronvoltetan (eV); elektronvolta fotoi baten energia da. Gogoratu bi unitate horien arteko erlazioa:

$$1 \text{ eV} = 1,60022 \times 10^{-19} \text{ J} \approx 0,16 \text{ aJ}$$

- ✓ **Maiztasuna (v):** denbora-unitatean (1 s) puntu batetik pasatzen den uhin kopurua da. Beste era batean esanda, erradiazioak zenbat aldiz oszilatzen duen segundo batean. Ziklo/s-tan neurtzen da, hau da, hertzetan (1.4. irudia).



1.4. irudia: maiztasuna eta periodoa.

- ✓ **Uhin-luzera (λ):** uhinaren ondoko ondoko bi gailurren arteko distantzia da. Luzera-unitatetan neurtzen da. Erradiazio elektromagnetikoen uhin-luzerak zenbait nm-ren eta zenbait km-ren artekoak izan daitezke. Uhinaren **anplitudea** gailurraren altuera da, eta iturri igortzailearen irradiatze-potentziaren araberakoa da (1.5. irudia).

UHIN-LUZERA:  $\lambda$   
Ondoz ondoko bi gailurren arteko distantzia. m-tan neurtzen da.



$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

c = argiaren abiadura hutsean  
 $\nu$  = maiztasuna, Hz-etan

1.5. irudia. Uhin-luzera.



Erradiazio ionizatzaileek, oso arriskutsuak direnez, berariazko legeria nazionala dute.

Erradiazio ez-ionizatzaileek, aldiz, ez daukate berariazko legeria nazionalik, baina bai arriskua balioztatzeko arauak eta gidak.

### 1.2 Erradiazio elektromagnetikoen (eem) izaera

Erradiazio elektromagnetikoak azaltzeko, antzinetik, XVII. mendetik, bi hipotesi daude: teoria ondulatorioa eta teoria korpuskularra.

Teoria ondulatorioaren arabera, erradiazioa fokutik hedatzen den perturbazio ondulatorioa da; teoria korpuskularraren arabera, ordea, erradiazioa fokutik igortzen diren korpuskulu txikien jaurtiketa da.

Gaur egungo teorien arabera, EEMak izaera bikoitza du: uhin-partikula. Hau da, EEMak espazioan higitzen dira, edozein uhinek egiten duen bezala, baina materiari eragiten diotenean, korpuskulu gisa jokatzen dute. Energia ez dago uhinean uniformeki sakabanatuta, kuantu izeneko kantitate xeheko multzo txikitik pilatuta baizik.

Altuera bat igotzeko erabiliz (energia jarraitua, uniformeki sakabanatuta) ala eskailera baten mailak erabiliz (maila bakoitza kuantu bat litzateke). Azken hori da energiaren kasua

Energia, fotoi izeneko oinarritzko multzo osatuta dagoena, irradiatutako gorputzetan gorde daiteke, eta, uhinaren ezaugarrien arabera, efektu batzuk edo besteak izango ditu: polarizazioa, beroketa, argiztapena, kitzikapen molekularra, ionizazioa eta abar.

Laburbilduz, energia erradiazio elektromagnetikoen bidez hedatzen denean, uhinen bidez hedatzen da, eta uhin horiek garraiatzen dutena (energia berez) elkarri lotuta dauden eremu magnetiko eta eremu elektriko oszilakorrak dira.

### 1.3 EEMen sailkapena

Erradiazioen ezaugarri eta parametro aipagarrienak ikusi ondoren, haien sailkapenera bueltatuko gara.

Lehenengo sailkapen orokorra ionizazio-ahalmenaren araberakoa da: materia ionizatzeko gai diren ala ez kontuan hartuta:

EEM { EZ-IONIZATZAILEAK (EEI)  
IONIZATZAILEAK (EI)

Erradiazio ionizatzailea, izenak adierazten duen bezala, materia bizia zein bizigabea ionizatzeko gai da.

Ionizazioa gertatzen denean, atomoek egitura elektronikoa neutroa galtzen dute, behar bezainbeste energia hartuta. Prozesu horretan, protoiak edo elektroiak askatzen dira, eta atomoak negatiboki ala positiboki kargatuta uzten dituzte, hurrenez hurren; hau da, ioia sortzen da eta materialak egonkortasun handiena duen funtsezko egoera galtzen du.

Alde batetik, elektroiak, atomoaren orbita batetik bestera jauzi egiteko edo guztiz ihes egiteko, energia kantitate handia behar du; bestetik, nukleoko protoia edo neutroia ateratzeko, energia askoz handiagoa behar da. Hori guztia dela medio, erradiazio ionizatzaileak espektroko azkenak dira, energia handienekoak.

Goi-maiztasuneko erradiazioak (energia handikoa, beraz), giza gorputzarekin kontaktuan jartzen denean, zelulengan kalte larri itzulezinak sor ditzake, zelularen zenbait osagairen ionizazioaren eraginez. Eroaten duen energia edozein materiaren orbita atomikoko elektroiak egozteko adinakoa da. Eskuarki, honako muga hauek markatzen dira, nahiz eta lausoak izan.

<i>Ezaugarria</i>	<i>EI</i>	<i>EEI</i>
<b>Uhin-luzera</b>	> 100 nm = $10^{-7}$ m	< 100 nm = $10^{-7}$ m
<b>Energia</b>	< 12,4 eV = $2 \cdot 10^{-18}$ J = 2 aJ	> 12,4 eV = $2 \cdot 10^{-18}$ J = 2 aJ
<b>Maiztasuna</b>	< 3 PHz = $3 \cdot 10^{15}$ Hz	> 3 PHz = $3 \cdot 10^{15}$ Hz

Esan beharra dago sistema biologikoek erradiazio ez-ionizatzaileak ere xurga ditzaketela; horrelakoetan, ehunetako molekulen bibrazio-energia eta errotazio-energia aldatzen dira. Horrek molekulen disoziazioa ekar dezake, edo maizago, energia eraldatzea, fluoreszentzia edo bero bihurtuta.

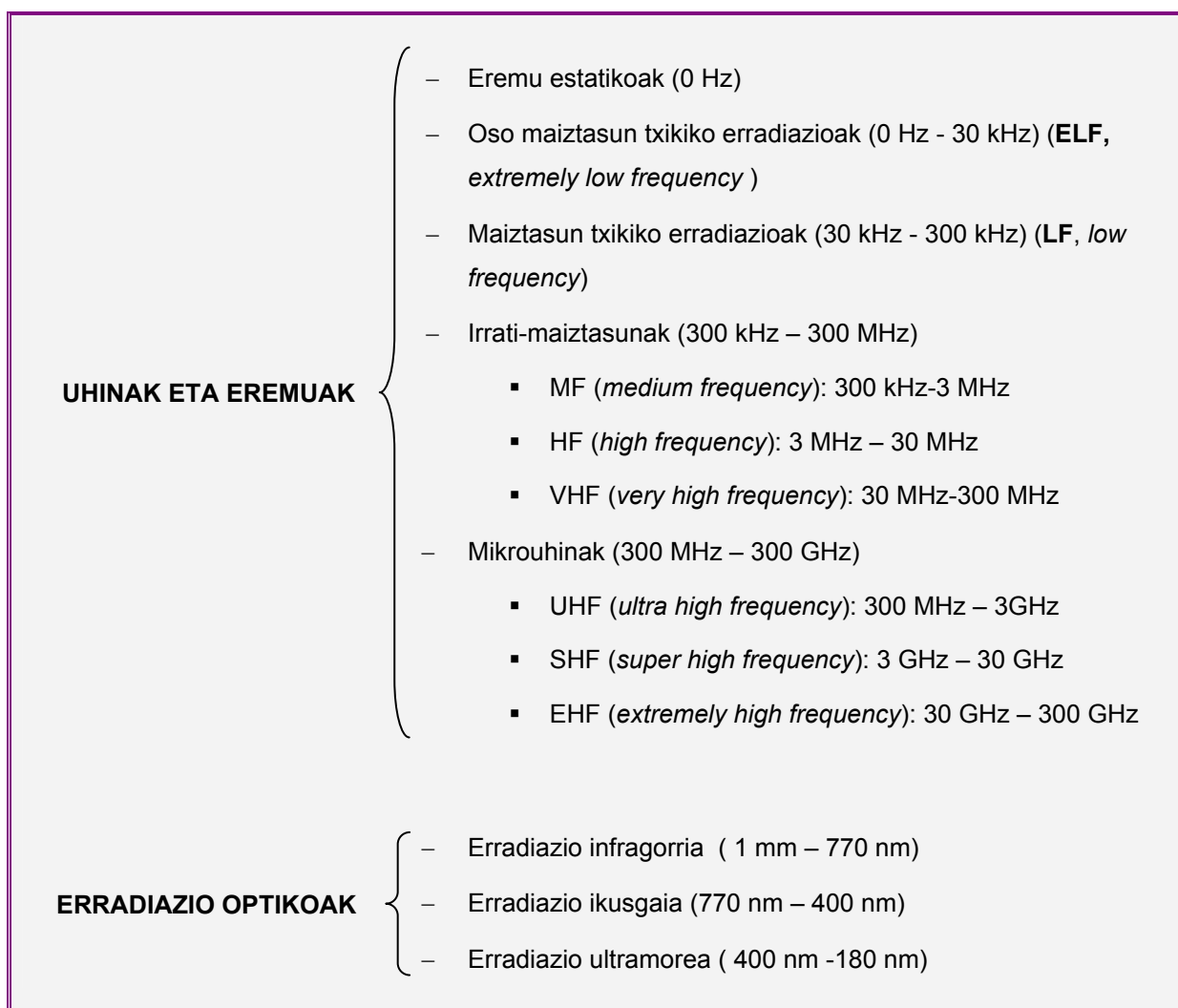
Prebentzioari dagokionez, Segurtasun Nuklearrerako Kontseiluak (Consejo de Seguridad Nuclear, CSN) kontrolatzen ditu erradiazio ionizatzaileak eta prebentzioko teknikariak; teknikariak instalazio erradioaktiboetan lan egiten ez badu, ez dauka ikertzeko, neurtzeko zein txostenak igortzeko atribuziorik. Halako instalazioetan lan eginez gero, ordea, oso ikastaro espezializatuak egin behar ditu; adibidez, CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) erakundeak emandakoak.

Prebentzioko teknikariak erradiazio ez-ionizatzaileen arloan zeregin eraginkorragoa eta zehatzagoa du ionizatzaileen arloan baino.

## Erradiazio ez-ionizatzaileen sailkapena

Eremu elektriko edo magnetiko estatikoek ez dakarte inongo erradiaziorik haiei lotuta, ez direlako aldakorrak, eta ondorioz, ez dute inongo energiarik garraiatzen. Hala ere, erradiazioekin antza fisiko handia dutenez, eremu estatikoen efektuak eta horien eraginpean egoteko mugak erradiazio elektromagnetikoekin batera aztertu dira betidanik.

Esan bezala, espektro elektromagnetikoaren 0 Hz eta  $3 \times 10^{15}$  Hz bitarteko erradiazio ez-ionizatzaileak aztertuko ditugu. Hasiera batean, bi multzotan bana daitezke: eremuak eta uhinak (0 Hz eta 300 GHz bitartekoak) eta erradiazio optikoak (300 GHz eta 3 PHz bitartekoak).



Adierazitako mugak lauso eta arbitrarioak dira, ez diote inongo irizpideri jarraitzen, baina balio dute efektu biologikoa nolabait sailkatzeko.

Ikus ditzagun eremu eta uhinen zenbait ezaugarri

**Ariketa:**

Osatu erradiazio ez-ionizatzailen ezaugarrien taula.

<i>ERRADIAZIO EZ-IONIZATZAILEEN EZAUGARRIAK</i>		
<i>ESPEKTROKO BANDA</i>	<i>UHIN-LUZERA</i>	<i>MAIZTASUNA</i>
<b>ELF</b>		
<b>LF</b>		
<b>Irrati-maiztasunak</b>		
<b>Mikrouhinak</b>		
<b>Infragorria</b>		
<b>Ikusgaia</b>		
<b>Ultramorea</b>		

 **Erradiazio ionizatzailen sailkapena**

Erradiazio ionizatzailak izaeraren arabera bi taldetan bana daitezke:

- ✓ Erradiazio **korpuskularrak**: geldialdiko masa txikia duten partikula materialez osatuak. Talde horretan alfa partikulak, beta partikulak, protoiak eta neutroiak daude. Zatiki hauen ezaugarriak kargaren, geldialdiko masaren eta igortzen diren energiaren arabera dira.
- ✓ Erradiazio **elektromagnetikoak**: masa eta kargarik gabeko energia-fotoiz osatuak. Talde honetan X izpiak (Rx) eta gamma izpiak daude.

ERRADIAZIO IONIZATZAILEEN EZAUGARRIAK			
IZAERA	ERRADIAZIO MOTA	IZENA	EZAUGARRIAK
KORPUSKULARRAK	Zuzenean ionizatzaileak	<b>Alfa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Helio nukleoak (karga = +2; masa = 4)</li> <li>– Ionizazio-ahalmen handia eta barneratze-ahalmen txikia</li> <li>– Erradioisotopo naturalek eta artifizialek igorriak</li> </ul>
		<b>Beta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Elektroiak (karga = -1; masa = 0,005)</li> <li>– Ionizazio-ahalmena alfa zatikiarena baino txikiagoa eta barneratze-ahalmen ertaina (alfa zatikiarena baino handiagoa)</li> <li>– Erradioisotopo naturalek eta artifizialek igorriak</li> </ul>
		<b>Protoia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Hidrogeno nukleoak (karga = +1; masa = 1)</li> <li>– Ionizazio-ahalmen handia eta barneratze-ahalmen handia</li> <li>– Partikula-azeleratzaileek sortuak</li> </ul>
		<b>Neutroia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kargarik gabeko partikula (masa = 1)</li> <li>– Barneratze-ahalmen oso handia</li> <li>– Zenbait erreakzio nuklearretan sortuak, azeleratzaile eta erreaktoretan</li> </ul>
ELEKTROMAGNETIKOAK	Zeharka ionizatzaileak	<b>Gamma izpiak</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fotoiz osatuak</li> <li>– Barneratze-ahalmen handia</li> <li>– Askotan, alfa eta beta desintegrazioak eta gero edo haiekin batera suertatzen dira</li> <li>– Nukleoen energia-egoera batetik besterako trantsizioan sortzen dira</li> </ul>
		<b>X izpiak</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Gamma izpien moduko ezaugarriak</li> <li>– Jatorria nukleoz kanpo gertatzen diren prozesuetan dute. Adibidez: galgatze-erradiazioa</li> </ul>



# 2

## ERRADIAZIO EZ- IONIZATZAILEAK

### Uhinak eta eremuak



## 2.1 Uhinak eta eremuak neurtzeko magnitude eta unitateak

### Magnitude orokorrak eremuak neurtzeko

0 Hz eta 300 GHz bitarteko erradiazio elektromagnetikoak neurtzeko, eremu elektrikoa (E), eremu magnetikoa (H) eta potentzia-dentsitatea (S) magnitudeak erabiltzen dira.

Eremu elektrikoa karga elektrikoa egoteari lotuta dago; eremu magnetikoa, aldiz, karga elektrikoaren mugimendu fisikoari, hau da, korrante elektrikoari.

**Eremu elektrikoaren intentsitateak** definitzen du eremu elektrikoa. Intentsitatea eremu elektrikoak karga-unitate positiboaren gainean egindako indarra da. Magnitude bektoriala denez, modulu, norabide eta noranzkoa adierazita zehazten da. Hau da, matematikoki, bektorearen  $E_x$ ,  $E_y$  eta  $E_z$  osagaiak emanda.

Hiru osagaiak ezagunak direnean, eremu elektrikoaren moduluak honela kalkulatzen da:

$$E_R = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$$

Intentsitatea metroko voltetan (V/m) neurtzen da.

**Indukzio magnetikoa edo fluxu magnetikoaren dentsitatea.** Dentsitateak eremu magnetikoa definitzen du. Eremu magnetikoa eroale batean zehar  $v$  abiaduran higitzen den partikula kargatu baten gainean egindako indarra da.

$$= \frac{1}{q} \hat{v} \quad = q ( \hat{v} )$$

Espazioko puntu bateko **B** bektorearen moduluak puntu horretako hiru osagaien erresultantearen moduluak da. Kargak jasaten duen **F** indarraren norabidea  $v$  abiaduraren eta **B** eremu magnetikoaren arteko biderkadura bektorialaren norabidea da. **F** indarraren norabidea, beraz, bi bektore horiekiko perpendikularra da; eta noranzkoak eskuineko eskuaren araua jarraitzen du, hau da,  $v$ -tik **B**-rants biratzen den kortxo-kentzekoaren araua.

0 Hz eta 10 kHz bitarteko eremu magnetikoaren aurreko esposizioa neurtzeko, **B** magnitudea erabiltzen da gehien. Nazioarteko Sistemako unitatea tesla (T) da, eta haren azpimultiploak, militesla (mT) eta mikrotelsa ( $\mu$ T). Askotan, beste unitate bat erabiltzen da, gaussa (G), eta horren azpimultiploa miligaussa (mG) da.

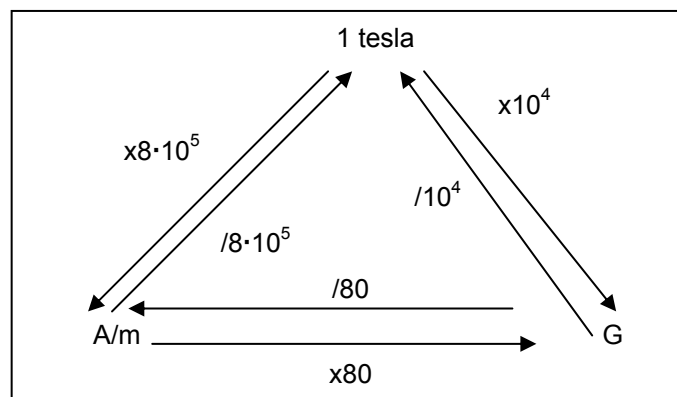
**Eremu magnetikoaren intentsitatea, H:** eremu magnetikoa adierazteko beste magnitude bat da. Intentsitatea ere magnitude bektoriala denez, haren modulua  $H_x$ ,  $H_y$  eta  $H_z$  osagaien bidez definitzen da. Hiru osagaiak ezagunak direnean, eremu magnetikoaren modulua honela kalkulatzen da:

$$H_R = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}$$

Horren unitatea metroko anpere da (A/m).

**B** eta **H** zuzenki proportzionalak dira, eta proportzionaltasun-konstantea iragazkortasun magnetikoa da ( $\mu$ ). Hutsian,  $\mu$ -ren balioa  $\mu_0 = 4 \pi 10^{-7}$  V·s/A·m da.

Ondorengo irudian agertzen dira eremu magnetikoaren unitateen arteko erlazioak, zeinak oso interesgarriak baitira erreferentzia-balio onartuak alderatzeko.



2.1. irudia. Eremu elektromagnetikoaren unitateen arteko erlazioak.

**Potentzia-dentsitatea, S:** hedapen-norabidearekiko elkarzuta den azalera-unitateari erasotzen dion irradiate-potentzia da. E eta H bektoreen arteko biderkadura bektoriala da; S ere bektorea da (Poynting-en bektorea), beraz. Metro karratuko wattetan ( $W/m^2$ ) eta horren azpimultiploetan neurtzen da (zentimetro karratuko miliwattetan,  $mW/cm^2$ ).

$$\vec{S} = \vec{E} \wedge \vec{H}$$

Magnitude hori, gehienetan, mikrouhinen tarteko erradiazioen aurreko esposizioa neurtzeko erabiltzen da, potentzia-dentsitateak eremu magnetikoa eta elektrikoa batera baloratzen baititu.

Bil ditzagun unitate horiek taula batean (kontuan hartu eremu magnetikoaren unitateak handienetik txikienera ordenatuta daudela:  $T > A/m > G$ ):

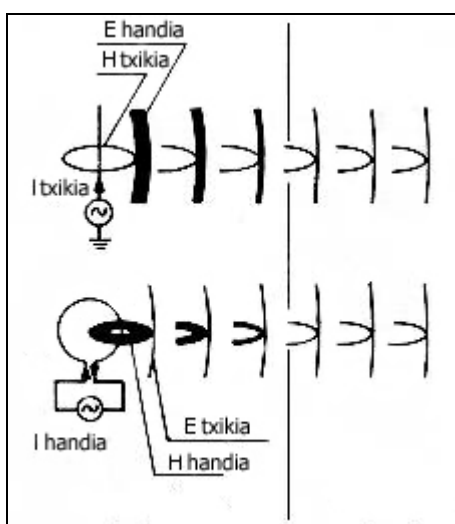
Eremu elektrikoa (E)	Eremu magnetikoa (H)	Eremu elektriko eta magnetikoa batera (E eta H)
V/m	T	mW/cm <sup>2</sup>
	A/m	
	G	

2.1. taula. Eremu elektrikoaren eta magnetikoaren unitateak.

► **Hurbileko eta urrutiko barrutiak**

Elementu igortzaile batetik hurbil gaudenean (hurbileko barrutia, Fresnel-en eskualdea), fasea eta E eta H bektoreen arteko erlazioa ere ezezagunak dira. Alderdi horretan, potentzia-dentsitatea (S) ez da batere erabilgarria, oso azkar aldatzen baita elementu igortzailearekiko distantziarekin.

Kasu horretan, eremu elektromagnetikoa definitzeko, E eta H banaka neurtu beharko ditugu.



2.2. irudia. E eta H bektoreen adierazpen grafikoa hurbileko barrutian eta urrutiko barrutian.

Normalean, hurbileko barrutia elementu igortetik  $\lambda/2\pi$  distantziaraino iristen da, eta, askotan,  $\lambda$  distantziaraino ere onartzen da.

Elementu igortzailetik urrutiago (urrutiko barrutia, Fraunhofer eskualdea), eremu elektrikoa eta magnetikoa fasean daude. Kasu horretan, S, E eta H-ren arteko erlazioa ezaguna da:

$$\vec{S} = \vec{E} \wedge \vec{H}$$

Eremu magnetikoaren eta elektrikoen moduluen arteko erlazioa espazioko **inpedantzia** ( $Z_0$ ) da.  $Z_0$  konstantea da eta, gutxi gorabehera,  $377 \Omega$ -ekoa.

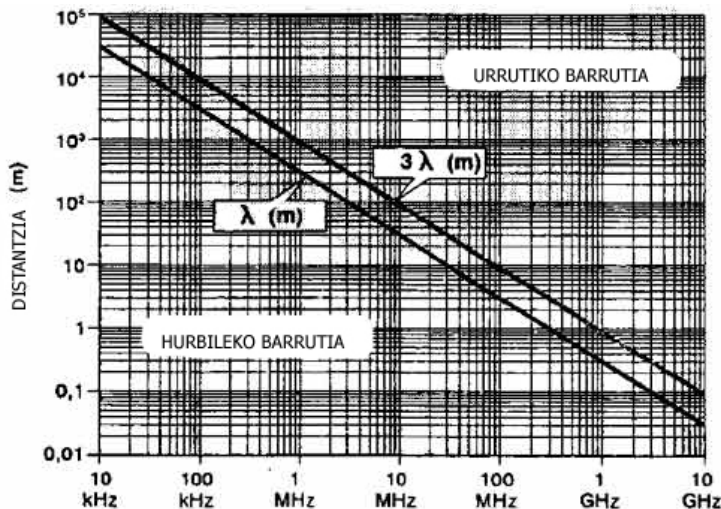
$$Z_0 = \frac{E}{H} = 120 \cdot \pi \ \Omega \approx 377 \ \Omega$$

Urrutiko barrutian, angelu solidoko potentzia-dentsitatea (S) konstantea da, eta esposizioa neurtu eta definitzeko erabil daiteke. Beraz, eskualde horretan neurketa bakar bat eginda, E, H edo S, beste biak kalkula daitezke.

$$\vec{S} = \frac{E^2}{120 \pi} \quad \vec{k} = 120 \pi \cdot H^2 \quad \vec{k} = 377 \cdot H^2 \vec{k}$$

- ✓ S, metro karratuko wattetan ( $W/m^2$ )
- ✓ E, metroko voltetan (V/m)
- ✓ H, metroko anperetan (A/m)
- ✓  $\vec{k}$ , bektore unitarioa hedapenaren norabidean

Hurbileko planoan ezin dira erlazio horiek aplikatu, eta, lehen esan dugun bezala, eremu elektrikoen eta magnetikoen intentsitateak kalkulatu beharko ditugu bakoitza bere aldetik.



2.3. irudia. Hurbileko eta urrutiko barrutiak. Distantzia, maiztasunaren eta uhin-luzeraren funtziopean.

## Magnitude dosimetrokoak

Giza gorputzean eragindako kalte biologikoa neurtzeko eta eremu elektromagnetikoen eraginpean egoteko mugak finkatzeko erabiltzen diren magnitudeak dira. Hauek dira aipagarrienak:

- ✓ **Induzitutako korrante-dentsitatea (J)** metro karratuko anperetan neurtzen da. 0 Hz eta 10 MHz bitarteko erradiazioak neurtzeko erabiltzen da.
- ✓ **Kontaktu-korrantea (I)** anperetan (A) neurtzen da.
- ✓ **Energia-xurgatzearen tasa espezifiko (SAR, *specific absorption rate*; TAE, *tasa de absorción específica*)**. Kilogramoko wattetan (W/kg) edo joule zati kilogramo bider segundotan ( $J \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$ ) neurtzen da. SAR delakoa, normalean, 100 Hz eta 10 GHz bitarteko erradiazioak neurtzeko erabiltzen da. Irrati-maiztasunen eta mikrouhinen eraginpean egoteko mugak magnitude honen arabera finkatzen dira: masa biologiko batek denbora jakin batean xurga dezakeen energia elektromagnetikoaren arabera.

Ehun biologikoen 10 KHz eta 300 GHz bitarteko maiztasuneko erradiazioek igorritako energia xurgatzen dute bero moduan, eta horren ondorioz, ehunen tenperatura igotzen da.

Prebentziorako onar daitezkeen gehienezko igoera 1 °C-koa dela erabaki da, horrela osasunerako kalteak (eragin termikoak) saihesten baitira.

Gorputz baten tenperatura igotzeko behar den energia honela kalkula daiteke:

$$Q = \Delta T C_e m$$

- ✓ Q, tenperatura-aldaketa gertatzeko behar den energia
- ✓  $\Delta T$ , gorputzaren tenperatura-aldaketa
- ✓  $C_e$ , bero espezifiko
- ✓ m, gorputzaren masa

Temperatura-aldaketaren abiadura honela definitzen da:

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{Q}{\Delta t \cdot C_e \cdot m}$$

non  $Q/\Delta t$  tenperatura-gradientearen sortzeko behar den bero-potentzia den.

Masa-unitateko adierazitako bero-potentziari *energia-xurgatzearen tasa espezifiko* deritzo (**SAR**, *specific absorption rate*), eta kilogramoko wattetan neurtzen da, W/kg.

$$SAR = \frac{Q}{\Delta t \times m} = \frac{C_e \cdot \Delta T}{\Delta t}$$

Gizakiaren ehunen konposizioa askotarikoa denez, ehun horien bero espezifikoak ( $C_e$ ) ere askotari-koak dira.

SARa kalkula daiteke, eta zenbait kasutan, neurtu, baina, normalean, neurtzea zaila denez, potentzia-dentsitatea ( $mW/cm^2$ ), eremu elektrikoaren intentsitatea (V/m) edo eremu magnetikoaren intentsitatea (A/m) neurtzen dira.

**Xurgapen espezifikoa (SA, *specific absorption*)**. Material dielektrikoak 30  $\mu s$  edo gutxiagoko erradiazio pultsatuaren (irradi-maiztasunak eta mikrouhinak) energia xurgatzen duenean, soinu-energia sor daiteke eta “radarra entzuten dela” esaten da. Pultsuaren iraupena 30  $\mu s$  baino txikiagoa bada, mekanismo horren intentsitatea pultsuko jasotako guztizko energiaren mendekoa da.

Hori guztia dela eta, 300 MHz eta 10 GHz bitarteko eremu pultsatueterako, beste muga bat ezarri da, xurgapen espezifikoa, zeina kilogramoko jouletan neurtzen den.

**Potentzia-dentsitatea (S)** 10 GHz eta 300 GHz bitarteko eremu elektromagnetikoak neurtzeko erabiltzen da. Metro karratuko wattetan neurtzen da.

## 2.2 Eremu eta uhinen iturriak

Kasu honetan, ez zaizkigu eremu naturalak interesatzen, laneko ingurumenera mugatutakoak baizik; beraz, artifizialak, gizakiak hainbat helbururekin diseinatutakoak zaizkigu interesgarri.

Eremu artifizialak gailu elektrikoak dira beti, eta haien ezaugarriak erabiltzen diren helburuen arabera dira. Helburuaren arabera hautatuko dira bai maiztasuna, bai korrante-intentsitatea eta bai igortze-potentzia. Garapen teknologikoa dela eta, denborarekin datu horiek guztiak etengabe aldatzen ari dira.

### Eremu estatikoak

Eremu estatikoek, estatiko izategatik, 0 Hz-eko maiztasuna dute. Indar handiko eremu magnetikoak sor daitezke eta, haien propietateen arabera, hainbat eragin biologiko izango dituzte.

Eremu horien iturrien artean daude erresonantzia magnetiko nuklearreko espektrometroak. Espektrometro horiek eremu magnetiko estatiko bat sorrarazten duen elektroiman bat dute. CNNTk (Centro Nacional de Nuevas Tecnologías) ikertutako kasuetan, 7,5 T eta 11,7 T bitarteko gehienezko igorpena izan zen.

Normalean, mota horretako instalazioek imanetik urrundutako irrati-maiztasuneko erradiazioen iturri bat dute interferentziak saihesteko. Haien maiztasuna 200 MHz, 300 MHz edo 500 MHz-ekoa da.

Ekipoek korrante jarraitua erabiltzen dutenean, igorritako eremu elektromagnetikoen maiztasun teorikoa 0 Hz-ekoa da. Ekipo horien artean, hauek ditugu, besteak beste:

- ✓ Zelula elektrolitikoak (4 eta 10 mT bitarteko esposizioa; gehienez, 30 mT). Korrante-intentsitate handi samarrarekin lan egiten du, 100 kA ingurukoarekin.
- ✓ Partikula-azeleratzaileak (300 mT ingurukoak; gehienez 2000 mT).
- ✓ Ikerketa-zentroetako erresonantzia magnetiko nuklearreko ekipoa eta ospitaleetako irudi-erresonantzia magnetikokoak.
- ✓ Material magnetikoak fabrikatzean erabiltzen direnak; ezinbestekoak dira trenbideetan, isotopoen bereizketan, partikula-azeleratzaileetan, erreaktore termonuklearretan eta medikuntzako beste hainbeste erabileratan.

### ELF erradiazioak

Espektrorik elektromagnetikoarekin jarraituz, oso maiztasun txikiko eremu elektromagnetikoak daude (ELF, *extremely low frequency*): 0 Hz eta 10 kHz bitarteko maiztasunekoak.

Tarte horretako erradiazioak espektrorik elektromagnetikoko beste batzuk baino gehiago erabiltzen diren arren, azken horiek baino gutxiago ikertu dira higie eta laneko segurtasunaren arloan. Agian, ELFak baino gutxiago erabiltzen direnen eragina oso azkar geratu delako agerian.

ELFek osasunean izan ditzaketen eraginek gero eta interes handiagoa pizten dute gero eta potentzial-diferentzia handiagoa erabiltzen baita, batez ere garraio-lineetan.

Erradiazio mota horiei dagozkien uhin-luzerak oso handiak dira, teorikoki 10 km eta 100.000 km bitartekoak, 1 Hz eta 30 kHz bitarteko maiztasunei dagozkienak, hurrenez hurren.

Adibidez, 50 Hz-eko maiztasuna duten tentsio handiko lineei 6.000 km inguruko uhin-luzera dagokie.

Erradiazioak garraiatzen duen energiaren adierazpena kontuan hartuta ( $E = h \cdot \nu$  non  $h$  Planck-en konstantea eta  $\nu$  maiztasuna diren), erradiazioen energia kalkula daiteke.

Oso maiztasun txikiko erradiazioek, ELF delakoek, oso energia gutxi garraiatzen dute, energia maiztasunarekiko zuzenki proportzionala baita.

Horregatik, ELFak ez dira ionizatzaileak. Daramaten energia oso txikia da eta ez da nahikoa maila elektronikoetan, bibrazio-mailetan edo errotazio-mailetan aldaketak sortzeko.

Korrante alternoz funtzionatzen duten zenbait ekipo erabiltzen dira. Aplikazioa zein den, hala aukeratzen da lan-maiztasuna.

Horien artean, talde berezia osatzen dute 50 Hz-eko maiztasunarekin lan egiten duten ekipo elektrikoek.

Hona hemen iturri garrantzitsu batzuen eta erabiltzen dituzten maiztasunen zerrenda:

- ✓ Energia elektrikoa transformatzeko eta banatzeko ekipoak. Goi-tentsioko linea eta energia elektrikoa eraldatzeko azpiestazioak.
- ✓ Zelula elektrolitikoak. Erabiltzen dituzten korrante-intentsitateak nahiko altuak dira: korrante alternokan 100 kA-koak.
- ✓ Indukzioz berotzen duten labe elektrikoak. Korrante-intentsitatea ez da oso altua: korrante alternoko 40 kA-koa, hain zuzen ere.
- ✓ Arkuzko soldadurak. Korrante-intentsitatea aurreko bietan baino askoz txikiagoa da.
- ✓ Altzairugintzan, metalgintzan eta abarretan, 50 Hz, 600 Hz....10 kHz-eko maiztasunekin lan egiten dute.
- ✓ Medikuntzan erabiltzen den uhin motza, gutxi gorabehera, 200 Hz-eko maiztasunekoa da.
- ✓ Nabigatzeko sistema elektronikoak eta mantentze-postuak. Horietan, gehienetan, 70 kHz-eko maiztasuna erabiltzen da.

### ► **Goi-tentsioko linea baten inguruko lana**

Zalantzarik gabe, ELFen artean elektrizitatearen garraiorako goi-tentsioko lineak eta azpiestazio elektrikoak dira eremu elektromagnetikoen iturririk aipagarrienak.

Gogoratu eroale batean zehar mugitzen diren kargek eremu elektromagnetiko bat sortzen dutela. Eremu elektrikoaren oinarritzko magnitudea karga da, eta eremu magnetikoaren oinarritzko magnitudea korrontearen intentsitatea da. Linea batean higitzen den karga kantitatea linearen tentsioak (potenzial-diferentzia) ematen du. Tentsioa zenbat eta handiagoa izan, orduan eta bortitzagoa izango da sortutako eremu elektrikoaren intentsitatea. Potenzial-diferentzia neurtzeko erabiltzen den unitatea volta (V) da.

Estatu gehienetan (Espainia barne) mota horretako lineetan erabiltzen den maiztasuna 50 Hz-ekoa da. Beste leku batzuetan, adibidez, Estatu Batuetan, 60 Hz-ekoa erabiltzen dute.

Instalazio batean sortzen den energia elektrikoa, normalean, tentsio baxukoa izaten da, eta garraiatzeko erabiltzen den tentsioa, berriz, altua. Batetik bestera iristeko, transformadoreak erabiltzen dira. Horrela, kostuak minimizatzen dira eta garraiatzean gertatzen diren energia-galerak saihesten dira.

Garraio-lineak airekoak zein lurpekoak izan daitezke. Edozein kasutan, energia azpiestazioetara iristen da eta, tentsioa jaitsarazi ostean, kontsumitzaileei banatzen zaie.

Goi-tentsioko lineek 750 kV-ean lan egiten dute edo, zenbait herritan, 1500 kV baino tentsio handiagoan. Espainiar estatuan, garraio-lineetako tentsiorik arruntena 440 kV-ekoa da (132 kV, 220 kV eta 400 kV-ekoak ere erabiltzen dira).

Azpiestazio elektrikoek 123 kV eta 800 kV bitarteko tentsioan lan egiten dute. Energia garraiatzea eta erabiltzaileei banatzea da instalazio mota horien zeregina.

Gehien erabiltzen diren lineak korrante alferno trifasikokoak dira. Lurpeko transmisio-lineak populazio handiko herrietan erabiltzen dira gehien bat. Energia distantzia handietara eramateko, ordea, gutxiagotan erabiltzen dira.

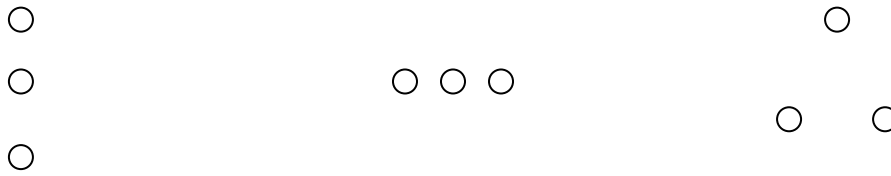
Energia distantzia handira garraiatzeko, aireko linea tipiko batek euskarri-egiturak erabiltzen ditu. Hain zuzen, euskarri horiek gure mendi eta zelaietan ikusten diren garraiorako dorreak edo goi-tentsioko dorreak dira. Eroaleak zintzilik daude dorre horietatik, isolagailu-kateen bidez.

