

TELEKOMUNIKAZIO TEKNOLOGIAREN INGENIERITZAKO  
GRADUA

# GRADU BUKAERAKO PROIEKTUA

## *PLASTIKOZKO ZUNTZ OPTIKO DOPATUEN KARAKTERIZAZIO OPTIKOA*

**Ikaslea:** Aurrekoetxea Virto, Jon Benjamin

**Zuzendaria:** Ayesta Ereño, Igor

**Kurtsoa:** 2018-2019

**Data:** 2019ko Otsailaren 13an

## Laburpena

Proiektu honek polimerozko zuntz optikoak (PZO) komunikazio optikoetarako eta energia sorkuntzarako erabil daitezkeela frogatzea du helburu.

Gaur egungo komunikazioetan beirazko zuntzak erabiltzen badira ere, PZOen erabilera areagotu da hauek dakartzaten onurak direla eta (mekanikoki zurrinak, diametro handikoak eta malguak dira, bihurtura eta lerrokatze faltaren aurrean egokiak giten dituen). Guzti honek haien erabilera erraza izatea egiten du, kostua gutxiagotuz. Gainera, zuntz hauek dopatu ahal direnez, argiaren eskualde ikuskorra erabiltzen duten aplikazioentzako egokiak dira. Adibidez, LAN (Local Area Network) sareetan, non zuntz hauek laser argi iturri bezala erabiltzen diren. Banda zabalera handia duten komunikazioetan erabiltzen diren amplifikadoreen ikerkuntzarako ere egokiak dira. Beraz, proiektu honen bitartez PZOek dituzten ezaugarri optikoen propietateak ikertu nahi dira, horrela, argia sortzeko edo eta amplifikadoreetarako balio dutela frogatzeko.

Beste alde batetik, PZOak energia berriztagarri iturri berri bezala aztertu nahi dira, energiaren eskaria eta gaur egun pairatzen dugun berotegi efektua dela eta. Horretarako, eguzki kontzentradore lumineszentez (Luminizscent Solar Concentrator, LSC) baliotuz, eguzki energia jasotzen duen sistemaren prezioa murriztea lor daiteke, zelula fotovoltaikoen azalera konkretu batean argia kontzentratuz, kanpo energia iturri baten beharrik gabe. PZOen kostu txikia eta eguzki energia jasotzeko duten errendimendua kontuan izanda, proiektu honen bigarren helburua LSCetan erabili daitezkeen ikertzea da.

## Abstract

This project intends to put into use the optical fibers of polymer (FOP) doped for use in optical communications and production of renewable energy.

Although in today's communications optical glass fibers are used, the use of FOP has increased due to its benefits (they are mechanically rigid, larger diameter and flexible, so they have a good tolerance to torsions and misalignments). All this makes its handling easier for the user, lowering the cost. Due to the possibility of being able to dope these fibers, they can be applied in other areas, where the need to obtain the visible region of light is necessary. For example, in the applications of local area networks (LAN) where the FOP-based lasers are used as light sources. They can also be used in the research of amplifiers used in broadband communications. With this project we want to study the optical properties of the FOP to demonstrate its use as light sources and fiber amplifiers.

On the other hand, it is intended to achieve a new source of renewable energy, due to the demand for energy and the threat of global warming that we suffer today. To do this, through the use of luminescent solar concentrators (LSC), it is possible to obtain a lower cost of the solar energy collection system by concentrating the light in a smaller area of the photovoltaic cells without the need for external power. Thanks to the low cost of the FOP and its high performance when concentrating solar energy, the second objective of this project will be to study its possible use as a luminescent concentrator.

## Resumen

Mediante este proyecto se pretende poner en uso las fibras ópticas de polímero (FOP) dopadas para su uso en comunicaciones ópticas y producción de energía renovable.

Aunque en las comunicaciones de hoy en día se utilicen fibras ópticas de vidrio, el uso de FOP ha aumentado debido a sus beneficios (son mecánicamente rígidas, de mayor diámetro y flexibles, por lo que presentan una buena tolerancia ante torsiones y desalineaciones). Todo esto hace que su manejo sea más sencillo para el usuario, abaratando el coste. Debido a la posibilidad de poder dopar estas fibras, hace que se puedan aplicar en otros ámbitos, donde la necesidad de obtener la región visible de la luz es necesaria. Por ejemplo, en las aplicaciones de redes de área local (LAN) en donde los láseres basados en FOP se utilizan como fuentes de luz. También se pueden utilizar en la investigación de amplificadores usados en comunicaciones de banda ancha. Con lo cual mediante este proyecto se quiere estudiar las propiedades ópticas de las FOP para así demostrar su uso como fuentes de luz y o amplificadores de fibra.

Por otro lado, se pretende conseguir una nueva fuente de energía renovable, debido a la demanda de energía y a la amenaza del calentamiento global que sufrimos hoy en día. Para ello, mediante el uso de concentradores solares luminiscentes (LSC), es posible obtener un coste menor del sistema de captación de energía solar concentrando la luz en un área menor de las células fotovoltaicas sin la necesidad de una alimentación externa. Gracias al bajo coste de las FOP y a su alto rendimiento al concentrar energía solar, el segundo objetivo de este proyecto será estudiar su posible uso como concentrador luminiscente.

# Gaien Aurkibidea

---

Irudien Aurkibidea.....	7
Taulen Aurkibidea.....	10
1. Sarrera eta Testuingurua .....	11
2. Helburuak eta irismena.....	12
2.1 Helburu nagusia.....	12
2.2 Bigarren helburua.....	12
3. Onurak.....	13
3.1 Onura teknikoak .....	13
3.2 Onura ekonomikoak.....	13
3.3 Onura sozialak.....	13
4. Artearen egoera.....	14
4.1 PZO motak.....	15
4.2 PZOen aplikazioak .....	19
4.3 Erreferentziak.....	23
5. Alternatiben analisia .....	25
6. Arriskuen analisia.....	26
6.1 Arriskuen identifikazioa eta balorazioa .....	26
6.2 Probabilitate eta eragin matrizea .....	28
7. Proiektuaren diseinua .....	29
7.1 Propagazio distantziaren menpeko neurketak .....	29
7.2 Cary-ko neurketak .....	31
7.3 Streak camera .....	32
8. Proiektuaren prozedura .....	33
8.1 Zuntzen prestaketa Cary-rako .....	33
8.2 Cary-an egindako neurketak .....	34
8.3 Zuntzen prestaketa propagazio distantziaren menpeko neurketarako.....	36
8.4 Propagazio distantziaren menpeko neurketetak.....	36
8.5 Streak Camerako neurketetak .....	38
9. Gantt diagrama .....	39

9.1 Lan taldea .....	39
9.2 Lan paketeen eta betebeharren definizioa.....	39
9.3 Gantt diagrama.....	44
10. Kalkulu teorikoak.....	45
10.1 Argiaren erantzuna (Energia mailaren modeloa) .....	45
10.2 Xurgapena .....	46
10.3 Igorpena .....	49
10.3.1 Berezko igorpena.....	49
10.3.2 Igorpen Estimulatua .....	51
10.4 Fotoegonkortasuna.....	53
10.5 Erreferentziak.....	54
11. Lortutako emaitzak .....	55
11.1 Cary-an lortutako emaitzak .....	55
11.2 Propagazio distantziaren menpeko emaitzak.....	61
11.3 Streak Cameran lortutako emaitzak.....	76
12. Aurrekontua .....	79
12.1 Barne orduak.....	79
12.2 Amortizazioak.....	80
12.3 Material Suntsigarriak.....	81
12.4 Aurrekontu totala.....	81
ONDORIOAK .....	82
BIBLIOGRAFIA.....	83

# Irudien Aurkibidea

4.1 irudia: Argiaren hedapena MI PZOetan.....	13	7.3 irudia: Streak Cameraren konfigurazioa. SH: bigarren harmonikoaren sortzailea. S: banatzailea. VF: atenuatzaile aldakorra. POS xy: zuntzaren posizionatzaileak. POF: plastikozko zuntz optikoa. FH: filtroentzako euskarriak.....	29
4.2 irudia: Argiaren hedapena IG PZOetan.....	14	8.1 irudia: Cary-rako erabili diren zuntzak prestatzeko erabili den materiala. 1: Kalibrea. 2: Lixa txuria. 3: Lixa urdina. 4: Mikroskopia objektiboa. 5: plastikozko zuntz optikoa. 6: Marraza. 7: SMA konektorea.....	31
4.3 irudia: MMI PZO baten Errefrakzio indizearen irudikapena.....	15	8.2 irudia: Cary softwarearen irudi bat.....	32
4.4 irudia: Nukleo anitzezko PZOen hiru antolaketa posible.....	15	8.3 irudia: Alkohola, trapu txikiak eta zuntz laginak potean gordeta.....	33
4.5 irudia: MPZO baten irudia.....	16	8.4 irudia: CARY 50 UV-VIS espektrofotometroa.....	33
4.6 irudia: PZOen mundu-mailako merkatuaren eboluzioa.....	17	8.5 irudia: Zuntz laginak.....	34
4.7 irudia: Laser-diodo eta zuntzaren arteko akoplamendua (Goian). PZO laser eta zuntzaren arteko akoplamendua (Behean).....	18	8.6 irudia: PZO bat laserraren bidez kitzikaturik propagazio distantziaren menpeko muntaian (igorpen espektroa neurtzeko konfigurazioa).....	35
4.8 irudia: Dopante desberdinen banakako irabazien teilakatzeak irabazi-kurba zabalagoa izatea ahalbidetzen du. Puntu-lerro bertikalak WDM kanalen posizioak dira.....	19	8.7 irudia: Mai Tai softwarea eta laserra.....	35
4.9 irudia: LSC baten diagrama eskematikoa haren funtzionamendua azaltzeko.....	20	8.8 irudia: LabVIEW eta Matlab softwarearen logoak.....	36
6.1 irudia: Efektu termikoaren prozesua.....	24	8.9 irudia: Streak Camera.....	36
6.2 irudia: Efektu fotokimikoaren prozesua.....	24	9.1 irudia: Gantt diagrama.....	42
6.3 irudia: Efektu fotomekanikoaren prozesua.....	24	10.1 irudia: Jablonski diagramaren eskema.....	43
7.1 irudia: Dopaturiko PZOen igorpen espektroak neurtzeko erabilitako konfigurazioa esperimentalak. ATT: Atenuadore aldakorra; SHG: bigarren harmoniko sortzailea, BS: argi-sorta banatzailea; PD: foto-detekttagailua; MM: multimetroa; LS: motor lineala; xy Pos: xy mikro-posizionatzailea ..	27	10.2 irudia: PZO baten xurgapen optikoa.....	45
7.2 irudia: Cary-aren muntaia.....	29	10.3 irudia: Dopante molekula bakoitzaren xurgapenaren erreprezentazioa.....	46