Dorreen altuera eta, hortaz, eroaleena, tentsioaren arabekoak dira, eta legeria nazionalak arautzen du altuera hori, esposizioa kablearen eta hartzailearen arteko distantziaren mendekoa baita.

Isolagailu-kate bakoitzak eroale bati edo gehiagori eusten dio. Eroale bakoitzak potentzia-iturriaren fase elektriko bat eroaten du. Zirkuitulaburrak eta deskargak saihesteko, fase bakoitzeko eroaleak beste eroaleetatik eta dorretik behar bezain urruti egon behar du.

Bestalde, eraikin batean, korrantea banatzen duten kableetatik hurbil dauden ekipo elektronikoek disfuntzioak eta interferentziak izan ditzakete, ez bada behar adina pantailatze aurreikusitako. Arazo horiek konpontzea ekipoaren instalatzaileei dagokie, sortutako eremua laneko esposiziorako erreferentzia-maila baino askoz baxuagoa baita.

Nola kokatzen dira kableak? Esan dugun modura, korrante alferno trifasikoko lineak dira erabilienak. Linea trifasikoaren hiru eroaleak hiru modutara kokatzen dira gehienetan: bertikal, horizontal edota triangelu aldeakidea osatuz, irudian ikusten den bezala.



Azpiestazio elektrikoek azterketa berezia behar dute, kasu bakoitzean, laneko esposizioa ebaluatzeko. Azterketa hori oso konplexua izan daiteke, garraio-lineaz gain, azpiestazioaren konfigurazioa eta izaera ere kontuan hartu behar baitira.

ELF erradiazioen iturriak aipagarrienak garraio-lineak, azpiestazio elektrikoak eta burdinbideetako linea elektrikoak dira, baina badaude beste iturri asko, hala nola etxeetan erabiltzen direnak: besteak beste, ile-lehorgailuak, bizar-makina elektrikoak eta xurgagailuak.

### Behe-maiztasuneko erradiazioak

Dakigunez, 30 kHz eta 100 kHz bitarteko maiztasunekoak dira. Erradiazio mota horren ezaugarri fisikoak ELFenen antzekoak dira.

Esposizio-iturriak asko dira; batzuk aipatzekotan, bideo-terminalak, AMko irrati-instalazioak eta abar.

### Irrati-maiztasunak eta uhinak

Irrati-maiztasunak 100 kHz eta 300 MHz bitarteko maiztasuna dute, 3 km eta 1 m bitarteko uhin-luzera eta  $10^{-9}$  eV eta  $10^{-6}$  eV bitarteko fotoi-energia.

Mikrouhinek, berriz, 300 MHz eta 300 GHz bitarteko maiztasuna dute, 1 m eta 1 mm bitarteko uhin-luzera eta  $10^{-6}$  eV eta  $10^{-3}$  eV bitarteko energia.

Bi erradiazio mota horiek oso antzekoak direnez, batera azter ditzakegu haien ezaugarri fisikoak eta iturriak.

Maiztasunak aurreko ataletakoak baino askoz handiagoak direnez, erradiazio horiek ez dute ionizazioa izateko behar bezainbeste energia (ez dira maila elektronikoetan aldaketak sortzeko gauza). Hala ere, atomo batzuen errotazio- eta bibrazio-mailak kitzikatzeko adinako energia badutenez, energia elektromagnetikoa energia termiko bihurtu dezakete.

Ikus dezagun nola sortzen diren erradiazio horiek:

Antena batean korrante elektrikoa badugu eta maiztasun batekin oszilarazten badugu, antenaren inguruan eremu elektriko bat eta eremu magnetiko bat sortuko dira. Bi eremu horiek hasierako korrontearen maiztasun berberarekin hedatzen dira, argiaren abiaduran. Gogoratu argiaren abiadura materialaren araberakoa dela.

Erradiazioa ingurune biologikoetan sartzen denean, haren abiadura txikiagotzen da eta uhina motzagoa egiten da, batez ere inguru horiek ur-proporzio handikoak direnean. Ezaugarri hori oso erabilgarria da lehorte-prozesuetan erabiltzen diren labeetan (paper-orea, egurra eta abar lehortzeko), ur kantitate ezberdineko guneak egoten direlako. Ur gehiago duten guneetan, erradiazioaren uhin-luzera txikiagotzen da eta lehorketa hainbeste ur ez daukaten guneetan baino bortitzagoa da. Hori abantaila handia da ohiko bero-iturrien aldean, ur gehiagoko guneak gehiago lehortzen direlako eta ur gutxiago dutenak, gutxiago. Horrela, ohiko bero-iturrietan baino lehorte homogeenagoa lor daiteke.

Horretaz gain, erradiazio horiek materiaren barnean sartzen direnez, barrutik kanpoalderantz berotzen dute, hau da, bolumen osoa batera, ohiko labeek ez bezala; eta horrek denbora aurreratzea eragiten du.

Ondorioz, erradiazio bidezko labeek bi abantaila dituzte: ohiko labeetan baino denbora gutxiago behar dute eta lehorte homogeenagoa ematen dute.

Baina arriskuak daude: xurgatzen den energia beste mota batzuetako energia bilaka daiteke, eta organismoan interferentziak sorrarazi. Energia gehiena bero bihurtzen da, baina eragin guztiak ezin dira energiaren xurgapenaren eta bero bihurtzearen bidez esplikatatu. Teorikoki eta entseguen bidez egiaztatu da sistema biologiko makromolekularretan aldaketak sortzen dituzten elkarrekintzak daudela maila mikroskopikoetan; elkarrekintza horiek sistema biologikoen erresonantzia-maiztasunaren mendekoak izan daitezke.

Mikrouhinek oinarrizko bi aplikazio dituzte: bero-iturri gisa eta informazio-garraio modura.

- ✓ Bero-iturri gisa, indukzioz edo histeresi dielektrikoz berotzen dutenak honako aplikazio hauek dituzte:
  - Jakiak berotzeko eta prestatzeko etxeetako mikrouhin-labeak (915 MHz eta 2450 MHz bitartekoak). Labe horiek igortze-potentzia askotarikoak izaten dira, baina normalean 1 edo 2 kW eta 50 kW bitartekoak dira.
  - Plastikoen soldadura eta moldaketa (11 MHz eta 50 MHz bitartekoak; batez ere, 27,12 MHz-ekoa).
  - Itsasgarrien eta erretxinen ontzea eta moldaketa (11 MHz eta 50 MHz bitartekoak; batez ere 27,12 MHz-ekoa).

- Patata frijituen lehortegiak (916 MHz)
  - Erreakzio-azeleratzaileak
  - Paper-lehortegietan (2450 MHz)
  - Egurrezko oholen lehortegiak
  - Artile-lehortegiak
  - Oilasko-egostegiak
  - Diatermia klinikoa. Fisioterapia-sailetan, lanpostua elektrodoetatik hurbil badago. Erabiltzen diren ekipoeak 27,12 MHz eta 2450 MHz bitarteko maiztasuna eta 150 W eta 1400 W bitarteko igortze-potentzia dute.
  - Pasteurizatze-instalazioak
  - Zeramikagintza (2450 MHz)
- ✓ Mikrouhinak informazioa garraiatzeko ere erabiltzen direnez, erradiazio-iturriak dira beste hauek ere:
- Irrati-instalazioak. HF, UHF eta VHF bandetan igortzen dutenak. Adibidez, FMko antenak konpontzeko lanetan esposizioan egon daiteke. 300 kHz eta 3 GHz bitarteko maiztasunak erabiltzen dira.
  - Telefonía. Telefonía mugikorrean 900 MHz eta 1 GHz bitarteko maiztasuna eta potentzia ertainak erabiltzen dira.
  - Telebista-instalazioak
  - Mikrouhinen bidez lan egiten duten monitoreak
  - Radar-detektagailuak. Maiztasunak 12 GHz-eraino iristen dira, eta potentzia altukoak izaten dira.
  - Abiadura-detektagailuak
  - Telekomunikazio-sistemak
  - Lapurreten aurkako alarmak

Iturri horietako batzuek (irratia, telebista) etengabe lan egiten dute, beste batzuek, aldi behin (mikrouhin-labeak), eta besteek, pultsuka (radarra).

## 2.3 Eremu eta uhinaren eraginak

### Oro har

Ez dugu ahantzi behar eremu elektromagnetiko baten arriskua kontuan hartu behar izateko eremuak bortitza izan behar duela eta lanpostuak eremuaren inguruan egon behar duela.

Arriskua ezaugarri hauen arabera da:

- ✓ Ekipoaren igortze-maiztasuna
- ✓ Potentzia
- ✓ Iturriarekiko distantzia
- ✓ Esposizio-denbora
- ✓ Gorputzaren tamaina eta eremuarekiko orientazioa

Oro har, bi motatako eraginak aipatu eta aztertuko ditugu: eragin zuzenak eta zeharkako eraginak. Gero, erradiazio mota bakoitzarekin estuki lotuta dauden beste eragin batzuk aipatuko ditugu.

#### ▶ **Eragin zuzenak**

Eremu elektromagnetiko alternoek hiru mekanismoren bidez eragiten diote materia biziari: maiztasun txikiko eremu elektriko batekin akoplatzen dira; maiztasun txikiko eremu magnetiko batekin akoplatzen dira; eta eremu elektromagnetikoen energia xurgatzen dute.

- ✓ Maiztasun txikiko eremu elektriko batekiko akoplamendua.

Eremu elektriko alterno batek giza gorputzari eragiten dionean, hiru eratarik eragiten dio:

- Korrante elektrikoaren fluxua sorrarazten du.
- Dipolo elektrikoak eratzen ditu.
- Ehunen berezko dipolo elektrikoak berrorientatzen ditu.

Eragin horien magnitudea gorputzaren ezaugarri elektrikoaren arabera da, hau da, eroankortasun elektrikoaren (korrante elektrikoaren fluxua mugatzen du) eta permitibitatearen (polarizazioaren magnitudea erabakitzen du) funtzioa. Eroankortasun eta permitibitate elektrikoak gorputzaren ehunarekin eta aplikaturiko eremuaren maiztasunarekin aldatzen dira. Kanpoko eremu elektrikoek karga bat indusitzen dute giza gorputzaren azalean, eta haren ondorioz, korrante indusituak eratzen dira giza gorputzean. Korrante indusituen banaketa ezaugarri batzuen mende dago.

Hauek dira:

- Esposizioaren ezaugarriak
  - Gorputzaren forma eta tamaina
  - Gorputzaren posizioa eremuaren barnean
- ✓ Maiztasun txikiko eremu magnetiko batekiko akoplamendua.

Eremu magnetiko alferno betek giza gorputz bati fisikoki eragiten dionean, eremu elektrikoak eta korrante elektrikoak (induzituak) sortzen ditu gorputzean. Hauek dira eremu induzituaren eta korrante-dentsitatearen magnitudean eragiten duten ezaugarriak:

- Gorputzaren erradioa
- Ehunaren eroankortasuna
- Fluxu magnetikoaren dentsitatearen (B) magnitudea eta haren aldaketa-abiadura

Gorputza ez denez elektrikoki homogeneoa, gorputz-ereduak eta potentzia handiko programa informatikoak erabiltzen dira induzituriko korranteen dentsitatea kalkulatzeko.

Magnetikoki, berriz, giza gorputza homogeneotzat har daiteke, eta haren permitibitate magnetikoa, gutxi gorabehera, hutsarena da,  $\mu_0$ .

- ✓ Eremu elektromagnetikoen energiaren xurgapena.

Maiztasun txikiko eremu elektriko eta magnetikoen aurreko esposizioak, oro har, bi eragin ditu: energia-xurgapena arbuia garria da, eta gorputzaren tenperatura-igoera, neurgaitza. Haatik, 100 kHz baino maiztasun handiagoko eremu elektromagnetikoen eraginpean egoteak energiaren xurgapena eta, ondorioz, tenperaturaren igoera adierazgarria eragin ditzake. Oro har, eremu elektromagnetiko uniforme baten eraginpean egoteak energiaren xurgapen eta banatze **ez-uniformeak** eragiten ditu; banaketa hori neurketa eta kalkuluen bitartez ebaluatzen da. Gorputzaren organo beroketarekiko sentikorrenak beroa xahutzeko zailtasuna duten organoak dira; adibidez, begiak (kristalinoa) eta barrabilak.

Giza gorputzak energia xurgatzeko duen modua kontuan hartuta, eremu elektromagnetikoen beste sailkapen bat egin daiteke:

MAIZTASUNA	ENERGIAREN XURGAPENA
100 kHz – 20 MHz	Ez dago erresonantziarik. Gorputz-enborraren xurgapena azalekoa da; maiztasuna handitzen den heinean txikiagotu egiten da. <b>Lepoko</b> eta <b>hanketako</b> xurgapena adierazgarria izan daiteke.
20 MHz – 300 MHz	Xurgapen handi samarra <b>gorputz osoan</b> . Erresonantzia dela eta, balioak espero izatekoak baino altuagoak izan daitezke.
300 MHz – 10 GHz	<b>Erresonantzia</b> dago eta, 400 MHz-etik aurrera, buruko xurgapenak kontuan hartzekoak dira. Xurgapen lokalak nahiko handiak eta ez-uniformeak dira (" <b>puntu beroak</b> "). Puntu beroen tamaina, 915 Hz-etan adibidez, zenbait zentimetrokoa da. Tamaina txikiagotu egiten da maiztasuna handitzen denean, xurgaturiko energia maiztasuna handitzen den heinean txikiagotzen baita.
> 10 GHz	Energiaren xurgapena azalean. Tenperatura <b>azalean</b> igotzen da. Izpi infragorri eta maiztasun handiagoko izpien eraginaren antzekoa.

2.2. taula. Maiztasuna eta energiaren xurgapena.

Gorputza urrutiko barrutian dagoela, gorputzaren luzera-ardatza eremu elektrikoaren bektorearekiko paraleloa denean gorputzaren energia-xurgapena maximoa da. Xurgatutako energia kantitatea zenbait faktoreren mendekoa da, besteak beste, erradiazioa jasotzen duen gorputzaren tamainaren mendekoa. Gizaki-erreferentzia estandarrek, lurrera jarrita ez badago, 70 MHz-eko erresonantzia-maiztasuna du. Estandarra baino altuagoak diren pertsonen 70 MHz baino txikiagoa dute, eta estandarra baino baxuagoak, umeek eta eserita dauden pertsonen, berriz, 100 MHz baino erresonantzia-maiztasun handiagoa izan dezakete. Aipatu dugun guztia dela medio, mugak maila nahiko baxuetan jarri behar dira, kasu okerrenetan ere babesa ziurtatzeko.

**10 MHz** baino maiztasun handiagoan lan egiten duten zenbait gailuren kasuan (berogailu dielektrikoak eta telefono mugikorrek), gizakiaren esposizioa hurbileko barrutian gerta daiteke. Egoera horietan, energiaren xurgapena ez da maiztasunarekin aldatzen urrutiko barrutian bezala. Adibidez, telefono mugikorretan eremu magnetikoa nagusitu daiteke zenbait egoeratan.

Bestalde, telefono mugikorren, irradi-telefonoen, igortze-dorreen, nabigatze-antenen eta berogailu dielektrikoen hurbileko barrutiko esposizioa ebaluatzeko, bi prozedura erabil daitezke:

- ✓ Zenbakizko **kalkuluak** egitea.
- ✓ Gorputzean induzitutako korrante-dentsitatea **neurtzea**, eta ehunetako eremuaren intentsitatea neurtzea.

Ebaluazio horien bidez frogatu da hurbileko barrutiko esposizioak SAR lokal handia sor dezakeela buruan, eskumuturretan eta orkatiletan. Era berean, frogatu da gorputz osoko zein ataletako SARak gorputzaren eta maiztasun handiko iturriaren arteko distantziaren oso mende daudela.

**10 GHz** baino maiztasun handiagoen kasuan, eremua ez da gorputzean asko barneratzen, eta SARa ez da magnitude egokia xurgapena ebaluatzeko. Kasu horietan, potentzia-dentsitatea da magnitude dosimetroko egokia.

Bukatzeko, eragin zuzenen artean hau ere, aipa dezagun mikrouhinek zuzenean eragiten diotela entzumenari. Garun-ehunek energia xurgatzen dutenean, presio-uhin bat sortzen da eta belarriko Corti-ren organora iristen da hezurretan zehar.

### ► Zeharkako eraginak

Zeharkako eraginik aipagarrienak kontaktu-korronteak eta deskargak dira.

Eremu elektriko edo magnetiko bat objektu batekin akopla daiteke; adibidez, egitura metaliko batekin eta objektua ukitzen duen pertsonarekin.

Kasu bereziak dira inplante biologikoak eta taupada-markagailuak, non materialaren ezaugarriez gain, aparatuaren korrontea eta tentsioa ere hartu behar diren kontuan, interferentzia-arriskua baitago.

### ***Kontaktu-korronteak***

Eremu elektromagnetikoa dela medio, objektu eroalea kargatu egiten da eta korronte elektrikoak sortzen dira bere gain. Gorputz bat objektu horrekin kontaktuan badago, sorturiko korronteek gorputza zeharkatzen dute. Korronteen magnitudea eta banaketa espaziala ezaugarri hauen mende daude:

- ✓ Erradiazioaren maiztasuna
- ✓ Objektuaren tamaina
- ✓ Pertsonaren tamaina
- ✓ Kontaktu-azalera

Pertsona ez badago lurretik isolatuta, korrontea giza gorputzean zehar bideratzen da lurrera, erresistentzia elektriko txikiena eskaintzen duen bidea jarraituz.

Bide horretan, korronteak kalte hauek eragin ditzake:

- ✓ Giharrak eta nerbioak estimulatzea
- ✓ Deserosotasuna sortzea
- ✓ Erredurak eta shock elektrikoa

### **Deskargak**

Oso eremu bortitza jasaten duen objektu eroale bat eta pertsona bat oso hurbil daudenean, deskargak gerta daitezke.

#### Eremu magnetiko estatikoak

Ezer baino lehen, ikus ditzagun eremu magnetiko estatikoen, hau da, 0 Hz-eko maiztasuneko, eraginak. Eremu magnetiko estatikoak langileentzat ezarritako muga (2 T) gainditzen badu, bertigoak, gora-galeak eta beste hainbat eragin kaltegarri ager daitezke. Adibidez, bihotz-arritmiak, buru-osasunaren aldaketak eta eremu elektrikoen indukzioa odol-hodi handietan zehar.

#### Oso maiztasun txikiko eremuak, ELFak

Oso maiztasun txikiko eremu elektromagnetikoen eta behe-maiztasunekoek, behin baino gehiagotan aipatu dugun bezala, ez daukate molekulen errotazio- eta bibrazio-egoerak kitzikatzeko behar bezain-beste energia, eta, beraz, ez dute aldaketarik sortzen gorputzaren tenperaturari. Alabaina, ikerketa berri batzuek diotenez, zenbait eragin izan ditzake (aurrerago azalduko ditugu).

Erradiazio mota horrek materiaren barnean dituen eraginak aztertzeko, materiaren egitura elektronikoa hartu behar da kontuan.

Eman dezagun oso maiztasun txikiko erradiazio batek gorputz bati erasotzen diola. Eremuaren maiztasuna hain txikia izanda, kargen desplazamendu txiki bat eragiten du. Karga positiboak eremuaren noranzkoan mugitzen dira, eta karga negatiboak, berriz, horren kontra. Horrekin batera, momentu dipolarra eta, nolabait esateko, azaleko korrante zirkularrak sortzen dira. (Horretan guztietan sakondu nahi izanez gero, jo fisikako liburu batera, apunte hauen helburua ez baita horretan gehiago sakontzea).

Energia elektrikoa kontsumitzen duten aparatuek edo, besterik gabe, elektrizitatea eroaten duten kableek beren inguruan erradiazio bat sortzen dute, eta horri eremu elektromagnetiko deritzogu.

Oro har, oso maiztasun txikiko eremu elektromagnetikoen 30.000 Hz baino maiztasun txikiagoa dute dira.

Berriki ikerketak azaldu dira, prentsa idatzian gehienak, zeinetan erradiazio mota horien eraginpean egotearen eta minbiziaren arteko balizko erlazioa nabarmentzen den.

Ikerketa horien ondorioak, alabaina, ez dira guztiz ukaezinak. Hasteko, ezin da jakin guztiz ziur zein diren erradiazioen eraginpean egon direnak eta egon ez direnak; izan ere, energia elektrikoaren erabilera guztiz ohikoa da gure gizartean, eta neurri batean edo bestean, denok jasaten ditugu erradiazio horiek. Beraz, ikerlan horietan esposizio-kota ezberdina jasandako pertsonen erantzunak alderatzen dira.

Esposizio horren unibertsalitatea kontuan hartuta, argitaraturiko ikerketa berri asko etxean jasandako esposizioaren ikuspuntutik abiatzen dira.

Bereziki, goi-tentsioko lineen inguruan bizi diren pertsonak ikertu dira. Kasu horietan ikertzaileak ondorio hauetara iritsi dira: ezin dela ziurtatu, ezta ukatu ere, inongo erlazioerik erradiazio horien eraginpean egotearen eta minbiziaren artean.

Hori guztia ikusita, esan behar da aurkitzeko asko falta dela oraindik.

Lan-esposizioaren arloan, berriz, ikerketak goi-tentsioko lineen inguruan lan egiten duten langileengan oinarritu dira. Autore batzuentzat, baina ez guztientzat, leuzemia mota batzuk populazioan baino maizago agertzen dira langile horiengan.

Azken bolada honetan egindako zenbait ikerketa epidemiologikoren arabera, lanbide elektrikoaren eta odol- eta garun-minbiziaren arteko lotura agerikoa da, eta ezin zaio halabeharrari leporatu. Funtsezko galdera da ea lotura hori eremu elektriko eta magnetikoari dagokion edo lantokian elkartzen diren beste hainbat faktoreri, edota norberaren hautaketa-sistemari (bizimodu arriskutsua gustukoa duten pertsonak).

### Irrati-maiztasunak eta mikrouhinak

Irrati-maiztasunen (IM) eta mikrouhinaren (MU) eraginak bi motatakoak izan daitezke: eragin termikoak eta eragin ez-termikoak.

#### ***Eragin termikoak***

Energia elektromagnetikoa energia termiko bihurtzen denean eragin termikoak sortzen dira. Horiek aztertzen dira gehien.

Maiztasun-tarte horretako, IMen eta MUen tarteko, erradiazioek ez daukate materia ionizatzeko behar adinako energia, baina erasotzen duen irradiatze-energia errotazio-energia bihurtu daiteke. Horrela, energia zinetiko molekularra handitzen da eta beroketa gertatzen da.

Gorputzaren tenperatura-igoera ez da homogeneouski banatzen organismoan eta, ondorioz, tenperatura-gradienteak sortzen dira. Odol-fluxu gutxiko organoak (begiak eta barrabilak) berotzen dira gehien, eta horiek jasaten dute kalte termikorik handiena.

Organismoaren tenperatura erregulatzen duen sistemak ezin badio aurre egin tenperatura-igoera horri, hipertermia gertatzen da. Hipertermiaren ondorioz, tokiko lesioak, erredurak, odoljarioak, nekrosiak edota ehunen heriotza gerta daitezke.

Ildo horretan, potentzia-dentsitate handiko esposizioak ( $10 \text{ mW/cm}^2$  baino handiagoak) gorputzaren tenperatura igotzeko gauza dira.

Oro har, energia-xurgapena beroaren eliminazioa baino handiagoa bada, gorputza berotu egingo da, faktore hauen mende:

- ✓ Eremu elektromagnetikoen barruko banaketa.
- ✓ Gorputzaren tenperatura erregulatzen duten mekanismo pasiboak (kondukzioa).
- ✓ Gorputzaren tenperatura erregulatzen duten mekanismo aktiboak (odol-fluxua, izerditzea eta abar).

Eragin **termikoak** hainbat ataletan gerta daitezke:

1. Nerbio-sisteman
2. Zirkulazio-aparatuan
3. Begietan
4. Sistema hematopoietikoa
5. Entzumenean, sistema neuroendokrinoan
6. Geneetan eta ugalkortasunean

### ***Eragin ez-termikoak***

Gorputzaren tenperatura aldatu ez arren barruko organoetan lesioak zeudela egiaztatu zen. Zenbait teoriak gertakizun hori azaltzen dute, zeinak faktore hauek hartzen baitituzte kontuan:

- ✓ Ehun (mintz biologiko), zelula edo molekulekiko elkarrekintzak.
- ✓ Gorputzean gertatzen diren fenomeno bioelektrikoekiko interferentzia zuzenak (elektroentze-falograma eta elektromiogramen aldaketak).
- ✓ Informazio genetikoaren transmisioan gertatzen diren aldaketak.

Energiaren xurgapena eta banatzea ez-homogeneoak eta iragarrezinak direnez, ezin da asmatu IM eta MUen eragin biologikoak aurrez esateko eredurik.

Animaliekin egindako esperimentazioak eta langileekin egindako ikerketak askotarikoak dira. Horietatik abiatuta zerrendatu dira sintomak, osasun-arazoak eta egitura-aldaketak. Hona hemen eraginaren zerrenda, eragindako sistema eta organoen arabera ordenatuta:

### ► Nerbio-sistemaren gaineko eraginak

- ✓ Buruko minak, astenia, anorexia, nekea, zorabioak, dardarak, loezina, bularraldeko zapalkuntza, izerditzea, hipotonia eta abar azal daitezke.
- ✓ Entzefalogramen behin-behineko aldaketak gertatzen dira.
- ✓ Xurgatutako energiak zenbait sendagairen aurreko erantzunari eragin diezaioke: konbultsioa eragiten duten medikamentuekiko sentikortasuna areagotu, eta, era berean, nerbio-sistema zentralako depresoreen eragina areagotu.
- ✓ Nerbio-ehunen egitura aldatzea eta barrera hematoentzefalikoaren iragazkortasuna handiagotzea. (Barrera hematoentzefalikoa: odol-hodien eta likido zefalorrakideoaren artean dagoen mintz-hesia, bakterio eta toxinak pasatzea saihesten duena.)

Eragin horietan, ezin da baztertu elkarrekintza termikoaz gain beste mekanismoren bat egotea.

### ► Zirkulazio-aparatuaren gaineko eraginak

Zirkulazio-aparatuak: bihotza eta odol-hodiak multzoan hartuta osatzen den nutrizio-sistema da, odolaren eta linfaren zirkulazioaz arduratzen dena.

Hona hemen zer-nolako eraginak izan ditzaketen erradiazioek zirkulazio-aparatuan:

- ✓ Tentsio arteriala aldatzea
- ✓ Bihotz-erritmoa aldatzea
- ✓ Esposizio bortitzetan, bolumen sistolikoa aldatzea

Erregistro elektrokardiografikoan, berriz, ez dago aldaketarik.

▶ **Begien gaineko eraginak**

Erradiazioek begiei ere eragiten diete hainbat eratan:

- ✓ Begi lausoak; begietan opakotasunak sortzen dituzte. Begi lausoa eragiteko, erradiazioak bi ezaugarri hauek bete behar ditu: oso potentzia-dentsitate handia ( $> 150 \text{ mW/cm}^2$ ) eta 500 MHz baino maiztasun handiagoa (batez ere, 2.450 MHz) izatea.
- ✓ Kornea lesionatzen dute: keratitisak diagnostikatu dira erradiazio infragorritik hurbileko mikro-uhinen aurreko esposizioetan.
- ✓ Endekapenezko aldaketak sortzen dituzte erretinan.

▶ **Eragin hematopoietikokoak**

[Organo hematopoietiko](#) nagusiak [hezur](#)-muina, [gongoi](#) linfatikoak eta barea dira. Horien barnean hematopoiesia (odoleko zelulen eraketa) gauzatzen da.

Erradiazioek eragin hauek sor ditzakete sistema horretan:

- ✓ Eritrozito eta leukozitoen kantitateak aldatzea; potentzia-dentsitatearekin erlazionatuta dago.
- ✓  $10 \text{ mW/cm}^2$  baino potentzia-dentsitate handiagoekin, leukozitoetan aldaketak gertatzen dira.
- ✓ Hezur-muinean ez dago inolako lesioren gaineko ziurtasunik.

▶ **Entzumenaren gaineko eraginak**

Lehen aipatu dugun bezala, garun-ehunek energia xurgatzen dutenean presio-uhina sortzen da eta, hezurretan zehar, belarriko Corti-ren organora iristen da eta burrunba bat entzuten da.

▶ **Eragin genetikoak eta zeluletakoak. Ugalketaren eta garapenaren gaineko aldaketak**

- ✓ Aberrazio kromosomikoak eta mitosiaren aldaketak
- ✓ Mitokondrioaren arnasketa-jarduera aldatzen da
- ✓ Zelulak ugaltzearen eta DNAREN sintesiaren aldaketak

$10 \text{ mW/cm}^2$  baino potentzia-dentsitate handiagoa duten mikrouhinen eta irrati-maiztasunen aurreko esposizioek eragin handia izan dezakete ugalketan eta garapenean, estres termikoarekiko oso sentikorak baitira. Alabaina, ezin da baztertu beste eragin ez-termikoren bat egotea.

Estres termikoaren itu-organoa barrabila da, odol-fluxu txikia du eta.

Espermatozoideen sorreran (espermatogenesisian) aldaketak egon daitezke. Hala ere, nekrosia gertatzen ez bada, lesio horiek itzulgarriak izaten dira.

Orain arte azaldu ditugun ondorioak balizkoak badira ere, esan beharra dago ez dela kausazko erlazio garbirik ikusi irrati-maiztasun eta mikrouhinen aurreko esposizioaren eta osasunean ikusitako aldaketen artean. Horregatik, esposizioaren datu gehiago behatu beharko dira.

Gogoratu, bestalde, ezin dela jakin guztiz ziur zein egon diren erradiazioen eraginpean eta zein ez, eta ikerlanetan esposizio-kota ezberdina jasan duten pertsonen erantzunak alderatzen direla.

Ondorioak ateratzeko beste aukera bat litzateke eremu horien guztien eraginpean dauden langileen populazioan ikerketa epidemiologikoak egitea. Ikerketa horien bidez, esperimentalki ikusitako eraginak egiazta edo bazter litezke, datuak estatistikoki adierazgarriak balira.

Eragin termikoak asko ikertu badira ere, oraindik lan handia gelditzen da bai esperimentalki eta bai epidemiologikoki zehaztu ahal izateko erradiazio horiek osasunean eragiten dituzten kalteak.

Ez ahaztu 3. taulan ikusitako erlazioa, maiztasunaren eta xurgaturiko energiaren artekoa.

## 2.4 Erradiazioak neurtzea

0 Hz eta 300 GHz bitarteko erradiazio elektromagnetikoak neurtzeko, eremu elektrikoa (E), eremu magnetikoa (H) eta potentzia-dentsitatea (S) erabiltzen dira.

Elementu igortzaile batetik hurbil gaudenean (**hurbileko barrutia**), fasea eta E eta H bektoreen arteko erlazioa ezezagunak dira. Kasu horretan, eremu elektromagnetikoa definitzeko, E eta H **banaka** neurtu beharko ditugu.

Normalean, hurbileko barrutia elementu igorletik  $\lambda/2\pi$  distantziaraino iristen da, eta, askotan,  $\lambda$  distantziaraino ere onartzen da.

ELFen (50 Hz), mikrouhinen eta irrati-maiztasunen iturrietatik hurbil, neurketak hurbileko barrutian egiten direnez, E eta H neurtu behar dira.

Elementu igortzailetik urrutiago (**urrutiko barrutia**), eremu elektrikoa eta magnetikoa fasean daude. Kasu horretan, S, E eta H-ren arteko erlazioa ezaguna da:

$$\vec{S} = \vec{E} \wedge \vec{H}$$

$$Z_0 = \frac{E}{H} = 120 \cdot \pi \Omega \approx 377 \Omega$$

Neurketa **bakar** bat eginda, E, H edo S neurtuta, beste biak kalkula daitezke.

$$S = \frac{E^2}{120 \pi} \vec{k} = 120 \pi \cdot H^2 \vec{k} = 377 \cdot H^2 \vec{k}$$

#### Erradiazioa neurtzeko ekipoak

Eremuaren intentsitatea (H edo E) edo potentzia-dentsitatea (S) neurtzeko erabiltzen diren ekipoek hiru parte dituzte:

1. Zunda isotropikoak (maiztasunaren eta neurtu nahi dugun eremuaren arabera hautatuko ditugu)
2. Konektatzeko kableak
3. Tresneria

Eremuarekiko sentikorrek diren elementuak zundan daude. Elementu horiek eremuaren osagai bakar batekiko (E edo H) dira sentikorrek. Eremu elektrikoarekiko sentikorrek direnek dipoloak erabiltzen dituzte, eta eremu magnetikoarekiko sentikorrek, aldiz, espirak. Irrati-maiztasunak zundan edo ekipoan detektatzen dira, diodo edo termopareen bidez.

Seinalea zundatik gailura eramateko erabiltzen dira kableak, eta tresnan seinalea prozesatu ondoren, pantailan S-ren balioa bistarazten da.

Ekipoak normalean eramangarriak izaten dira.

Duela urte batzuk erabiltzen ziren ekipoek hiru ardatz koordinatuetan ematen zituzten eremu elektrikoaren eta magnetikoaren osagaiak.

Ekipo horietan neurtzeko, urrats hauek jarraitu behar dira:

1. Eremuak igortzen duen lerroarekiko ardatz koordinatuen hiru norabideak aurkitu.
2. Zunda ardatz bakoitzarekiko perpendikularki orientatu, eta zundaren erdigunea eremu elektromagnetikoa neurtu nahi den puntuan kokatu. Ekipo horien zunda erraketa baten modukoa da, hau da, zirkularra eta laua.
3. Intentsitatearen modulua kalkulatu hiru balioak neurtu ondoren. Horretarako, osagai bakoitza ber bi egin eta gero, guztien baturaren erro karratua kalkulatu behar da.

Gauza bera egin behar da bi eremuekin. Eremu elektrikoaren intentsitatea eta eremu magnetikoaren intentsitatea kalkulatu eta gero, potentzia-dentsitatea kalkulatu behar da.

Ikusten den bezala, nahiko lan neketsua, motela eta akatsak egiteko erraza da.

Gaur egungo ekipoetan zailtasun horiek saihesten dira, eremu elektriko eta magnetikoaren neurketak hiru ardatzetan integratuak ematen baitizkigute. Horrela, zundaren orientazioaren eta eragiketa matematikoen arazoak saihesten ditugu.

Neurketa integratu horiek RMS (*root mean square*) izena hartzen dute. Neurketen emaitzak era digitalean bistararazten dira; eremu elektrikoaren kasuan, V/m-etan, eta eremu magnetikoaren kasuan, berriz, A/m, T edo G-tan.

RMSaz gain eremuaren ardatz koordinatuekiko hiru osagaiak ezagutu nahi baditugu, gaur egungo aparatuek horiek ere eskaintzen dizkigute. Horrela, X, Y eta Z ardatzekiko osagaiak erabili ahal izango ditugu, nahi izanez gero.

Hori guztia gutxi balitz, ekipo modernoek denbora jakin baten batez besteko balioa eta gehienezko balioa ere ematen dizkigute.

Gaur egungo ekipoek ordenagailu txiki batek bezala lan egiten dute, eta memorian datu asko pilatu ditzakete denboran zehar. Datu horiek egunaren bukaeran inprima ditzakegu, eta emaitzak azkar eta txukun bistarazi.

Horrek guztiak, eta ekipoen zein zunden tamaina eta pisua hasierakoak baino txikiagoak izateak, neurketa era errazago eta sinpleago batean egitea eragiten dute. Badute beste abantaila bat ere: duela hamar urteko ekipoek baino neurketa askoz zehatzagoak egiten dituzte.

Pantaila digitalak agertzeak neurketen balio zehatzak ezagutzea ahalbidetu zuen, eta, horrela, ekipoaren errorea txikia izaten da, % 1, % 2 edota % 3, gehienez.

Beste garai bateko ekipoek pantaila analogikoan adierazten zuten neurketa zirkulu graduatu batean, orratz baten bidez. Orratzak dar-dar egiten zuen, eta prebentzioko teknikariak eremuaren balioa irakurri behar zuen zirkulu graduatuan. Orratza zirkulu graduatuko bi marren artean bazegoen, teknikariak iritzira irakurri behar zuen. Horren kariaz, zehaztugabetasuna ekipoarena baino handiagoa izan zitekeen.

Neurketa egiten ari den teknikaria bera da neurketako erroreak eragin ditzakeen beste faktore bat. Giza gorputzak eremu elektrikoaren indar-lerroak distortsiona ditzake, ekipoaren zundatik hurbil badago.

Interferentzia saihesteko, ekipo batzuek pantaila gehigarri bat dute, ekipo neurtzailera lotuta zuntz optikozko kable baten bidez. Horrela, teknikariak balioak unean bertan irakurtzen ditu ekipotik bi edo hiru metrora kokatuta.

Ekipoak neurketen balioak memorian gordetzen baditu, tripode baten gainean ezar daiteke eta teknikaria handik urrutiratu neurketak egiten diren bitartean.

Oso inportantea da ondo hautatzea zein puntutan egingo diren neurketak. Azalera islatzaileek fokutik igorritako erradiazioa faltsutu dezakete haietatik hurbil egindako neurketetan. Azalera horiek puntu bateraino bestela iritsiko ez liratekeen uhinak islatzen dituzte, edota inguruko beste ekipoek igorritako uhinak.

Erradiazioa lanpostuan neurtu behar denean, ezin da neurtzeko puntua aukeratu, langilea aritzen den lekua baita. Kasu horretan, langileak erabiltzen ez duen beste ekiporen batek igortzen dituen erradiazioak edo islapenen bat iristen bada, kontuan hartuko dugu, langilearenganaino iristen diren erradiazio guztiak interesatzen baitzaizkigu, hau da, jasaten duen guztizko erradiazioa.

Lanpostuari aldi berean lan egiten duten bi ekipo edo gehiagotako erradiazioek erasotzen badiote, ekipo bakoitzaren eremu elektrikoa eta magnetikoa neurtu beharko dira, beste ekipoa guztiz itzalita dagoela. Kasu horietan, iristen diren erradiazioak onargarriak izan daitezzen hau bete behar da:

**0 eta 60 Hz** bitarteko maiztasunetarako:

$$\sum_i \frac{E_i}{E_{L,i}} \leq 1 \quad \text{eta} \quad \sum_i \frac{H_i}{H_{L,i}} \leq 1$$

60 Hz eta 700 Hz bitarteko maiztasunetarako:

$$\sum_i \frac{E_i}{E_{L,i}} + \sum_i \frac{H_i}{H_{L,i}} \geq 1$$

Bukatzeko, 700 Hz eta 300 GHz bitarteko maiztasunetarako:

$$\sum_i \left( \frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leq 1 \quad \text{eta} \quad \sum_i \left( \frac{H_i}{H_{L,i}} \right)^2 \leq 1$$

$E_i$  eta  $H_i$  eremu elektriko eta magnetikoen osagaiak dira, eta V/m eta A/m-tan neurtzen dira, hurrenez hurren.  $E_{L,i}$  eta  $H_{L,i}$ , maiztasun horietan aplikatu beharreko erreferentzia-mailak dira, arauak emandakoak.

Aurki dezakegun beste arazo bat da erradiazioa pultsatua izatea (oso arrunta radarretan eta beste zenbait ekipotan). Kasu horretan, erradiazioa denbora-tarte finko batean behin gertatzen da, eta oso denbora gutxi irauten du (segundoaren hamarren, ehunen edo milaren heinekoa); erradiazioaren gailur-balioak neurtu beharko ditugu.

Irakurketa analogikoko ekipoz neurtzea oso zaila da, orratzaren posizioa une batean zehaztu behar delako eta horrek zehazgabetasuna eragiten duelako.

Irakurketa digitaletan ekipoz neurtzen badugu, ostera, balio maximoa memorian gorde daiteke inongo arazorik gabe, eta kezkatu behar gaituen gauza bakarra zunda egokia aukeratzea da, bere erantzun-denboran hain epe laburrean gertatzen den balio hori detektatzeko gai izan dadin.

Ikusi dugun bezala, erradiazio elektromagnetikoen neurketa zuzena eta egokia izan dadin, ekipa eta neurketa-metodo egokiak aukeratu behar dira, urrats hauek jarraituz:

1. ZER? Neurtu behar dugun erradiazioaren ezaguera ahalik eta sakonena: maiztasuna, potentzia, modulazio mota (jarraitua bada, RMS balioa neurtuko dugu eta pulsatua bada, balio maximoa) eta abar.
2. NON? Neurtzeko puntua ikertzea. Horretarako, galdera hauei erantzun behar zaie: hurbileko edo urrutiko barrutian dago? Erradiazio islatuak jasaten ditu? Beste ekiporen batek igorritako erradiazioak iristen zaizkio?

3. NOLA? Neurgailu eta unitate egokiak hautatzea neurtu behar ditugun erradiazioak ebaluatzeko: neurtu behar dugun maiztasun-tartea neurgailuak barne hartzea; zunda egokia izatea; neurgailuaren erantzun-denbora erradiazio pulsatuko balio maximoak detektatzeko adinakoa izatea eta abar.

Agerian geratu den bezala, neurtze-prozesua ez da hasiera batean dirudien bezain erraza. Erradiazioei eta ekipoei buruzko ezaguera teknikoaz gain, teknikariaren eskarmentuak eta praktikak ematen dituzten beste hainbeste faktore ere oso garrantzitsuak dira. Urteetan zehar antzeko ezaugarri eta arazoak dituzten ekipoekin aritzea oso lagungarria da erradiazioen eta neurgailuaren ezaguerarako.

### ■ Erreferentziako balioak

Magnitude dosimetrokoak aipatu genituenean, SARa bereziki garrantzitsua zela esan genuen, eta, horrenbestez, berriz ere aztertuko dugu.

4 W/kg-ko SARa, gorputz osoan 6 minutuan banatuta, nahikoa da ehunen tenperatura 1 °C igotzeko. Horregatik, 10eko segurtasun-koefizientea aplikatuta, gehieneko balio onargarria proposatzen da, hau da,  $SAR \leq 0,4$  W/kg.

Onartutako gehieneko balio horretatik abiatuta ( $SAR = 0,4$  W/kg), kanpoko eremu elektriko eta magnetikoaren intentsitateen balioak kalkulatu dira, eta horiek dira gainditu behar ez diren erreferentziako balioak.

0,4 W/kg-eko SARa gorputz osoan homogeneouski banatuko balitz bezala kalkulatu denez, gerta daiteke oso zati txikitik oso balio handiko SARa edukitzea, batez besteko balioak arauak emandako erreferentziako balioa betetzen badu ere, hau da, erreferentziako balioa baino txikiagoa bada ere. Beraz, ezin da edozein balio onartu, eta odol-fluxu txikiko ataletan, hau da, gutxi hozten diren parteetan, mugako beste balio batzuk finkatu behar dira; adibidez, kristalino eta testikuluetarako mugako balio espezifikoak finkatu dira.

Balio horiek gorputzeko atal txikiei aplikatzen zaizkie, eta horretarako, 10 g-ko masako kubo bat jotzen da eredutzat. Adibidez, gorputz-adarretan —hau da, eskuetan, eskumuturretan, oinetan eta orkatiletan—,  $SAR \leq 20$  W/kg bete behar da, eta gainerako ataletan —buruan, lepoan eta gorputz-enborrean—, berriz,  $SAR \leq 10$  W/kg.

SARa kalkulatu egin daiteke, eta zenbait kasutan, neurtu, baina praktikan SARaren neurketak ez direnez erraz egiten, normalean, potentzia-dentsitatea ( $mW/cm^2$ ), eremu elektrikoaren intentsitatea (V/m) edo eremu magnetikoaren intentsitatea (A/m) neurtzen dira.

Laneko arriskuen prebentziorako 31/1995 Legea indarrean dagoenetik, 0 Hz eta 300 GHz bitarteko maiztasuneko eremu elektromagnetikoak aurrekusi behar diren arrisku orokorren kategorian sartuta daude; ez daukate esposizio-mailak arautzen dituen berezko legeriarik, baina badituzte arriskua ebaluatzeko arauak.

Oro har, eremu elektromagnetikoen aurreko lan-esposizioei erradiazio optikoen aurrekoei aplikatzen zaien legeri orokor berbera aplika dakieke, alegia:

- ✓ Langileen osasuna eta segurtasuna babesten duen legedia: 31/1995 Legea, 39/77 ED, prebentzio-zerbitzuen gainekoa; [1215/1997 ED](#), lan-ekipoen ingurukoa.
- ✓ Ekipoen komertzializazioari aplikatzen zaion segurtasunari buruzko legea; [1435/1992 ED](#), makinei buruzkoa.
- ✓ Energia elektriko banatzeari eta garraiatzeari dagokienez, nahitaezkoa da goi-tentsioko lineen araudia betetzea: MINER D 3151/68, azaroaren 28koa; 1969/03/08 BOE (ikus MTASeko NTP-73)

Gaur egun ez dago 0 Hz eta 30 GHz bitarteko maiztasuneko eremu elektromagnetikoen aurreko lan-esposizioa arautzen duen berezko legeriarik, eta hala izango da Europar Batasunak direktiba baten bidez eragile fisikoen erreferentziazko balioak argitaratu arte. (*Direktiba*: estatuetako legediak harmonizatzea helburu duen egintza loteslea. Irismen orokorrik ez duenez, estatuei zuzentzen zaie, eta, eragin zuzenik ez duenez, estatuetako barne-arau bereziak behar ditu estatu-legedietan integratzeko. Emaizta lortzeko betebeharra baino ez du zehazten, eta estatuen esku uzten ditu emaitzak lortzeko modu eta baliabideak).

Eztabaida eta kezka handiak sortu dituen arriskua izanda, CEN/CENELEC (Normalizazio Elektronikorako Europar Batzordea) erakundeak 1995. urtean, modu esperimentalean, eremu elektromagnetikoen aurreko esposizioari buruzko bi arau argitaratu zituen; AENORek 1996an eman zituen argitara Espainian.

- ✓ [UNE-ENV 50166-1](#) araua, behe-maiztasuneko (0 Hz-etik 10 kHz-era) EEMen aurreko giza esposizioari buruzkoa.
- ✓ [UNE -ENV 50166-2](#) araua, goi-maiztasuneko (10 kHz-etik 300 GHz-era) EEMen aurreko giza esposizioari buruzkoa.

Arau horiek behin-behinekoak ziren, eta erabilerarekin eskarmentua hartzea zen asmoa. Behin betikoak izatera iritsi baino lehen, aldaketak egin zitezkeen esperientzia edo datu berriak kontuan hartuta.

Laborategietan egindako esperimentazioetatik eta ikerketa epidemiologikoetatik ateratako datu onenak kontuan hartuta idatzi ziren arau haiek 1995ean. Adituen nazioarteko erakundeen (ICNIRP, ANSI/IEEE, IEC) gidetan bildutako eta baloratutako balioak ziren. Arauak esperimentalak zirenez, 1997an berraztertu ziren, eta, informazio gehiago lortzen zen bitartean, hiru urtean indarrean jarraitzeko erabakia hartu zen.

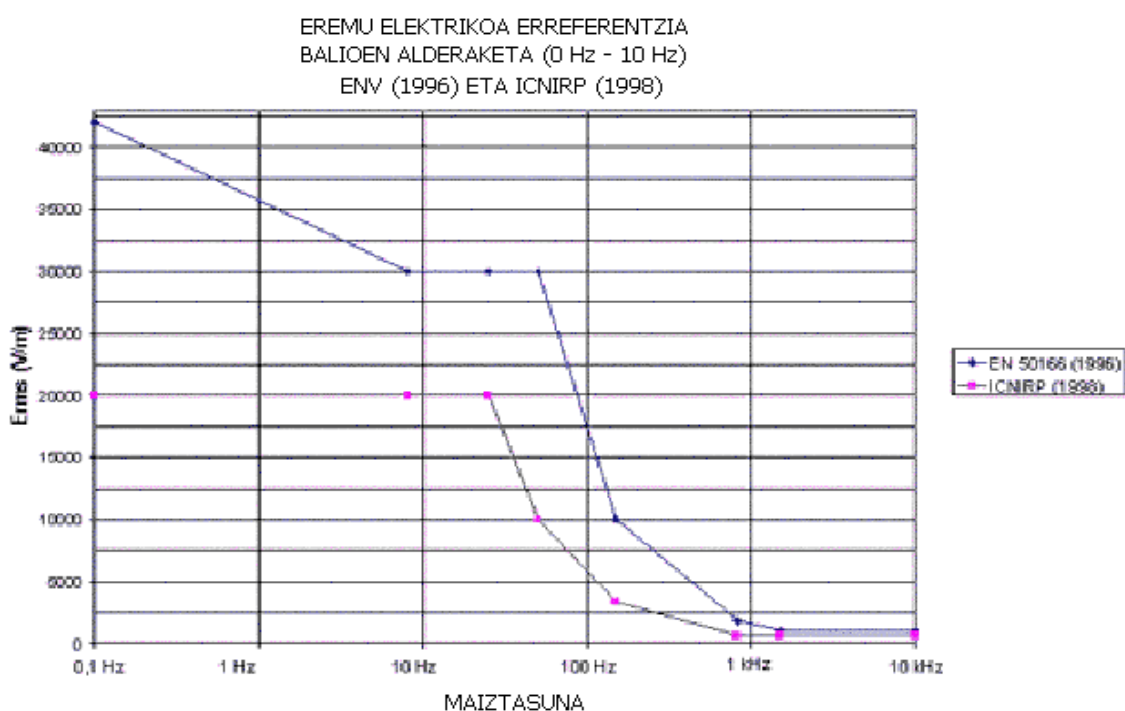
Hiru urteak pasatu zirenean, arau horiek indargabetu egin ziren, eta gaur egun CNNTk eta INSHTk beren neurketetan lortutako balioak alderatzen dituzte ICNIRPek 1998an argitaraturiko erreferentziazko balioekin.

Balio horiek eta egindako ikerketak <http://www.icnirp.de/documents/emfgdlesp.pdf> web orrian kontsulta daitezke.

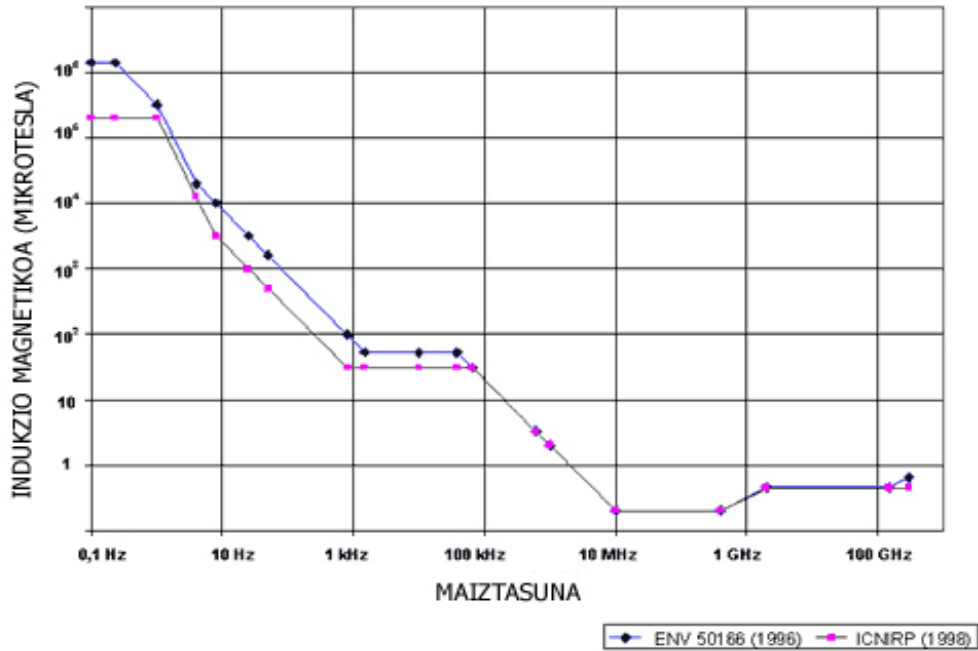
ICNIRPk eremu elektromagnetiko alternoen aurreko esposizioa mugatzeko gida argitaratu zuen. Bertan 300 GHz-erainoko maiztasun guztiak biltzen dira, eta aurreko gida guztiak ordezkatzeko ditu. Aurreko balioen antzekoekin jarraitzea proposatzen du ICNIRPk, sare elektrikoko ohiko maiztasunetan izan ezik (50 Hz); horientzat aurreko gidetan baino erreferentzia-balio txikiagoak proposatzen dira. Proposamen horrek Europar Batasunaren etorkizuneko arauen aldatetetan zerikusia izan dezake.

ICNIRPen eta ENV 50166aren arteko alderaketa ikusten da datozen orrietako tauletan eta grafikoetan.

ICNIRPkoen erreferentzia-balioak ENV 50166koenak baino txikiagoak dira maiztasun baxu eta ertainetan (bi eta hiru aldiz txikiagoak batzuetan); goiko maiztasunetan, 10 MHz-etik aurrera, aldiz, berdinak dira, gutxi gorabehera.



EREMU MAGNETIKOA  
ERREFERENTZIA BALIOEN ALDERAKETA



EREMU ELEKTRIKOA  
ERREFERENTZIAZKO BALIOEN ALDERAKETA

MAIZTASUNA	$E_{RMS}$ (V/m)	
	ICNIRP (1998)	ENV 50166 (1996)
0,1 Hz		42.000
8 Hz	20.000	
25 Hz		30.000
50 Hz	10.000	
150 Hz	3.333	10.000
820 Hz		1.829
1500 Hz		
10 kHz		
38 kHz	610	1.000
65 kHz		
614 kHz		
1 MHz		614
10 MHz		
400 MHz	61	61,4
2 GHz		
150 GHz		137
300 GHz	137	194

EREMU MAGNETIKOA					
ERREFERENTZIAZKO BALIOEN ALDERAKETA					
MAIZTASUNA	$B_{RMS}$ (mT)		$H_{RMS}$ (A/m <sup>2</sup> )		
	ICNIRP (1998)	ENV 50166 (1996)	ICNIRP (1998)	ENV 50166 (1996)	
0,10 Hz	200	1.400	163.000	1.591.549	
0,23 Hz				1.114.084	
1 Hz				254.648	
4 Hz	12,5	20	10.187,5	15.915	
8 Hz	3,125	10	2.500	7.961,8	
25 Hz	1	3,2	800	2.547,8	
50 Hz	0,5	1,6	400	1.273,9	
820 Hz	0,0307	0,098	24,4	77,7	
1500 Hz		0,053		42,2	
10 kHz				0,31	42,1
38 KHz					24,6
65 kHz					
610 kHz	0,003		2,6		
1 MHz	0,002		1,6		
10 MHz	0,0002		0,16		
400 MHz			0,163	0,16	
2 GHz	0,0004	0,0005	0,364	0,36	
150 GHz	0,00045				
300 GHz	0,00045				0,001

Oro har, osagai magnetikoa baino ez da neurtzen.

ACGIHk argitaraturiko erreferentziazko balioak zein bere aldetik aipatzen ditu TLVak (*threshold limite value*), erradiazio horien osagai elektrikoa (E) eta osagai magnetikoa (H); izan ere, osagai horien proportzio erlatiboa askotarikoa izan daiteke.

Beti bezala, muga horiek esposizioaren kontrolerako gidak besterik ez dira, ez baitira maila segurua eta arriskutsua banatzen dituzten muga garbiak.

0 Hz eta 300 Hz bitarteko maiztasunen (ELF) kasuan, laneko esposizioak gainditu behar ez duen muga bat du,  $B_{TLV} = 60/v$ , non  $v$  maiztasuna hertzetan (Hz) eta  $B_{TLV}$  fluxu magnetikoaren dentsitatea militeslatan (mT) adierazita diren. Baina gorputz-adarretan beste balio batzuk aplikatzen dira: esku eta oinetan 2 mT, eta beso eta hanketan, 1 mT.

300 Hz eta 30 kHz bitarteko maiztasunen kasuan, muga-balioa 0,2 mT-koa da, bai atalkako esposizioetan eta bai gorputz osoko esposizioetan.

### 2.5 Eremu eta uhinen aurkako babesa

Askotan aipatu dugun bezala, eremu elektromagnetiko baten arriskua kontuan hartzeko modukoa izan dadin, bi ezaugarri bete behar ditu: eremua bortitza izatea eta bere inguruan lanposturen bat egotea.

Arriskua ezaugarri hauen araberakoa da:

- ✓ Ekipoaren igortze-maiztasuna
- ✓ Potentzia
- ✓ Iturriarekiko distantzia
- ✓ Esposizio-denbora
- ✓ Gorputzaren tamaina eta eremuarekiko orientazioa

Erradiazio elektromagnetiko guztietatik (espektrio elektromagnetikoko erradiazio guztiak, ionizatzaileak barne) babesteko modurik eraginkorrena eta errazena foku igortzailetik ahalik eta gehien urrutiratzea da, jasotzen den erradiazioa iturriaren eta pertsonaren arteko distantziaren karratuarekiko alderantziz proportzionala baita.

Zoritxarrez, zenbait kasutan urrutiratzea ezinezkoa da lan motagatik edota lanpostuaren kokapen finkoagatik.

Prebentzioko arlo guztietan bezala, babesteko erarik onena ordena honetan jardutea da:

#### 1. Arriskua sortzen duen **iturrian**.

Eremu elektromagnetikoen iturriek egoera onean egon behar dute, eta beharrezko babesak eduki behar dituzte, esate baterako, metalezko karkasak, saretak eta kristalak. Horrela, ez da ihesik gertutako eta, ondorioz, erradiazioa ez da iritsiko lanerako behar ez den lekuetara.

2. Iturrian ezin bada, **laneko ingurunean** (transmisio-ingurunean) eragin behar da.

Igortze-iturria kontu handiz zaindu behar da egoera onean egonda ere. Ereku elektromagnetikoen balioak lanpostuetan edo nahi ez den lekuetan onargarriak baino altuagoak balira, zona horiek babestu beharko lirateke pantailatzeekin. Adibidez, metalezko xaflak, metaldun beirazko pantailak, egurrezko oholak dituzten harri-hormak, berunezko xaflak (erradiazio bortitzetarako) eta abar erabili beharko dira.

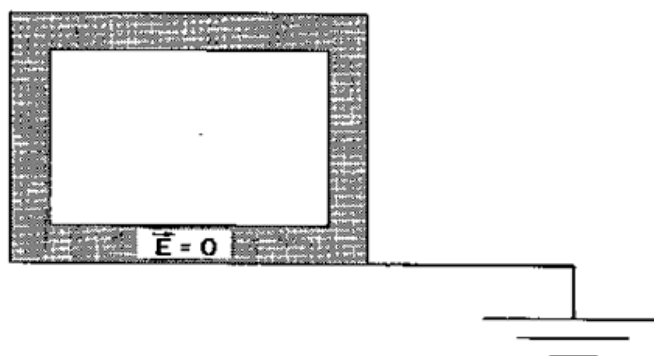
3. Aurrekoetan eragin ondoren, nahikoa ez balitz, **persona** bera babestu beharko litzateke, **norbera babesteko ekipamendua** (NBE) erabiliz. Adibidez, eskularruak, betaurrekoak, oinetakoak, jantziak eta abar.

Beti ere, dauden erradiazioetarako ekipo egokiak erabili behar dira.

#### 0 Hz eta 10 kHz bitarteko eremu elektromagnetikoen aurkako babes-neurriak

Oso maiztasun txikiko eremu elektromagnetikoaren izaerak eta lan-inguruak berak zaila egiten dute, gehienetan, iturri igorlean zuzenean eragitea.

Ereku elektrikoari dagokionez, badago espazioko zona bat isolatzeko metodo bat: Faraday-en kaiola. Kaiolaren barruan langilea edota eremuaren iturria sar daitezke; lurrera konektaturiko metalezko paretak dituen esparru batean ixten da isolatu nahi dena.



2.4. irudia. Faraday-en kaiola.

Jakina, iturria isolatzeko metodo hori ezin da beti erabili; iturriaren dimentsioek ahalbidetzen dutenean bakarrik erabiltzen da, adibidez, transformadoreetan; garraio-lineetan, berriz, ezin da erabili.

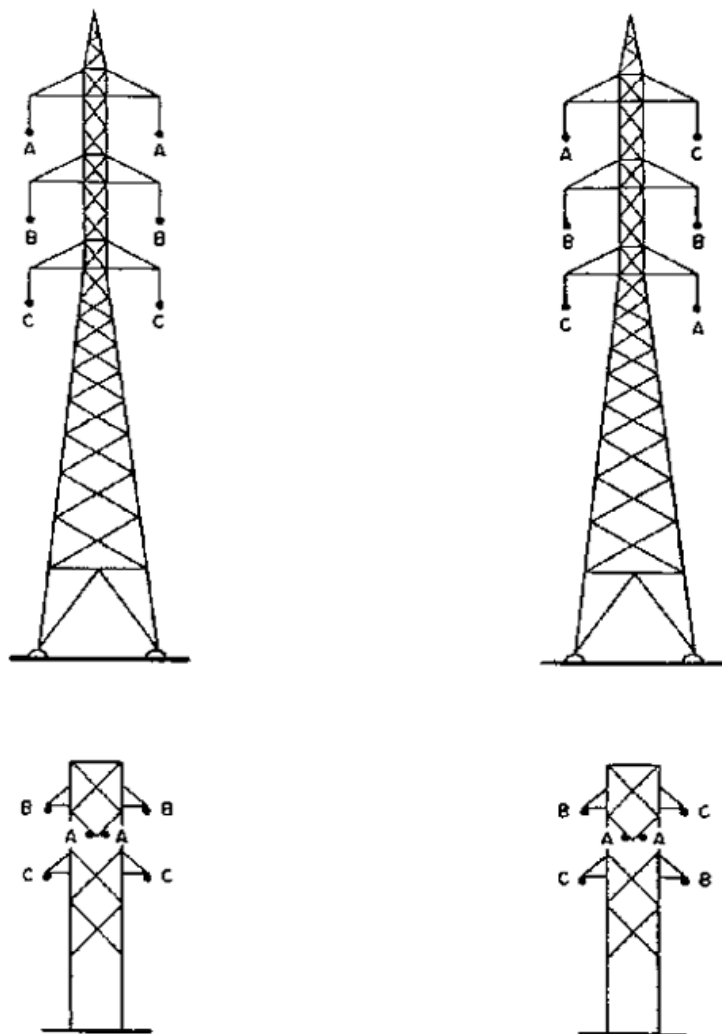
Bestalde, eremu magnetikoa konfinatzea zaila da, eta gorputzean oso erraz sartzen da, gainera. Ereku magnetikoa isolatzeko, material elektromagnetikoak erabil daitezke. Hala ere, isolamendu mota hori kontrol-neurri garestia denez, tresneria zientifikorako bakarrik erabiltzen da. Horregatik, metodorik gomendagarriena eta merkeena langilea igorle-fokutik urrutiratzea da.

Garraio-lineetan eta beste zenbait konfiguraziotan, eremu magnetikoaren arriskua txikiagotzeko, badago fokuari eragiten dion metodo bat: faseak txandakatzea (2.5. eta 2.6. irudiak). Faseak txandakatzearekin batera, eremu magnetiko erresultantea txikiagotzen da. Irudi hauetan, eskuineko konfigurazioek inguruko eremu magnetiko txikiagoa dute ezkerrekoek baino.

Lurpeko lineetan ere, hiru faseak trinkotu ondoren fluido oliotsuz beteriko altzairuzko hoditerian sartzeak inguruko eremu magnetikoa txikiagotzen du.



2.5. irudia. Faseak fluido oliotsuz beteriko altzairuzko hoditerian.



2.6. irudia. Faseak txandakatuta.

Kontrolerako neurri gisa, hau gomendatzen da:

- ✓ Eremu elektromagnetiko handiak eragingo dituen edozein proiektu ebaluatzea, arriskuak eta kontrol-neurriak zehazteko.
- ✓ Ekipoaren diseinu egokia egitea, tentsio handiak edo korrante induzitu handiak txikiagotzeko.
- ✓ Ez jartzea oso maiztasun txikiko eremu elektromagnetikoen aurrean, guztiz beharrezkoa ez bada. Hau da, esposizioa saihestea.
- ✓ Eremu magnetiko bortitzen eta goi-tentsioko eremuen alderdietarako sarrera mugatzea eta kontrolatzea.
- ✓ Eremua dagoen barrutia behar bezala seinaleztatzea.
- ✓ Eguneko esposizioaren iraupena murriztea, eragindako deserosotasunaren arabera. Zenbat eta deserosotasun handiagoa eragin, orduan eta denbora gutxiago egon behar da eremuaren aurrean.
- ✓ Eremu elektrikoen intentsitatea murrizten duten jantziak eta gailuak erabiltzea.
- ✓ Esposizioan dauden langileen osasun-kontrola egitea.

Taupada-markagailua daukaten langileei dagokienez, teknologiak kanpoko eremu elektrikoen eragina txikiagotu du nabarmen. Haatik, inplantea egin duen medikuaren eta fabrikatzailearen aholkuak bilatu behar dira. CENELEC erakundeak interferentziei eta taupada-markagailuei buruzko arau bat argitaratu du: EN 50061:1988/A1:1995.

### 100 kHz eta 300 GHz bitarteko eremu elektromagnetikoen (im eta mu) aurkako babes-neurriak

Babes-neurrien artean aplikagarriena distantzia handitzea da, eta horrekin batera, badaude beste batzuk, hala nola iturria ixtea, metalezko sareten bidez pantailatzea, panel zulatuen bidez pantailatzea eta abar.

#### ► Igorlearen eta hartzailearen arteko distantzia handitu

Urrutiko barrutiko puntu jakin batean dagoen esposizioa, erradiazioa, iturriaren eta puntuaren arteko distantziaren karratuarekiko alderantziz proportzionala da. Beraz, ahal den guztietan iturritik urruntzea oso neurri merkea, erraza eta aplikagarria da. Segurtasun-tartea seinaleztatuta lortzen da hori. Ikus dezagun nola kalkulatu segurtasun-tartea formula erraz baten bidez, eremuaren gehienezko potentzia-dentsitatea (S) jakinda.

Eremuaren intentsitatea ekuazio honen bidez kalkula daiteke:

$$S = \frac{P \cdot G_d}{4 \cdot \pi \cdot d^2}$$

- ✓ S = eremuaren potentzia-dentsitatea (W/cm<sup>2</sup>), antenatik d distantziara dagoen puntu batean
- ✓ P = igortze-potentzia izendatua (W)
- ✓ G<sub>d</sub> = antenaren potentzia-irabazia (seinale batek gailuaren irteeran duen tamaina, sarreran zuenarekin parekatuta)
- ✓ d = antenarainoko distantzia (cm)

Iturriaren eta hartzailearen artean erradiazioa xurga ala isla dezaketen parametroak ere kontuan hartu behar dira, haien indargabetzea, hain zuzen ere. Beraz:

$$S = \frac{P \cdot G_d}{4 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot At}$$

- ✓ At = indargabetzea

Antenaren irabazia dezibeleetan (dB) neurtzen da, eta esanahia adierazpen honekin uler daiteke:

$$L_g = 10 \cdot \log \frac{P_i}{P}$$

- ✓ P<sub>i</sub> = antenak igortzen duen potentzia, (W)
- ✓ L<sub>g</sub> = antenaren irabazia, (dB)

Indargabetzea ere, blindajearen eraginkortasuna neurtzen duena, dezibeleetan neurtzen da. Eta honela kalkula daiteke:

$$At = 10 \cdot \log \frac{P_r}{P_t}$$

- ✓ P<sub>t</sub> = paramentuan zehar transmitituriko potentzia, hau da, esposizio-puntuan benetan dagoena.

Potentzia-dentsitatearen formulako  $G_d$  eta  $At$  honela kalkulatzen dira:

$$G_d = 10^{\frac{L_g}{10}} = 10^{\frac{10 \log \frac{P_i}{P}}{10}} = \frac{P_i}{P}$$

$$At = 10^{\frac{L_{At}}{10}} = 10^{\frac{10 \log \frac{P_i}{P_t}}{10}} = \frac{P_i}{P_t}$$

Ondorioz, hau da  $S$  potentzia-dentsitatea ez gainditzeko gorde behar den foku igoerlearekiko gutxieneko distantzia zentimetrotan:

$$d_{GUTX} = \sqrt{\frac{P \cdot G_d}{4 \cdot \pi \cdot At \cdot S}}$$

Antenek fabrikatik potentzia-irabazi ezaguna badute ere, kalkulatu ere egin daiteke, adierazpen honen bidez:

$$G = \frac{4 \cdot \pi \cdot A}{\lambda^2}$$

- ✓  $A$  = Antenaren azalera eraginkorra ( $\text{cm}^2$ )
- ✓  $\lambda$  = Uhin-luzera (cm)

**Ariketa:**

200 W-eko potentzia izendatua duen antena batek 1 GHz-eko maiztasuneko erradiazioa igortzen du eta, norabide jakin batean, 15 dB-eko potentzia-irabazia du. Kalkula ezazu gutxieneko distantzia:

- a) 5 dB-eko indargabetzea badago
- b) 10 dB-eko indargabetzea badago

► **Iturria ixtea. Pantailatzea**

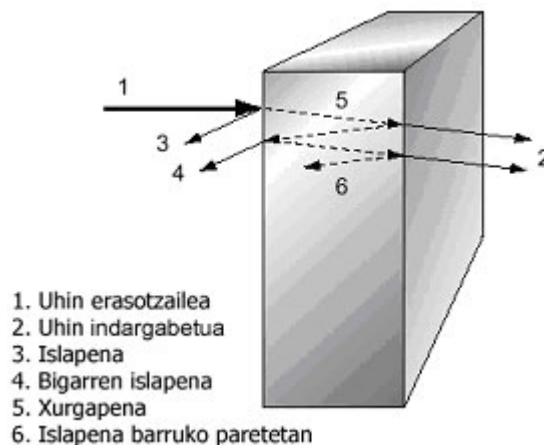
Iturritik urruntzea ezinezkoa denean, gelak eraiki daitezke pertsonak erradiazioetatik babesteko. Geletako materiala metalezko xaflen arteko egur kontratxapatua da. Irekidura guztiek pantailatuta egon behar dute islatzen den edozein erradiazio xurgatu ahal izateko.

Sistema hori ezin bada erabili, potentzia-dentsitatea indargabetu (leundu) behar da pantailatze egokiaren bidez. Pantailak era askotarikoak dira: metalezko xaflak, zentimetro karratuko hari kopuru bateko edo besteko metalezko sareak, kristalezko leihoak, egurrezko estaldurak, hormigoizko blokeak eta abar.

Oro har, pantailatzeko, metalezko xaflaz egindako "kutxak" erabiltzen dira, lurrera konektatuak. Lortzen den indargabetzea aldagai hauen mendekoa da:

- ✓ Xaflen lodiera. Metalaren dentsitatearen arabera pisu handikoak izan daitezke, eta horrek arazoak sortzen ditu. Era berean, kostu handikoak izan daitezke.
- ✓ Iragazkortasun magnetikoa
- ✓ Metalaren eroankortasun elektrikoa
- ✓ Iturritik pantailarainoko distantzia
- ✓ Uhinaren maiztasuna

Indargabetzea islapenaren eta xurgapenaren emaitza da, irudian ikusten den bezala.



2.7. irudia. Islapena eta xurgapena pantaila batean zehar.

Badaude pantailak, erradiazioaren maiztasuna eta dagokien indargabetze-faktorea biltzen dituzten taulak.

### ► Metalezko sareta

Metalezko sareak metalezko kableen bilbadurak dira. Saretetan, kontuan hartzen dira  $t$  metalaren lodiera eta  $g$  sare-begia (kableen arteko distantzia).

Saretetan,  $t/g$  erlazioa 0,01 eta 0,1 bitartekoa izaten da; askotan, 0,05 ingurukoa. Normalean  $g$ -ren balioa 0,5 mm eta 5 cm bitartekoa izaten da.

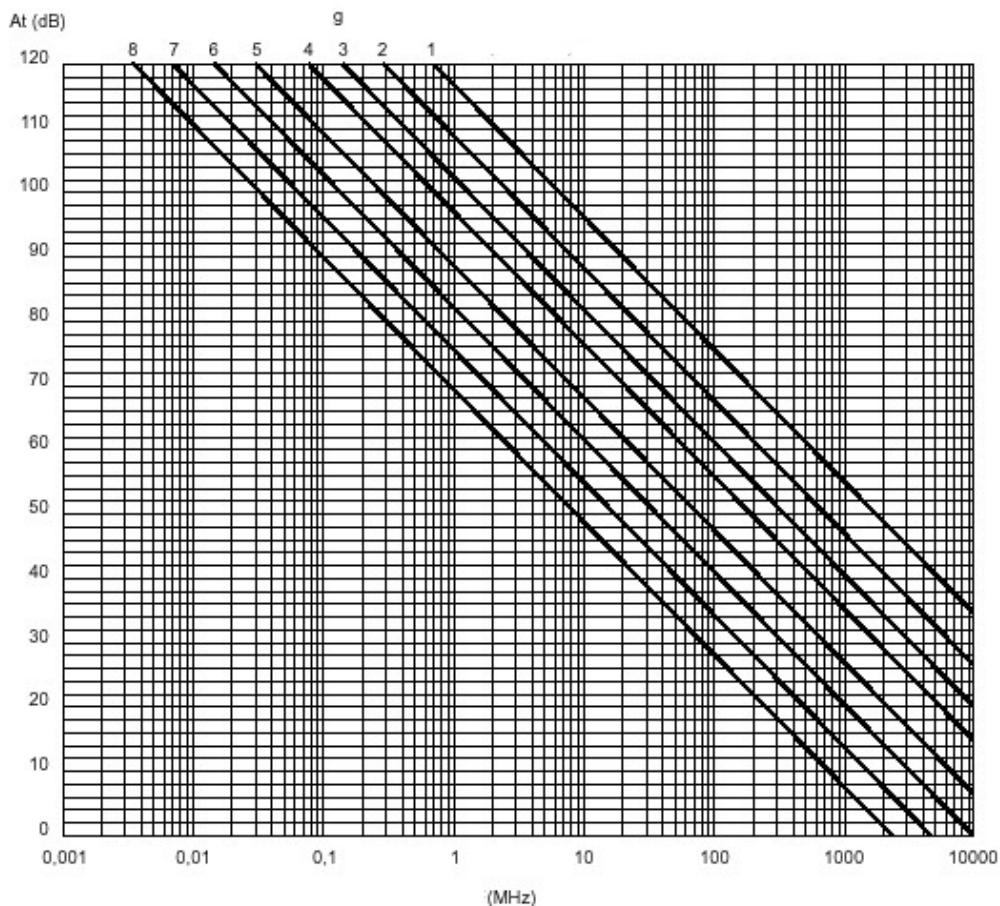
Blindajearen eraginkortasuna edo indargabetzea ( $A_t$ ), funtsean, islapenaren ondorioa da.