10.4 irudia: Fotoi baten xurgapena. (a) Elektroia oinarritzko egoeran. (b) Elektroia kitzikaturiko egoerara sustatua fotoi erasotzaile baten energiaren bitartez. (c) Elektroiaren ez-erradiaziozko desintegrazio oso bizkorra.....	46	11.9 irudia: 8. laginaren xurgapen espektroa.....	58
10.5 irudia: Fotoi baten berezko igorpena. a) Elektroia $S_2$ -ren bibrazio azpi-maila baxuenean. b) Erradiaziozko berezko desintegrazioa oinarritzko egoerara. c) Elektroia oinarritzko egoeran, fotoi bat igorri ostean.....	48	11.10 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 1. laginaren atenuazio koefizientea.....	59
10.6 irudia: Berezko igorpenaren ondoriozko $S_2$ bibrazio azpi-mailako populazioaren eboluzio esponenzial beherakorra $\tau$ erdibitzarekiko.....	49	11.11 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 1. laginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua ( $N_1$ eta $N_2$ , hurrenez hurren).....	59
10.7 irudia: Fotoi baten igorpen estimulatua. a) Elektroi bat $S_2$ -ren bibrazio azpimaila baxuenean. b) Fotoi erasotzaile batek bigarren fotoi baten igorpena estimulatzeko du, lehenengo fotoiaren fasean eta energia berarekin. c) Estimulaturiko fotoia oinarritzko egoeran.....	49	11.12 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 2. laginaren atenuazio koefizientea.....	60
10.8 irudia: Bi PZOetan degradazioaren eragina.....	51	11.13 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 2. laginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua ( $N_1$ eta $N_2$ , hurrenez hurren).....	60
11.1 irudia: [4] erreferentziatik lortutako xurgapen espektroak.....	54	11.14 irudia: 520nm-tan kitzikatutako 2. laginaren atenuazio koefizientea.....	61
11.2 irudia: 1. laginaren xurgapen espektroa.....	55	11.15 irudia: 520nm-tan kitzikatutako 2. laginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua ( $N_1$ eta $N_2$ , hurrenez hurren).....	61
11.3 irudia: 2. laginaren xurgapen espektroa.....	55	11.16 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 3. laginaren atenuazio koefizientea.....	62
11.4 irudia: 3. laginaren xurgapen espektroa.....	56	11.17 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 3. laginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua ( $N_1$ eta $N_2$ , hurrenez hurren).....	62
11.5 irudia: 4. laginaren xurgapen espektroa.....	56	11.18 irudia: 450nm-tan kitzikatutako 3. laginaren atenuazio koefizientea.....	63
11.6 irudia: 5. laginaren xurgapen espektroa.....	57	11.19 irudia: 450nm-tan kitzikatutako 3. laginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua ( $N_1$ eta $N_2$ , hurrenez hurren).....	63
11.7 irudia: 6. laginaren xurgapen espektroa.....	57	11.20 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 4. laginaren atenuazio koefizientea.....	64
11.8 irudia: 7. laginaren xurgapen espektroa.....	58	11.21 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 4. laginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua ( $N_1$ eta $N_2$ , hurrenez hurren).....	64
		11.22 irudia: 450nm-tan kitzikatutako 4. laginaren atenuazio koefizientea.....	65



11.23 irudia: 450nm-tan kitzikatutako 4. laginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua (N1 eta N2, hurrenez hurren).....	65	11.33 irudia: 420nm-tan kitzikatutako 7. laginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua (N1 eta N2, hurrenez hurren).....	70
11.24 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 5. laginaren atenuazio koefizientea .....	66	11.34 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 8. laginaren atenuazio koefizientea.....	71
11.25 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 5. laginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua (N1 eta N2, hurrenez hurren).....	66	11.35 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 8. laginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua (N1 eta N2, hurrenez hurren).....	71
11.26 irudia: 520nm-tan kitzikatutako 5. laginaren atenuazio koefizientea .....	67	11.36 irudia: 520nm-tan kitzikatutako 8. laginaren atenuazio koefizientea.....	72
11.27 irudia: 520nm-tan kitzikatutako 5. laginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua (N1 eta N2, hurrenez hurren).....	67	11.37 irudia: 520nm-tan kitzikatutako 8. laginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua (N1 eta N2, hurrenez hurren).....	72
11.28 irudia: 450nm-tan kitzikatutako 6. laginaren atenuazio koefizientea .....	68	11.38 irudia: Dopaturiko PZO-en erantzuna Streak Camerarekin neurtua: 1. lagina, 360nm (a, b, c), 3. lagina, 360nm (d), 3. lagina, 450nm (e), 5. lagina, 360nm (f), 6. lagina, 450nm (g), 7. lagina, 360nm (h), 8. lagina, 360nm (i), 8. lagina, 520nm (j)	
11.29 irudia: 450nm-tan kitzikatutako 6. laginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua (N1 eta N2, hurrenez hurren).....	68	11.39 irudia: Normalizatutako Intentsitatea: 1. lagina, 360nm (a, b, c), 3. lagina, 360nm (d), 3. lagina, 450nm (e), 5. lagina, 360nm (f), 6. lagina, 450nm (g), 7. lagina, 360nm (h), 8. lagina, 360nm (i), 8. lagina, 520nm (j)	
11.30 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 7. laginaren atenuazio koefizientea .....	69		
11.31 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 7. laginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua (N1 eta N2, hurrenez hurren).....	69		
11.32 irudia: 420nm-tan kitzikatutako 7. laginaren atenuazio koefizientea .....	70		

# Taulen Aurkibidea

---

4.1 Taula: PMMAz eta PFz eginiko IG PZOen ezaugarri nagusiak.....	16
6.1 Taula: Probabilitate eta eragin matrizea.....	28
7.1 Taula: Lan taldeak .....	39
11.1 Taula: Zuntzen sailkapena.....	78
11.2 Taula: Erdibizitzaren balioa neurketa bakoitzeko .....	78
12.1 Taula: Barne orduen taula.....	79
12.2 Taula: Amortizazioak.....	81
12.3 Taula: Material Suntsigarriak.....	81
12.4 Taula: Aurrekontu totala .....	81

# 1. Sarrera eta Testuingurua

---

Proiektu honek Fotonika aplikatuko ikerketa taldeak (FAT) dituen PZO batzuen igorpen ezaugarriak sakonago aztertzea du helburu, geroago beste aplikazio batzuetan baliagarri izango diren jakiteko. Horretarako, lur arraro eta dopante organiko desberdinak dituzten zuntzak erabiliko dira (Alemaniatik, hain zuzen ere Braunschweig-eko Unibertsitate Teknikotik, lortuak) nahasketa eta kontzentrazio ezberdinak erabiliz eta horrela igorpen ezaugarri ezberdinak lortuz. Hainbat neurketa egingo ditugu dopaturiko PZOetan, xurgapen lineala, berezko igorpena, igorpena eta berezko igorpen estimulatua eta foto-egonkortasuna bezalako fenomenoetan oinarrituz. Horretarako, proiektu hau atal hauetan banatuko da:

- **MEMORIA:** Atal honek helburuak, onurak, artearen egoera, alternatiben analisia eta arriskuen analisia barne hartzen ditu, proiektuari sarrera emateko eta zentzu bat emateko asmoz, dituen abantailak eta alternatibak jasoz.
- **METODOLOGIA:** Hemen 7. puntutik 11. punturaino barne hartzen ditu, horrela, proiektuan zehar jarraitutako metodologia aurkeztuz, oinarritu garen kalkulu eta oinarri teorikoak ondo azalduz eta azkenik lortutako emaitzak ikustera emanez.
- **ARREKONTUA:** Proiektuan zehar erabili den material eta tresneriaren aurrekontu zehatz bat egingo da suposatutako gastua erakutsi nahian.
- Azkenik, proiektu honetan zehar aipaturiko ondorio nagusiak laburbilduko dira azken puntu batean.

## 2. Helburuak eta irismena

---

Bigarren atal honetan proiektuaren helburu ezberdinak aipatzen dira. Lehenik eta behin, lan honen helburu nagusia azalduko da eta gero, lehenengo helburua lortzeko helburu sekundarioak aipatuko dira.

### 2.1 Helburu nagusia

Proiektu honekin dopaturiko PZOen oso ezagunak ez diren igorpen ezaugarri ezberdinak aztertu nahi dira, hauen ezaugarrietatik interesgarri diren parametro fisiko desberdinekiko duten menpekotasunaren analisia egiteko. Honako hau, PZOetan oinarrituriko laser eta anplifikadoreetan egingo da (gure helburu nagusia hori baita, aztertu ditugun dopaturiko PZO ezberdinak, tresna hauetarako egokiak diren ala ez jakitea).

### 2.2 Bigarren helburua

Bestetik, dopante organiko eta lur arraro desberdinekin dopaturiko PZOen ikerketa egiten da, ezaugarri optikoak ikertzeko asmoarekin. Ikerketa hauek baliagarriak izango dira PZO-aktiboen igorpen jokaerak hobeto ulertzeko eta horrela, hauen errendimendua hobetzeko.

Hori guztia lortzeko, lehenik eta behin PZOen ezaugarri teorikoak azalduko ditugu eta jarraiki lortutako emaitza esperimentalekin konparatuko dira, ondorioak lortzeko asmoarekin

## 3. Onurak

---

Atal honetan proiektu hau aurrera eramateak dakartzan onura desberdinak azaltzen dira: teknikoak, ekonomikoak eta sozialak.

### 3.1 Onura teknikoak

Onura tekniko printzipala lehen esan dugun moduan PZO igorpen ezaugarri ezberdinak aztertzea da anplifikadore eta laser, geroago jakiteko ea erabilitako zuntzak aproposak diren aplikazio hauetarako edo eta eguzki argi kontzentradore desberdinekin erabili ahal izateko.

Bestetik, PZOen ezaugarri optiko ezberdinak analizatuko dira hauen igorpen jokaera hobeto ulertzeko eta horrela errendimendua hobetuz. Horrela, errendimendua hobetuz gero laser, anplifikadore eta eguzki argi kontzentradore hobeak lortu genitzake.

### 3.2 Onura ekonomikoak

Aipatu dugun moduan, proiektu honen helburuetako bat zuntz hauek eguzki argi kontzentradoreetarako erabili ahal diren ala ez jakitea da. Erabili ahal izatekotan diru eta espazio asko aurreztu ahalko litzateke: siliziozko plakak ipintzea baino askoz merkeagoa da eta gainera espazioa aurreztu daiteke.

### 3.3 Onura sozialak

Sarreran aipatu den moduan laserrak eta anplifikadoreak bi aplikazio garrantzitsu dituzte: LAN sareak eta energia berriztagarrien sorkuntzak. Hauek nahitaezkoak diran gaur egungo gizartearentzako, bera, ikerketa honekin gizartearen bizi kalitatea ere hobetu daiteke

## 4. Artearen egoera

---

20. mendean zehar elektronikaren izandako aurrerapenak direla eta gizartea goitik behera aldatu izan da. Informazioa transmititzeko irratia eta telebista agertu ziren, ala nola konputagailuak, telefonoak... Baina aipatu beharreko aurrerakuntza handiena huts-hodiarena da. Hori esker, elektronikaren aurrerapena gelditu ezina izatea eragin baitu. Hori dela eta, ikertzaileek txikiagoak eta bizkorragoak diren elementuen bila ibili dira (ala nola, transistore, elementu diskretu zein transistoreez osatutako zirkuitu integratuen bila). Honek guztiak gaur egun ain ezagunak ditugun aparailuak ekarri dizkigu: kamera digitala, tablet-ak, smartphonak...

Gaur egungo industrian fotonikaren gaia indarra hartzen dabil, non argia erabiltzen da informazioa transmititzeko edo eta material fisikoak eraldatzeko. Zuntz optikoa dugu honen eredu, komunikazio sareetan erabiltzen dena, informazioa garraitzeko argiaren bitartez. 1966. Urtera arte ez zen zuntz optikoa erabiltzen hasi, Kao eta Hockjamek errefrakzio indize txikiagoz estaldutako zuntzak informazioa garraitzeko baliagarriak zirela frogatu zuen arte. Hasieran bere helburua 20dB/km baino baxuagoko galerak lortzea zen, beiraren atenuazioa 1000dB/km-koa baitzen. Ala eta guztiz ere, hau frogatzea lortu zen (gaur egungo galerak 0.151 dB/Km heldu dira BZOetan (beirazko zuntz optikoak)) [1]. Kaok egindako ikerketak direla eta eta gaur egun arte izan diren aurrerapenen ondorioz 2009. Urtean Kaok nobel saria lortu zuen.

1960ko hamarkadan, polimerozko zuntz optikoak (PZO) garatu ziren, hainbat ikertzaile zuntz optikoak garatzeko material ezberdinen bila bai zeuden. Polimeroa beira baino merkeagoa eta erabil errazagoa den arren, lehendabizi sortu zen polimetil metakrilatozko zuntza (PMMA) ez zen telekomunikazioetarako erabilgarria, maila-indizeko polimerozko zuntz optikoen (MI PZO) atenuazioa altuegia zelako (500 dB/km 650 nm-ko uhin luzeran). Beranduago, indize gradualeko polimerozko zuntz optikoak (IG PZO) garatu zituen Keio Unibertsitateko Koike irakasleak atenuazioaren ezaugarriak hobetzea lortu zuelarik [2]-[4].

## 4.1 PZO motak

PZO-ak dopatu ahal denez, egokiak dira sentsoreak, laserrak edo eta aplikadoreak garatzeko. Errefrakzio indizearen arabera hiru taldetan banatu ditzakegu zuntz hauek: maila-indizekoak (MI), indize gradualekoak (IG) eta multimaila-indizekoak (MMI). Ala ere merkatuan beste bi sailkapen ere ikus dezakegu: nukleo anitzekoak (NA) eta mikro-egituraturakoak (M).

### - Maila-indizeko PZOak:

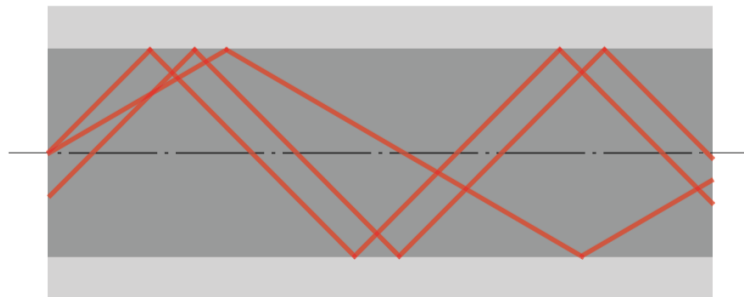
PZO hauetan errefrakzio indizea horrela emanda dator:

$$n(r) = \begin{cases} n_{co} & r < \rho \\ n_{cl} & r \geq \rho \end{cases}$$

non  $n_{co} > n_{cl}$

PZO hauen transmisio abiadura maximoa, haien dispersio modal altuak mugatzen du. Dena dela, ikerketen arabera modulazioen bitartez arazo hau konpon daiteke [5] [6]

Orokorrean distantzia luzeetako komunikazioetan, Industrial produkzio lerroetan eta automobil aplikazioetan erabili ohi dira. 980  $\mu\text{m}$  diametroko nukleoa izan ohi dute eta estalduraren lodiera 10  $\mu\text{m}$ -koa. Haien NA (*numerical aperture* edo zenbakizko irekidura) 0.5 ingurukoa izan ohi da.



4.1 irudia: Argiaren hedapena MI PZOetan

Zuntz hauek duten dispersio modala murrizteko indize gradualeko zuntzen bitartez izan daiteke [7]-[10].

- Indize- Gradualeko PZOak:

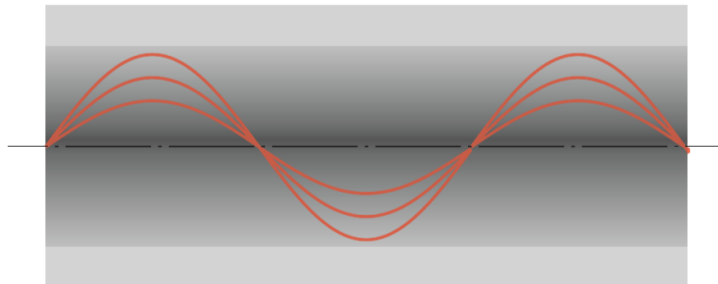
Nukleo diametro luzea eta malgutasun handia dute, banda-zabalera altuagoa izateaz gain. Haien errefrakzio indizea honako hau da:

$$n(r) = \begin{cases} n(0)\sqrt{1 - 2\Delta(r/\rho)^g} = n_{co}\sqrt{1 - 2\Delta(r/\rho)^g} & r \leq \rho \\ n(0)\sqrt{1 - 2\Delta} = n_{co}\sqrt{1 - 2\Delta} = n_{cl} & r > \rho \end{cases}$$

Non  $\Delta$  ikurrak errefrakzio indizeen arteko desberdintasuna adierazten duen:

$$\Delta = \frac{n_{co}^2 - n_{cl}^2}{2n_{co}^2}$$

g profilaren esponentea izanik. g=2 denean profil parabolikoa dugu eta infiniturantz doanean kasu limitea.



4.2 irudia: Argiaren hedapena IG PZOetan

Nukleoa PMMA edota polimero perfluorinatu bezalako materialekin egin daiteke.

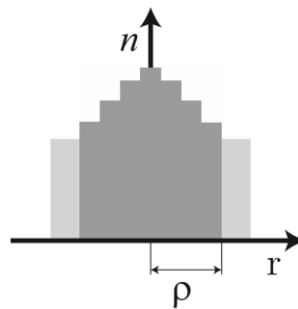
Ezaugarriak	PMMA IG PZO	PF IG PZO
Atenuazioa	150 dB/Km @ 650 nm	< 40 dB/Km @ 850-1310 nm
Banda-zabalera · distantzia	2 GHz · km @ 650 nm	2 GHz · km
Lorturiko transmisio distantzia	200m @ 2.5 GHz/s	110 m @ 11 GHz/s

4.1 Taula: PMMAz eta PFz eginiko IG PZOen ezaugarri nagusiak



- Multimaila-Indizeko PZOak:

PZO hauen nukleoa geruza ezberdinez osaturik dago, errefrakzio indizearen bilakaera profil parabolikoaren itxura duelarik. MMI PZOak IG-ekin konparatuz hobetoak dira, fabrikatzeko errazagoak direlako eta errefrakzio indizea denborarekiko, tenperatura fluktuazioekiko eta hezetasunarekiko egonkorragoa delako [11] [12].

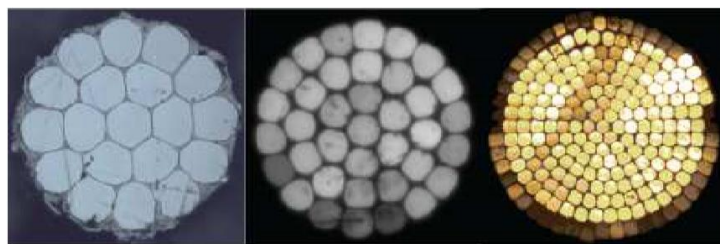


4.3 irudia: MMI PZO baten Errefrakzio indizearen irudikapena

- Nukleo Anitzeko PZOak:

Nukleoaren diametroa handia duten PZOek, diametro txikiagoak direnekin konparatuz kurbadura bidezko galera handiagoak dituzte. Bestalde, diametro txikiko zuntzak zailagoak dira manipulatzeko eta argia akoplatzeko. Arazo horiei irtenbidea emateko, Nukleo anitzeko zuntzak erabili daitezke, tamaina txikiko nukleo sorta batez osatuta daudenak, gurutze-sekzioaren diametroa milimetro bateko delarik.