Metalezko sareak, gehienbat, urrutiko barrutian erabiltzen dira, hau da, pantailatik fokurainoko distantzia uhin-luzeraren seirena baino handiagoa denean ( $d > \lambda/2\pi$ ). Hau da indargabetzearen adierazpena:

$$L_{A_t} = 20 \log \left( \frac{\lambda/2}{g} \right) = 20 \log \left( \frac{c}{2g \cdot v} \right) = 20 \log \left( \frac{15.000}{g \cdot v} \right)$$

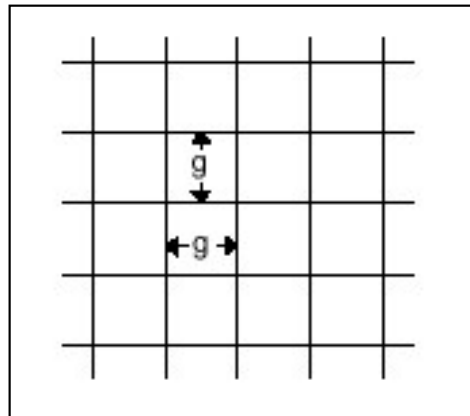
- ✓  $\lambda$  = uhin-luzera
- ✓  $c$  = argiaren abiadura ( $3 \cdot 10^{10}$  cm/s)
- ✓  $g$  = kablearen lodiera
- ✓  $v$  = maiztasuna MHz-etan

Indargabetzeak (leuntzea) maiztasunarekiko daukan mendekotasuna grafikoki ikus dezakegu g-  
ren zenbait baliotarako:



2.8. irudia. Metalezko sareten indargabetzea.

Sare-begiaren tartea: g	
1	0,025 cm
2	0,064 cm
3	0,127 cm
4	0,254 cm
5	0,64 cm
6	1,27 cm
7	2,54 cm
8	5,08 cm



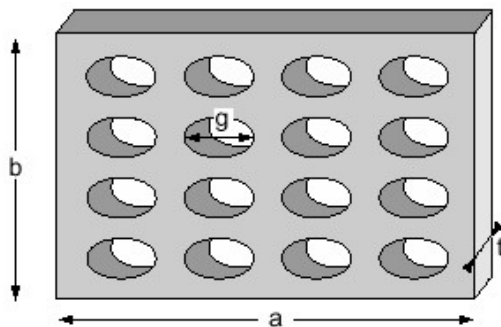
2.9. irudia. Sare-begiaren tartea.

**Ariketa:**

1 GHz-eko maiztasuneko mikrouhinak igortzen dituen foku bat 0,25cm-ko begi-sare tartea duen aluminiozko sareta baten bidez pantailatu da. Sareta jarri baino lehen potentzia-dentsitatea 50 W/m<sup>2</sup>-koa bazen puntu jakin batean, ondoriozta ezazu pantaila ezarrita erreferentzia-balioa gaindituko den ala ez.

► **Panel zulatua**

Pantailatzeko beste metodo bat metalezko panel zulatua erabiltzea da.



$$L_{At} = 32 \cdot \frac{t}{g} + 4 + 20 \log \frac{\left(\frac{D}{g}\right)^3}{N}$$

$$D = \sqrt{b \cdot a}$$

- ✓ t = panelaren lodiera (cm)
- ✓ g = zuloen diametroa (cm)
- ✓ b = panelaren altuera (cm)
- ✓ a = panelaren zabalera (cm)
- ✓ D = formularen ikusten den bezala, zabalera eta altuera arteko batezbesteko geometrikoa (cm)

Panel zulatua metalezko saretatzat har daiteke; horregatik, indargabetzea lehen adierazitako bi era horietan kalkula daiteke. Hala ere, emaitza gisa, beti bezala, baliorik txarrena hartuko da.

### **Ariketa:**

27 MHz-eko erradiazioa pantailatzeko, panel zulatua erabili da. Panela 0,5 cm-ko lodierakoa eta 50 x 70 cm-ko dimentsiokoa da. Egindako zuloen diametroa 0,6 cm-koa bada eta zuloen erdiguneen arteko distantzia 2 cm-koa, kalkula itzazu:

- a) Indargabetzea.
- b) Foku igorlearen gehieneko potentzia-dentsitatea egoera onargarria izan dadin.

### ► **Leiho optikoa**

Barruan gertatzen ari dena ikusteko leihoa behar denean, adibidez, mikrouhin labeetan edo erresonantzia magnetikoan, bi aukera daude:

- ✓ Lehen aipatu dugun motako metalezko sareta bat txertatzen da material gardenezko lamina batean.
- ✓ Metalezko geruza fin bat txertatzen da material gardenezko xafla batean

Lehenengoaren abantaila garrantzitsuena argi ikusgaia oso erraz transmititzea da. Kristaletan txertatzen den metalezko saretaren indargabetzea lehen esan bezala kalkulatu da, kontuan hartuta g-ren balioa 0,25 eta 0,5 bitartekoa dela.

Bigarrenek egonkortasun handiko metal baten (urrea, adibidez) geruza fin-fin bat dute, 1 e $\mu$ m-koa askotan. 1 mm-ko urrezko geruza duen kristalezko leihoak 70 eta 80 dB bitarteko indargabetzea bermatzen du IMen eta MUen tarteko erradiazioentzat.

### ► **Seinaleztapena**

Taupada-markagailua daramaten pertsonentzat, erradiazio elektromagnetikoek arrisku neurgaitza dute. Lantokiko langileen kasuan, arriskua ezaguna da, baina kanpoko pertsonen kasuan (adibidez, bisitari eta azpikontrataturiko langileak) ezezaguna denez, erradiazio mota horien presentzia seinaleztatu egin behar da.

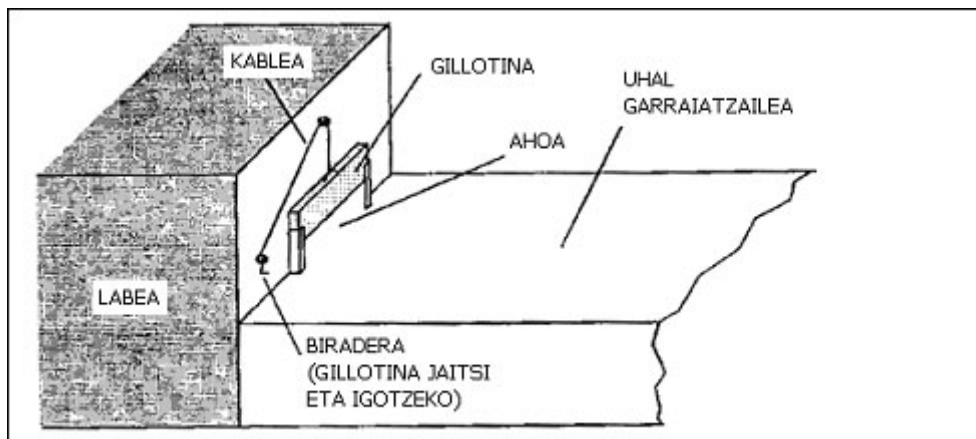
Seinale egokiak jasotzen dira laneko osasunari eta segurtasun-seinaleztapenari buruzko gutxieneko xedapenetan, 485/1997 EDko III. eranskinean, besteak beste, erradiazio ez-ionizatzaileak daudela adierazten duen piktograma edota taupada-markagailua daramatenentzako arriskua adierazten duen piktograma.



2.10. irudia. Erradiazio ez-ionizatzaileen, eremu magnetiko bortitzaren eta taupada-markagailuen piktogramak.

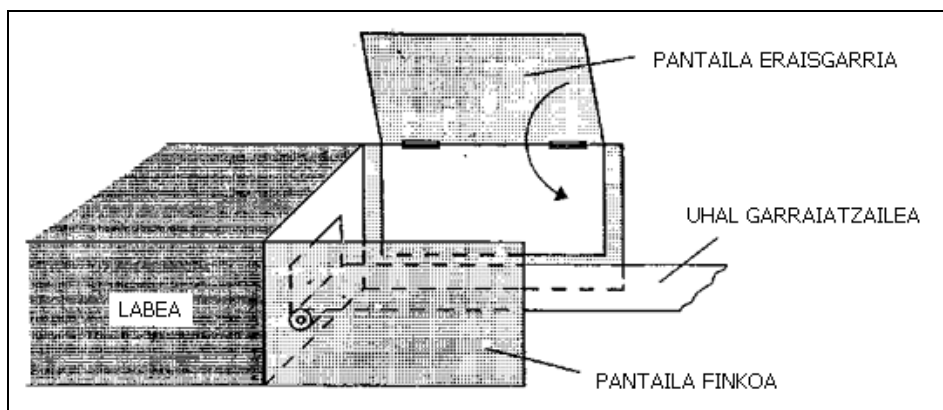
Erradiazioen aurkako babes-neurri horiez gain, kasu bakoitzari egokitzen zaizkion irtenbideak bila daitezke. Horietako batzuk CNNT erakundeak instalazio horiek erabiltzen dituzten enpresei egindako bisitetan proposaturikoak dira.

Adibidez, IMeko edo MUeko labe industrialen irteeretan gillotina-ateak erabiltzea gomendagarria da, erradiazioak irtetea saihesten baita horrela (2.11. irudia).



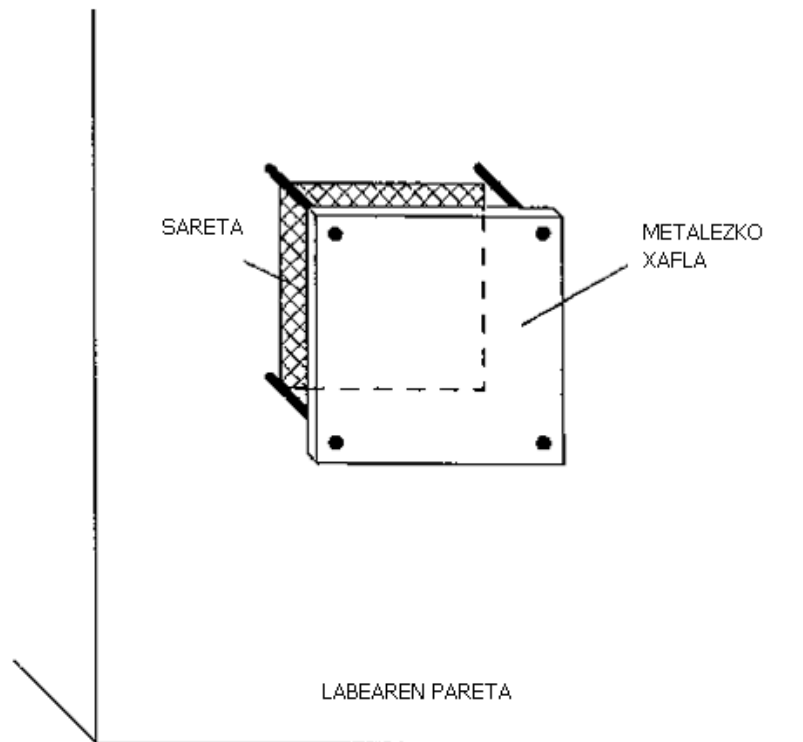
2.11. irudia. Gillotina.

Beste kasu batzuetan, metalezko pantailak edota faldoi eraisgarriak erabil daitezke, bai sarreran eta bai irteeran, langileak sar ez daitezen (2.12. irudia).



2.12. irudia. Pantaila eraisgarria.

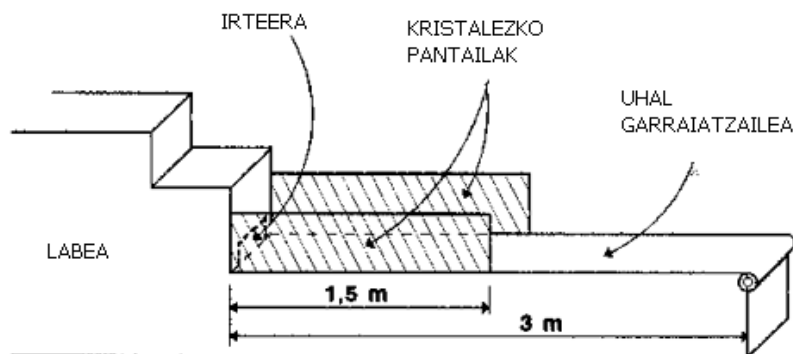
Saretan zehar erradiazio-ihesik izan ez dadin, saretan horien aurrean metalezko pantailak jar daitezke (2.13. irudia).



2.13. irudia. Metalezko xafla.

Ateen perimetroan zehar ihesik izan ez dadin, neurririk onena perimetroa aldizka ikuskatzea da. Ikuskapen horretan, gomazko frisoak ondo daudela (hermetikoak) eta materiala egoera onean dagoela eta perimetro osoa inguratzen duela ziurtatu behar da.

Labe baten irteeran erradiazio handia badago, langileek ez dute produktu lehorra inguru horretan maneiatu behar. Horretarako, uhal garraiatzailea luzatu edota alboetan metaldun kristalezko pantailak jar daitezke (2.14. irudia).



2.14. irudia. Artilea lehertzeko labea. Kristalezko pantaila.

Medikuntzan, eta bereziki diatermian, kontsolatik iturrira doazen kableak kontu handiz ikuskatu behar dira. Ihesa saihesteko, kable horiek metalezko saredun kautxuzko estaldura izan behar dute.

Ekipo horiek maneiatzen dituen langileak, tratamenduak irauten duen bitartean, foku igorletik hiru edo lau metrora egon behar du, potentzia-dentsitate handiko erradiazioen eragina saihesteko.

Aireportuetan, mendi-gailurretan eta abarretan dabilzan pertsonak erradiazio handiko guneetan sar ez daitezen, kontrol-neurri hauek daude:

- ✓ Antena pantailatu daiteke
- ✓ Esposiziorako erreferentzia-balioak gainditzen diren guneetarako sarrera debeka daiteke (marka margotuz seinaleztatuta).

Kasu bakoitzean irtenbiderik egokiena bilatu behar da; horretarako, foku igorlea, esposizioaren ezaugarriak eta iraupena eta beste ezaugarri batzuk ikertu behar ditugu. Denboraren poderioz lortutako eskarmentua oso lagungarria izango da konponbidea aurkitzeko, normalean, babes-neurriak oso sinpleak, merkeak eta gauzatzeko modukoak izaten baitira.

### ► NBEa

Norbera babesteko ekipamendua aplikatzea arriskua kontrolatzeko azken aukera da.

Begien babesleak eta janzki xurgatzaileak erabilia babestu daitezke langileak.

Betaurreko babesleek oso maila fineko kristalezko lenteak dituzte barnean, eta alboetan, material xurgatzaileak. Eremu ikusgaia murriztu samar geratzen da, baina 40 GHz-erainoko erradiazioetarako indargabetze nabarmenak lortzen dira. Pisu eta tamaina handikoak eta deserosoak izatea eragozpen larria da.

Janzki babesleak nylonezko saretaz egiten dira eta, eroalea izan dadin, zilarrezko geruza batez gaineztatzen da sarea. Erabili baino lehen, erradiazioaren intentsitatea ondo ezagutu behar da, janzkiaren babes-ahalmena gainditzen ez duela ziurtatzeko.

Goi-mailako eremu elektromagnetikoak leuntzeaz gain, janzki xurgatzaileek goi-tentsioko eremu elektrikotik ere babesten dute. Janzki horiek seguruak dira potentzia-dentsitatea segurtasun-muga ( $100 \text{ W/cm}^2$ ) baino hamar mila bider handiagoa duten eremu elektromagnetikoetarako.

# 3

## ERRADIAZIO OPTIKOAK



### 3.1 Erradiazio optikoak

#### Oinarrizko kontzeptuak eta sailkapenak

Erradiazio optikoak X izpien eta mikrouhinen artean kokatzen dira espektro elektromagnetikoan, eta uhin-luzerak definitzen ditu.

Erradiazio optikoak muga lausoak dituzten hiru zonatan banatzen dira, eta zona horien ertzak gainezarri egiten dira: ultramorearen eraginak desagertzen hasten direnean, ikusgaiaren eraginak agertzen hasten dira. Zona horien izendapena aldatu egiten da lan-arlo batetik bestera.

Lan-arriskuen prebentzioan, CIE (Commission International d'Eclairage) erakundearen iritzia jarraitzen da. CIEren sailkapena erradiazioak materia biologikoari eragiten dion eran oinarritzen da.

CIEren arabera, espektro optikoa (100 nm-tik 1 mm-rako uhin-luzera) honela banatzen da:

- ✓ Erradiazio **ultramorea** (UM). Alderdi honen uhin-luzera 100 nm-tik 380/400 nm-ra zabaltzen da.
- ✓ Argia edo erradiazio **ikusgaia**. Alderdi honen uhin-luzera 380/400 nm-tik 760/780 nm-ra zabaltzen da.
- ✓ Erradiazio **infragorria** (IG). Alderdi honen uhin-luzera 760/780 nm-tik 1 mm-ra zabaltzen da.

Banda nagusi horiek beste tarte finago batzuetan ere banatzen dira.

\* CIEren arabera, erradiazio ikusgaia ez da atal gehiagotan banatzen, eta haien mugak lausoak izan arren, batzuk beste sailkapen bat egitera ausartzen dira; sailkapen hori oso zehatza da, erretinan eragiten den kolorearen arabera.

► **Espektro optikoa**

	<i>CIEn sailkapena</i>		<i>ERAGINA</i>		<i>BESTE IZENDAPENAK</i>
<b>ULTRAMOREA</b>	UM-C	100 nm- 280 nm	<b>ERAGIN FOTOKIMIKOA</b>	<b>ERAGIN TERMIKOA</b>	Muturreko UMa ( 0,1 nm – 100 nm) Zona germizida
	UM-B	280 nm – 315/320 nm			Urrutiko UMa (200 nm – 300 nm) Alderdi eritemikoa
	UM-A	315/320 nm – 380/400 nm			Hurbileko UMa (300 nm – 400 nm) Argi “beltza” (315nm – 400 nm)
<b>IKUSGAIA</b>	Morea	380/400 nm			* 400 nm – 424 nm
	Urdina				* 424 nm – 491 nm
	Berdea				* 491 nm – 575 nm
	Horia		* 575 nm – 585 nm		
	Laranja		* 585 nm – 647 nm		
Gorria	760/780 nm	* 647 nm – 750 nm			
<b>INFRAGORRIA</b>	IG-A	760/780 nm – 1400 nm		Hurbileko IGa (760 nm – 4000 nm)	
	IG-B	1,4 μm – 3 μm		Erdiko IGa (4 μm – 14 μm)	
	IG-C	3 μm – 1mm		Urrutiko IGa (14 μm – 100 μm)	

Tratamendu berezia merezi du laserrak, gero eta ugariagoa baita haren presentzia gure eguneroko bizitzan.

Laserrak erradiazio optiko bereziak dira. Laser izena *light amplification by stimulated emission of radiation* terminoaren sigletatik dator. Hau da, erradiazioaren igorpen kitzikatuaren bidezko argiaren anplifikazioa.

Zer da laserra? Energia elektromagnetiko koherentezko izpi kolimatua, sarritan uhin-luzera bakar batek identifikatzen duena, intentsitate handikoa eta oso urrunketa angeluar txikikoa.

Laserrak erradiazio elektromagnetiko sorta bat igortzen eta anplifikatzen duten sistemak dira. Erradiazio elektromagnetiko sorta hori ez da hainbat uhin-luzeratakoa, baizik eta uhin-luzeren tarte estu batekoa (monokromatismoa). 200 nm eta 1 mm bitarteko uhin-luzera duten erradiazioak dira.

Laser erradiazioa osatzen duten uhinak fasean daude eta maiztasun berekoak dira (koherenteak). Uhinak norabide jakin batean hedatzen dira (direkzionalak), sortarenean, eta oso urrunketa angeluar txikikoak dira. Laserren ezaugarri horiei esker, energia-dentsitate handia pilatu daiteke nahi den lekuan.

Laserrak askotarikoak direnez eta aplikazioaren arabera ezaugarri anitz dutenez, zaila da arriskua identifikatzea.

Edozein laserrek hiru oinarritzko elementu ditu:

1. Sistema eraginkorra edo inguru eraginkorra.

Igorpen kitzikatua edo erradiazioa sortzen da hemen. Hiru motatakoa izan daiteke: solidoa, likidoa edo gasa.

2. Energiaren iturria edo ponpaketa-sistema.

Energia hornitzen dio sistema eraginkorrari.

3. Barrunbe optikoa.

Seinalea anplifikatzen da hemen. Bi ispiluz osatuta dago: horietako batek erradiazioa guztiz islatzen du, eta besteak erradiazioa kanpora irtetea ahalbidetzen du. Erradiazioa elkarren segidako islapenen bidez anplifikatzen da.

Hauek dira laser baten oinarritzko **ezaugarriak**:

1. Uhin-luzera.

200 nm eta 1 mm bitartekoa izan daiteke. Laserraren uhin-luzera sistema eraginkorraren konposizio kimikoaren arabera da.

2. Igorpenaren iraupena.

Igorpena jarraitua ( $t > 0,25$  s) edo pultsatua ( $t < 0,25$  s) izan daiteke. Pultsatuaren kasuan, pultsuak neurri askotako iraupenekoak izan daitezke. Pultsu bakoitzak nanosegundo batetik hainbat milisegundora bitartean iraun dezake, eta pultsuen errepikatze-maiztasunaren balioa (denbora jakin batean zenbat aldiz igortzen den pultsua) mikrosegundoko hainbat pulsutatik orduko hainbat pulsutarako izan daiteke. Bestalde, ponpaketa-sistemak inguru eraginkorrari energia zein eratarik hornitzen dion, halakoa izango da igorpenaren iraupena.

3. Erradiazio elektromagnetikoen sortaren potentzia.

Laser jarraituetan, irteerako batez besteko potentziaren arabera da, mikrowatt baten eta kilowatt baten artekoa. Laser pultsatuetan, berriz, pultsuko guztizko energia neurtzen da, eta milijoule baten eta ehunka jouleren artekoa izan daiteke. Beraz, potentzia maximoa, pultsuaren iraupena eta pultsuaren errepikapen-maiztasuna ezagutu behar dira.

## ■ Magnitudeak eta neurri-unitateak

Erradiazio optikoen inguruan zenbait diziplina daude, besteak beste, erradiometria, espektro-erradiometria eta fotometria.

- ✓ **Erradiometria** da erradiazio optikoak neurtzen dituen zientzia. Erradiometriak erabiltzen dituen magnitudeek zenbait parametro edo faktore deskribatzen dituzte, eta arrisku potentziala faktore edota parametro horien araberakoa da.

Neurtzeko ekipoak *erradiometroak* dira.

- ✓ **Espektro-erradiometriak** irradiatze-energia neurtzen du uhin-luzeraren funtziopean.

Neurtzeko ekipoak *espektro-erradiometroak* dira.

Magnitude erradiometrikoek, askotan, **e** azpiindizea dute, geroago aipatuko diren magnitude fotometrikoetatik bereizteko.

Hauek dira erradiazio optikoak neurtzeko magnitude erradiometriko erabilienak:

- Angelu solidoa ( $\Omega$ )
- Irradiatze-energia (Q)
- Irradiatze-fluxua edo irradiatze-potentzia ( $\phi$ )
- Irradiatze-intentsitatea (I)
- Erradiantzia (L)
- Irradiantzia (E)
- Irradiatze-esposizioa (H)

- ✓ **Fotometria**. Fotometria da giza begiak hautematen duen espektroaren tartea aztertzen duen zientzia. Beraz, 380/400 nm eta 760/780 nm bitarteko uhin-luzera daukaten erradiazio elektromagnetikoak baino ez ditu ikertzen.

Magnitude fotometrikoak eta erradiometrikoak oso antzekoak dira, baina lehenengoak giza begiaren ikusmenaren sentikortasunera egokituta daude, CIEk definituriko kurba fotometrikoko balioen bidez.

Izendapena magnitude erradiometrikoenaren berdina da, baina magnitude fotometrikoek **v** azpiindizea daukate.

Erradiazio optikoen aurreko esposizioa neurtzeko erabiltzen ez badira ere, lanparen ezau-garrien artean aipatzen dira eta, oro har, erradiazio optikoen iturrietan. Neurtzeko ekipoei fotometro deritze.



- ✓ **Irradiatze-fluxua edo irradiatze-potentzia,  $\Phi$ :** denbora jakin batean igorritako irradiatze-energia da. Wattetan neurtzen da (W).  $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$

$$\phi = \frac{dQ}{dt}$$

- ✓ **Irradiatze-dentsitatea,  $I$ :** irteera-angelu jakin batean iturri batek igorritako guztizko irradiatze-fluxua da. Angelu solidoko wattetan neurtzen da, hau da, estereoradianeko wattetan (W/sr). Iturriak igorritako irradiatze-fluxuaren banaketa espaziala kuantifikatzeko erabiltzen da. Irradiatze-dentsitatea norabide guztietan konstante bada, iturria isotropikoa dela esaten da.

$$I = \frac{d\phi}{d\Omega}$$

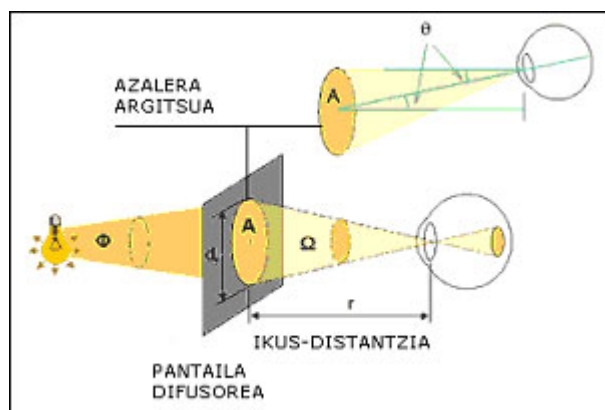
- ✓ **Erradiantzia,  $L$ :** iturriaren azalera-unitateko eta angelu solido unitateko igorritako irradiatze-potentzia da. Ondorioz, zatiketa baten emaitza da: iturriaren irradiatze-intentsitatea zati iturriaren azalera. Beraz, watt zati estereoradian bider metro karratutan neurtzen da ( $\text{W/sr}\cdot\text{m}^2$ ).

Erradiazio ikusgaiak eta IG-Ak irudiak sor ditzakete erretinan, haien potentzia, urrunketa-angelua eta hartzailearekiko distantzia direla medio.

Erradiazio ikusgai eta IG-A motakoen arriskua kuantifikatzeko erabiltzen da erradiantzia.

Magnitude horren bidez argi baten distira neurtzen da, hau da, argi batek hartzaile baten norabidean igorritako erradiazio ikusgaiaren kantitatea neurtzen da. Fotometriako luminantziaren balioak da erradiometrian.

$$L = \frac{d^2\phi}{d\Omega dA \cos\theta} = \frac{dI}{dA \cos\theta}$$



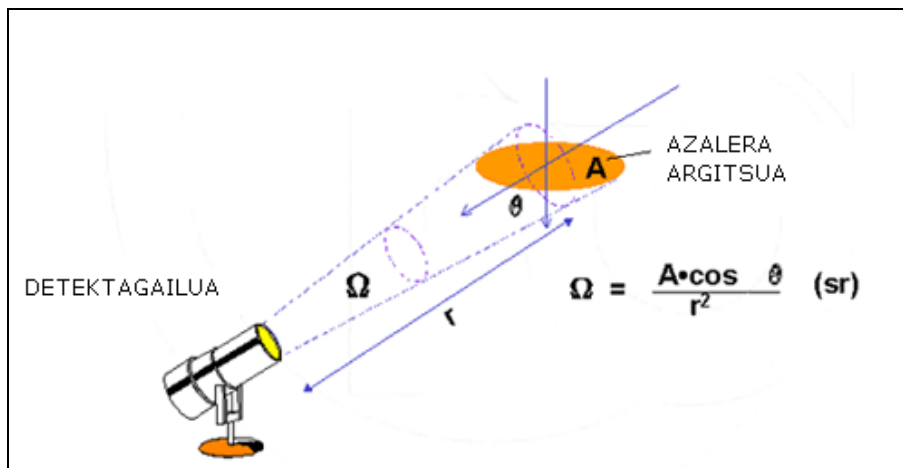
3.2. irudia. Erradiantzia.

Erradiantziak balio maximoa du azalera argitsua behaketaren norabidearekiko elkarzuta denean.

$$L = \frac{\Phi_L}{\Omega A_L \cos\theta}$$

Adierazpen horretan angelu solido bat agertzen da, detektagailu erradiometriko baten gaineko edota ikusle baten gaineko azalera argitsuaren angelu solido subtenditua, alegia. Honela definitzen da:

$$\Omega = \frac{\text{iturriaren azalera}}{(\text{detektagailutik iturrirako distantzia})^2}$$



3.3. irudia. Azalera argitsu baten angelu solido subtenditua.

- ✓ **Irradiantzia, E:** azalera-unitateko erasotzen duen guztizko irradiatze-energia. Metro karratuko wattetan ( $W/m^2$ ) neurtzen da. Irradiatze-potentzia zati detektagailuaren azalera eginez kalkulatzen da. Erradiazio optikoen aurreko etengabeko esposizioa kuantifikatzeko erabiltzen da, normalean, ultramore (UM) eta infragorriaren (IG) tartean.

$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

Iturri batean L eta E erlazionatuta daudenez, iturriaren azalera eta pantailaren eta ikuslearen arteko distantzia jakinda, L edo E ezagutzen bada, bestea kalkula daiteke.

$$L = \frac{\Phi_L}{\Omega A_L \cos\theta} = \frac{E}{\Omega \cos\theta}$$

- ✓ **Irradiatze-esposizioa, H:** azalera-unitateari erasotzen dion guztizko irradiatze-energia da. Metro karratuko jouletan neurtzen da ( $J/m^2$ ).

$$H = \frac{dQ}{dA}$$

Erradiazio jarraitu edo ez-jarraitu baten aurreko esposizioa denboran integratzeko,

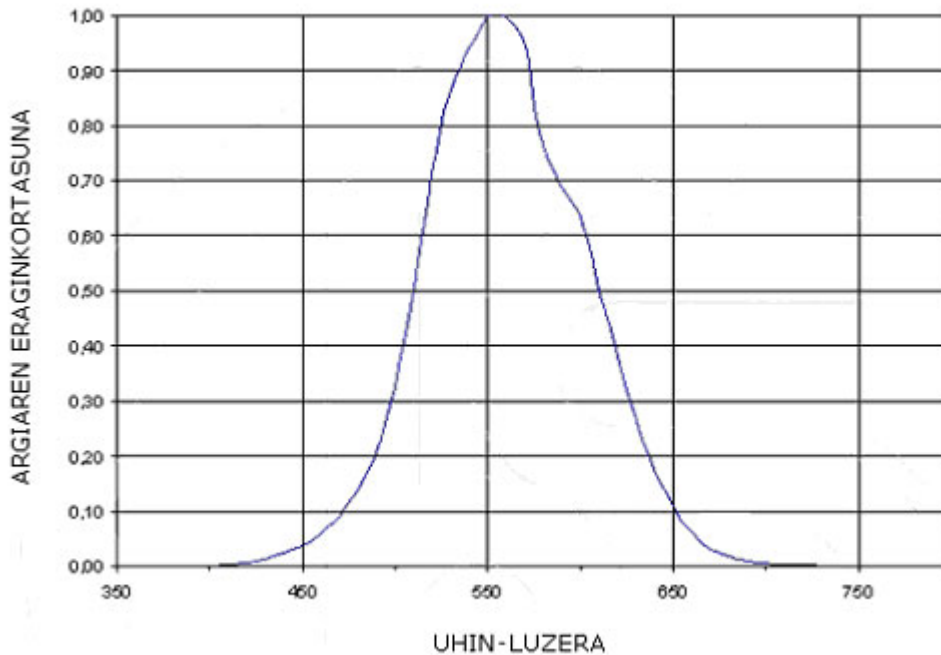
$$H = \int_0^t E \cdot dt$$

Ikus ditzagun magnitude erradiometrikoak taula batean bilduta:

MAGNITUDEA	IKURRA	DEFINIZIOA	UNITATEAK
Angulu solidoa	$\Omega$		sr (estereorradiana)
Irradiatze-energia	$Q_v$ $Q_e$		J (joulea)
Irradiatze-fluxua Irradiatze-potentzia	$\phi_v$ $\phi_e$	$\phi = \frac{dQ}{dt}$	W (watta)
Irradiatze-intentsitatea	$I_v$ $I_e$	$I = \frac{d\phi}{d\Omega}$	W/sr
Erradiantzia	$L_v$ $L_e$	$L = \frac{d^2\phi}{d\Omega dA \cos\theta} = \frac{dI}{dA \cos\theta}$ $L = \frac{\Phi_L}{\Omega A_L \cos\theta} = \frac{E}{\Omega \cos\theta}$	$W/m^2sr$
Irradiantzia	$E_v$ $E_e$	$E = \frac{d\Phi}{dA}$	$W/m^2$
Irradiatze-esposizioa	$H_v$ $H_e$	$H = \frac{dQ}{dA}$ $H = \int_0^t E \cdot dt$	$J/m^2$

► **Fotometrian erabiltzen diren magnitudeak**

Magnitude fotometrikoak eta erradiometrikoak oso antzekoak dira, baina fotometrikoak giza begiaren ikusmenaren sentikortasunera egokituta daude, CIEk definituriko kurba fotometrikoaren balioen bidez. 3.4. irudian ikusten da kurba fotometrikoa, hau da, uhin-luzera bakoitzari dagokion eraginkortasuna. Balio maximoa dauka 555 nm-an.



3.4. irudia. CIEren argiaren eraginkortasunaren,  $V(\alpha)$ -aren kurba begiarentzat (ikusmen fotopikoa edo egunekoa).

✓ **Argi-fluxua,  $\Phi_v$  :**

Argi batek denbora-unitatean norabide guztietan igortzen duen energia da argi-fluxua. Hau da, azalera bati erasotzen dion irradiatze-potentzia da, baina argiaren erantzunaren arabera aldatuta; haren unitateak lumen (lm) du izena, eta erradiometriako watten ordaina da. Watt bat argi eta 680 lm baliokideak dira.

$$1 \text{ W} \Leftrightarrow 680 \text{ lm}$$

✓ **Iluminantzia ( $E_v$ ) edo argiztapen-maila:**

Erradiometriako irradiantziaren baliokidea da fotometrian. Metro karratuko lumenetan ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ) edo luxetan (lx) neurtzen da.

$$E_v = \frac{\phi_v}{A}$$

Gainazal baten gaineko argiztapen-maila neurtzeko, neurketa bakar bat ez da nahikoa. Gainazalaren uniformetasuna adierazi behar denez, gehienetan batez besteko iluminantzia ( $E_{bb}$ ), iluminantziaren uniformetasun-maila ( $UE_{bb}$ ) eta iluminantziaren muturreko maila ( $UE_{mut}$ ) erabiltzen dira.

$$E_{bb} = \frac{\sum_{j=1}^{i=n} E_{v,i}}{n} \qquad UE_{bb} = \frac{E_{gutx}}{E_{bb}} \qquad UE_{mut} = \frac{E_{gutx}}{E_{gehi}}$$

- $n$  = egindako neurketa kopurua
- $E_{bb}$  = batez besteko iluminantzia gainazalaren erdigune geometrikoetan
- $UE_{bb}$  = iluminantziaren uniformetasun-maila
- $E_{gutx}$  = gutxieneko iluminantzia gainazalaren erdigune geometrikoetan
- $E_{gehi}$  = gehienezko iluminantzia gainazalaren erdigune geometrikoetan

✓ **Argi-intentsitatea ( $I_v$ ):**

Erradiometriako irradiatze-intentsitatearen baliokidea da fotometriari, kurba fotometrikoaren arabera zuzenduta. Iturriak norabide jakin batean igortzen duen argi-fluxuaren dentsitatea ( $I_m$ ) angelu solidoko. Kandelatan (cd) neurtzen da.

$$1 \text{ cd} \Leftrightarrow 1 \text{ lm/sr}$$

$$I_v = \frac{\phi_v}{\omega}$$

✓ **Luminantzia ( $L_v$ ) edo distira fotometrikoa:**

Erradiometriako erradiantziaren baliokidea da fotometriari. Izan bitez iturri bat eta horrek angelu solido baten barruan igortzen duen erradiazio ikusgaia. Gainazal bati erasotzen dion erradiazio ikusgaiaren kantitatea (argi-intentsitatea) da luminantzia. Metro karratuko kandelatan ( $\text{cd/m}^2$ ) edota STILBetan (sb) neurtzen da. Bi horiek baliokideak dira,  $1\text{cd/m}^2 = 1 \text{ sb}$ .

Egiatan, bi gorputzek islatutako argi-fluxua ( $\text{cd/m}^2\text{sr}$ ) neurtzen da.