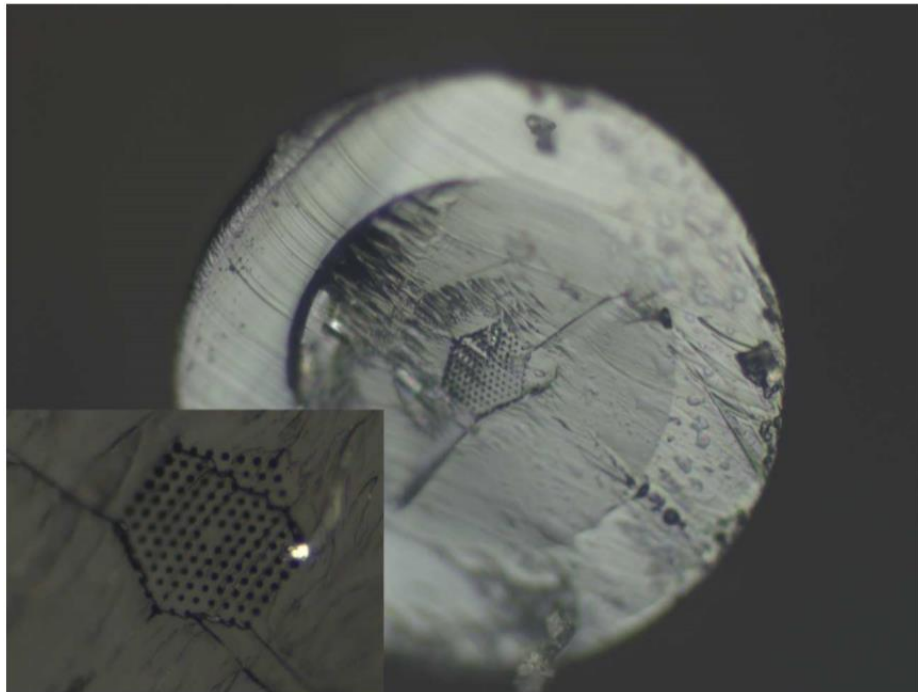
Zuntz hauek transmisiorako edota sentsoreak eraikitzeko oso baliagarriak dira.



4.4 irudia: Nukleo anitzeko PZOen hiru antolaketa posible

- Mikroegituratutako PZOak:

Zuntz hau kristalezko zuntz fotonikoa bezala ezagutzen da non, argia airezko kanal mikroskopikoetatik zehar hedatzen den [13]. Modu-bakarreko zuntzen hedapen ezaugarriak izateaz gain, diametro handiko zuntzek dituzten abantailak ere partekatzen dituzte. Bestalde argia garraiatzeko duten era dela eta polimeroek argiari eragiten dioten atenuazio arazoak ekidin egiten dira [14].



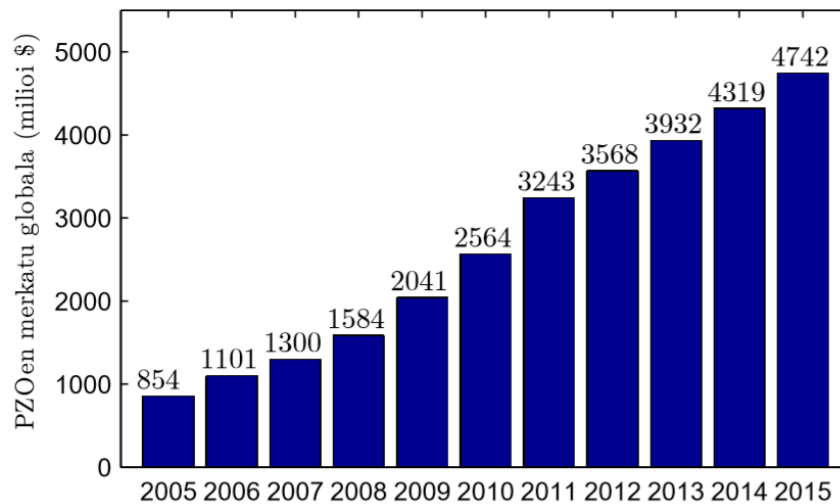
4.5 irudia: MPZO baten irudia

## 4.2 PZOen aplikazioak

Lehenago aipatu dugun moduan PZO-ak ezin hobeak dira hainbat aplikazioetarako. Aplikazio horiek hurrengoak dira.

- Sare Lokalak (LAN)

PZO-ak ezin hobeak dira etxe bateko komunikazio sareak eratzeko beraien prezio baxua dela eta.



4.6 irudia: PZOen mundu-mailako merkatuaren eboluzioa

Haien transmisio-abiadura azkarra dela eta (1 eta 40 Gb/s ingurukoa, kobrezko para bihurritua baino askoz azkarragoa) eta beirazko zuntz optikoak baino merkeagoa eta erabil errazagoa izategatik, LAN sareetarako aproposagoa da.

- Automozio- aplikazioak

Gaur egungo ibilgailuek geroz eta gehiago erabiltzen dituzte PZO-ak kotxeko elementu elektrikoak inter-konektatzeko, haien banda zabalera handiagatik, pisu txikiagatik, interferentzia elektromagnetikoen immunitatea izategatik eta instalatzerako orduan ematen duten erraztasunagatik. Gaur egun PZO estandar desberdinak erabiltzen dira CD, DVD, Bluetooth, mugikorrak... inter-konektatzeko:

- D2B (*Digital Domestic Bus*) [15] [16]
- MOST (*Media Oriented System Transport*) [17]
- IDB 1394 (IEEE 1394 estandarraren ibilgailuetarako bertsioa) [18]
- *ByteFlight* [19]

- Sentsoreak

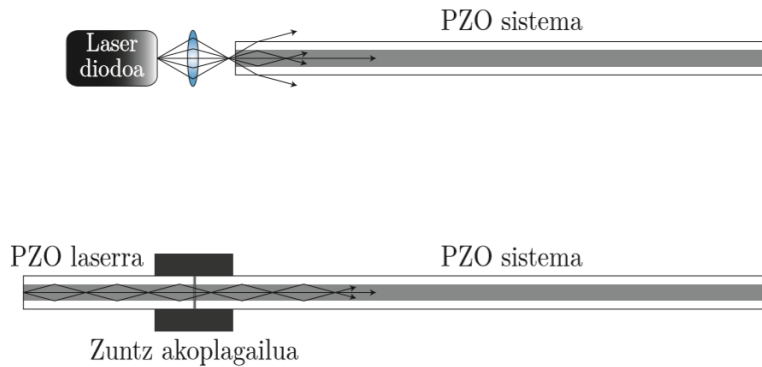
PZO-ak haien inguruko parametro fisikoak erregistratzeko gai dira eta beraz, parametro horien sentsoreak eraikitzeke erabili ahal dira.

Txikiak eta malguak direnez, bolumen txikian sentsibilitate handia izan dezakete. Hainbat parametro neurtzeko baliagarriak izan daitezke, batik bat, tenperatura, hezetasuna, konposatu organiko eta inorganikoen presentzia, haizearen abiadura, errefrakzio indizea...Hau dena argi-intentsitatearen modulazioak ahalbidetzen digu.

- Laser eta anplifikadoreak

Dopante organiko edo lur arraroekin dopaturiko PZOak erabat optikoak diren laser eta anplifikadoreak eraikitzeke aproposak dira.

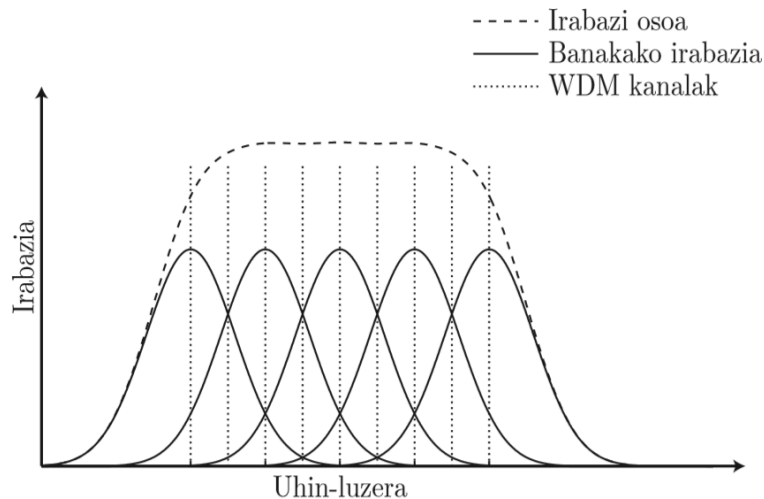
PZOetan oinarritutako laser baten aplikazio hurrengoa izan daiteke: Laser diodo batek igorritako argia modu-bakarreko zuntz baten bukaeran fokatzen badugu, argiaren frakzio txiki bat fokatzea lortuko genuke nukleoan. Lente zilindrikoak direla eta, argiaren zati gehiena akoplamendu prozesuan galduko litzateke. PZO-ekin arazo hori konpon daiteke, laserraren eta PZO-sistemaren zenbakizko irakidurek bat egiten badute, bi parteen arteko akoplamendua garbia izango litzatekelako, akoplamendu -galera gehienak ekidinez.



4.7 irudia: Laser-diodo eta zuntzaren arteko akoplamendua (Goian). PZO laser eta zuntzaren arteko akoplamendua (Behean)

PZOetan oinarritutako laser eta amplifikadoreak, WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) banda zabalera altuko komunikazioetan erabili daitezke. Uhin luzera bakarrarekin eta banda zabalera konkretu batekin,  $n$  uhin luzera desberdin hedatzea lortuko bagenu,  $n$  aldiz banda-zabalera altuagoa izatea lortuko genuke.

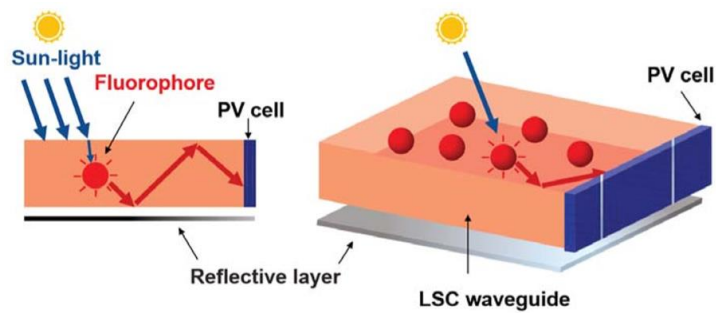
Dopaturiko PZOek argi-iturri eta irabazi handiko amplifikadore moduan lan egin ahal dute. Dopante kopuru handi baten bitartez uhin-luzera desberdinak lor daitezke. Banda zabaleko amplifikadoreak eraikitzeko, PZOen nukleoak dopante desberdinekin dopa daitezke.



4.8 irudia: Dopante desberdinen banakako irabazien teilakatzeak irabazi-kurba zabalagoa izatea ahalbidetzen du. Puntu-lerro bertikalak WDM kanalen posizioak dira

- Eguzki energia kontzentradoreak

Eguzki energia kontzentradoreak (edo ingelesez, *Luminescent Solar Concentrators* (LSC)) dopatutako bidriozko edo polimerozko uhin gida bat da. Eguzkia argia gida zeharkatzen duenean, argi espektroaren zati bat xurgatu egiten da eta birbidaltzen da uhin luzera handiagotan dopateen eraginez. Prozesu hau beheerako energia aldaketa moduan ezagutzen da. Argiaren frakzio bat uhin gidaren barruan geratzen da eta barruko islapen baten eraginez barruko ertzetara zuzentzen da, non zelula fotovoltaikoak ipintzen diren argi hau elektrizitate bihurtzeko. 4.9 irudian prozesu hau grafikoki azaltzen da:



4.9 irudia: LSC baten diagrama eskematikoa haren funtzionamendua azaltzeko

Hau erabilita, zelula fotovoltaikoen erabilpena %90 batean murriztu ahal da eta gainera, erabiliko liratekeen materialak askoz merkeagoak izango lirateke, moduluaren prezioa murrizten duena. Polimerozko uhin gida siliziozko zelula fotovoltaikoa baino merkeagoa da. Honi esker, kostu gutxiago edukitzea eta LSCak eguzki energiaren sorpenerako erabilgarriak izatea dakar. Gainera, zuzeneko zein zeharkako argia onartzen dute eta beraz, ez da beharrezkoa eguzkia jarraitzeko sistema garesti bat. Gainera, frogatu da LSCen erabilpena zuzeneko argia erabiltzea baino 1,3-1,5 inguru eraginkorragoa dela [20] [21]. Alde batetik, honako hau kolorante askok urdin eta ultravioletaren arteko koloreak xurgatzen dituztelako izan daiteke eta bestalde, infiltrazio luzeen ausentziagatik.

## 4.3 Erreferentziak

- [1] "Sumitomo Corp." [Online]. Available: <http://www.sumitomocorp.co.jp>
- [2] Y. Koike, E. Nihei, N. Tanio eta Y. Ohtsuka. "Graded-index plastic optical fiber composed of methyl methacrylate and vinyl phenylacetate copolymers," *Applied Optics*, vol. 29, no. 18, pp. 2686-2691. 1990.
- [3] Y. Koike. "High-bandwidth graded-index polymer optical fibre," *Polymers*, vol. 32, no. 10, pp. 1737-1745. 1991.
- [4] Y. Ohtsuka, E. Nihei eta Y. Koike. "Graded-index optical fibers of methyl methacrylate-vinyl benzoate copolymer with low loss and high bandwidth," *Applied Physics Letters*, vol. 57, no. 2, pp. 120-122. 1990.
- [5] F. Breyer, S. Randel, H. van den Boom eta T. Koonen J. Lee. in *Proc. Int. Conf. POF*, 2008.
- [6] O. Ziemann et al. in *Proc. Int. Conf. POF* , 2008.
- [7] G. Yabre. "Comprehensive theory of dispersion in graded-index optical fibers," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 18, no. 2, pp. 166-177. 2000.
- [8] G. Yabre. "Theoretical investigation on the dispersion of graded-index polymer optical fibers," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 18, no. 6, pp. 869-877. 2000.
- [9] R. F. Shi, C. Koeppen, G. Jiang, J. Wang eta A. F. Garito. "Origin of high bandwidth performance of graded-index plastic optical fibers," *Applied Physics Letters*, vol. 71, no. 25, pp. 3625-3627. 1997.
- [10] L. Jacomme. "Modal dispersion in multimode graded-index fibers," *Applied Optics*, vol. 14, no. 11, pp. 2578-2584. 1975.
- [11] J. Zubia, G. Aldabaldetrekua, G. Durana, J. Arrue, H. Poisel eta C. A. Bunge. "Geometric optics analysis of multi-step index optical fibers," *Fiber and Integrated Optics*, vol. 23, pp. 121-156. 2004.
- [12] S. Lee, L.-C. Paek eta Y. Chung. "Bandwidth enhancement of plastic optical fiber with multi-step core by thermal diffusion," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 39, no. 2, pp. 129-131. 2003.
- [13] M. A. van Eijkelenborg, M. C. J. Large, A. Argyros, J. Zagari, S. Manos, N. A. Issa, I. Basset, S. Fleming, R. C. McPhedran, C. M. de Sterke eta N. A. P. Nicorovici, "Microstructured polymer optical fibre," *Optics Express*, vol. 9, no. 7, pp. 319-327. 2001.

- [14] R. F. Cregan, B. J. Mangan, J. C. Knight, T. A. Birks, P. S. J. Russell, P. J. Roberts eta D. C. Allan. “Single-mode photonic band gap guidance of light in air,” *Science*, vol. 285, pp. 1537-1539. 1999.
- [15] “C & C Electronics: About D2B,” 2001. Available: <http://www.candc.co.uk>
- [16] W. Daum, J. Krauser, P. E. Zamzow eta O. Ziemann. “POF: Polymer optical fibers for data communication” Berlin: Springer, 2002.
- [17] “MOST specification of physical layer, rev. 1.0, ver. 1.0-0,” Feb. 2001. Available: <http://www.mostcooperation.com>
- [18] “What is IDB-1394.” Available: <http://www.firewire-1394.com>
- [19] “What is bytelight” Available: <http://www.bytelight.com>
- [20] A. Goetzberger. Fluorescent solar energy collectors: Operating conditions with diffuse light. *Applied Physics*, 16(4):399–404, 1978
- [21] Itxaso Parola, Daniel Zaremba, Robert Evert, Jana Kielhorn, Florian Jakobs, M. Asunci3n Illarramendi, Joseba Zubia, Wolfgang Kowalsky, and Hans Hermann Johannes. “High performance fluorescent fiber solar concentrators employing doubledoped polymer optical fibers”. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 178:20–28, 2018



## 5. Alternatiben analisia

---

Atal honetan PZOek beirazko zuntz optikoekin konparatuz izan ditzaketen abantailak eta desabantailak aurkeztuko dira:

- Plastikozkoak izatean malguak dira eta apurtzeko zailagoak.
- Merkeagoak dira materiala dela eta.
- Lan egiteko momentuan seguruagoak dira (beirazko zuntza apurtzean ezpaletan zatitu daiteke eta istripuren bat izan dezakegu).
- Fabrikazio tenperatura baxuagoak dira.
- Beirazkoekin alderatuz, dopante aukera zabalagoarekin dopa daitezke.
- Egia da atenuazio altuagoa dutela. Hori dela eta distantzia laburretan erabiltzeko aproposak dira.

## 6. Arriskuen analisia

Atal honetan neurketak egiteko erabiliko dugun laserrak sor ditzakeen arazoak analizatuko ditugu eta hau gertatzeko probabilitatean eta inpaktua analizatu egingo da. Horrela, kasu bakoitzerako hartu behar diren kontingentzia neurriak erabakiko da, edo kasu batzuetan, hauen inpaktua murriztu.

### 6.1 Arriskuen identifikazioa eta balorazioa

Hainbat neurketa egiteko 4. motako laserra erabili dugu, hainbat arrisku sor ditzakeena. Laserrak, batez ere, azalean eta begian arazoak sor ditzake. Hori dela eta araudia batzuk daude (batik bat, IEC TR 60825-14 araua), laser produktuen segurtasuna barne hartzen duena.

Hiru efektu izan ditzake laserrak gure gain:

- Efektu termikoa: luzaro mantentzean agertzen da ( $10^6$  W/m potentziekin) argia bero bihurtzen baita.  $60$  °C-tan proteinen desnaturalizazioa sortzen du.  $100$  °C-tan lurrunketa, foto-koagulazioa eta foto-lurrunketa.  $350$  °C-tan karbonizazioa eta  $500$  °C-tan konbustioa.

Medikuntzan, foto-koagulaziorako (erretinaren gaixotasuna), foto-ablazio termikorako eta kosmetikarako (depilazioa, tratamendu fasziala) erabiltzen da.



6.1 irudia: Efektu termikoaren prozesua

- Efektu fotokimikoak: UV eta uhin luzera laburrekin gertatzen da (argi urdina). Sor ditzakeen kalteak konponezinak dira (azala, begiaren kristalinoa eta erretina).

Medikuntzan, foto-ablazioarako eta droga aktiboetarako erabiltzen da.



6.2 irudia: Efektu fotokimikoaren prozesua

- Efektu fotomekanikoak: Impulso laburreko eta potentzia oso altuko laserrak ( $10^{15} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} - 10^{18} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  irradiantziak,  $10\text{ ns}$  baino txikiagoko inpulstuekin). Temperatura azkar igotzen da (plasma) eta hori dela eta zelulen likidua gas bihurtzen da arin (eztanda)

Medikuntzan, tumoreak kentzeko erabiltzen da.



6.3 irudia: Efektu fotomekanikoaren prozesua

Gure laserra C4 motakoa da; horrek esan nahi du, azalean eta begietan arazoak sor ditzakela (erradiazioa zuzeneko edo zeharkakoa bada). Beste arrisku batzuk ere sor ditzake: sutzea (sutea), erradiazioa (ez optikoa), ke toxikoa eta laserrak sortako eta airean dauden kutsatzaileak.