Iluminantzia ezaguna denean, adierazpen hau dugu luminantzia kalkulatzeko:

$$L_v = \frac{E_v}{\pi} \cdot \rho$$

- $\rho$  = argiztaturiko gainazaleraren erreflektantzia

Unitate fotometrikoetatik unitate erradiometrikoetara pasatzeko, iturriaren banaketa espaziala ezagutu behar da. Iturri berarentzat, luminantziaren eta erradiantziaren arteko baliokidetasun-erlazioa kalkulatu da adierazpen honen bidez:

$$L_v = 683 \text{ lm/W} \cdot L_e \cdot V(\lambda)$$

555 nm-an  $V(\lambda)$  kurbak 1 balioa duenez, aurreko ekuazioa asko sinplifikatu da. 555 nm-ko erradiazioa igortzen duen iturri baten baliokidetasun-faktorea 683 lm/W da.

Horrela, 683 lm eta 1 W baliokideak dira, eta, era berean, 1 lm eta  $1,46 \cdot 10^{-3}$  W.

Beste uhin-luzeretarako, CIEren kurba fotometrikoan  $V(\lambda)$  bilatu behar da, hau da, giza begiarentzako eraginkortasun espektrala definitzen duen balioa.

### 3.2 Erradiazio optikoen iturriak

**Erradiazio optikoak** lanpostu askotan daude, baina guztietan ez dute arriskurik sortzen. Intentsitate handiko iturriek bakarrik sor dezakete onargarria ez den lan-arriskua, iturria babestu gabe lan egiten denean.

**Erradiazio infragorrien** iturriak gorputz goriak edota gainazal oso-oso beroak direnez, industria askotan izaten da mota horretako esposizio zuzena, kasurako, metal beroekin egiten diren lanetan, hau da, galdaketan, burdinoletan, beiragintzan, fotograbatugintzan (argiaren bidezko grabatua), esmalte eta margoen lehorketan eta abar.

Batzuetan, radarraren moduko sistema edota ekipoek eragiten dute esposizioa. Ekipo horiek uhin-luzeren tarte estu bateko eta intentsitate altu samarreko erradiazioa igortzen badute, erradiazio infragorriak sor daitezke.

IGen sistemak bi motatakoak izan daitezke:

- ✓ Pasiboak, gorputz beroak dauden detektatzeko erabiltzen direnak.
- ✓ Aktiboak, uhin-luzeren tarte estuko erradiazioa igortzen dutenak (radarra, adibidez).

Pasiboak aktiboak baino arriskutsuagoak dira; izan ere, lehenengoetan sortutako sorta iragazten da IGari lotutako edozein erradiazio ikusgai xahutzeko eta, horrela, gizakiak ezin du detektatu.

IGen aurreko esposizio ertaina etengabe jasaten dugu, inguruko edozein gorputzek, gure gorputzak berak ere, erradiazio hori igortzen baitute. Esposizio horrek mugak gainditzen dituenean sortzen dira arazoak. Kasu horretan, lanpostuan estres termikoa agerrarazten duen mikroklima bat sortzen da.

**Erradiazio ikusgaien** iturririk garrantzitsuenak bi motatakoak izan daitezke:

- ✓ Jatorri naturalekoak: eguzkia
- ✓ Jatorri artifizialekoak. Guztiek gasen deskarga bidez lan egiten dute; besteak beste:
  - Arku elektrikoak
  - Goritasun-lanparak (barnetik korrante elektrikoa iraganaraziz goritzeraino berotutako gorputz baten bidez argia sortzen duen lanpara). Bi mota daude: tungstenoa edota halogenoak erabiltzen dituztenak.
  - Hodi fluoreszentea (deskarga-lanpara, deskargaren irradiazio ultramoreak kitzikatzen duen substantzia fluoreszentezko geruza baten bidez argia ematen duena). Presio altukoak edo baxukoak izan daitezke.
  - Neon-hodiak
  - Flash-hodiak

Eguneroko bizitzan zein lanean, **erradiazio ultramoreen** iturri asko daude. Garrantzitsuena eguzkia da; haren erradiazio ultramoretik babestearren belzten da azala. Bestalde, ozono-geruzak erradiazio ultramore kaltegarrienetatik babesten gaitu, iragazki gisa jokatzen baitu. Ozono-geruzari esker, oso kaltegarriak ez diren erradiazioak (290 nm baino uhin-luzera handiagokoak) bakarrik iristen dira lurrazalera eta kantitate txikian, gainera.

UM erradiazioek lan-munduan aplikazio zuzenak izateaz aparte, prozesu askotan azpiproduktu gisa ere sortzen dira —hau da, inongo erabilerarik gabe—, adibidez, arkuzko soldaduran.

Lehenengo sailkapen bat eginda, iturriak bi motatakoak izan daitezke:

- ✓ Intentsitate txikikoak. Esate baterako:
  - Presio txikian lan egiten duten merkurio-lurrunezko lanparak
  - Lanpara germizidak
  - Fotokopiagailuak
  - Elikagaien esterilizagailuak

- ✓ Intentsitate handikoak, 100 atm baino gehiagokoak, besteak beste:
  - Presio handian lan egiten duten merkurio-lurrunezko lanparak
  - Kuartzo-, xenon- eta merkurio-arkuak
  - Karbono-arkuak
  - Plasmazko zuzia
  - Galdaketarako arku elektrikoak

Erradiazio ultramorearen aurreko esposizioa askotarikoa da, erradiazio mota horren erabilerak ere askotarikoak baitira industrian. Beste batzuen artean, hona hemen zenbait erabilera:

- ✓ Merkurio-lurrunezkoak (250 eta 265 nm bitartean, UM-C) material kirurgikoaren mantentze eta esterilizatorako erabiltzen dira. Lanpara germizidak dira eraginkorrenak zeregin horretan. Lanpara horiek hainbat alderdi esterilizatzeko eta mantentzeko erabiltzen dira: aire girotuaren hodiak esterilizatzeko, ura bera edangarria egiteko eta jakiak esterilizatzeko.
- ✓ Dermatologian, odontologian, estetikan (xede estetikoa, belztea) eta abarretan erabiltzen diren fototerapiarako lanparak eta eguzki-lanparak (UM-A, UM-B).
- ✓ Arkuzko soldaketan eta ebaketan, eta metalez estaltzeko prozesuetan erabiltzen den arku elektrikoa (UM-A, UM-B).
- ✓ Galdaketa-labeetan erabiltzen diren arku elektrikoak. Intentsitate handi edo txikiko energia sortzen dute zenbait faktoreren arabera: elektrodoan erabilitako materiala, arku inguratzen duten gasak eta abar (UM-A, UM-B).
- ✓ Plasmazko zuziak, tenperatura 6.000 K baino handiagoa bada, erradiazio ultramore oso bortitza sortzen du.
- ✓ Bulegoetako eta arte grafikoetako fotokopiagailuak (UM-A, UM-B).
- ✓ Erradiazio ultramore kaltegarria igortzen duen karbono-arkua. Arku hori erabiltzen duten goi-intentsitateko argailuak (tresna militarretan eta ikuskizunetan erabiltzen dira).
- ✓ Metal batzuen azalaren prozesatu kimikoan. (UM-A, UM-B)
- ✓ UM-A lanparak, “argi beltzeko” deritzenak. Saiakuntza ez-suntsitzaileetan erabiltzen dira, adibidez, pitzadurak detektatzeko. Beste erabilera hauetarako ere erabiltzen dira: bankuko billeteak egiaztatzeke, diskoteketako txartelak egiaztatzeke edota substantzia fluoreszenteekin lan egiteko.

**Erradiazio optikoak** lanpostu askotan daude, baina kasu guztietan ez dute arriskurik sortzen. Intentsitate handiko iturriek bakarrik sor dezakete onargarria ez den lan-arriskua prozesu irekian (iturria babestu gabe) lan egiten denean.

Autore askoren arabera, bost talde egin daitezke erradiazio optikoen aurreko esposizio handia sortzen duten lanpostuekin:

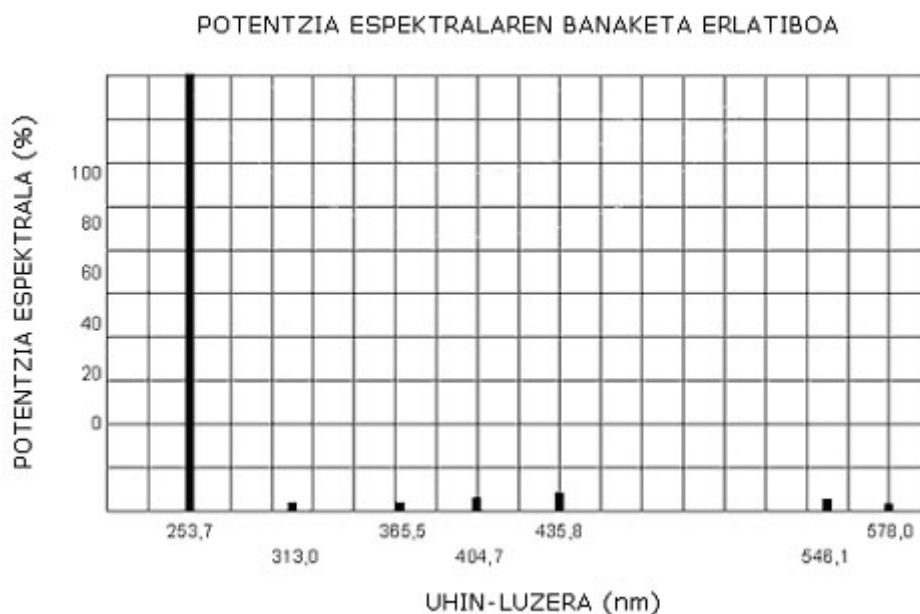
1. Nolabaiteko intentsitatea duten deskarga-lanparak (presio altukoak edo txikikoak)
2. Arkuzko soldadura
3. Goritasun-iturriak (lanparak ez direnak)
4. Bide optiko irekia duten 3B eta 4 motako laserrak
5. Eguzkia (aire zabaleko lanetan)

✓ **Deskargako-lanparen** artean, hauek daude:

- Goritasun-lanparak; adibidez, tungstenozko lanpara halogenoak. Argiztapen orokorrean eta industrialean erabiltzen dira.
- Presio altuko zein baxuko deskarga-lanparak; adibidez, elikagaien industrian, ospitaleetan, eta farmazia-industrian erabiltzen diren lanpara germizidak (UM-C), prozesu fotokimikoetan erabiltzen diren merkurioko lanparak eta brontzeztatze kosmetiko profesionalean erabiltzen diren UVA (UM-A) lanparak.
- Arkuzko lanparak; adibidez, laborategietan eta erreprografian erabiltzen diren presio altuko xenon-lanparak (UM, IKUS eta IG), eta antzerkietan, telebistan eta ikuskizunetan erabiltzen diren argi-fokuak.

Normalean, nolabaiteko potentzia duten lanparek itxitura iragazlea izaten dute arriskua saihesteko. Arriskua sortzen da hodia bestelako ezaugarri teknikoak dituen beste batez ordezkatzen denean, edo itxitura hausten denean edota iragazlea ez den beste batez ordezkatzen denean. Behar-beharrezkoa da fabrikatzailearen gomendioak jarraitzea.

Lanparak askotarikoak izan daitezke. Hurrengo irudian, lanpara germizida baten espektroa azaltzen da: 253,7 nm-ko uhin-luzeran (UM-C) oso tarte estua eta bortitza ikusten da, fabrikatzaileak dioenez, oso-oso arriskutsutzat har daitekeena.

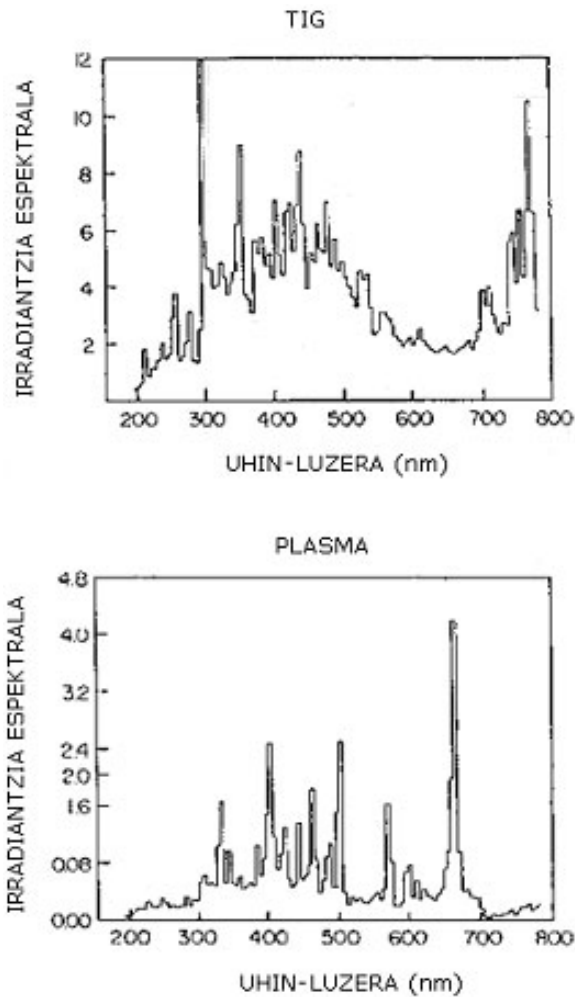


3.5. irudia. TUV PL-L 18W lanpara germizidaren espektroa.

- ✓ **Arkuzko soldaduran** erradiazio ultramorea, ikusgaia eta infragorria sortzen dira. Beti dago arriskua, bai langilearentzat berarentzat, bai ingurukoentzat; arriskua soldatzen diren materialen, korrante-intentsitatearen, gas-emariaren eta elektrodo motaren arabera da. Arrisku hau asko aztertu da, eta ohiz kanpoko kasuetan izan ezik, ez da neurri berezirik hartu behar; soldadura-familia bakoitzari egokituriko kontrol-neurriak hartu behar dira, adibidez, lanpostua isolatu, tokian tokiko erazgailuak jarri eta norbera babesteko ekipamendu espezifikoak erabili.

Arkuzko soldaduran izan daitezkeen arriskuak argitzeko, 3.6. irudian bi igorpen-espektro alde-  
ratzen dira:

- Aleazio txikiko altzairua TIG soldaduraz soldatzen da; irudian, arkutik 1m-ra neurtu den igorpen-espektroa daukagu. 300 A-ko korrontearekin eta argon gasaren 0,566 m<sup>3</sup>/min-ko emariarekin egindako TIG soldadura da.
- Aleazio txikiko altzairua plasma bidezko arkuzko soldaduraz soldatzen da. Beheko irudian, arkutik 1,90 m-ra neurtu den igorpen-espektroa dugu. Aurrekoan bezala, 300 A-ko korrontea erabiltzen da, baina nitrogeno gasaren 3,962 m<sup>3</sup>/min-ko emariarekin. Lehendabiziko irudian erradiazio bortitza ikusten da (UM, IKUS eta IG-A); bigarreanean, berriz, erradiazio ikusgaia gainerako guztiak baino handiagoa da.



3.6. irudia. Arkuzko bi soldaduren alderaketa: TIG soldadura eta plasma bidezko soldadura.

(Iturria: Sliney eta Wolbarsht-en "Safety with lasers and other optical sources" lana)

- ✓ **Goritasun-iturrien** artean, tenperatura oso altua hartzen duten iturriak sartzen dira, lanparak izan ezik. Iturri horiek uhin-luzeren tarte oso zabaleko erradiazio optikoa etengabe igortzen dute. Batez ere, IGa igor daiteke eta, tenperatura 2.500 K baino handiagoa bada, baita UMA ere. Lortzen den tenperaturaren arabera da arriskua. Bestalde, esposiziopeko lanpostuak daude beroketa industrialean eta material urtuen prozesatze-lanetan, adibidez, metalen galdaketan, beira-puztean, labe elektriko industrialetan eta margoak eta esmalteak lehertzeko erradiadore industrialetan.
- ✓ Bide optiko irekia duten potentzia handi samarreko **laserren** artean, hauek daude: obra publikoetan lerrokatzeko erabiltzen diren laserrak, ikerkuntzako laserrak, medikuntzan eta kirurgian erabiltzen diren laserrak eta materialak prozesatzean erabiltzen direnak. Erabilienak CO<sub>2</sub> eta "Nd:YAG" izenekoak (IGak) eta argon ionizatukoak (ikusgaia) dira. Gero eta diodo indartsuagoko laserrak egiten ari dira. Laserren arriskuak sailkatuta daude, eta arriskukategoria bakoitzari babes-neurri espezifikoak aplikatzen zaizkio.

Laserren arriskuen sailkapen berria kontsulta daiteke INSHTren web orrian (NTP 654). Horren arabera, mota honetakoak daude:

MOTA	SEGURTASUN-MAILA
1. mota	Arrazoizko erabileran, seguruak dira.
1M mota	1 motakoen modukoak, baina ez dira seguruak tresna optikoetan (lupa binokularrak) zehar begiratzen direnean.
E mota	Laser ikusgaiak (400 nm eta 700 nm bitartekoak). Begien erreflexuek begia babesten dute, tresna optikoetan zehar begiratzen badira ere.
2M mota	2 motakoen modukoak, baina tresna optikoetan zehar begiratzen denean ez dira seguruak.
3R mota	Zuzenean begiratzea arriskutsua dakar. Hala ere, 3B motakoei baino betekizun gutxiago eta kontrol-neurri gutxiago eskatzen zaizkie fabrikatzeko.
3B mota	Sorta zuzenean ikustea beti da arriskutsua, baina islapen lausotua, normalean, segurua da.
4. mota	Begien eta azalaren esposizio zuzena beti da arriskutsua, eta islapen lausotua ere bai. Suteak sor ditzakete.

#### UNE EN 60825-1 /A2: 2002 arauaren araberako sailkapena.

- ✓ Aire zabaleko **eguzkiaren aurreko esposizioa**. Betidaniko arriskua da, begi eta azalerako, eguzkiaren aurrean egotea, batez ere, irradiatze handiko orduetan. Argiaren islapena handia denean, esposizioa handiagoa da, adibidez, elurretan (eskiko monitoreak eta sorosleak), hondartzan (sorosleak) edota uretan (sorosleak, surf-monitoreak).

### 3.3 Erradiazio optikoen eraginak

Erradiazio optikoak giza gorputzari eragiteko ahalmena du, baina giza gorputzak ez du berdin erantzuten edozein erradiazioaren aurrean. Giza gorputzari eragiteko erradiazio optikoaren ahalmena zenbait ezau-garriren araberakoa da, hots, erradiazioak ehun biologikoei eman diezaiekeen energiaren eta iturri igorlearen irradiatze-potentziaren araberakoa.

Potentzia oso altuetan, erradiazio optikoaren aurreko esposizioak begietan eta azalean bakarrik izan ditzake eragin kaltegarriak, oso barneratze-ahalmen txikiko erradiazioak baitira.

Eragin horiek iturri igorlearen eta giza gorputzaren arteko distantziaren mendekoak dira, baita esposizio-denboraren mendekoak ere. Erradiazio optikoek eragin ditzaketen lesio mota eta patologia, berriz, begiko edota azaleko ehunen xurgapen-ahalmenaren mendekoak dira.

Bil ditzagun koadro batean erradiazio mota, elkarrekintza fisiko-kimikoa eta eragin biologikoa.

<i>Erradiazioa</i>	<i>Elkarrekintza fisiko-kimikoa</i>			<i>Eragin biologikoa</i>	
	<i>Errotazionala</i>	<i>Bibrazionala</i>	<i>Egitura elektronikoen aldaketak</i>	<i>Termikoa</i>	<i>Fotokimikoa</i>
<b>Ultramorea</b>	BAI	BAI	BAI	BAI	BAI
<b>Ikusgaia</b>	BAI	BAI	BAI	BAI	BAI
<b>Infragorria</b>	BAI	BAI		BAI	
<b>Mikrouhina</b>	BAI			BAI	
<b>Irrati-maiztasuna</b>	BAI			BAI	

### Erradiazio ultramoreen eraginak

Barneratze txikia dutenez, erradiazio ultramoreen eraginak begietan eta azalean bakarrik atzematen dira. Aho-barrunbeak oso egoera berezietan bakarrik jasaten du horren eragina, adibidez, teknika odontologikoetan.

Oro har, erradiazio optikoen dosi handien eraginak oso ondo ezagutzen dira. Hala, alde batetik, **eragin termikoak** daude, gorputzaren tenperaturaren igoerak eragindakoak; eta, bestetik, **eragin fotokimikoak**, berehalakoak edo ez, erraz identifikatzen direnak. Erradiazio ultramoreek eta ikusgaiek eragin termiko eta fotokimikoak izateko adinako energia dute, eta erradiazio IGek, berriz, eragin termikoak baino ez dituzte.

Erradiazio optikoen eraginak aztertzeko, lehendabizi begietan gertatzen diren aldaketak ikusiko ditugu, eta gero azalean gertatzen direnak.

### Begien gaineko eraginak

Erradiazio optikoek begietan izan ditzaketen eraginak aztertu baino lehen, ikus dezagun begiaren anatomia.

Giza begia erretinan objektuen irudia sortzen duen ingurune gardenen multzo batek osatutako sistema optiko bat da. Begia 2,5 cm inguruko erradioko esfera bat da, gutxi gorabehera. Haren pareta hiru geruza zentrokide hauek osatzen dute:

- ✓ **Esklerotika**, kanpokoena: kolore zuria du eta aurreko atalean **kornea** deritzon kasket gardena osatzen du
- ✓ **Koroidea**, kolore iluneko bitarteko geruza. Kornearen aurrealdean lautu egiten da, eta **irisa** osatzen du. Irisa kolore askotako disko antzeko bat da. Erdialdean irekidura aldakorreko zulo bat dauka, **begi-ninia**, zeinaren bitartez argia sartzen den begi barrura.
- ✓ **Erretina** barruen dagoen geruza da. Zelula argi-erzeptoreak ditu. Zelula horiek ikus-nerbioaren bitartez transmititzen dute informazioa garunera.

Irisaren atzealdean kristalinoa dago, lente ganbilbikoa.

Argia kornean zehar sartzen da begira, eta kristalinoak erretinan fokatzen du objektuen irudia.

Koadro honetan, erradiazio optikoek begietan eragiten dituzten eragin fisiologikoak azaltzen dira:

<b>ERRADIAZIO MOTA</b>		<b>UM-C eta UM-B</b>	<b>UM-A</b>	<b>IKUSGAIA (arrisku fotokimikoa)</b>	<b>IKUSGAIA (arrisku termikoa)</b>	<b>IG</b>
<b>Uhin-luzera (nm)</b>		200-315	315-400	300-700	380-1.400	780-3.000
<b>BEGIAK</b>	<b>KORNEA</b>	Keratitisa Konjuntibitisa				
	<b>KRISTALINOA</b>		Begi lauso fotokimikoak			Begi lauso termikoak
	<b>ERRETINA</b>			Lesio fotokimikoa	Lesio termikoa	
<b>AZALA</b>		Eritemak, eragin kantzerigenoak		Lesio termikoa		

Korneak eta ondoko eremuek (esklerotika eta begiaren konjuntiba) xurgatzen dituzte erradiazio **ultramore** gehienak, baina 295 nm baino uhin-luzera handiagokoa kristalinora irits daiteke, eta baita erretinara ere, UM-A motakoa (350-380 nm) baldin bada.

Begiko korneak eta konjuntibak **UM-B** eta **UM-C** erradiazioak xurga ditzakete, eta fotokeratitisa eta fotokonjuntibitisa sortu. Hauek dira bi gaixotasun horien sintomak: min handia, malkoak, begian hondarra edukitzearen sentzazioa, fotofobia, blefarismoa eta abar. Ondorio **larriak** baina **itzulgarriak** dira, eta erradiazioaren dosi handi bat jasaten denean gertatzen dira normalean. Adibidez, arkuzko soldaduran, begietarako babesik gabe lan egiten denean. Ondorioak esposizioa gertatu eta zenbait ordu geroago agertzen dira, eta era naturalean, 72 orduan sendatzen dira.

Lesioaren maila xurgaturiko guztizko energiaren eta esposizio-denboraren arabera da.

Adibidez, kristalinoak erradiazio ultramorearen zati bat xurgatzen du eta, horrela, erretina babesten du. Horregatik, begi lausotik operatuta dagoen pertsona batek lente intraokularrik ez badu (kristalinoa kendu zaio), lesio fotokimikoak izan ditzake erretinan UM erradiazioa jasaten duenean ere, 300 nm-tik aurrera.

Intentsitate oso handiko argi **ikusgaiaren** aurreko esposizio biziak erredura termikoak sortzen ditu, erretinako epitelio pigmentatuaren eta ondoko egituren tenperatura 10 K eta 20 K bitarte igo baitezake.

Bestalde, erradiazio ikusgaiak lesio termikoak edota fotokimikoak eragin ditzake erretinan.

Hainbat prozesu industrialetan erabiltzen diren intentsitate handiko iturri zuzenean begiratzen bazaie, ikusmena guztiz edo partzialki gal daiteke, eguzkiari zuzenean begiratzen zaionean gertatzen den bezala. Eragin larriak badira ere, **itzulgarriak** edo **itzulezinak** izan daitezke. Iraupen oso txikiko ustekabeko esposizioetan edota denbora tarte luzeagoko iturri pultsatuen aurreko esposizioetan agertzen dira kalte horiek.

Iraupen txikiko esposizioetan (segundo batzuk) lesioa termikoa da; urdinaren espektroan (400-550 nm), eragin fotokimikoa termikoa baino handiagoa da esposizio-denbora luzea denean (10 s baino gehiago).

Esposizio-denbora 0,25 s baino luzeagoa bada, begien mugimendu erreflexuek babes naturala ematen dute.

Intentsitate handiko erradiazio **infragorriak** tenperatura altuak eragiten ditu lanpostuan. Adibidez, aipa ditzagun beira urtuak edota metal galdatuek igortzen dituzten erradiazioak. Erradiazio horien aurreko esposizioa errepikatzeak jatorri termikoko begi lausoa eragiten du. Kasu horietan, gaixotasun profesio-naltzat hartzen dira. Kalteak **kroniko** eta **itzulezinak** dira.

Erradiazio **infragorriak** ez du materia biziarekin fotokimikoki erreakzionatzen. Energia gutxi duenez, ez da egitura elektronikoa aldatzeko gauza, eta eragiten dituen lesioak jatorri termikokoak baino ez dira.

Erradiazio infragorriarekin batera, intentsitate handiko erradiazio ikusgaia egoten da normalean. Hori dela eta, babes-mekanismo naturalak, begien kliska eta begi-niniaren erreflexua, oso eraginkorrak dira.

Uhin-luzera txikien aurrean kornea gardena denez, erradiazio infragorriak lesioak eta opakutasunak sor ditzake kristalinoan, eta erretinan, lesio termikoak (itzulgarriak). Horietako bat da beiraren putz-egileen begi lausoa, 10 eta 15 urte bitarteko esposizioarekin lotuta dagoena.

Bestalde, 1.200 nm-ko maiztasun txikiko erradiazio infragorriak (IG-A) azalean 0,8 mm-raino barnera daitezke, eta lesioak eragin nerbio bukaeretan eta kapilarretan. Uhin-luzera handitzen den heinean, barneratze-ahalmena txikiagotzen da, eta 2.000 nm baino erradiazio handiagoen aurrean (IG-B eta IG-C), azala opakua da.

Irisak, haren pigmentazio bizia dela eta, erradiazioa xurgatzeko ahalmen handia du. Erradiaziopean, kongestio handia jasan dezake, odoljario eta midriasi paralitikoarekin batera.

### Azalaren gaineko eraginak

Azalean, erradiazio ultramoreen barneratze-ahalmena erradiazioaren uhin-luzeraren eta azalaren pigmentazioaren araberakoa da. UM-B eta UM-C erradiazioak, uhin-luzera txikiagokoak, epidermiseraino iristen dira; UM-A erradiazioa, berriz, dermiseraino iristen da, eta lesioak sortzen ditu kapilarretan eta nerbio bukaeretan.

Pigmentazio gutxiko azaletan errazago sartzen dira.

Epe laburrera, erradiazio ultramorearen aurreko esposizio biziak eritemak edo eguzki-erredurak sortzen ditu. Horien ezaugarria azala gorritzea da; horrekin batera, batzuetan babak sortzen dira eta azala kentzen da. Eragin hori akutu eta itzulgarria da.

Hona hemen erradiazio ultramorearen eragin orokorrak:

- ✓ Azala irradiatzen denean, **belztu** egiten da. Pigmentazio handiko azala gutxikoa baino gehiago belzten da (UM-A).
- ✓ **Eritema** edo **eguzki-erredura**. Basodilatazioa dela eta, azala gorritu egiten da eta odol-fluxua handitu. Uhin-luzera 300 nm-koa baino handiagoa denean (UM-B eta UM-C) babak eta edemak sor daitezke. UM-A erradiazioak berak bakarrik eritema sor dezan, irradiatze-esposizioak  $10 \text{ J/cm}^2$  baino handiagoa izan behar du. Eritema edo eguzki-erredura hori egun batzuetan desagertzen da.

- ✓ Azaleko **zelulen hazkundeari** eragiten dio. Esposizioa gertatu eta berehala, 24 ordu barru, zelula basal eta epidermiko batzuen hazkundera eteten da; gero, zelula horien hazkundera tasa handitu egiten da (tasa maximoa, esposiziotik 72 ordura) eta arazo zelularrak izaten dira. Arazo horietako bat bost edo sei egun irauten duen hiperplasia epidermiko da, hau da, epidermisa loditu egiten da, eta, horrekin batera, elastikotasuna galdu.
- ✓ **Pigmentazio berandutua**. Melanina azaleko kanpoko geruzetara pasatzen denean agertzen da.

Epe luzera —hau da, bizitzan zehar— erradiazio **ultramorea** biziaren aurreko esposizioak errepikatzen badira, bi eragin mota daude:

- ✓ **Beti** agertzen diren eraginak. Eragin horiek estokastikoak izan daitezke, dosiaren arabera badira, edo ez-estokastikoak, dosiaren arabera ez badira. Adibidez, azala zahartzearen azelerazioa, azalak elastikotasuna galtzea (ez-estokastikoa), zimurrak eta keratomak edota eguzki-orbanak agertzea. Halakoak badaude, gehiegizko esposizioaren seinalea da. Eragin horiek **kroniko** eta **itzulezinak** dira.

Keratoma, batzuetan, azaleko minbizi bihur daiteke.

- ✓ **Zorizko** eraginak. Azaleko minbiziren bat izateko probabilitatea handitzen da. Adibidez, zelula basaletako edo ezkata-zeluletako minbizia, eta melanoma gaiztoak. Horiek guztiak sortzen dira zeluletan dauden zenbait gai organiko nolabaiteko uhin-luzerako erradiazio ultramorea xurgatzeko gai direlako. Eragin **kroniko** eta **itzulezinak** dira.

Esposizio luzeek azaleko **kartzinogenesisia** sor dezakete. Eragin estokastikoa da, dosia handitzen den heinean gaixotzeko probabilitatea handitzen baita. Bestalde, badaude gaixotasuna izateko joera handiagoa duten gizabanakoak, kasurako, albinoak eta ehun patologikoak (garatxoak, oreztak edota orbainak) dituztenak. Uste da azaleko minbizien % 90ek erradiazio ultramorea (batez ere UM-B) dutela jatorria.

Azaleko minbizia izateko probabilitatea hauekin handitzen da:

- Erradiazio ultramorea eragindako erredurekin
- Eritema sortzeko adinakoa ez den erradiazio ultramorea dosi txikia errepikatzearekin

Azaleko minbizi mota asko dago, eta hauek dira garrantzitsuenak:

- **Zelula basaletako minbizia.**

Hiruren artean ohikoena eta kalte gutxien eragiten duena. Eguzki-erradiazioak eraginikoa bada, bekokian, betazaletan, masailetan, sudurrean eta ezpainetan agertzen da. Konkor biribil edo lautu txikiak agertzen dira, gorriak, nakar-kolorekoak edo argiak, eta azalaren odol-hodiak izan ditzakete. Garaiz ez badira tratatzen, ondoko ehunetara hedatzen dira. Normalean, guztiz sendatzen dira.

### – **Ezkata moduko zelulen minbizia.**

Aurrekoa baino urriagoa da, baina gaiztoagoa. Ezkatak dituzten orban gorriak ikusten dira. Oso erraz hasten dira odoletan, ultzeratu egiten dira eta ez dira guztiz sendatzen. Erradiazio ultramorearen eraginpean askotan egoten diren ataletan agertzen dira. Eguzkiaren kasuan, erasotako atalak bekokia, masailak, sudurra, beheko ezpaina, belarrien gainaldea, lepoa, sorbaldak eta eskugainak izaten dira. Garaiz diagnostikatzen bada, sendatzeko aukera handia du.

### – **Melanoma gaiztoa.**

Azaleko minbizietarikorik arrotzena baina larriena da. Odoletan izaten den orban edo orezta batekin hasten da; kolorea, lodiera eta forma aldatu egiten dira. Kolorea gorritik hasi eta urdinaren edo beltzaren artekoa da, eta inguru irregularra du. Aspaldiko oreztetatik ere has daiteke, batez ere hertz irregularrak dituztenetatik. Horregatik mota horretako orezta dituzten pertsonak melanoma gaiztoa izateko arrisku handiagoa dute. Barruko organoetara ere irits daiteke, eta garaiz ez bada tratatzen, heriotza eragin dezake.

Zorizko eraginekin jarraituz, esan dezagun erradiazio ultramorearen eragin fotobiologikoak eta fotokimikoak zelulen makromolekulak aldatzearen ondorio direla.

Fotosentsibilizazio kimikoa zeluletan dauden zenbait gai kimikok erradiazio ultramorearen xurgatzen dutenean gertatzen da. Haren ondorioz, fototoxikotasuna, fotoalergia edota azalaren fotosentsibilizazioa sor daitezke. Fotosentsibilizazioaren eragile izan daitezke xaboiak, lurrinak, kosmetikoak, gaixotasun batzuk eta zenbait botika.

Kuantitatiboki ezin da esan zein den dosi/erantzun erlazioa, baina esan daiteke guztiz beharrezkoak ez diren esposizioak saihestu behar direla eta beharrezko neurriak hartu behar direla lan-esposizioaren aurrean.

Erradiazio ultramorearen **eraginen mailan** zerikusia duten hainbat **faktore**:

- ✓ **Gizabanakoaren** faktoreak. Adibidez, pertsonaren azalaren pigmentazioa eta belzteko erraztasuna. Bi horiek zenbat eta handiagoak izan, orduan eta arrisku txikiagoa. Melaninak erradiazio ultramorearen xurgatzen du, eta iragazki babesle gisa jokatzen du. Belzteak, eritematik babesten badu ere, ez du saihesten azaleko minbizia agertzeko arriskua.
- ✓ **Fotosentsibilizatzaileak**. Zenbait produktuk gizabanako batzuen erradiazio ultramorearekiko sentikortasuna handitu dezakete, eta eragin kaltegarriak handitu: lanean erabiltzen diren zenbait gai, pigmentu, mundrunaren konposatuak eta break; zenbait botika, zenbait gai begetal, olioak, kosmetikoetan erabiltzen diren lurrinak eta abar.

**Eguzki-erradiazioaren kasuan, aurrekoek gain, badira beste faktore hauek ere:**

- ✓ **Ordua eta urte-sasoia.** Eguzki-erradiazioa maximoa da 10:00ak eta 14:00ak bitarteko eguzki-orduetan (energia aurreztearren egiten den ordu-aldatzea dela eta, erlojuak adierazten duen ordua eta eguzki-ordua ez datoz bat). Bestalde, erradiazioa udan neguan baino handiagoa da.
- ✓ **Ozono-geruza.** Azaleko minbiziaren ugaltzea da gure planeta inguratzen duen ozono-geruzaren murriztearen eragin kaltegarrienetarikoa bat. Ozonoak eguzkitik datorren erradiazio ultramorearen zati handi bat xurgatzen du. Hala, ozono-geruza zenbat eta finagoa izan, orduan eta erradiazio gutxiago xurgatzen du eta, ondorioz, guregana erradiazio gehiago iristen da.
- ✓ **Hodeiak.** Hodeiek eguzki-erradiazioa gutxitzen dute, baina ez dute guztiz deuseztatzen. Egun lainotsuetan ere iristen da eguzki-erradiazioa.
- ✓ Faktore **geografikoak**, altitudea eta latitudea. Ekuatoretik zenbat eta hurbilago, orduan eta erradiazio gehiago iristen da; era berean, mendian itsas mailan baino erradiazio gehiago izaten da.
- ✓ Eguzki-erradiazioa islatzen duten **materialak**: elurra, hondarra, zementua, metalezko gainazalak eta abar. Erradiazioaren aurreko zeharkako esposizioa handia izan daiteke gainazal islatzaileak direla eta.

### **EZ AHANTZI:**

- Azala norberak miatzea da azaleko minbizi goiztiarra detektatzeko metodorik onena, eta batez ere melanoma detektatzeko.
- Detekzio goiztiarra oso garrantzitsua da minbiziaren tratamendurako eta sendatu ahal izateko.
- Azaleko orban baten aldaketa susmagarria agertzen denean, jo zuzenean medikua-  
rengana.