Arrisku hauek ekiditeko azalaren eta begien zuzeneko edo zeharkako laserraren erradiazioa ekidin behar da. Rockwell arabera hauek dira gehien gertatzen diren arriskuak:

- Begiaren nahigabeko eztanda lerrokatzean (A)
- Lerrokatu gabeko optika eta gorantz zuzendutako sorta (B)
- Betaurreko bereziak ez erabiltzea (C)
- Ekipoen funtzionamendu okerra (D)
- Tentsio handiko ekipoen erabiltze desegokia (E)
- Babestu gabeko pertsonen nahitaezko eztanda (F)
- Operarioaren ezjakintasuna laser ekipoa erabiltzeko (G)

## 6.2 Probabilitate eta eragin matrizea

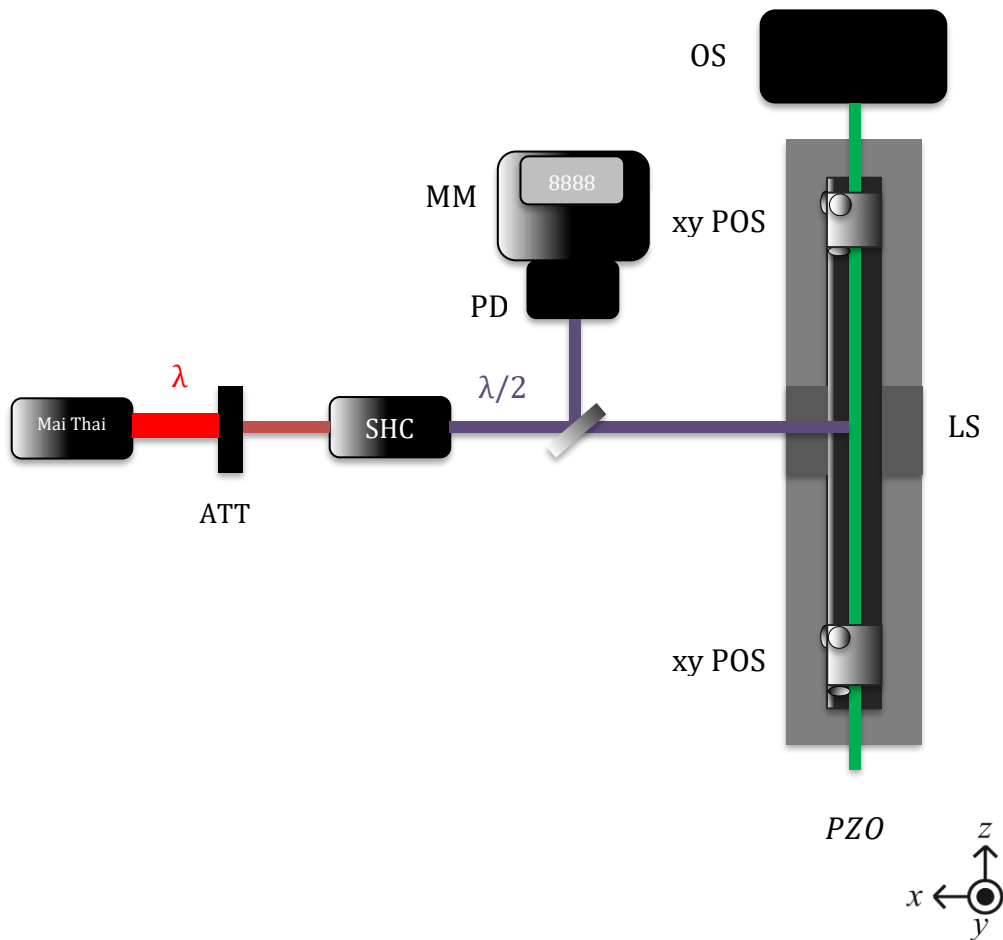
		ERAGINA				
		Oso Baxua (0,1)	Baxua (0,2)	Ertaina (0,3)	Altua (0,4)	Oso altua (0,5)
PROBABILITATEA	Oso Baxua (0,1)				E (0,04)	B, F, G (0,05)
	Baxua (0,2)				D (0,08)	A (0,1)
	Ertaina (0,3)			C (0,09)		
	Altua (0,4)					
	Oso altua (0,5)					

6.1 Taula: Probabilitate eta eragin matrizea

## 7. Proiektuaren diseinua

Atal honen helburua proiektua aurrera eramateko erabili ditugun bi muntaien eskema irudikatzea eta azaltzea izango da, hainbat kontu argitzeko asmoarekin.

### 7.1 Propagazio distantziaren menpeko neurketak

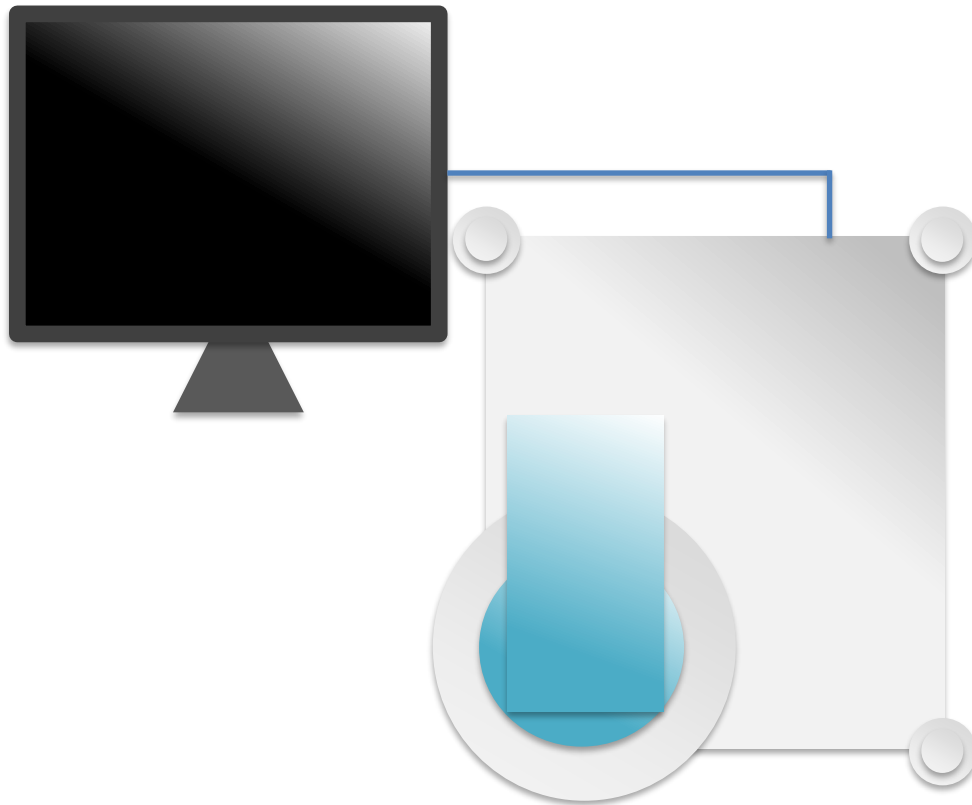


7.1 irudia: Dopaturiko PZOen igorpen espektroak neurtzeko erabilitako konfigurazio esperimentalak. ATT: Atenuadore aldakorra; SHG: bigarren harmoniko sortzailea, BS: argi-sorta banatzailea; PD: foto-detekttagailua; MM: multimetra; LS: motor lineala; xy Pos: xy mikro-posizionatzailea

Espektro optikoak neurtzeko erabilitako konfigurazioa 7.1 irudian ikus daiteke. Zuntzak kitzikatzeko erabilitako argi-iturria Mai Tai HP laser sistema (-100 fs pultsu-zabalerak, 300 kW potentzia maximoak, 2.5 W bataz besteko potentzia, 80 MHz maiztasuna) izan zen, frekuentzia bikoiztaile unitate batekin (*Inspire Blue*). Laserraren irteerako atenuadore aldakorra eskuz doitzuz, irradiantzia kitzikatzailerak kontrola genezakeen.

Neurtu beharreko zuntz dopatuak, motor lineal baten gainean muntaturiko bi xy mikro-posizionatzaileen bitartez oratu ziren. Hauek zuntzaren lan-eremua guztiz horizontal mantentzeko eta laser erasotzailea zuntzaren zentroan fokatzeko erabili ziren. Ez zen inolako mikroskopio objektiborik erabili behar izan, laser-sistemako seinaleak kolimazio nahikoa baitzuen zuntzaren irteeran fluoreszentzia-seinale altua lortzeko. Neurketarik gehienetan, kitzikatzeko puntuaren eta zuntzaren muturraren arteko distantzia konstante mantendu zen gutxi gorabehera (16/15 cm). Zuntzetan zehar propagazio distantziaren menpeko neurketak egin behar izan zirenean, ESP300 mugimendu kontrolatzailearen bidez gidaturiko ILS250CC motor lineala erabili zen. Zuntzaren muturrean lorturiko igorpen espektro guztiak, USB4000 espektrometroarekin (1.5 nm-ko FWHM erresoluzioa) neurtu ziren eta lorturiko emaitzak detekzio-sistemaren erantzuna konpentsatzeko zuzendu ziren. Honez gain, erreferentzia seinale bat erabili zen, argi-sorta banatzaile (ingelesez *beam splitter*) bat erabilita, laserraren fluktuazio posibleak baliogabetzeko. *LabVIEW* programa erabili zen, alde batetik, mugimendu kontrolatzailea eta espektrometroa automatizatzen, eta, bestetik, neurketetan zehar sinkronizazio egokia lortzeko.

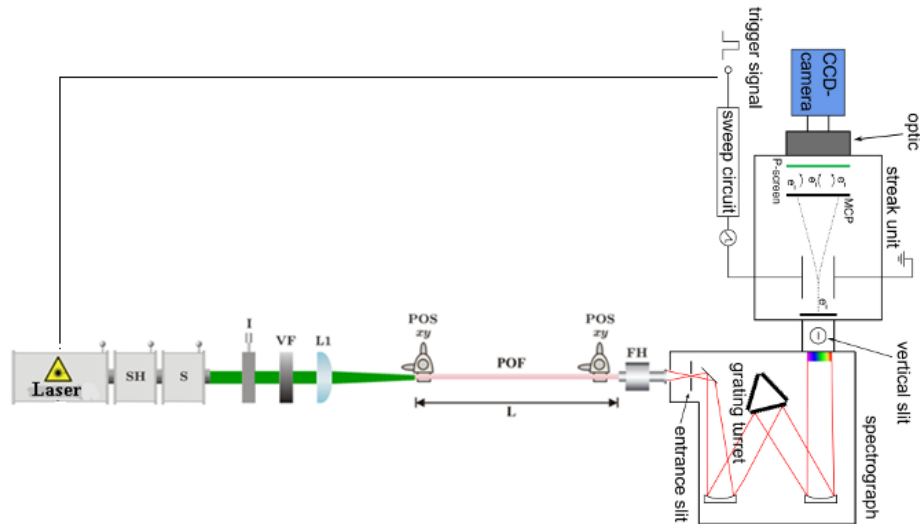
## 7.2 Cary-ko neurketak



7.2 irudia: Cary-aren muntaia

Dopaturiko zuntzen xurgapeneko espektroak neurtzeko zuntz optiko akoplagailuarekin ekipaturiko Cary 50 UV-Vis espektrofotometroa erabili da. Neurketa hauetan, zuntzaren luzera nahiko laburra izan da (1 cm) zuntzen nukleoetan txertaturiko dopanteen xurgapeneko bandak detektatzeko.

## 7.3 Streak camera



7.3 irudia: Streak Cameraren konfigurazioa. SH: bigarren harmonikoaren sortzailea. S: banatzailea. VF: ahultzaile aldakorra. POS xy: zuntzaren posizionatzaileak. POF: plastikozko zuntz optikoa. FH: filtroentzako euskarriak.