Ikusi dugun bezala, erradiazio **infragorriaren** eragina termikoa da. IG-B eta IG-C erradiazioek azala 0,8 mm-ko sakoneraino berotzen dute, eta horrekin batera, organismoaren termoregulazio-ahalmena gainditu egin daiteke; hori gertatzen da zenbait lanetan (labeetan, galdategietan). Erradiazio infragorrien beste eragin bat pigmentazioa handitzea da.

Oro har, IG-A erradiazioak —barneratze-ahalmen handiagoa du— azalean, kapilarretan eta nerbio bukaeretan sortzen ditu lesioak. Lesio horiek zenbait ezaugarriren arabekoak izango dira:

- ✓ Gizabanakoaren ezaugarriak (azalaren kolorea, hidratazioa, elikadura)
- ✓ Laneko ingurumenaren ezaugarriak (tenperatura, hezetasuna, haizearen abiadura)
- ✓ Norberaren uneko eta aurreko egoera
- ✓ Esposiziopeko azalera, janzkiek emandako babesa, eta abar

2.000 nm baino uhin-luzera handiagoetarako, azala opakua da.

### 3.4 Erradiazio optikoen aurreko esposizioaren ebaluazioa

Erradiazio optikoen aurreko lan-esposizioa ebaluatzea nahiko lan korapilatsua da, banda espektral bakoitzerako (UM-B eta UM-C, UM-A, ikusgaiaren “arrisku urdina”, ikusgaiaren arrisku termikoa, IG-A eta abar) tratamendu berezia egin behar baita. Hasieran esan genuen bezala, CIEk bereiziriko tarte bakoitzak bere eragin fisiologikoa du, bai begietan, bai azalean.

Dena dela, antzeko metodologia jarraitzen da honako hiru arrisku hauen ebaluazioa egiteko:

- ✓ Erretinaren lesio termikoa
- ✓ Erretinaren lesio fotokimikoa (argi urdinak eragindakoa)
- ✓ Erradiazio infragorriaren eta ikusgaiaren eragin atzeratuak kristalinoan

Egoera horiek guztiak ebaluatzeko, irradiazio espektrala ezagutu behar da, maiztasun guztien eragin kaltegarria ez baita berdina. Irradiazio espektralak maiztasun bakoitzean jasotako energia kantitatea islatzen du. Kontuan hartu beharreko parametroak ditugu, bestalde, argi-iturriaren tamaina eta esposizio-denbora.

#### ► Erradiazio ultramorearen aurreko esposizioaren ebaluazioa

Erradiazio ultramorearen eragin biologikoen ez daukate erlazio handirik uhin-luzerarekin. Erradiazio ultramorea igortzen duen iturri baten ezaugarriak garrantzitsuena potentzia espektrala da edo irradian-tziaren banaketa da, eta espektro-erradiometro baten bidez neurtzen da. Espektro-erradiometroa sistema optiko batek (sarreran), monokromadore batek eta detektagailu batek osatzen dute. Hala ere, halako neurgailuak ez dira higiene industrialean erabiltzen.

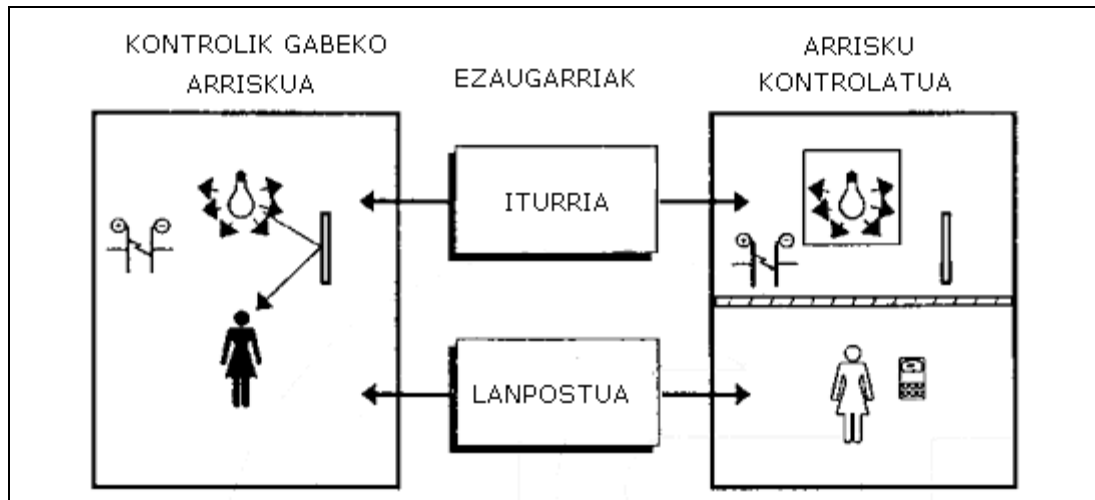
Arrisku bat kontuan hartzeko modukoa izan dadin, bi baldintza hauek bete behar dira:

- ✓ Nolabaiteko irradiatze-intentsitatea duen iturri bat egotea.
- ✓ Kalte bat gertatzeko aukera (alegia, erradiazio optikoak langilearengana edota instalazioetara iristeko aukera izan behar du).

Adibidez, iturri kapsulatuek (helezinak dira) ez dute inongo arriskurik prozesu itxian (bai iturria eta bai aplikazio-puntua segurtasunezko karkasa edo esparru baten barruan daude) era normalean erabiltzen direnean, eta ez dira izango, beraz, arrisku baten jatorria.

Lanpostu batean irradiatze-intentsitate handiko iturria badago eta langilea harekin kontaktuan egoteko aukerarik baldin badago, erradiazio optikoen arriskua dago. Beraz, arrisku onargarria denentz ikusteko, arrisku hori ebaluatu egin beharko da.

Erradiazio optikoekin lan egiteak sortzen duen arrisku potentzialaren ebaluazioan, zenbait faktore aztertu behar dira. Eskema honetan irudi bidez ikus daitezke.



3.7. irudia. Arriskuaren ebaluazioan kontuan hartzeko faktoreak.

Arrisku bat ebaluatzeak egoeraren analisisa eskatzen du, faktore anitzen araberakoa baita. Prebentzioko teknikariak bi taldetan sailka daitezkeen datu guzti hauek jasoko ditu:

- ✓ Erradiazio optikoen iturri igorlearen ezaugarri fisikoak
  - Iturriaren banaketa espektrala
  - Energiaren banaketa denboran zehar
  - Banaketa espaziala
- ✓ Lanpostuaren ezaugarriak
  - Iturriaren eta langilearen arteko distantzia
  - Angelu subtenditua
  - Esposizio-denbora erreala
  - Laneko ingurumena

### ▶ Erradiazio optikoen iturri igorlearen ezaugarri fisikoak

Aipa ditzagun batzuk: iturriak igortzen duen uhin-luzeraren tartea, igorritako potentzia eta horren aldagarritasuna denborarekiko (iturri jarraitua edo pultsukoa), diametroa, dibergentzia eta abar.

Erradiazioa bera erabiltzeagatik sor daitezkeen arriskuez gain, arrisku gehiago ere egon daitezke, besteak beste, gasak edo likido hoztaileak erabiltzeari dagozkionak, shock elektrikoa eta abar.

✓ **Iturriaren banaketa espektrala**

Iturriak igorritako energia vs uhin luzera ( $\lambda$ ) irudikatzen duen grafikoa da. Beraz, iturri-familia bakoitzaren edo azpifamilia bakoitzaren ezaugarria da. Arriskua balioztatzeko ezinbesteko informazioa ematen du. Bi iturriren igorpen-espeketroak ezberdinak direnean, haien arriskuak ere ezberdinak dira.

Erradiazioaren energia zenbait magnitude erradiometrikoz eta fotometrikoz adieraz daiteke, beti "espektral" adjektiboa dutela, nolabaiteko uhin-luzerari dagozkiola adierazteko. Haien sinboloak ere aldatu egiten dira:

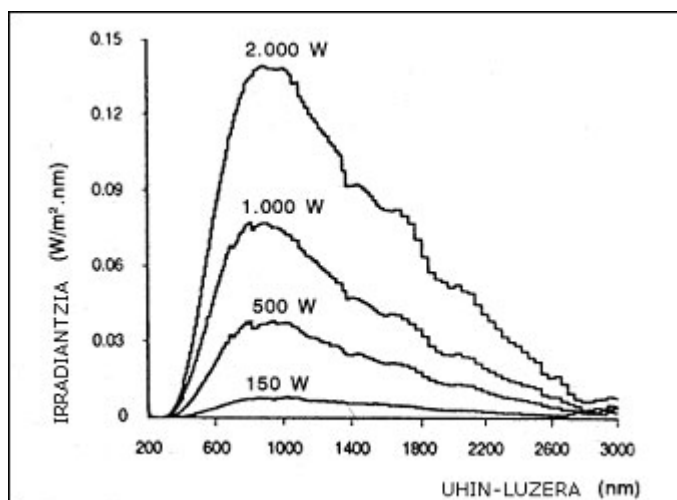
- $E(\lambda)$  = irradiantza espektrala ( $W/cm^2 \cdot nm$ )
- $L(\lambda)$  = erradiantza espektrala ( $W/cm^2 \cdot nm \cdot sr$ )
- $\phi(\lambda)$  = irradiatze-potentzia espektrala ( $W/nm$ )
- $\phi_v(\lambda)$  = argi-potentzia espektrala ( $lm/nm$ )

ICNIRPren irizpideak jarraituz, tarte zabaleko esposizio-mugak ondo aplikatzeko, erradiantza espektrala, irradiantza espektrala eta iturriaren tamaina —begien altueran neurtuta— ezagutu behar dira. Argi zuriko iturri baten kasuan, igorritako erradiazio ikusgaiaren ezaugarri espektralak luminantzia  $10^4 \text{ cd/cm}^2$  baino handiagoa denean soilik dira beharrezkoak.

Ikus dezagun baliokidetasuna 555 nm-tan:  $10^4 \text{ cd/m}^2 < > 14,6 \text{ cd/m}^2 \cdot sr$

✓ **Energiaren banaketa denboran zehar**

Hona hemen iturri igorlearen beste ezaugarri garrantzitsu bat: lanpostuan neurturiko energiaren banaketa denboran zehar. Ezaugarri horrek zuzenean eragiten du esposizioan. Baldintza berdinetan (iturri mota eta neurketarako distantzia) irradiatze-potentzia zenbat eta handiagoa izan, orduan eta irradiantza (esposizio) handiagoa espero daiteke lanpostuan. Hurrengo irudian ikusten da, zeinean lanpara batzuen irradiantzak 1 m-ra neurtuta alderatzen baitira.



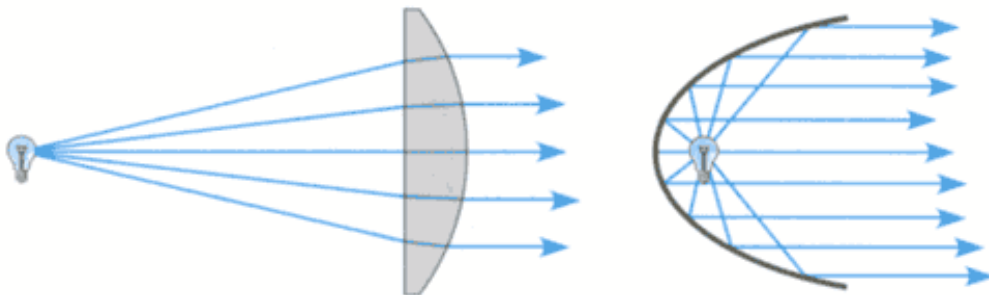
3.8. irudia. Hainbat potentziatako lau lanparen irradiantza espektrala, iturritik 1 m-ra neurtuta (Sasi eta Barlier, 1992).

Energia era jarraituan igortzen bada, iturriak igortzen duen irradiatze-potentzia wattetan (W) adierazten da; igorpena pulsu bidezkoa bada, berriz, energia jouletan (J) adieraziko da; pultsuaren iraupena segundotan (s) eta pultsuaren errepikatze-maiztasuna hertzetan (Hz) adierazten dira.

✓ **Banaketa espaziala**

Laserren kasuan garrantzizkoa da. **Irteerako diametroaren** bidez eta sortaren **dibergentziaren** bidez definitzen da. Laser gehienek dibergentzia ( $\Phi$ ) oso txikia izaten dute,  $\mu\text{sr}$ -en ordenakoa, eta sortaren diametroa oso gutxi aldatzen da distantzia txikietan. Kasu horretan erradiazioa *koherentea* dela esaten da. Modu esferikoan igortzen den erradiazioa, berriz, *inkoherentea* da, eta haren dibergentzia askoz handiagoa. Kasu horretan angelu lauaren bidez neurtzen da eta  $\mu\text{rad}$ -en ordenakoa izaten da.

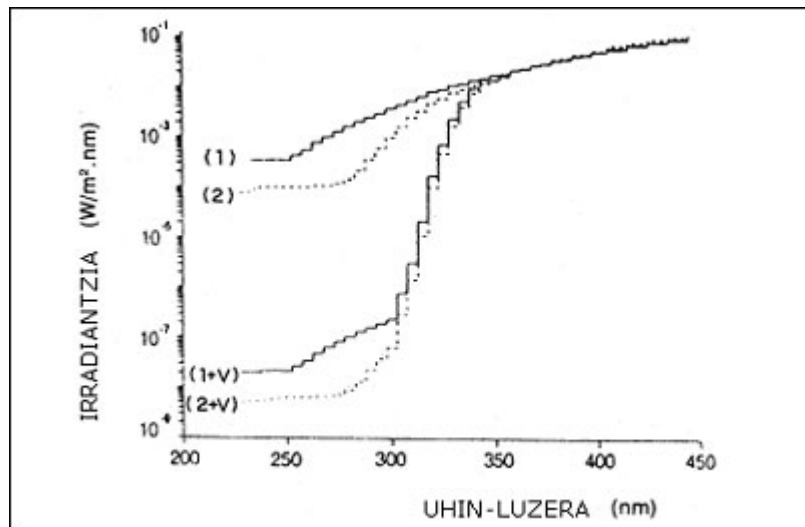
Argi-iturri baten diametroa eta dibergentzia iturriaren irteerako optikaren mendekoak dira. Horrela, lente kolimadoreek edota erreflektore parabolikoek argi sortaren norabidea eta diametroa aldatzen dituzte, eta lente dibergenteek sortaren diametroa handitzen dute.



3.9. irudia. Lente kolimadorea eta erreflektore parabolikoa.

Arriskuaren ebaluazioa muntaketa osoa (iturria, lanpara-etxea eta loturiko optika) egin eta gero egin behar da, elementu bakar bat aldatuta balioztapenaren emaitza alda baitaiteke. Ekipo baten irteerako optika aldatzen den bakoitzean, arrisku potentzialaren balorazio berria egin beharko litzateke.

Adibidez, ikus dezagun grafiko honen bidez beira babesleak bi lanparatan duen eragina:



3.10. irudia. Bi lanpararen beiraren eragin leungarria erradiazio ultramorearen aurrean. (1+V) eta (2+V) beira babesledunak dira, eta (1) eta (2), beirarik gabekoak (Salsi eta Barlier, 1992).

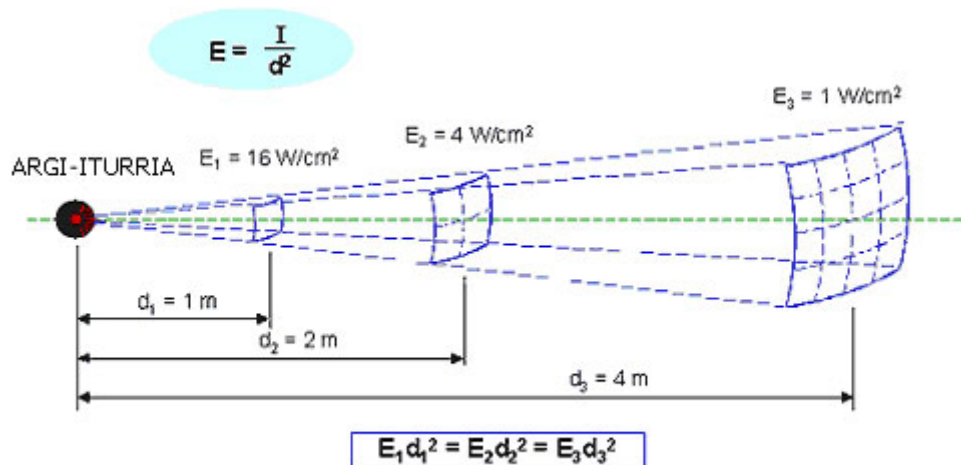
#### ► Lanpostuaren ezaugarriak

Arriskuaren balioespena egiteko bigarren faktore mota lanpostuaren ezaugarrien multzoa da.

Lanpostuaren ezaugarrien artean, hauek dira garrantzitsuenak:

- Iturriaren eta langilearen arteko distantzia
  - Esposizio-denbora
  - Ikus-angelua
  - Prozesatutako materiala
  - Islapenak egoteko posibilitatea
- ✓ **Iturriaren eta langilearen arteko distantzia**

Prebentzio-neurriez ari garela, parametro eraginkorrenetarikoa bat da. Iturri puntualetarako (idealak) eta dibergentzia esferikoa dutenentarako, lanpostuko irradiantzia lanpostuaren eta iturriaren arteko distantziaren karratuarekiko alderantziz proportzionala da.



3.11. irudia. Irradiantzia eta distantziaren karratuaren arteko alderantzizko proportzionaltasuna.

1 m-ra neurtutako irradiantzia 16 W/cm<sup>2</sup>-koa bada, 2m-ra 4 W/cm<sup>2</sup>-koa izango da, eta horrela, beste edozein distantziatara kalkula daiteke. Irizpide hori aplika daiteke iturriaren tamaina neurketa-punturainoko distantziaren % 10 baino txikiagoa denean.

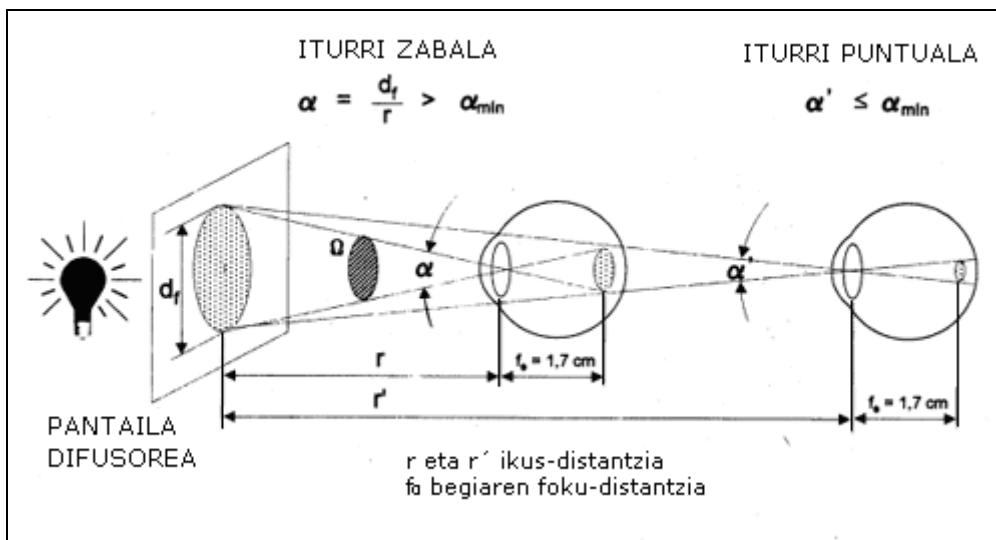
Begiek erradiazio ikusgaia edo A motako infragorria (400-1.400 nm) jasotzen badute eta iturriaren tamaina erlatiboa distantziaren % 10 baino handiagoa bada, iturriaren angelu subtenditua kalkulatu behar da, erabaki ahal izateko ea erradiantzia edo irradiantzia neurtu behar den. Erreferentzia-balioak ezberdinak dira kasu bakoitzean.

✓ **Angelu subtenditua ( $\alpha$ )**

Angelu subtenditua neurri-puntuaren edo behatzaile baten begiaren eta iturriaren artean osaturiko ikus-angelu laua da (3.12. irudia). Iturriaren dimentsiorik handienaren,  $d_f$ -ren, eta ikus-distantziaren arteko erlazioa da. Angelua laua denez, radianetan (rad) neurtzen da.

Iturria zirkularra denean, iturriaren dimentsioa diametroa da, eta zirkularra ez denean, berriz, dimentsiorik handienaren eta txikiaren arteko batez besteko aritmetikoa egiten da.

IG-A erradiazioaren eta ikusgaiaren eraginpeko begiaren (erretina) esposizioaren geometria kalkulatzeko erabiltzen da  $\alpha$ . Ikus-ezaugarriak determinatzeko (irudi puntuala edo irudi zabala erretinan),  $\alpha$  angelua angelu subtenditu minimoarekin,  $\alpha_{\min}$ -rekin, konparatu behar da. Angelu subtenditu minimoaren balioa balorazio-irizpideak finkatzen du.



3.12. irudia. Erradiazio ikusgaiaren eraginpeko begiaren esposizioa. Irudi zabala eta irudi puntuala erretinan.

✓ **Esposizio-denbora erreala**

Lehen aipatu den bezala, finkatzeko parametrarik zailena da. Lan motaren araberakoa da, eta haren balioak modu erabakigarrian eragiten dio balioztapenaren emaitzari. Balioztatzeko parametrarik zailena da, lanpostuaren balorazioa norik egin, asko alda daitekeelako. Esposizio-denbora erreala zenbatesteko irtenbiderik onena langilearen eta enpresaren parte hartzea da, edota haien ordezkariena.

Iturri industrialen kasuan eta uhin-luzeraren tarte zabal bateko (380-700 nm) erradiazio ikusgaiaren kasuan, aditu bati galdetu behar zaio, esposizio-denbora jakin batetik aurrera begietan babes-erreflexuak agertzen baitira: begiak ixtea edota burua biratzea.

✓ **Laneko ingurumena**

Iturri igorlea oso indartsua denean, material prozesatuaren ezaugarriek zerikusia izan dezakete esposizioan; halaber, hurbileko objektuek eta lanpostuaren inguruko paretan eta sabaiaren azalek ere eragin dezakete, material bakoitzak bere erreflektantzia baitu.

Lehen esan dugun bezala, prebentzioko teknikariak bi taldetan sailkatzen ditu ebaluazioa egiteko beharrezko datu guztiak: erradiazio optikoen iturri igorlearen ezaugarri fisikoak eta lanpostuaren ezaugarriak.

Iturriaren ezaugarriak biltzea, hasiera batean, erraza izan daiteke. Hala ere, batzuetan, ezaguera teknikoak ez dira nahikoak ezaugarri horiek interpretatzeko, edo datuak hizkuntza ezezagun batean idatzita daude eta abar. Kasu horietan, ekipoaren fabrikatzailearengana jo behar da.

Gainerako datuak enpresara egiten den bisitan jaso behar dira, lanposturako espezifikoak baitira. Eginkizun hori errazteko, hau da, erradiazio optikoen aurreko esposizioaren arriskua errazago determinatzeko, CNNTk datu-bilketarako orri bat erabiltzen du. Datu-bilketarako orri hori 128/130 orrialdeetan dago.

Laburbilduz, arrisku potentziala dagoen edo ez determinatzeko, oso garrantzitsua da iturri igorlearen eskuliburuaren argibideetan edota ekipoaren etiketan datozen espezifikazioak eta lanpostuaren ezaugarriak ezagutzea.

Lan-esposizioa mota askotakoa izan daiteke, begietan edota azalean eragin dezake, eta era jarraituan zein pulsatuan lan egin dezake. Esan dugun bezala, zona espektral bakoitza bere aldetik aztertu behar da.

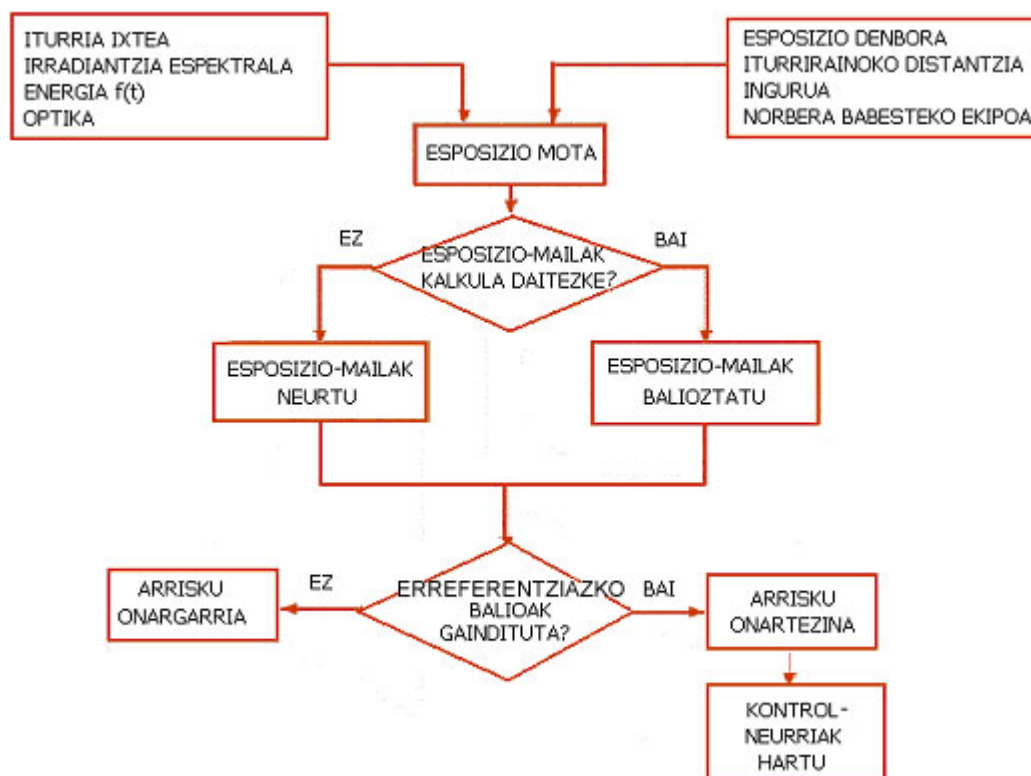
Lan-esposizioa **irradiantzia**  $E_e$ , **irradiatze-esposizioa**  $H_e$ , **erradiantzia**  $L_e$  eta **erradiantzia integratua** terminoen bidez adierazten da.

Tarte espektral bakoitzeko lan-esposizioa dagokion erreferentziazko balioarekin alderatu behar da (indarrean dagoen arautegian aurkituko dugu erreferentziazko balioa). Iturri igorle bererako, gerta daiteke tarte espektral batean arriskurik ez egotea eta beste batzuetan, berriz, bai.

Erreferentziazko balioak ez badira gainditzen, arriskua onargarria da. Hala ere, aldizkako ikuskapenak egin beharko dira egoerak segurua izaten jarraitzen duela ziurtatzeko.

Erreferentziazko balioa gainditzen bada, aldiz, irradiatze-maila baterako baimendutako esposizio-denbora kalkulatu ondoren, kontrol-neurriak aplikatu behar dira. Hori guztia oso korapilatsua eta neketsua denez, esposizioa saihestea errazagoa da, eta, horretarako, iturri/lanpostu katea moztu behar da punturen batean.

Eskeman, erradiazio optikoen aurreko lan-esposizioaren ebaluazioa egiteko jarraitu behar den prozedura ikusten da.



3.13. irudia. Erradiazio optikoen aurreko lan-esposizioaren ebaluazioa.

Iturriaren eta lanpostuaren ezaugarriak ezagutzen direnean, ondoriozta daiteke ea lan-esposizioa dagoen eta zein motatakoa den: begietakoa, azalekoa; jarraitua edo etena; uhin-luzeraren tarte zabaleko edo estuko igorpenekoa, ikus-ezaugarri puntualekoa edo zabalekoa. Datu horiek guztiak ezagutu ondoren, bi erataria joka daiteke:

- ✓ Tarte espektral bakoitzeko esposizioa neurtu
- ✓ Esposizioa teorikoki kalkulatu edo zenbatetsi, kasurik txarreanean.

Neurtzea kalkulatzea baino hobe da beti. Kalkulu teorikoak, normalean, ez datoz bat neurketekin, inguruko faktoreek eragiten baitute. Kontrolatu gabeko islapenek, adibidez, espero daitezkeen balioetatiko desbideratzeak eragiten dituzte.

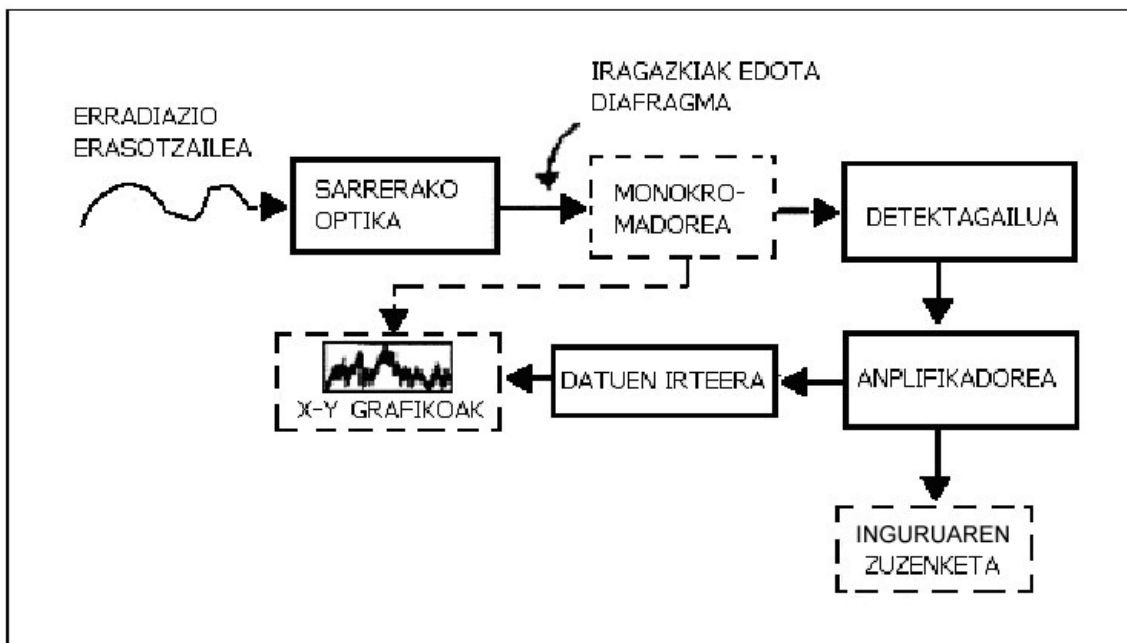
Lan-esposizioaren balioak erreferentziako balioekin alderatzen dira (3.13.irudia).

#### Erradiazio optikoen aurreko esposizioaren neurketa

Hasteko, esan behar da neurketa erradiometrikoetan eta espektroradiometrikoetan akats-iturri asko daudela. Esposizioa ongi neurtzea zaila da, neurketaren geometriaren garrantzia ulertu behar da, eta eskarmentu handia edukitzea komeni da.

Kasu horretan, esposizioa neurtzeko, irradiantzia edota erradiantzia neurtzeko gai den detektagailua duen ekipo erradiometrikoa eduki behar da. Detektagailuak seinale elektriko bat igortzen du, zeina xurgaturiko potentziarekiko proportzionala den, eta erradiometroak seinale hori jasotzen du. Espektrikoaren tarteak ikuspuntu biologikotik bereizten dituzten detektagailuak erabili behar dira.

3.14. irudian, neurketak egiteko ekipo baten eskema azaltzen da. Oinarrizko osagaiak lerro jarraituen bidez adierazi dira, eta hautazko osagaiak, lerro etenez.



3.14. Irudia. Oinarrizko neurketa-ekipo baten eskema.

Erradiazio optikoen aurreko lan-esposizioa neurtzeko, muga instrumentalak daude. Gaur egun merkatuan dauden aparatuak erradiometroen eskaera handitzen denean garatuko dira behar bezala, hau da, erradiazio optikoak sarritan neurtzen hasten garenean. Horretaz aparte, neurketaren azken emaitzean eragin dezaketen faktoreak asko direnez, komenigarria da erradiazioa aldi berean erradiometro baten eta espektriko-erradiometro baten bidez neurtzea eta emaitzak alderatzea.

Gaur egun, honako aukera hauek daude:

- ✓ Merkatuan badaude zeregin konkretuetako esposizioak neurtzeko ekipo komertzialak, adibidez, lanpara germiziden aurreko esposizioa neurtzeko ekipoak. Uhin-luzeren tarte estu bat besterik detektatu behar ez denez, oso ekipo simple eta merkeak dira.
- ✓ Bestalde, erradiazio optikoen ia espektriko osoa hartzen duten eta detektagailu askorekin dabilzan erradiometro komertzialak daude salgai. Detektagailuak banaka eros daitezke, eta salneurri ertaina dute.

- ✓ Halaber, kalitate optiko oneko espektro-erradiometroak daude. Oraingoan, laborategietan erabiltzen dira soilik, esposizioari buruzko ikerketetan. Batzuk eramangarriak dira, baina oso astunak eta bolumen handikoak. Ezaugarri tekniko oneko ekipo optiko gehienak bezala, garestiak dira.
- ✓ Badaude, azkenik, espektro-erradiometro komertzial txikiak, lanpostuan neurketak egiteko balio dutenak. Erradiazio ultramorea eta erradiazio ikusgaia neurtzeko balio dute. Ez dira oso kalitate onekoak, baina iturriaren igorpen-espektroa lanpostuan egiteko balio dute eta, horrela, esposizioa ikertzeko datu gehiago lor daitezke. Lorturiko datuak informatikoki prozesatzen dira ponderazio-kurbak aplikatuz, eta, horrela, guztizko esposizioaren balioa lortzen da.

Enpresetan, eskuragarriena da ACGIHK kalibratutako detektoreak dituen erradiometro batez neurtzea erradiazio optikoak, nahiz eta doitasuna galdu.

Ekipo guztiak optikoki eta elektronikoki kalibratu behar dira, eta aldizkako kalibraketa ziurtatzen duen agiria izan behar dute.

### 3.5 Erreferentziazko balioak

Erradiazio optikoetarako gomendatzen diren esposizio-mailak (ICNIRPren gidak eta ACGIHKren TLVak) osasunerako kaltegarriak ez diren gehieneko erradiazio-mailen multzoak dira. Esposizio-maila horiek, ponderazio biologikoko kurben bidez zuzenduta daudenez, aldatu egiten dira erradiazioaren uhin-luzerarekin eta esposizio-denborarekin. Erreferentziazko balioak zenbait esperientziaren ondorioz ezagutzen diren maila arriskutsuetan oinarritzen dira, hots, erradiazio optikoek eragindako lesioetan eta begi lausoen eta azaleko minbizien ikerketa epidemiologikoetan. Erreferentziazko balioak esposizioaren kontrolerako gida moduan erabiltzen dira, baina aplikatzea konplexua da eta ahulgune hauek dituzte:

- ✓ Ez dute babesten agente fotosentsibilizatzaileak jasaten dituen pertsona
- ✓ Zenbait tratamendu medikorekin adibidez, eritemaren atalase-maila gainditzen da, eta kasu horietan pazienteak ez daude babesturik
- ✓ Begi lausotik operatuta daudenak ez dituzte guztiz babesten

Laserren kasuan, UNE EN 60825-1 arauaren Gehieneko Esposizio Onargarriaren mailak aplikatzen dira.

### ■ Erradiazio optikoen aurreko esposizioari buruzko legeria

1996ko martxotik, 31/1995 Lan Arriskuen Prebentziorako Legea indarrean jarri zenetik, erradiazio optikoak prebenitu behar diren arrisku orokorren artean daude. Ez dute berariazko legeriarik, baina badaude ebaluatzeko arauak eta gidak.

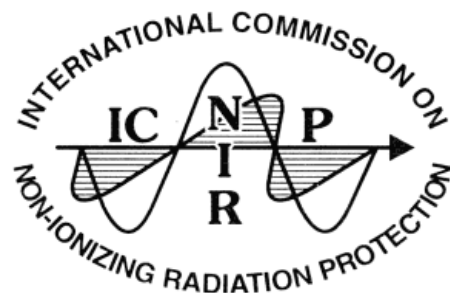
Aplika dakiekeen legeria bi motatakoa da:

- ✓ Langileen segurtasuna eta osasuna babesteko legeria
- ✓ Ekipoen merkaturatzeari buruzko segurtasun-legeria

#### ► **Langileen segurtasuna eta osasuna babesteko legeria**

31/1995 Legeak eta Prebentzio Zerbitzuen Araudiak (urtarrilaren 17ko 39/1997 ED) diote enpresariak lan-arriskuak ebaluatu behar dituztela. 1215/1997 EDak zehazten ditu lan-ekipoak erabiltzeko langileen-tzako gutxieneko osasun- eta segurtasun-arauak. Errege-dekretu horrek dio lan-ekipoak egin behar den lanerako egokiak izan daitezen enpresariak beharrezko neurriak hartu behar dituela eta lan-ekipoek langileen segurtasuna eta osasuna bermatu behar dituztela. Horretaz gain, I eranskineko 1.17 puntuan hau dio: zarata, bibrazioak edo erradiazioak direla medio, arriskupean lan egiten duten ekipoek babes-neurri eta -gailu egokiak behar dituzte, ahal den neurrian, agente fisiko horien sorrera eta hedapena mugatzeko.

Hala ere, Espainiako legedian, erradiazio optikoen aurreko lan-esposiziorako gomendaturiko mugabaldioak falta dira. Dena den, Europar Batasunak direktiba bat argitaratu behar du, zeinean agente fisikoek eragiten dituzten arriskuen aurreko esposiziorako gutxieneko xedapenak argitaratuko baitira. Direktiba horretan zehaztuko dira, besteak beste, erradiazio optikoen aurreko lan-esposiziorako gomendaturiko mailak. Bien bitartean, ICNIRPk (Erradiazio Ez Ionizatzaileen aurreko Babeserako Nazioarteko Batzordea) gomendaturiko irizpideak aplikatzen ditu INSHTk.



ICNIRPren gidak eta gomendioak erradiazio optikoei buruzko ACGIHren irizpideak (TLVak) eta HCNrenak kontuan hartuta erabaki dira, zenbait aldaketa txiki sartu ondoren.

Norbera babesteko ekipoen (NBE) erabilerari buruzko errege-dekretuak (773/1997 ED) NBEen erabilerarako irizpideak finkatzen ditu: ekipoek bete behar dituzten ezaugarriak eta nola aukeratu, erabili eta mantendu behar diren babesak bermatzeko.

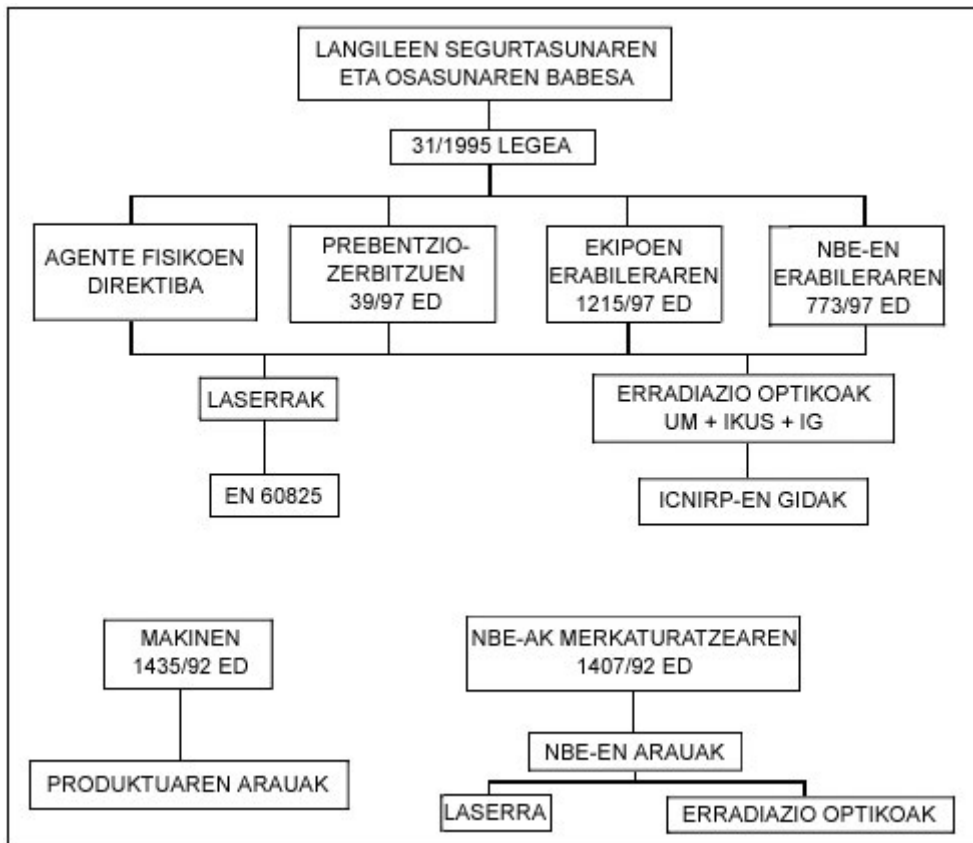
III. eranskina erradiazio optikoen aurreko babesari buruzkoa da, eta soldaketan eta laserrekiko lanetan erabili behar diren begietarako eta aurpegirako babesak zehazten ditu.

IV. eranskinean, erradiazio ultramorea, infragorria, ionizatzailea, laserra eta ikusgaia (eguzki-argia) arriskuen jatorritzat hartzen dira, eta NBEa aukeratzeko eta erabiltzeko faktoreak finkatzen dira: okularren ezaugarri iragazleak, armazoiaren hermetikotasuna erradiazioarekiko eta armazoiaren opakutasuna.

### ► Ekipoak merkaturatzeari buruzko segurtasun-legeria.

Erradiazio optikoen iturria makina baten parte bat denean, barruko merkaturako Europako legeria aplikatu daiteke, hots, 1435/92 ED (makinei buruzkoa). errege-dekretu horrek ekipo eta makina seguruen komertzializazioa arautzen du Europar Batasunean; era berean, erradiazioak behar-beharrezkoak diren kasuetan bakarrik erabiltzea gomendatzen du, eta segurtasunerako gutxieneko betekizunak zehazten ditu.

Makinei buruzko 1435/92 EDak, I eranskinean, 1993tik aurrera Europar Batasunean erabiliko diren makinaren oinarritzko betekizunak zehazten ditu. Errege-dekretu horretan, erradiazioei buruzko 1.5.10 puntuan, makinaren funtzionamendurako behar beharrezkoak diren erradiazioak bakarrik igorri behar dituela zehazten da, eta, halaber, esposiziopeko pertsonak eraginik ez dutela izan behar edota erradiazioak balio ez-arriskutsuetara eraman behar direla. Bestalde, errege-dekretu horretako 1.5.12 puntuan laser-ekipoak aipatzen dira.



3.15. irudia. Erradiazio optikoei aplika dakiekeen legeria eta arautegia.

Errege-dekretu horren aplikazioa errazteko, arau teknikoak edo produktuen segurtasun-arauak daude, zeinetan ekipo bakoitza fabrikatzeko eta erabiltzeko gutxieneko betekizunak zehazten baitira. Arau horiek Europako Normalizazio Batzordeak (ENB) erabakitzen ditu. Normalizaziorako erakunde nazionalak ENBren barruan daude, Espainiako AENOR, besteak beste.

Irizpide horrekin fabrikaturiko ekipo igorleek CE marka eta informazio-liburuxka bat izaten dute. Jatorrian ezin badira arriskuak ezabatu, fabrikatzaileak informatu egin behar du, eta zehaztu behar du ea prestakuntza edota NBEak behar diren.

Laser erradiazioa igortzen duten ekipoetarako berariazko arau bat dago, 1996ko UNE EN 60825-1, zeinetan ekipo horien fabrikaziorako eta erabilerarako betebeharrak, gehienezko esposizio-balioak onargarriak eta kontrol-neurriak zehazten diren.

1407/1992 EDak erradiazio optikoen aurreko NBEak merkaturatzeko segurtasun-betekizunak arautzen ditu. II. eranskinean, funtsezko osasun- eta segurtasun-eskakizunei buruzko 3.9.1. puntuan, erradiazio ez-ionizatzaileen aurreko babeserako berariazko betekizunak zehazten dira. Irizpide horrekin fabrikaturiko NBEek CE marka eta erabiltzailearentzako informazio-liburuxka bat izaten dute.

1407/1992 EDa erradiazio optikoen aurkako NBEei errazago aplikatzeko, badaude begietarako eta azalerako NBEek bete behar dituzten betekizunak zehatzen dituzten zenbait arau tekniko; adibidez, iragazkiek, betaurrekoek, pantailek eta arropak bete behar dituzten ezaugarriak.

Hala ere, ekipo jakin baterako segurtasun-arauak dauden jakiteko, gomendagarria da AENORen katalogoa kontsultatzea, arauak moldatzea amaierarik gabeko lana baita.

Ikus dezagun informazio hori guztia laburbilduta:

<i>LEGEA</i>	<i>BETEKIZUNA</i>
31/1995 Legea 39/1997 ED	Lan-arriskuak ebaluatzea, erradiazio optikoen arriskuak barne
1215/1997 ED	Erradiazio optikoak sortzea eta zabaltzea minimizatzea
1435/1992 ED	Erradiazio optikoen iturriak dituzten ekipoak merkaturatzeko segurtasun- eta osasun-betekizunak
773/1997 ED 1407/1992 ED	Erradiazio optikoen aurkako NBEak merkaturatzeko eta erabiltzeko irizpideak
Ez dago <b>esposizio-mugak</b> arautzen dituen berariazko legeriarik langileen osasuna eta segurtasuna erradiazio optikoen arriskuetatik babesteari dagokionez.	
Ekipoen segurtasuna eta esposizioa ebaluatzeko arauak, gidak eta irizpideak daude.	

#### ■ ICNIRP erakundea eta erradiazio optikoen aurreko esposizio-mugak

Legeria nazionalik ez dagoenez, INSHTk ICNIRPren irizpideak jarraitzen ditu. ICNIRP 1992an IRPATik (International Radiation Protection Association) banandu zen adituen nazioarteko batzordea da. Haren bazkideak beren independentziarengatik, profesionalki ospe handikoak izateagatik eta beren jatorri geografikoarengatik hautatzen dira. Erradiazio ez-ionizatzaileen aurkako babesa da erakundearen helburu nagusia, eta lotura estua du arlo horrekin zerikusia duten beste nazioarteko erakundeekin, adibidez, IRPArekin, OEMrekin, IARCekin (International Agency for Research on Cancer), OITrekin, WMOREkin (World Meteorological Organization, [www.wmo.ch](http://www.wmo.ch)) eta Europar Batzordearekin.



WMOREn logotipoa

ICNIRPk Health Physics aldizkarian argitaratzen ditu gomendioak eta gidak, eta OEMrekin eta OITrekin lan egiten du. Gaur egun, erradiazio optikoen esposizio-mugei buruzko hiru gida daude:

1. UM erradiazioaren (180 nm-tik 400 nm-ra) aurreko esposizioa. 1996an berrikusia.
2. Banda zabaleko (380 nm-tik 3 $\mu$ m-ra) erradiazio optiko inkoherentearen aurreko esposizioa, 1997koa .
3. Laser (180 nm-tik 1 mm-ra) erradiazioaren aurreko esposizioa, 1996koa.

Adierazi dugun moduan, erradiazio optikoetarako gomendatzen diren esposizio-mailak osasunerako kaltegarriak ez diren erradiazio-mailarik altuenak dira. Balio horiek haztapen biologikoaren arabera kurben bidez zuzenduta daude. Hala eta guztiz ere, erradiazio-maila horiek ez dituzte pertsona guztiak babesten.

Animaliekin eta pertsonekin egindako ikerketa esperimentalen bidez frogatu da espektroko zenbait bandatako erradiazio optikoen kalte biologikoa eragiteko ahalmena dutela. Horrela, begietarako eta azalerako **haztapen biologikoaren arabera kurbak** irudikatu dira. Kurba horiek uhin-luzeren tarte bakoitzean neurturiko esposizioaren balioak zuzentzeko erabiltzen dira. Haztapen-kurba horiek beste bi izen ere badituzte: haztapen espektralaren arabera kurbak edota eraginkortasun espektraleko kurbak. Horrela, lau kurba ditugu:

- ✓  $S(\lambda)$  edo UMrako eraginkortasun espektral erlatiboa (180 nm-tik 400 nm-ra).
- ✓  $B(\lambda)$  edo argi urdinak eragindako erretinaren arrisku-funtzioa (arrisku fotokimikoa) (300 nm-tik 700 nm-ra).
- ✓  $R(\lambda)$  edo erretinaren arrisku termikoaren funtzioa (380 nm-tik 1400 nm-ra).
- ✓  $A(\lambda)$  edo arrisku afakikoaren funtzioa. Kristalinorik gabeko pertsonen aplikatzen zaie.

### Erradiazio ultramorearen aurreko esposizio-mugak

$S(\lambda)$  kurba, eraginkortasun espektralaren kurba, azalean eta begietan izandako eragin larri eta kronikoak kontuan hartuta lortu da, eta, horretarako, eritema edota fotokeratitis eragiteko atalase-balioak erabili dira.

ICNIRPen taula ere badago, 1996koa:

UHIN-LUZERA (nm)	S( $\lambda$ )	UHIN-LUZERA (nm)	S( $\lambda$ )
180	0,012	310	0,015
190	0,019	313 <sup>b</sup>	0,006
200	0,03	315	0,003
205	0,051	316	0,0024
210	0,075	317	0,0020
215	0,095	318	0,0016
220	0,12	319	0,0012
225	0,15	320	0,0010
230	0,19	322	0,00067
235	0,24	323	0,00054
240	0,3	325	0,0005
245	0,36	328	0,00044
250	0,43	330	0,00041
254 <sup>b</sup>	0,50	333	0,00037
255	0,52	335	0,00034
260	0,65	340	0,00028
265	0,81	345	0,00024
270	1	350	0,0002
275	0,96	355	0,00016
280 <sup>b</sup>	0,88	360	0,00013
285	0,77	365 <sup>b</sup>	0,00011
290	0,64	370	0,000093
295	0,54	375	0,000077
297 <sup>b</sup>	0,46	380	0,000064
300	0,3	385	0,000053
303 <sup>b</sup>	0,12	390	0,000044
305	0,06	395	0,000036
308	0,026	400	0,000030

Eta ACGIHren taula ere badago, 2003koa:

Taula horietako balioak ez dira berdin aplikatzen begietan eta azalean.

- ✓ BEGIETAN. Babestu gabeko begietan, B eta C erradiazio ultramorearen aurreko esposizioak 8 ordukoa eta  $30 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ -koa baino txikiagoa izan behar du ( $S(\lambda)$  kurbak haztatua), eta UM-A erradiazioak (315 nm-tik 400 nm-ra), haztatu gabe, 8 ordukoa eta  $10^4 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ -koa baino txikiagoa izan behar du.
- ✓ AZALEAN. Babestu gabeko azalean, erradiazio ultramorearen (180 nm-tik 400 nm-ra) aurreko esposizioak 8 ordukoa eta  $30 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ -koa baino txikiagoa izan behar du, ( $S(\lambda)$  kurbak haztatua).
- ✓ A erradiazio ultramoreak begiei edota azalari erasotzen dienean, guztizko irradiantziak, 1000 s-an (16 minutu, gutxi gorabehera),  $10 \text{ W}/\text{m}^2$  baino txikiagoa izan behar du.

Iturriak zenbait uhin-luzera ( $\lambda_i$ ) igortzen dituenean, eragin gehigarriak kontuan hartzen dira eta batuketa kalkulatzen da:

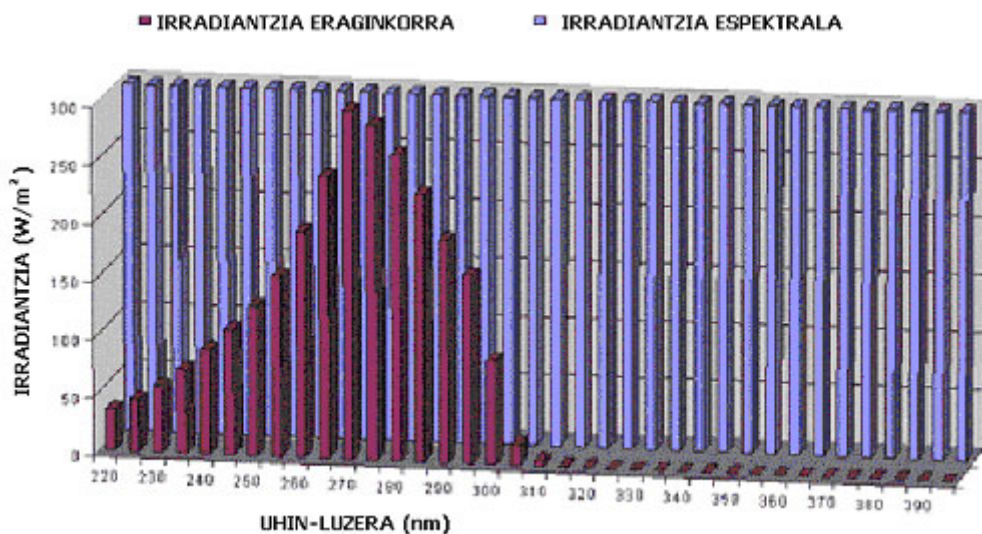
$$\sum_i \frac{\text{irradiatze-esposizioa } \lambda_i}{\text{muga-balioa } \lambda_i} < 1$$

Banda zabaleko iturri baten irradiantzia eraginkorra ( $E_{\text{erag}}$ ) kalkulatzeko,  $S(\lambda)$  kurbaren arabera haztatua, hurrengo haztapen-formula erabiltzen da:

$$E_{\text{erag}} = \sum_{180}^{400} E_{\lambda} \cdot S_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$$

- ✓  $E_{\text{erag}}$  = irradiantzia eraginkorra,  $\text{W/m}^2$ -tan, iturri monokromatiko baterako 270 nm-tan haztatua. Erradiazio ultramoreen neurgailuak emango digu balio hori, zuzenean.
- ✓  $E_{\lambda}$  = irradiantzia espektrala,  $\text{W/m}^2 \cdot \text{nm}$ -tan
- ✓  $S_{\lambda}$  = eraginkortasun espektral erlatiboa, adimentsionala
- ✓  $\Delta\lambda$  = uhin-luzeren bandaren zabalera, nm-tan

ICNIRPren  $S(\lambda)$  kurba eta ACGIHren TLVak bat datoz. Hurrengo irudian erakusten da nola zuzendu erradiazio ultramorearen iturri baten espektra 180 nm-ren eta 400 nm-ren arteko irradiantzia espektrala  $60 \text{ W/m}^2$ -koa denean. Gehienezko eraginkortasun espektrala, 1 baliokoa, 270 nm-an gertatzen da. Gainerako uhin-luzeretako irradiantzia pixkanaka txikiagotzen da, eta baliorik txikiak UM-A erradiazioan dira. Guztizko irradiantzia eraginkorra 5 nm-ko tarte bakoitzaren balio partzial guztien batuketa da.



3.16. irudia: UM erradiazioarako  $S(\lambda)$  haztapen-kurba.

Babesik gabeko begietan eta azalean onar daitekeen UM-B eta UM-C erradiazioen aurreko esposizio-denbora onargarria formula honen bidez kalkula daiteke.

$$t_{\text{onargarria}} \text{ (s)} \leq \frac{30 \text{ J/m}^2}{E_{\text{erag}} \text{ W/m}^2}$$

UM-A erradiazioan (315 nm-tik 400 nm-ra), lehen aipaturiko TLVez gain, babesik gabeko begien esposizioak ez ditu haztatu gabeko honako balio hauek gainditu behar:

- ✓  $t < 1.000 \text{ s}$  denean,  $1,0 \text{ J/cm}^2$ -ko irradiatze-esposizioa
- ✓  $t \geq 1.000 \text{ s}$  denean,  $1,0 \text{ mW/cm}^2$ -ko irradiantzia

Edota taula hau erabiliz:

<b>EGUNEKO GEHIENEZKO ESPOSIZIOA</b>	<b>IRRADIANTZIA ERAGINKORRA</b>	
	<b><math>E_{\text{erag}} \text{ (W/m}^2\text{)}</math></b>	<b><math>E_{\text{erag}} \text{ (}\mu\text{W/cm}^2\text{)}</math></b>
<b>denbora</b>		
28.800 s (8h)	0,001	0,1
14.400 s (4h)	0,002	0,2
7.200 s (2h)	0,004	0,4
3.600 s (1h)	0,008	0,8
1.800 s (30 min)	0,017	1,7
900 s (15 min)	0,033	3,3
600 s (10 min)	0,05	5
300 s (5 min)	0,1	10
60 s (1 min)	0,5	50
30 s	1,0	100
10 s	3,0	300
1 s	30	3.000
0,5 s	60	6.000
0,1 s	300	30.000

### Banda zabaleko erradiazio optiko (380 NM-TIK 3 μM-RA) inkoherentearen esposizio-mugak

Eguzkiak edota iturri artifizialek igortzen duten erradiazio ikusgaia, askotan, giza begiak atzeman ezin duen UM eta IG erradiazioekin batera agertzen da. Erradiazio horri banda zabaleko erradiazio optiko inkoherente deritzo. Erradiazio ikusgai indartsuaren aurreko esposizioak (oso argi distiratsua) lesio termikoa edota fotokimikoa eragin dezake. Normalean, giza begia ezin da erradiazio ikusgai oso distiratsuaren aurrean luzaroan egon: babes-erreflexuak sortzen dira, eta nahi gabe ere, begiek kliska egiten dute eta burua biratu egiten da. Hala ere, zenbait kasutan, esposizioa arriskutsua da, adibidez, arkuzko lanparetan eta arkuzko soldaketan.

Begien esposizioan, erradiazio ikusgaiaren eta IGaren esposizio-mugak aplikatu ahal izateko, erradiantzia espektrala ( $L(\lambda)$ ) edota irradianzia espektrala ( $E(\lambda)$ ) eta iturriaren tamaina ezagutu behar dira. Normalean erabiltzen diren iturriek,  $10^4$  cd/m<sup>2</sup>-ko baino luminantzia txikiagokoen, ez dituzte ICNIRPren mugak gainditzen.

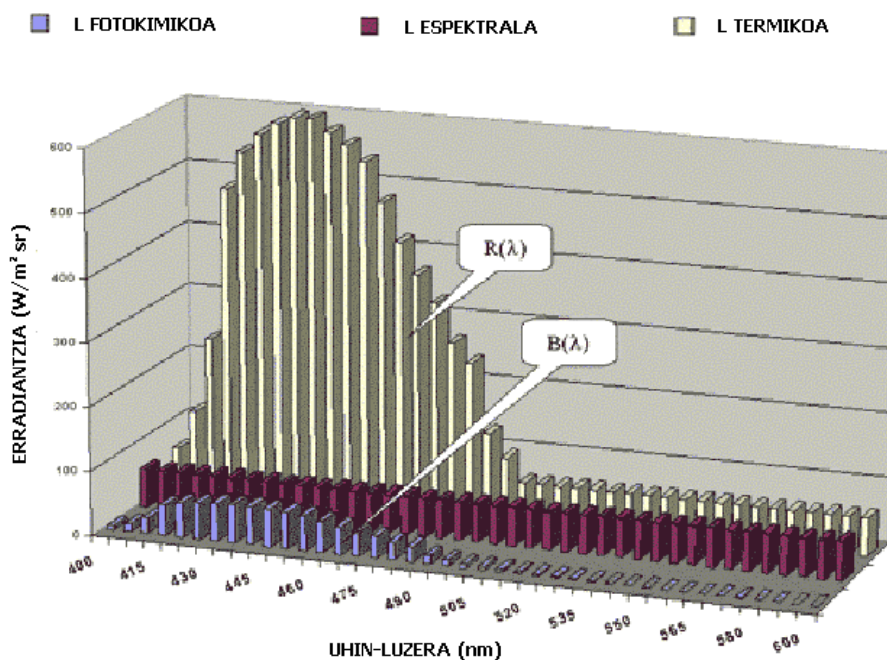
Gomendaturiko esposizio-mailak jatorri termiko edo fotokimikoko lesioa eragiteko behar diren atalase-balioetan oinarritzen dira, beste zenbait faktore ere kontuan hartuta:

- ✓ Esposizio-denbora
- ✓ Begien esposizioaren geometria
- ✓ Gizabanakoaren erradiazio optikoen aurreko sentsibilitatea kontuan hartzen duten segurtasun-faktoreak

**Mekanismo fotokimikoan**, lesioa eragiteko atalase-dosia kalkulatu da esposizio-denbora eta dosia bera biderkatuz. Horrela, fotorretinitisa gerta daiteke argi indartsu bati oso denbora labur batean begiratuta edo hain indartsua ez den argi bati oso denbora luzean begiratuta.

Kasu horretan, haztopen-kurbak gehienezko balioa 440 nm-an du, eta  $B(\lambda)$  edo argi urdinak eragindako erretinaren arrisku-funtzio (arrisku fotokimiko) deitzen da.

**Mekanismo termikoan**, berriz, lesioa eragiteko atalase-dosia ez da dosiarekiko eta esposizio-denborarekiko proportzionala. Lesio termikoa ehun irradiatuek beroa eramateko duten gaitasunaren mendekoa da. Segundo gutxiko oso esposizio indartsu bat ehunak gatzatzeko adinakoa izan daiteke; esposizioa hain indartsua ez denean, aldiz, inguruko ehunek beroa xahutu dezakete eta hartara, esposiziopeko ehunak babestu. Kasu horietan,  $R(\lambda)$  haztopen-kurba edo erretinaren arrisku termikoaren funtzioa (380 nm-tik 1.400 nm-ra) aplikatzen da. Kurba horren balio maximoa 435-440 nm-an dago.



3.17. irudia: erradiazio ikusgaiaren haztapen-kurbak.

Irudi horretan, erradiazio ikusgaiari aplika dakizkiokeen bi haztapen-kurba daude:  $B(\lambda)$  arrisku fotokimikorako, eta  $R(\lambda)$  arrisku termikorako. Irudian,  $60 \text{ W/m}^2\text{sr}$ -ko erradiantzia espektrala duen iturri bati aplikatu zaizkio. Gehienezko eraginkortasuna, bi kasuetan, 435-440 nm-koa da, baina arrisku termikoaren kurbak eraginkortasun espektrala hamar bider handitzen du.

Begietan eta azalean lau motatako lesioak gerta daitezke, eta ICNIRPk mota bakoitzerako mugak ezarri ditu:

► **Erretinaren lesio termikoaren mugak (380 nm-tik 1.400 nm-ra)**

Esposizio-muga  $\bar{\alpha}$ -ren eta esposizio-denboraren mendekoa da.  $\alpha_{\text{gutx}}$  parametroak balio du ikus-ezaugarriak ezagutzeko, eta bereizteko erretinan irudi puntuala sortzen duten iturriak (ikuste zuzena) eta irudi zabala sortzen dutenak.

Hori garrantzizkoa da, erreferentzia-balioa bestela adierazten baita kasu batean edo bestean:

- ✓ Irudia puntuala bada (ikuste zuzena), irradiantzia ( $\text{W/m}^2$ ) edo irradiatze-esposizioa ( $\text{J/m}^2$ ) erabiltzen dira.
- ✓ Irudia zabala bada, erradiantzia ( $\text{W/m}^2\text{sr}$ ) edo erradiantzia integratua ( $\text{J/m}^2\text{sr}$ ) erabiltzen dira.

$\alpha_{\text{gutx}}$  parametroaren balioa aldatu egiten da arrisku fotokimikoa edo termikoa kontuan hartuta.

Arrisku termikoaren kasuan,  $\alpha_{\text{gutx}}$  0,0017 rad-etik 0,1 rad-era oszilatzen da. Hala ere, iturriaren angelu subtenditua 0,1 rad-ekoa baino handiagoa bada, gehienezko balioa hartzen da, 0,1 rad, alegia.

Esposizio-denborari dagokionez, gutxieneko esposizio-denbora 10  $\mu\text{s}$ -koa da, eta gehienezkoa, 10 s-koa.

Erradiantzia espektrala ( $L_\lambda$ ),  $R(\lambda)$  funtzioaz haztatu eta 380-1.400 nm-ko tartean integratu ondoren, baldintza hau bete behar du:

$$L_R = \sum_{380}^{1.400} L_\lambda \cdot S_\lambda \cdot \Delta\lambda < L_{\text{SORTA}} = \frac{50}{\alpha \cdot T^{0,25}} \text{ kW/m}^2 \cdot \text{sr}$$

$L_R$  = erradiantzia espektrala,  $\text{kW/m}^2 \text{sr}$ -tan,  $R_\alpha$  funtzioaz haztatuta

ACGIHren 2002/2003ko TLVekin:

$$L_R = \sum_{380}^{1.400} L_\lambda \cdot S_\lambda \cdot \Delta\lambda < L_{\text{SORTA}} = \frac{50}{\alpha \cdot T^{0,25}} \text{ W/cm}^2 \cdot \text{sr}$$

Aurreko ekuazioa enpirikoa da, eta dimentsionalki ez da zuzena. Horregatik, zuzenketa-faktore dimentsionala sartu beharko genuke zenbakitzailean:  $1 \text{ W rad/s}^{1/4} \text{ cm}^2 \text{sr}$ , alegia.

► **Argi urdinak eragindako lesio fotokimikoaren mugak (300 nm-tik 550 nm-ra)**

Argi urdinak begi normalean lesio fotokimikoa sortzen du 380-550 nm-ko tartean, eta begi afakikoan, aldiz, 300-550 nm-ko tartean.

✓ **Iturri zabalen** ( $\alpha > 0,011 \text{ rad}$ ) aurreko esposizioan bi aukera daude:

$$t < 10.000 \text{ s bada, } L_B \cdot t = \sum_{300}^{700} L_\lambda \cdot B_\lambda \cdot \Delta\lambda \leq 10^6 \text{ J/m}^2 \cdot \text{sr} \text{ eraginkorrak}$$

$$t > 10.000 \text{ s (2,8 h) bada, } L_B \leq 100 \text{ W/m}^2 \cdot \text{sr} \text{ eraginkorrak}$$

Esposizio zuzena denean, gehienezko esposizio-denbora honela kalkulatzen da:

$$t_{\text{gehi}} \leq \frac{10^6 \text{ J/m}^2 \cdot \text{sr}}{L_B}$$

$L(\lambda)$ -ren eta  $B(\lambda)$ -ren arteko biderketa haztatuari  $L_{urdin}$  deritzo.

ACGIHren 2002/2003ko TLVen kasuan:

$$t < 10.000 \text{ s bada, } L_B = \sum_{305}^{700} L_\lambda \cdot t \cdot B_\lambda \cdot \Delta\lambda \leq 10^{-2} \text{ J/cm}^2 \cdot \text{sr}$$

$$t > 10.000 \text{ s (2,8 h) bada, } L_B = \sum_{305}^{700} L_\lambda \cdot B_\lambda \cdot \Delta\lambda \leq 10^{-2} \text{ W/cm}^2 \cdot \text{sr}$$

Izan bedi  $L_B$  = erradiantzia espektral integratua,  $\text{W/cm}^2 \text{ sr}$ -tan,  $B_\lambda$  funtzioarekin haztatua eta zuzeneko esposizioan, gehieneko esposizio-denbora onargarria  $t < 10.000\text{s}$  bada:

$$t_{\text{gehien}} \leq \frac{100 \text{ J/cm}^2 \cdot \text{sr}}{L_{\text{urdin}}}$$

- ✓ **Iturri puntualak** ( $\alpha \leq 0,011 \text{ rad}$ ) zuzenean begiratzen direnean, adierazitako mugak lausotzen dira.  $E_B$  irradiantziak,  $B(\lambda)$  funtzioaren bidez haztatua,  $L_B$  ordezkatu dezake eta badu beste muga bat:

$$t > 10.000 \text{ s bada, } E_B \leq 10 \text{ mW/m}^2$$

Irradiantzia  $10 \text{ mW/m}^2$ -koa baino handiagoa denean eta zuzenean begiratzen denean, gehieneko esposizio-denbora onargarria honela kalkulatzen da:

$$t_{\text{gehien}} \leq \frac{100 \text{ J/m}^2}{E_B}$$

ACGIHren 2002/2003ko TLVen kasuan:

$$t < 10.000 \text{ s bada, } E_B = \sum_{305}^{700} E_\lambda \cdot t \cdot B_\lambda \cdot \Delta\lambda \leq 10 \text{ mJ/cm}^2$$

$$t > 10.000 \text{ s (2,8 h) bada, } E_B = \sum_{305}^{700} L_\lambda \cdot B_\lambda \cdot \Delta\lambda \leq 1 \mu\text{W/cm}^2$$

$E_B$  = erradiantzia espektral integratua,  $\text{mJ/cm}^2$ -tan,  $B_\lambda$  funtzioak haztatua, eta  $H_B$  irradiatze-esposizioa  $\text{mW/cm}^2$ -tan.

Onarturiko gehienezko esposizio-denborari dagokionez, iturri baten argi urdinaren irradiantzia haztatua ( $E_{urdin}$ )  $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ -ekoa baino handiagoa denean;  $t < 10.000$  s bada, honela kalkulatu da:

$$t_{gehienezko} \leq \frac{10 \text{ mJ}/\text{cm}^2}{E_{urdin}}$$

Kasu berezietan baino ez gara egoten iturri puntual bati 100 s baino denbora luzeagoan zuzenean begira, adibidez, tresna oftalmologikoak erabiltzen direnean edo prozesu kirurgiko batean begia lasaitua dagoenean.

Beste iturri puntual batzuen berariazko esposizioa determinatzeko, 100 s-ko gehienezko esposizio-denbora hartu ohi da. Nahiz eta bi iturri irradiatze-potentzia berdinekoak izan, esposizio-arriskuak ez du zertan berdina izan, arriskua iturriaren konfigurazioaren arabera baita.

Adibide gisa, hurrengo taulari erreparatuko diogu. Bertan, hainbat potentziatako lanparak aztertu dira. A, B eta C lanparak potentzia berekoak izan arren, irradiantzia oso ezberdina da (750, 6.070 eta  $1.667 \text{ W}/\text{m}^2\text{sr}$ ) eta onartutako gehienezko esposizio-denbora ere asko aldatzen da (22 s, 3 s eta 10 s).

<b>ARGI URDINAK ERAGINDAKO ARRISKU FOTOKIMIKOA</b>			
<b>LANPARA</b>	<b>POTENTZIA (W)</b>	<b>ERRADIANTZIA (URDINA) <math>\text{W}/\text{m}^2\text{sr}</math></b>	<b>GEHIENEZKO ESPOSIZIO-DENBORA (s)</b>
A	50	750	22
B	50	6.070	3
C	20	890	19
D	50	1.667	10
E	100	3.417	5
F	150	2.171	8

Bukatzeko, esan behar da arrisku afakikoaren kasuan  $B_\lambda$  funtzioa  $A_\lambda$  deitzen dela.

► **Erradiazio infragorriak eragindako begiko lesioen mugak (780 nm-tik 3.000 nm-ra)**

Atal honetan, kornearen lesio termikoa (1.400 nm-tik 1 mm-ra, gutxi gorabehera) eta kristalinoarena (infragorria, 800 nm-tik 3.000 nm-ra) aztertuko ditugu.

- ✓ **Kornea** lesionatzeko arriskua saihesteko eta denbora pasatu ondoren sor daitezkeen arriskuak (adibidez, **kristalinoan** begi lausoa agertzea) saihesteko, erradiazio infragorriari bi muga ezartzen zaizkio, esposizio-denboraren arabera.

Kornearen lesioak eta denbora pasatu ondoren sor daitezkeenak ager ez daitezen:

$$t < 1.000 \text{ s denean} \quad \sum_{780}^{3.000} E_{IR} \leq 18 \cdot t^{-3/4} \text{ (kW/m}^2\text{)}$$

$$t \geq 1.000 \text{ s denean} \quad \sum_{780}^{3.000} E_{IR} \leq 100 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

ACGIHren 2002/20033ko TLVen kasuan:

$$t < 1.000 \text{ s bada,} \quad E_B = \sum_{700}^{3.000} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq 1,8 \cdot t^{-3/4} \text{ W/cm}^2$$

$$t > 1.000 \text{ s bada,} \quad \sum_{780}^{3.000} E_{IR} \leq 10 \text{ mW/cm}^2$$

- ✓ **Erretina A** motako edozein erradiazio infragorritatik babesteko, irradiantziaren balioak hau bete behar du:

$$t > 10 \text{ s bada,} \quad \sum_{780}^{1.400} L_{\lambda} \cdot R_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq \frac{6.000}{\alpha} \text{ W/m}^2 \cdot \text{sr}$$

ACGIHren 2002/20033ko TLVen kasuan:

$\lambda = 770 \text{ nm-tik } 3.000 \text{ nm-rako}$  muga  $10 \text{ mW/cm}^2$ -koa da,  $t \geq 1.000 \text{ s}$  bada,

$$\lambda = 770 \text{ nm-tik } 1.440 \text{ nm-rako} \text{ muga hau da: } \sum_{770}^{1.400} L_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq \frac{0,6}{\alpha} \text{ W/cm}^2 \cdot \text{sr}$$

Aurreko ekuazioa, lehengoa bezala, enpirikoa da eta dimentsionalki ez da zuzena. Horregatik, zuzenketa-faktore dimentsionala sartu behar da zenbakitzailean:  $1 \text{ W rad/cm}^2 \text{ sr}$ , alegia.

- ▶ **Erradiazio ikusgaiak eta infragorriak eragindako azaleko lesioen mugak (380 nm-tik 1 mm-ra, gutxi gorabehera)**

Azaleko lesio termikoa sor dadin, beharrezkoa da oso-oso irradianzia bizia min-atalasea gainditu baino lehen (< 1s). Muga horiek ICNIRPk argitaratu zituen 1997an. Erakunde horren arabera, azaleko lesio termikoa izateko benetako arriskua ingurune jakinetan sortzen da, alegia, oso irradianzia bizia igortzen duen iturri pultsatu bat dagoen inguruetan bakarrik. Horregatik, 10 s irauten duten esposizioetarako bakarrik daude irizpideak. Irizpide horiek gutxienez 10 mm-ko diametroa duen gainazal baten batez besteko irradianzia finkatzen dute.