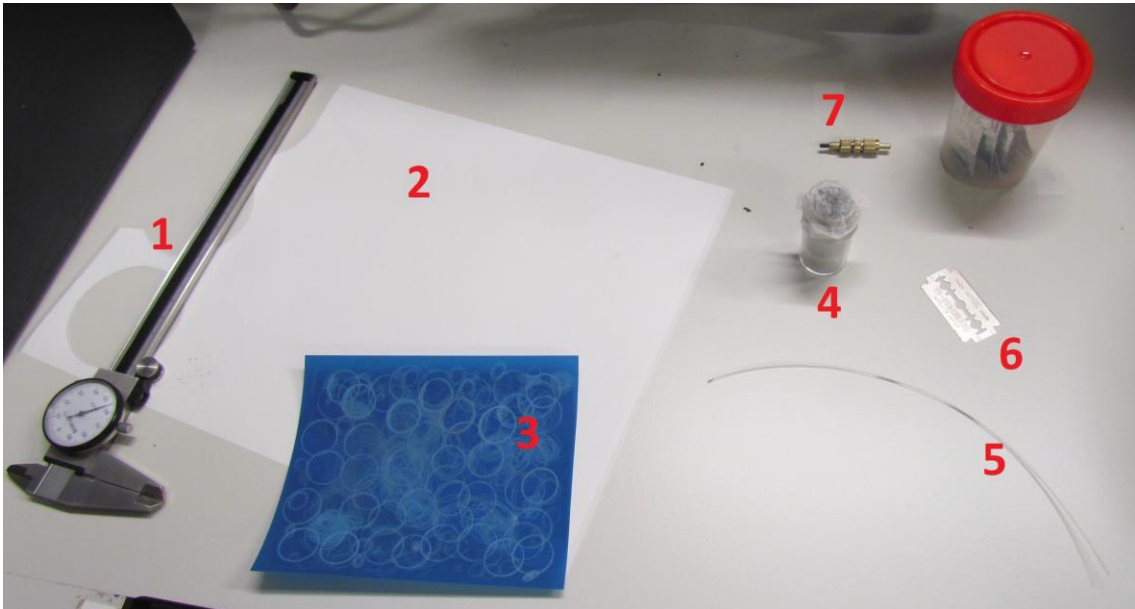
Denboran zeharreko neurketak lortu nahi ditugunez Streak Cameraren (edo ekorketa kamera) erabilera funtsezkoa izan da proiektu honetan. Streak Camera argiaren intentsitatearen aldaketa denbora oso laburreko pultsuetan ikusteko erabiltzen den tresna bat da. Goiko irudian tresna honekin neurtzeko erabili dugun muntaia irudikatzen da. Bertan, zuntza luzerarekiko nola kitsikatzen den ikus daiteke. Orokorrean, aldiari-aldiari gertatzen diren fenomenoak neurtu nahi badira, Streak Camera “trigger” baten bidez aktibatu beharra dago, osziloskopio baten moduan. Beraz, neurketa zehatz bat lortzeko, laser eta neurgailuaren arteko sinkronizazioa optimoa izan behar du.



## 8. Proiektuaren prozedura

Atala honetan proiektua aurrera eramateko egin ditugun neurketak nola egin ditugun eta neurketak hauek egiteko behar izan den materiala eta neurketak prestatzeko jarraitu den prozedura azalduko da.

### 8.1 Zuntzen prestaketa Cary-rako



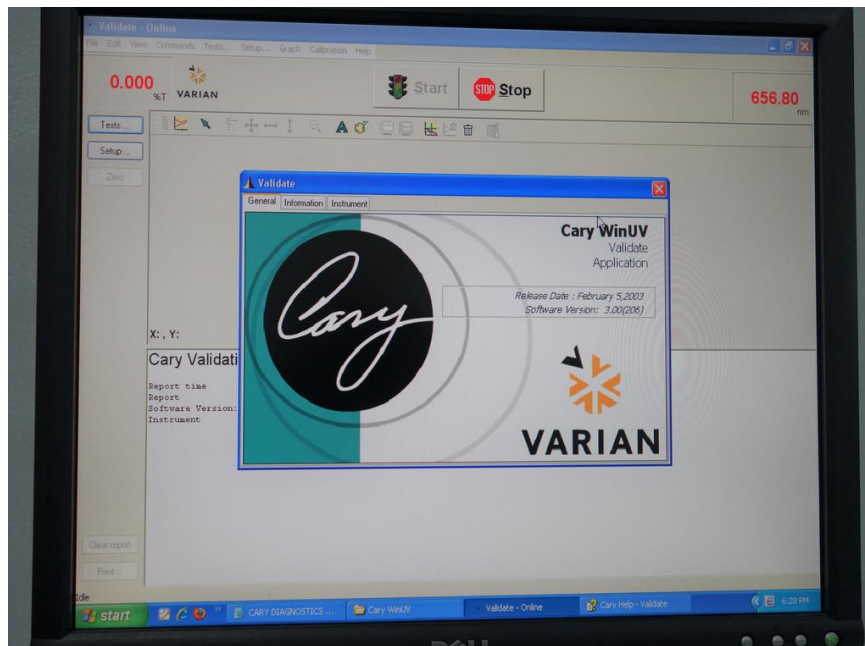
8.1 irudia: Cary-rako erabili diren zuntzak prestatzeko erabili den materiala. 1: Kalibrea. 2: Lixa txuria. 3: Lixa urdina. 4: Mikroskopia objektiboa. 5: plastikozko zuntz optikoa. 6: Marraza. 7: SMA konektorea

Cary-an neurketak egin ahal izateko zuntzak modu berezi batean prestatu behar izan ditugu:

- Lehenenik eta behin zuntzak 1 cm-ko luzeran moztu egin dira.
- Behin hori eginda, zuntz zati hau bi aldeetatik lixatu (leundu) behar izan da: lehenik eta behin lixa urdinarekin eta gero lixa zuriarekin. Prozesu hau hainbat aldiz errepikatu behar izan da zuntzaren aldea leuna eta gardena izan arte. Lixa urdinean zirkuluak egin dira lixatzeko eta lixa txurian berriz zortziak.

- Alde bakoitza ondo leunduta dagoen ala ez jakiteko mikroskopioaren objektiboa erabiltzen da. Zuntza firme mantentzeko berriz konektorea. Zuntza konektoretik sartu eta honek finko mantentzen laguntzen du.

## 8.2 Cary-an egindako neurketak

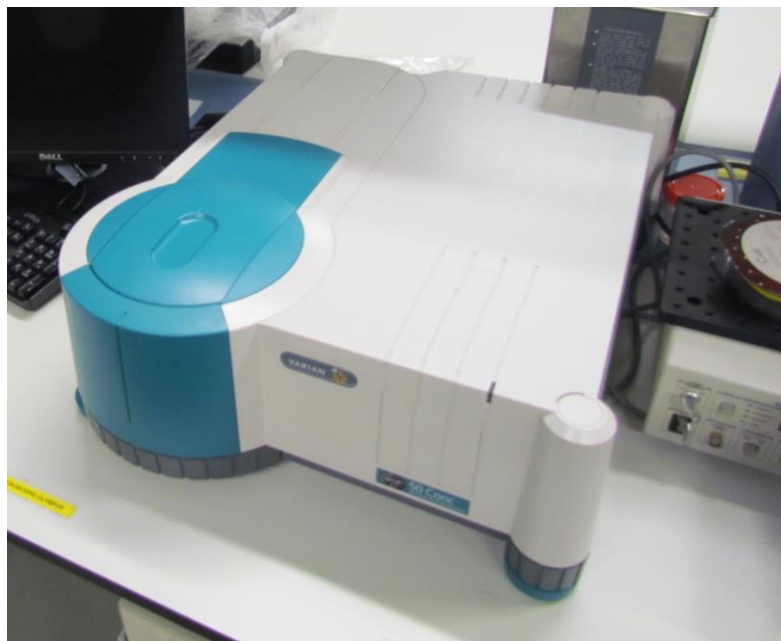


8.2 irudia: Cary softwarearen irudi bat

Cary software-aren bitartez eta lehen erakutsi dugun muntaia erabilia zuntzen xurgapen espektroa (xurgapen kurbak) neurtuko dugu. Horretarako 1 cm-ko PZO laginak erabiliko ditugu 8.4 irudian agertzen den CARY 50 UV-VIS espektrofotometroan kokatu. Zuntzak kokatu baino lehen hauek alkoholarekin eta trapu txikiekin garbitu beharko dira. Cary softwarea egoki konfiguratu eta zuntzak egoki kokatu beharra daude tresnan.



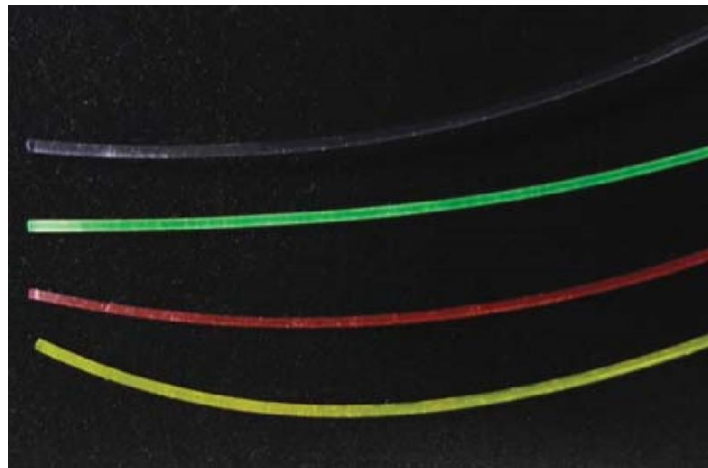
8.3 irudia: Alkohola, trapu txikiak eta zuntz laginak potean gordeta



8.4 irudia: CARY 50 UV-VIS espektrofotometroa

### 8.3 Zuntzen prestaketa propagazio distantziaren menpeko neurketarako

Zuntz hauek prestatzeko Cary-rako prestatu ditugun zuntzak prestatzeko erabili dugun prozedura berdina jarraitu beharra dago baina, kasu honetan, laginak 15 cm-koak izango dira eta, bi aldeak lixatu ordez alde bakar bat lixatuko da.