Irradiatze-esposizioak 10 s baino gutxiago irauten duen kasuan, hau bete behar du:

$$H = 20.000 \cdot t^{1/4} \text{ J/m}^2$$

Esposizio luzeagoetarako, Espainian aplikatzen diren estres termikorako irizpideak kontsultatu behar dira (lantokiei buruzko 486/1997 EDa).

Arrisku mota bakoitzaren esposizio-maila onargarrien kalkulua errazteko muga-balioak Nazioarteko Sistemaren unitatetan ematen dira.

Erreferentziazko balioak aztertzen baditugu, konturatuko gara erradiazio ikusgaien iturri zabaletarako iturri puntaletarako (ikuste zuzena) baino permisiboagoak direla. Oso hurbiletik begiratuta, iturriaren irudia erretinan puntu bat izan beharrea tarte zabal bat denez, erretinak jasaten duen irradianzia txikiagoa da, edo “banatuago” dago.

Beste kalte gehigarri bat azalaren fotosentsibilizazioa da; tipikoa da UMaren kasuan, baina 700 nm-rainoko erradiazioekin ere azal daiteke, zenbait botika hartzeagatik. Ez da erreferentzia-baliorik zehaztu egoera horretarako.

Ikus ditzagun, koadro batean bilduta, erradiazio optikoen lan-esposizioaren mugak: ICNIRPrenak (1997) Nazioarteko Sistemaren unitatetan datoz adierazita; eta ACGIHrenak (2003), aldiz, CGS sistemaren unitatetan.

ESPEKTRO-BANDA (nm)	ARRISKU MOTA	KALKULATUTAKO EDO NEURTUTAKO MAGNITUDEA		MUGA-BALIO (NS)	TLV (CGS)
UM (180-400)	Azaleko eritema eta eragin kantzerigenoa	$H_{UM\ erag}$ (S-k haztatua)		$30\ J/m^2$	$0,003\ J/cm^2$
UM-B + UM-C (180-315)	Keratitis, konjuntibitisa	$H_{UM\ erag}$ (S-k haztatua)		$30\ J/m^2$	$0,003\ J/cm^2$
UM-A (320-400)	Begi lausoa	$H_{UM-A\ erag}$	$t > 10^3\ s$	$10^4\ J/m^2$	$1\ J/cm^2$
			$t < 10^3\ s$	$10\ W/m^2$	$1\ mW/cm^2$
UM + IKUSGAIA (300-700)	Erretinako lesio fotokimikoak	Iturri zabala	$t \leq 10^4\ s$ L (B-k haztat.)	$10^6\ J/m^2\ sr$	$100\ J/cm^2\ sr$
			$t > 10^4\ s$ $L_{int}$ (B-k haztat.)	$10^2\ W/m^2\ sr$	$10^{-2}\ W/cm^2\ sr$
		Iturri puntuala	$t \leq 10^4\ s$ $H_{ikus, erag}$ (B-k haztat.)	$10^2\ J/m^2$	$10\ mJ/cm^2$
			$t > 10^4\ s$ $E_{ikus, erag}$ (B-k haztat.)	$10^{-2}\ W/m^2\ sr$	$1\ \mu W/cm^2$
IKUSGAIA + IG-A (380-1.400)	Erretinako lesio termikoak	$L_{erag}$ (R-k haztat.) $10\ \mu s \leq t < 10\ s$		$50/\alpha\ t^{1/4}\ kW/m^2\ sr$	$5/\alpha\ t^{1/4}\ W/cm^2\ sr$
IG-A (780-1.400)	Erretinako lesio termikoak	$L_{IG-A}\ t > 10\ s$		$0,6\ 10^4/\alpha\ W/m^2\ sr$	$0,6/\alpha\ W/cm^2\ sr$
IG-A + IG-B (780-3.000)	Lesio termikoak kornean eta begi lausoa	$E_{IG-A + IG-B}$	$T < 10^3$	$18\ t^{3/4}\ kW/m^2$	$1,8\ t^{3/4}\ W/cm^2$
			$T \geq 10^3$	$100\ W/m^2$	$10\ mW/cm^2$
IKUSGAIA + IG (380-3.000)	Azaleko lesio termikoa	$H_{ikus + IG}\ t < 10\ s$		$2\ 10^4\ t^{1/4}\ J/m^2$	$2\ t^{1/4}\ J/cm^2$

### 3.6 Erradiazio optikoen aurkako babesa

Intentsitate handiko iturriek prozesu irekian (iturria babestu gabe) lan egiten dutenean bakarrik sor dezakete lan-arrisku potentzial ez-onargarria.

Normalean, nolabaiteko potentzia duten lanparek itxitura iragazle bat izaten dute, arriskua saihesteko. Arriskua sortzen da lanpararen hodia bestelako ezaugarri teknikoak dituen beste batez ordezkatzenean, edo itxitura hausten denean edota iragazlea ez den beste batez ordezkatzenean. Behar-beharrezkoa da fabrikatzailearen gomendioak jarraitzea.

Beste agente kutsatzaileekin egiten den bezala, erradiazio optikoen kontrolaren lehendabiziko helburua lan-arrisku ez-onargarria saihestea da. Ekipoaren diseinua egiten denean edota ebaluazio baten ondoren arrisku ez-onargarria dagoela ikusten denean kontrol-neurriak hartzea erabaki daiteke. Lehenengo aukera da onena: ekipoak arriskurik sortuko ez duenez, ez da beharrezkoa izango ebaluaziorik egitea, eta hori ezinezkoa bada, arriskuen prebentziorako betiko ibilbidea egin beharko dugu.

Zenbait lanetan, arkuzko soldaketan, adibidez, langilea zuzenean babestu behar da, ez baitago beste neurririk.

Kontrol-neurriak ohiko moduan sailkatzen dira, eta ohiko lehentasun-ordenarekin.

1. Iturrian aplikatzen diren kontrol-neurriak.
2. Laneko ingurumenean, hau da, iturriaren eta langilearen arteko espazioan aplikatzen direnak.
3. Langilearengan aplikatzen direnak (NBEak).

#### Erradiazio optikoen kontrola jatorrian (iturrian)

Makinen segurtasunari buruzko 1435/92 EDak erregulatzen du ekipo eta makina seguruen komertzializazioa Europar Batasunean. Era berean, erradiazioak behar-beharrezkoak direnean bakarrik erabiltzea gomendatzen du, eta segurtasunerako gutxieneko betekizunak arautzen ditu:

- ✓ Fabrikatzaileak aurreikusitako egoeran erabili behar dira.
- ✓ Ekipoak segurua izaten jarrai dezan beharrezkoak diren instalazioak eta haien mantentzea ziurtatu behar dira.
- ✓ Segurtasun-marka eta etiketak eduki behar dituzte.
- ✓ Beharrezkoa bada, lanpostuari dagozkion NBEak aplikatu behar dira.

Igortze-maila kontrolatzearen helburua lan-esposizioarako erreferentzia-mugak ez gainditzea da. Ekipo igorleak erreferentzia-mugak gainditzen baditu, irtenbide hauek erabili beharko dira:

- ✓ Itxiturak (gortinak, kabinak...) jartzea iturriaren edo langilearen inguruan.
- ✓ Pantaila eta barrerak jartzea iturriaren eta hartzailearen artean.
- ✓ Atenuadoreak eta segurtasun-gailuak erabiltzea.
- ✓ Iturriaren eta hartzailearen arteko distantzia handitzea.
- ✓ Tokian tokiko konektoreak erabiltzea (babesa kentzen denean iturria itzaltzen duten gailuak dira).

Ekipo eta instalazioek seguruak izaten jarrai dezaten, prebentziozko mantentzea da neurririk onenetariko bat.

### Erradiazio optikoak hedatzea saihesteko kontrol-neurriak

Arriskua ezin bada kontrolatu erradiazio optikoak ingurune irekian erabili behar direlako edo beste edozein arrazoiengatik, lanpostuko esposizioa minimizatzeko beste neurri hauek hartuko dira:

- ✓ Iturri igorleen kokapena aldatzea eta lanpostutik ahalik eta urrutien jartzea.
- ✓ Prozesua ahal den neurrian automatizatzea.
- ✓ Lanaren antolaketa aldatzea. Lan-prozedurak idaztea lan-metodo seguruak bermatzeko, eta aldizka egiaztatzea betetzen direla.
- ✓ Esposizio-denbora murriztea.
- ✓ Lanpostuarekin zerikusirik ez duten langileak sartzea saihestea (bakarrik baimendutako langileak sartuko dira).
- ✓ Arriskua seinalez tatu eta lan-alderdiak mugatzea, batez ere iturriak agerian ez badaude.
- ✓ Uhin-luzera motzeko erradiazio ultramorearen kasuan, aireztapena ezartzea, ozonoa eratzen baita.

Horretaz guztiaz gain, ahal den neurrian, iturria urrundu behar da. Ikusi genuen bezala, difusioa esferikoa denean, iturriaren tamaina 10 aldiz baino distantzia handiagoetan, lanpostuko erradiantzia iturriaren eta hartzailearen arteko distantziarekiko alderantziz proportzionala da.  $E = I/d^2$ . Iturriak 1 m-ra  $16 \text{ W/m}^2$  igortzen badu, 4 m-ra  $1 \text{ W/m}^2$  igorriko du (3.11. Irudia).

### Hartzailereengan hartu beharreko kontrol-neurriak

Oro har, neurri horiek ezartzen dira aurrekoak nahikoak ez direnean. Erradiazio optikoen kasuan, aldiz, aurreko neurri teknikoen eta antolamenduko neurrien eraginkortasuna bermatzeko, **formazioa** eta **informazioa** nahitaezko neurri osagarriak dira.

Iturrian eta hedabidean harturiko neurriak ez badira esposizioa kontrolatzeko gauza, langileei hauek bermatu beharko zaizkie:

- ✓ **Informazioa.** Erabiltzen duten ekipoak igortzen duen erradiazioaren aurreko gehiegizko esposizioak ekar ditzakeen kalteak ezagutu behar dituzte langileek. Informazioak ulergarria izan behar du. Jakinarazi behar zaie lanpostuan zer esposizio-maila dagoen eta nola prebenitu.
- ✓ **Berariazko trebakuntza.** Ekipoa nola erabili behar duten segurua izan dadin, eta arriskua prebenitzeko zein neurri tekniko daukaten eskuragarri. Trebakuntza hori ez da lanean hastean bakarrik eman behar; lanpostura egokituriko heziketa-ekintzak antolatu behar dira aldizka, heziketa jarraitua oso eraginkorra baita.
- ✓ **NBEak erabiltzea.** Beharrezkoak badira, kasu bakoitzera egokituriko NBEak (berariazkoak) erabiliko dira, UNE arauak betetzen dituztenak. Begiak eta azala erradiazio optikoetatik babestu behar ditugu. Horretarako, betaurrekoak, aurpegi-babesleak, janzkiak, eskularruak edota barrera-kremak erabili behar dira.

Zuntz sintetikoazko arropak ez du erradiazio ultramoreetatik guztiz babesten, erradiazio hori xurgatu egiten baitu. Beraz, ez da fidatu behar eta lihozko edo kotoizko ehunak erabili behar dira.

- ✓ **Osasuna zaintzea.** Ikusmena eta azala aldizka ikuskatu behar dira. Horren eraginkortasuna erlatiboa bada ere, kontuan izan behar da lesioek eboluzionatu egiten dutela (jadanik agertu direnean) eta helburu nagusia lesiorik ez egotea dela. Hala ere, azterketa medikuak egin behar dira horrelakoetan:
  - Lan berri bat hasi baino lehen
  - Gehiegizko esposizioa gertatu dela susmatzen denean
  - Prozesuan edota langilearengan aldaketak gertatzen direnean

Laserren kasuan, arriskua kontrolatzeko prozedura UNE EN 60825-1 arauak ezartzen du. Arau horretan, gehienezko esposizio onargarria definitzen da eta laserren sailkapena egiten da, arriskua kontuan hartuta (1 motakoak ez dira arriskutsuak eta 4 motakoak, aldiz, oso arriskutsuak dira). Era berean, fabrikatzaileen eta erabiltzaileen erantzukizunak zehazten dira arriskuaren arabera.

Laser motak baldintzatzen ditu kontrol-neurri guztiak. Ekipoaren informazioan, kontrol-neurriak zehaztu behar dira. Neurri horiek kontu handiz bete behar dira 3 eta 4 motetako laserrak erabiltzean, begietan eta azalean kalte handia eragin dezaketelako.

Dena den, laserretarako neurri orokorrak aipatuko ditugu hemen:

- ✓ Laser **ekipo** guztiak giltza batez kontrolatuta egon behar dute, baimendutako langileek bakarrik erabili ahal izateko moduan. Era berean, sortaren atenuadorea erabil daiteke.

Beste aukera bat da ekipoa ixtea da eta konexioa urrutitik egitea etengailu baten bidez.

Horretaz gain, komenigarria da seinaleztatzea. Abisatu egin behar da erradiazio ikusgaia eta entzungaia dagoela.

- ✓ **Lokalari** dagokionez, argiztapen bizia jarri behar da, begi-ninia ahalik eta itxien egon dadin. Horrela, laserra begian barruratzea saihesten da.

Beste neurri bat sarrera kontrolatzea da, baimendutako langileak bakarrik sar daitezkeela seinaleztatzea. Seinaleak 2, 3A, 3B edo 4 motetako laserrak erabiltzen diren sarreretan ezarri behar dira.

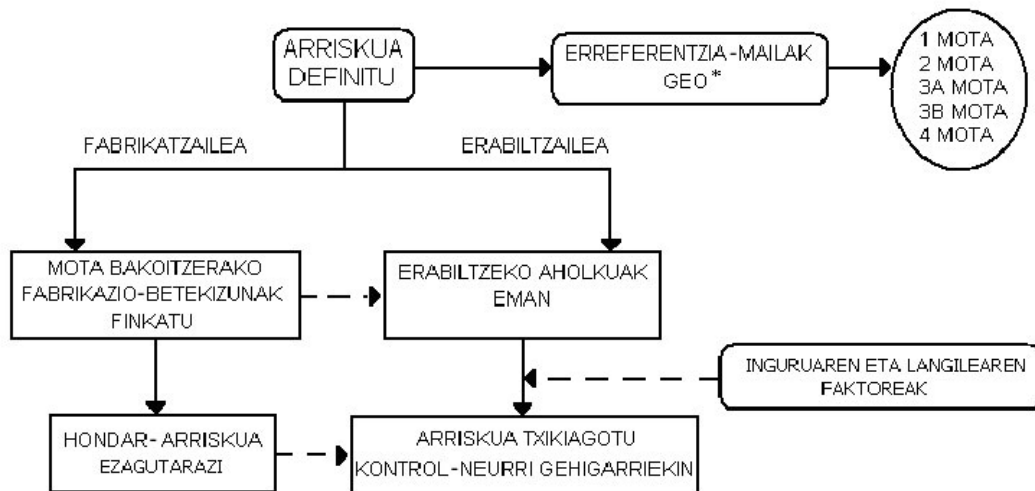
Helburu berarekin, sortaren ibilbidea kontrolatu behar da, eta erradiazioak islapen lausoa duen material batean edo material xurgatzailean bukatu behar du; dena dela, kontrolik gabeko islapenak saihestu behar dira beti.

Material sukoirik ez egotea ere komenigarria da, batez ere, 3 edo 4 motako laserrak erabiltzen direnean. Era berean, lokalean ez da estropezu egitea edo erortzea eragin dezakeen objekturik utzi behar.

- ✓ **Kontrol administratiboak.** Kontrol teknikoak nahikoak ez direnean, kontrol administratiboak aplikatzen dira laserra erabiltzen den inguruan. Adibidez: instalazioaren segurtasun-arduraduna izendatzen da; iturria heziketa jaso duten eta informatu diren langileek baino ezin dute erabili; eta laserrera hurbiltzea eta lokalean sartzea murrizten da (baimendutako langileak).
- ✓ **NBEa.** Batez ere, eskularruak eta betaurrekoak. 3 eta 4 motetako laserrekin beti erabili behar dira.



3.18. irudia. Erradiazio optikoen kontrola.



\* GEHIENEZKO ESPOSIZIO ONARGARRIA

3.19. irudia. Laserren kontrola.

### 3.7 Norbera babesteko ekipoak

#### Erradiazio optikoen aurkako begi-babesak

Erradiazio optikoen aurka NBEen erabilerak azalpen berezia eskatzen du. Esan dugun bezala, arrisku ez-onargarri baten aurrean, kontrol-neurri teknikoak eta antolamenduko kontrol-neurriak hartu behar dira. Hala eta guztiz ere, langilearengana iristen den erradiazioa ez bada onargarria, NBEak erabiliko ditu langileak arriskua saihesteko.

Teknologia oso ezaguna duten lanak, adibidez, arkuzko soldadura edota eguzkipean egiten diren lanak (elurretan egiten diren lanak) egoera bereziak dira. AENORek argitaraturiko arau teknikoren batek bil dezake lan edo operazio industrial horri egokitzen zaion babes-maila. Kasu horietan, ez da ebaluaziorik egin behar ezta babesik kalkulatu behar ere. Aplikatu dakiekeen araua kontsultatu eta babes-maila aplikatu besterik ez da egin behar.

Espainiako AENOR normalizazio-erakundeak argitaraturiko arautegia:

- ✓ UNE-CR 13464: 1999 (txostena), begi- eta aurpegi- babesleei buruzkoa.
- ✓ UNE EN 166: 1996, begietarako NBEei buruzkoa. Betekizunak.
- ✓ UNE EN 169: 1993, begietarako NBEei eta soldadurarako iragazkiei buruzkoa.
- ✓ UNE EN 170: 1993, begietarako NBEak; erradiazio ultramoreetarako iragazkiak.
- ✓ UNE EN 171: 1993, begietarako NBEak; erradiazio infragorrietarako babesei buruzkoa.
- ✓ UNE EN 172: 1995, begietarako NBEak; Eguzki-erradiazioetarako babesei buruzkoa.
- ✓ UNE EN 379: 1994, soldadurarako iragazkien espezifikazioei buruzkoa.
- ✓ UNE-EN 470-1: 95, soldaduran eta hari lotutako teknikan babesteko arropak. 1. zatia. Betekizun orokorrak.
- ✓ UNE EN 60825-1 (1996koa), laserrekiko lanetako segurtasuna. 1. zatia: sailkapena, betekizunak eta segurtasun-gida. Haren baliokidea: CEI 825-1:1993 eta 1994ko zuzenketak, UNE EN 60825-1/A I 1: I 1997ak aldatzen dituenak.
- ✓ UNE EN 60601-2-22: 1997, ekipo elektromedikoei buruzkoa. Haren baliokidea CEI 601-2-22: 95 da.
- ✓ UNE EN 207: 1999, begietarako NBEak; laserrerako iragazkiak eta begietarako babesleak.
- ✓ UNE EN 208: 1999, begietarako NBEak; laserretik babesteko betaurrekoei buruzkoa.

### Nola hautatu erradiazio optikoen aurkako norbera babesteko ekipoa

Erradiazio optikoen aurkako NBE baten eragin iragazlea hiru bandatan sailkatzen da: energia elektromagnetikoa transmititzeko banda ultramore, ikusgai eta infragorrietan. Ezaugarri hori, *transmitantzia* edota *transmisio-faktore* izenekoak, material optiko bakoitzaren eta erabiltzen den lodieraren mendekoa da. Kontzeptu horretatik, urrats hauek eginda, babes-maila erabakitzen da:

1. **Transmisio-faktore espektrala (T)** kalkulatu behar da. Inguru optiko batek igortzen duen irradiatze-potentzia zati erasotzen duen irradiatze-potentzia eginez lortzen da.

$$T = \frac{\text{transmititzen den irradiantzia}}{\text{erasotzen duen irradiantzia}} = \frac{\text{gehienezko esposizio onargarria (GEO)}}{\text{exposizio-maila (NBErik gabe)}}$$

2. **Dentsitate optikoa (D)** kalkulatu. Adierazpen hauek definitzen dute:

$$D = -\log_{10} T = \log_{10} \frac{1}{T} = \log_{10} \frac{E_0}{E}$$

3. **Babes-maila (N)** kalkulatu (UNE EN 165 arauaren arabera):

$$N = 1 + \frac{7}{3} \log_{10} \frac{1}{T} = 1 + \frac{7}{3} D$$

Banda zabaleko iturrietarako, tarte ikusgaiko N kalkulatu dugu.

Erradiazioa laserra denean,  $N = D$  (UNE EN 207ren arabera; eta L letrarekin izendatzen da). Kasu horretan, laserrak igortzen dituen uhin-luzereterako kalkulatu behar da (ultramorea, ikusgaia edo infragorria).

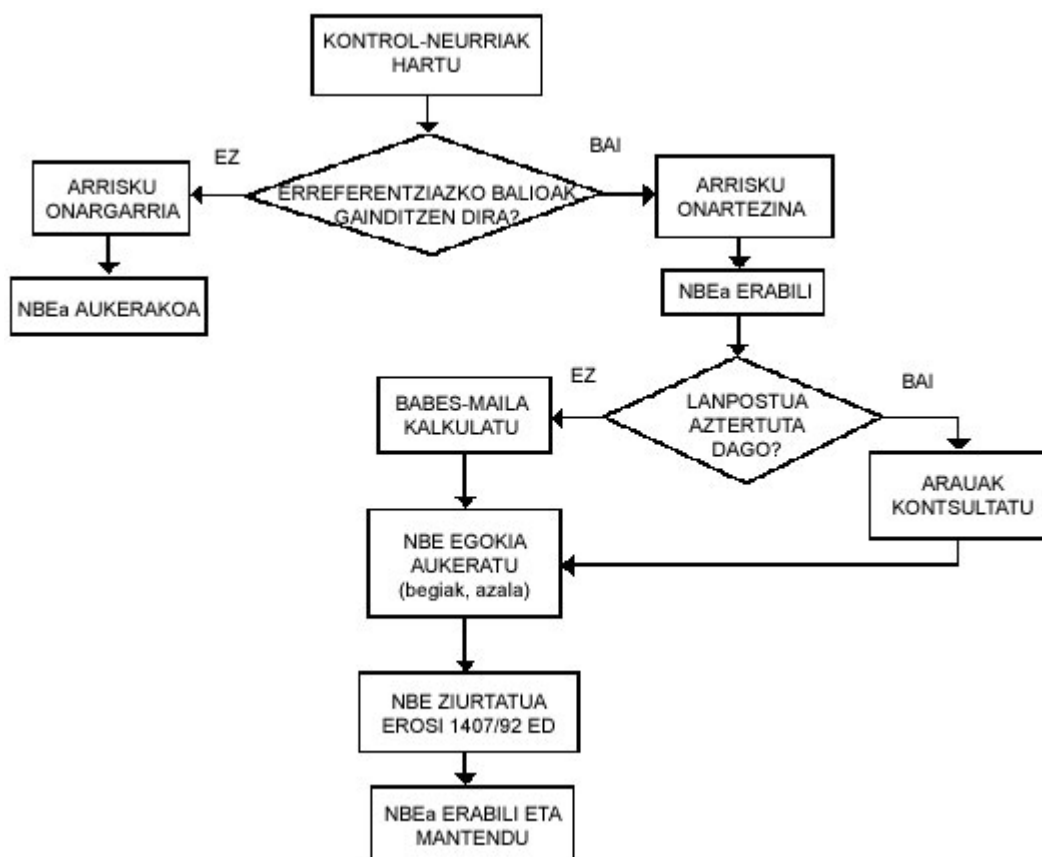
Tipifikatu gabeko lan batean arriskua agertzen denean, langilearen esposizioa erreferentzia-balioak baino txikiagoa izan dadin, nahitaezkoa da NBEaren babes-maila kalkulatzea; aditu baten zeregina da hori.

4. Babes-maila kalkulatu ondoren, hornitzaileen artean **NBE egokiak** aukeratuko dira, betiere lanera egokitzen diren ekipoak (pantaila, betaurrekoak, arropa, eskularruak eta abar). Erradiazio ikusgaitik babesteko oso babes-maila altuko ekipoa aukeratzeko bada, ondo ikustea eragotz dezake eta lana ondo egitea oztopatu dezake. Horregatik, langileari aukeratu emango zaizkio araua betetzen duten zenbait NBE, eta langileak bere ezaugarrietara ondoen egokitzen den ekipoa aukeratu du. Horrela, erosotasuna bermatzen da, eta langileak ekipoa erabiliko du.

Zenbait marka eta modelo aztertu ondoren, arauak betetzen dituen eta 1407/1992 EDaren arabera ziurtatuta dagoen NBE bat erosi dugu. Hau da, CE marka eta eskuliburua dituen bat. Iragazki baten transmisio-ezaugarriak begirada batez ezagutzeko, CE markazioa oso garrantzitsua da

Bukatzeko, ez dira aiantzi behar 773/1997 EDko aholkuak: NBEa fabrikatzaileak gomendatzen duen moduan erabili eta mantendu behar da, babes-funtzioa betetzen jarrai dezan.

Irudi honetan ikusten da nola jokatu behar den:



3.20. irudia. Nola aukeratu erradiazio optikoen aurkako NBE egokia.

### Norbera babesteko ekipoaren identifikazioa

Erradiazio optikoen aurreko esposizioaren arriskua prebenitzeko erabili behar den begi-babesak lanpostu bakoitzera egokitu behar du, hots, irradiatze-esposiziora egokitu behar du. Horregatik, CE markazioa duen babes-ekipoa erabiliko da, iragazkian babes-maila grabatuta duena. Horren bidez, okular iragazle bakoitzak ematen duen babesa ezagutzen da, hau da, transmitantzia-faktorea.

**Babes-mota** UNE EN 165 arauak definitzen du:

- ✓ Iragazkiaren kodea (ultramoreen, infragorrien edo eguzki-erradiazioen aurkako iragazkia).
  - 2 kodea: ultramoreetarako iragazkia; koloreak bereiztea eragotz dezake.
  - 3 kodea: ultramoreetarako iragazkia; koloreak bereizten dira.
  - 4 kodea: infragorrietarako iragazkia.
  - 5 kodea: eguzki-erradiazioetarako iragazkia; ez du balio infragorrietarako.
  - 6 kodea: eguzki-erradiazioetarako iragazkia; infragorrietarako balio du

- ✓ Babes-maila adierazten duen zenbakia (N), zeina marratxo batez bereizten baita lehenengotik. Aurreko 6.2. puntuak kalkulatu dugu.
- ✓ Fabrikatzailearen identifikazioa.
- ✓ Batzuetan, beste ezaugarri batzuk adierazten dituzten kodeak (adibidez, talkarekiko erresistentzia)

Hurrengo taulan iragazkien babes-mailak jasotzen dira, UNE EN 166aren arabera:

<b>SOLDADURA</b>	<b>ULTRAMOREA</b>		<b>INFRAGORRIA</b>	<b>IKUSGAIA</b>	
	<b>2 KODEA</b> <i>koloreen kodea alda dezake</i>	<b>3 KODEA</b> <i>koloreak ondo ikusten dira</i>	<b>4 KODEA</b>	<b>5 KODEA</b> <i>ez du balio IGrako</i>	<b>6 KODEA</b> <i>balio du IGrako</i>
<b>BABES-MAILA</b>					
<b>BABES MOTA</b>					
1,2	2 – 1,2	3 – 1,2	4 – 1,2	5 – 1,1	6 – 1,1
1,4	2 – 1,4	3 – 1,4	4 – 1,4	5 – 1,4	6 – 1,4
1,7		3 – 1,7	4 – 1,7	5 – 1,7	6 – 1,7
2		3 – 2,0	4 – 2,0	5 – 2,0	6 – 2,0
2,5		3 – 2,5	4 – 2,5	5 – 2,5	6 – 2,5
3		3 – 3,0	4 – 3,0	5 – 3,1	6 – 3,1
4		3 – 4,0	4 – 4,0	5 – 4,1	6 – 4,1
e.a.		e.a.			
Taula osoa UNE EN 166an kontsulta daiteke					

5 eta 6 kodeetan, babes-maila adierazten duen zenbakia handitzen den heinean, gero eta ilunago ikusten da.

Soldaduran erabiltzeko iragazkiek ez daukate iragazkiaren koderik (lehenengo zenbakia), babes-maila besterik ez dute. Beraz, zenbaki bakarra dute; beste guztiek bi daukate, marratxo batez bananduta.

Ikus ditzagun soldadurarako NBEaren markazioa eta UMrako iragazki batena:

<b>SOLDADURARAKO IRAGAZKIAREN MARKAZIOA</b> <i>UNE EN 169 ETA UNE EN 166</i>			
<b>3</b>	<b>S</b>	<b>1</b>	<b>F</b>
BABES-MAILA	FABRIKATZAILEAREN IDENTIFIKAZIOA	MOTA OPTIKOA	INPAKTU ENERGIA GUTXIREKIN

<b>ULTRAMORERAKO IRAGAZKIAREN MARKAZIOA</b> <i>UNE EN 170 ETA UNE EN 166</i>				
<b>2</b>	<b>1,2</b>	<b>S</b>	<b>1</b>	<b>F</b>
ULTRAMORERAKO IRAGAZKIA	BABES-MAILA	FABRIKATZAILEAREN IDENTIFIKAZIOA	MOTA OPTIKOA	INPAKTU-ENERGIA GUTXIREKIN

<b>BABES-MAILA</b>	<b>GEHIENEZKO TRANSMISIO ESPEKTRALAREN KOEFIZIENTEA ULTRAMOREAN</b>		<b>TRANSMISIO ESPEKTRALAREN KOEFIZIENTEA IKUSGAIAN</b>		<b>TRANSMISIO ESPEKTRALAREN BATEZ BESTEKO KOEFIZIENTEA INFRAGORRIAN</b>
	<b>313 nm %</b>	<b>365 nm %</b>	<b>Gehienezkoa</b>	<b>Gutxienekoa</b>	<b>780 – 1.400 nm %</b>
1.2	0.0003	50	100	74.4	69
1.4	0.0003	35	74.4	58.1	52
1.7	0.0003	22	58.1	43.2	40
2.0	0.0003	14	43.2	29.1	28
2.5	0.0003	6.4	29.1	17.8	15
3	0.0003	2.8	17.8	8.5	12
4	0.0003	0.95	8.5	3.2	6.4

Soldadurako zenbait iragazkiren ezaugarriak. (Taula osoa UNE EN 160an)

ULTRAMORERAKO IRAGAZKIAREN MARKAZIOA				
UNE EN 170 ETA UNE EN 166				
3	1,2	S	1	F
ULTRAMORERAKO IRAGAZKIA	BABES-MAILA	FABRIKATZAILEREAREN IDENTIFIKAZIOA	MOTA OPTIKOA	INPAKTU-ENERGIA GUTXIREKIN

Hurrengo irudian, transmisio-faktore bikoitzeko (transmitantzia aldakorra) soldadurarako iragazkiaren markazioa azaltzen da:

ULTRAMORERAKO IRAGAZKIAREN MARKAZIOA				
UNE EN 170 ETA UNE EN 166				
6	+	10	X	1
BABES-MAILA TARTE ARGIAN		BABES-MAILA TARTE ILUNEAN	FABRIKATZAILEREAREN IDENTIFIKAZIOA	MOTA OPTIKOA
				ZIURTAPENAREN MARKA

Kasu honetan, lehenengo kodeak tarte argiko babes-maila adierazten du, hau da, arku zebaten denekoa; eta bigarrenak tarte iluneko babes-maila adierazten du, hau da, prozesuak irauten duenekoa. UNE EN 379ak markazioa eta tarte argitik ilunera pasatzeko behar den denbora arautzen ditu.

Erradiazio infragorriaren iragazkia aukeratzeko, iturriaren batez besteko tenperatura ezagutu behar dugu. Gogoratu babes-maila baino lehen dauden 4 zenbakiak infragorriarako iragazkien kodea direla. UNE EN 171ean informazio osatuagoa ikus dezakegu.

<b>INFRAGORRIKO IRAGAZKIEN AUKERAKETA, UNE EN 171REN ARABERA</b>			
<b>BABES-MAILA</b>	<b>ITURRIAREN BATEZ BESTEKO TENPERATURA (°C)</b>	<b>BABES-MAILA</b>	<b>ITURRIAREN BATEZ BESTEKO TENPERATURA °C</b>
4 – 1,2	1.050	4 – 4	1.290
4 – 1,4	1.070	4 – 5	1.390
4 – 1,7	1.090	4 – 6	1.500
4 – 2	1.110	4 – 7	1.650
4 – 2,5	1.140	4 – 8	1.800
4 – 3	1.210	4 – 9	2.000

Laserren aurkako begi-babesen markazioan, babes-mailaz (L) gain, zein uhin-luzeratatik (bat edo gehiago) babesten duen eta laser mota (D = jarraitua, I = pultsatua) adierazi behar dira. Bi arau daude: UNE EN 207, laserrekin lan egiteko behar den begi-babesari buruzkoa; eta UNE EN 208, laserrak nola lerrokatu azaltzen duena.

<b>NEODIMIO:YAG LASERRERAKO BETAURREKOEN IRAGAZKIAREN MARKAZIOA UNE EN 207:94</b>				
<b>DI</b>	<b>1060</b>	<b>L7</b>	<b>X</b>	<b>ZZ</b>
LASER MOTA (JARRAITUA ALA PULTSATUA)	BABESTEN DUEN UHIN- LUZERA	BABES-MAILA	FABRIKATZAILEAREN IDENTIFIKAZIOA	ZIURTAPEN-MARKA

Kasu horretan, 1.060 nm-ko uhin-luzeran babesten du, eta lehenengo bi letrek adierazten dutenez, era jarraituan zein pultsatuan egin dezake lan laserrak.

NBEen identifikazioa ez da erraza, oso erraza baita akatsak egitea, iragazkien kanpoko itxura berdintsua dela eta. Horregatik, nahitaezkoa da langilea informatzea eta hezteka, haren lanean erabili beharreko NBEek bete behar dituzten ezaugarriak ezagut ditzan. Azaldu behar zaio zein babes-maila ematen dion, ezin duela beste lanpostuetako iragazkiekin trukatu, nola erabili eta mantendu eta abar.

### 3.8 Datu-bilketarako galdera sorta

#### ■ Erradiazio optikoen aurreko lan-esposizioa

##### ▶ E.O.1.- Iturri igorlearen ezaugarriak

- 1.1. Identifikazioa .....
- 1.2. Marka .....
- 1.3. Modeloa.....
- 1.4. Antzintasuna (urteak) .....
- 1.5. Iturriaren banaketa espektrala (uhin-luzeren bandak)
- gehieneko  $\lambda$  .....nm
- gutxieneko  $\lambda$ .....nm
- 1.6. Energiaren banaketa denboran zehar (igortzeko modua)
- Jarraitua      Irteerako potentzia .....W
- Pultsatua      Batez besteko potentzia.....W
- Pultsuaren zabalera ..... s
- Pultsua errepikatzearen maiztasuna.....Hz
- 1.7. Energiaren banaketa espaziala:
- Irteeraren diametroa
- iturri inkoherenteak .....rad
- iturri koherenteak (laserrak) ..... sr
- 1.8. Iturriaren tamaina ( $\lambda$  400 nm eta 1.400 nm bitartekoa bada) .....
- 1.9. Aukerakoa
- Iturriaren luminantzia ( $L_v$ ) ..... W/cm<sup>2</sup> sr

► E.O.2.- Lanpostuaren ezaugarriak

- 2.1. Identifikazioa .....
- 2.2. Lanpostuaren deskribapena .....
- .....
- .....
- 2.3. Lanaren deskribapen laburra .....
- .....
- .....
- 2.4. Iturriaren eta langilearen arteko distantzia .....m
- $\lambda$  400 nm eta 1.400 nm bitartekoa bada, angelu subtenditua kalkulatu
- $\alpha$  = iturriaren luzera/ikus-distantzia = .....rad
- 2.5. Iturriaren eta lanpostuaren arteko barrerak badaude, aipatu:
- 2.5.1. Gortinak, pantailak (aipatu) .....
- finkoak .....
- mugikorrak.....
- 2.5.2. CE markazioa .....
- 2.5.3. Segurtasun-tresnak (babes-gailuak).....
- .....  BAI...  EZ
- 2.6. Esposizio mota
- Jarraitua ..... min/egun
- Etena .....
- ..... zikloak/lanaldia
- zikloaren iraupena .....min
- 2.7. Guztizko esposizio-denbora
- ..... ordu/egun
- ..... ordu/aste
- ..... ordu/hilabete
- 2.8. Ahal bada, egin lanpostuaren eskema

2.9. Erradiazio optikoen aurkako NBERik dago .....  BAI...  EZ

Baldin badaude:

Betaurrekoak..... CE markazioa .....

Aurpegi-pantaila..... CE markazioa .....

Arropa .....

Eskularruak.....

2.10. Beti erabiltzen da NBEa?

BAI...  EZ

2.11. Ezagutzen duzu erradiazio optikoen aurreko gehiegizko esposizioak begietan eta azalean duen eragina?

BAI...  EZ

2.12. Erabiltzen duzun ekipoaren segurtasun-neurrien kopia bat duzu?

BAI...  EZ

2.13. Badakizu nola erabili?

BAI...  EZ

2.14. Begien eta azalaren errebisio medikoak egiten dituzu?

BAI...  EZ

Baiezkoan, zein maiztasunekin ..... urte

2.15. Oharrak

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....