8.5 irudia: Zuntz laginak

### 8.4 Propagazio distantziaren menpeko neurketetak

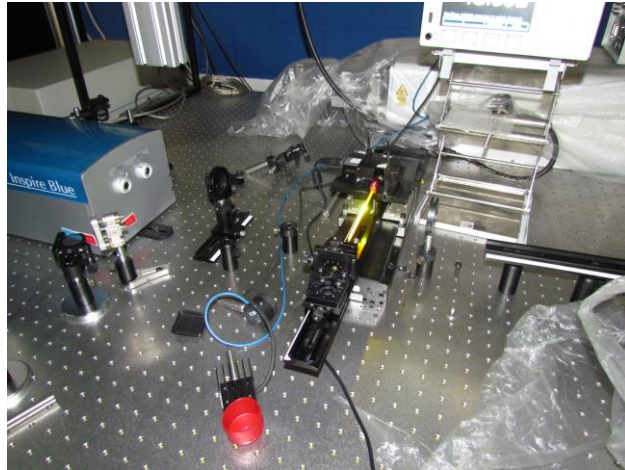
Igorpen espektroa lortzeko asmoarekin eta honekin loturiko beste parametro batzuk lortzeko helburuarekin egin dira neurketa hauek. Batik bat, kitzikatutako uhin luzeran agertzen diren igorpen propietateak neurtzen dituzten lehenengo eta bigarren momentua ( $N_1$  eta  $N_2$ ) edo eta, atenuazio koefizientea. Lehenengo momentuak batzuz besteko igorpeneko uhin-luzera adierazten du, eta hurrengo moduan kalkulatu daiteke:

$$N_1 = \frac{\int I(\lambda) \lambda d\lambda}{\int I(\lambda) d\lambda}$$

Bigarren momentuaren erro karratua berriz, zabalera espektralaren proportzionala da, eta hurrengo modu honetan kalkulatu daiteke:

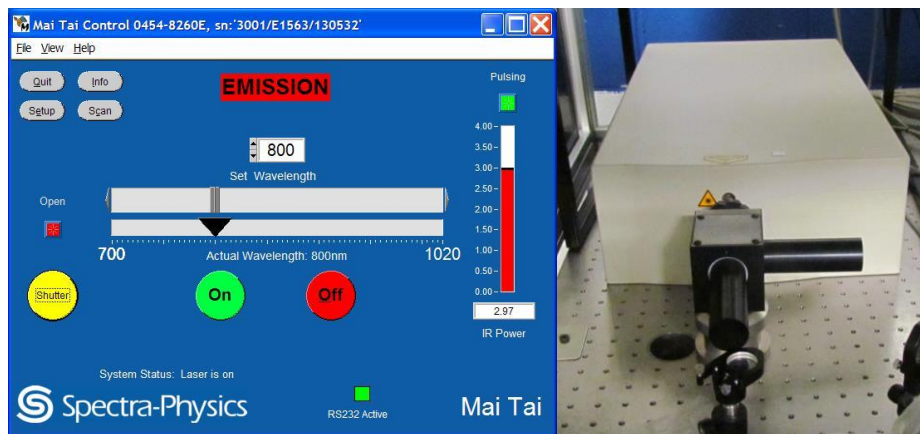
$$\sqrt{N_2} = \sqrt{\frac{\int (N_1 - \lambda)^2 I(\lambda) d\lambda}{\int I(\lambda) d\lambda}}$$

Horretarako 7.1 irudian irudikatu dugun muntaia erabiliko dugu eta PZO laginak bere luzera osoan zehar kitzikatuko dugu laserra erabilita.



8.6 irudia: PZO bat laserraren bidez kitzikaturik propagazio distantziaren menpeko muntaian (igorpen espektroa neurtzeko konfigurazioa)

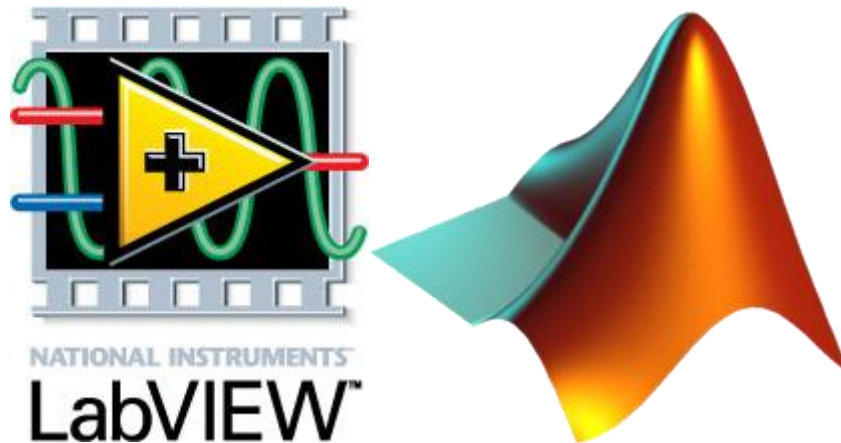
Laserra erabiltzeko 8.7 irudian agertzen den Mai Tai softwarea erabiliko da, uhin luzera eta laserra kontrolatzen eta egokitzen lagunduko diguna.



8.7 irudia: Mai Tai softwarea eta laserra

Lortutako emaitzak *Labview* softwarearen bitartez lortuko dira eta behin hauek testu dokumentu batean gordeta eta *.xlsx* formatura pasata, *Matlab* programaren bitartez prozesatuko dira.

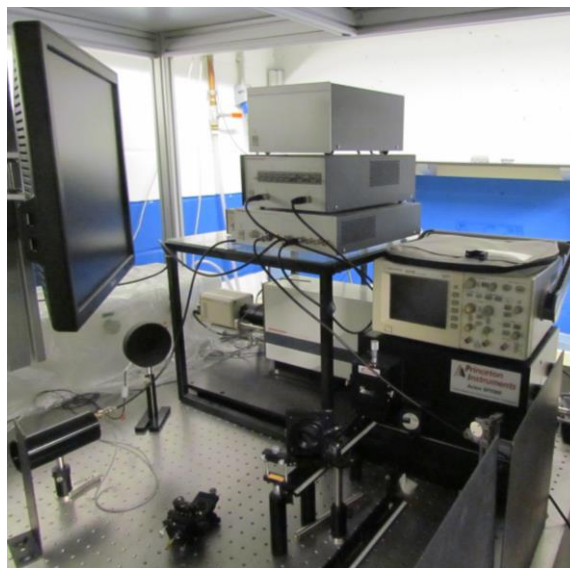
Lehen aipatutako propietateen irudikapen grafikoak lortuko ditugu, hurrengo puntuan aztertu eta horietatik ondorioak aterako ditugunak.



8.8 irudia: *LabVIEW* eta *Matlab* softwarearen logoak

## 8.5 Streak Camerako neurketetak

Azkenik Streak Camera erabili da dopaturiko PZOen fluoreszentzia karakterizatzeko. Konkretuki, zuntzen fluoreszentzien erdi-bitzitza ( $\tau$ ) neurtzeko. Horretarako 7.3 atalean aipatutako muntaia erabili da, HPD-TA 8 softwarearen bitartez kontrolatzen dena. Lortutako emaitzak .img batean gorde eta *MatLab*eko script baten bidez prozesatu egin dira.



8.9 irudia: Streak Camera

## 9. Gantt diagrama

---

Kapitulu honetan proiektu hau aurrera eramateko eraman den planifikazioa azalduko da, lan pakete eta betebeharrak ezberdinduz eta azalduz.

### 9.1 Lan taldea

7.1 taulan, proiektuaren garapenean parte hartu duen lantaldea aipatuko da. Partehartzaile bakoitzaren betebeharra zein den ere azalduko da bertan.

Identifikatzailea	Izen abizenak	Erantzukizuna
I. A.	Igor Ayesta Ereño	Proiektuaren zuzendaria
J. A.	Jon Aurrekoetxea Virto	GBLa garatu duena

7.1 Taula: Lan taldeak

Proiektuaren zuzendaria proiektua definitzeaz eta honen eboluzioaren jarraipenaz arduratuko dena da. Bestalde, GBLa garatzeaz arduratzen dena, proiektua bera gauzatzeko arduratuko da, hau burutzeko behar dena garatuz. Horrela, behar diren neurketak egiteaz eta hauek interpretatzeaz arduratuko da eta azkenik, guzti hori hurrengo dokumentuan aurkeztuko du.

### 9.2 Lan paketeen eta betebeharren definizioa

Atal honetan proiektua burutzeko jarraitu diren lan pakete eta betebeharrak desberdinak aurkeztu eta azalduko dira.

#### L.P.1 : Proiektuaren gestioa

Lan pakete honen helburua proiektua zertan oinarritzen den eta proiektua garatu behar duenak zer lan egin behar duen argitzea da. Horretarako, ikerketa bat eginez helburu guztiak betetzen direla ziurtatuko da.

- Betebeharrak:
  - B.1.1: Planifikazioa. Informea zeri buruz den planifikatu behar da eta betebeharrak ondo definitu behar dira hau ongi burutzeko.
  - B.1.2: Proiektuaren gestio eta jarraipena: Zuzendariak proiektua garatzen duen pertsonaren jarraipen bat egin beharko du lana ongi burutzen duen ala ez ziurtatuz.

Ez dago mugarri ez entregatzeko unitaterik

Iraupena: 116 egun

Errekurtsoak: Igor Ayesta Ereño

### L.P.2 : Zuntzen prestaketa Cary-rako

Pakete honetan Cary-rako behar diren zuntzak prestatuko dira.

- Betebeharrak:
  - B.2.1: Zuntzen aukeraketa: erabiliko ditugun zuntzak aukeratuko dira haien egoeraren arabera eta sailkatu egingo dira
  - B.2.2: Zuntzen prestakuntzak: aukeratutako zuntzak Cary-rako prestatuko dira.

Ez dago mugarri ez entregatzeko unitaterik

Iraupena: 9 egun

Errekurtsoak: Jon Aurrekoetxea Virto, Igor Ayesta Ereño

### L.P.3 : Cary-an neurketak egin

Pakete honen helburua lehenago prestatu ditugun zuntzekin neurketak egitea izango da.

- Betebeharrak:
  - B.3.1: Neurketak: Behar diren neurketak egiteari ekin egingo da.
  - B.3.2: Emaizten analisia: Behin behar diren neurketak eginda, hauek prozesatu eta analizatu beharko dira. Behar izatekotan zuntz berriak prestatu eta neurketak errepikatu egingo dira.

Ez dago mugarririk

Entregatzeko unitateak



- E.U.3: Neurketen txostena: Behin egindako neurketak eginda eta Excel-ekin prozesatuta, zuzendariari txosten bat entregatu beharko zaio aldaketaren bat egin behar den ala ez jakiteko eta neurketak modu egokian egin diren ala ez aztertzeko.

Iraupena: 15 egun

Errekurtsuak: Jon Aurrekoetxea Virto

#### L.P.4 : Zuntzen prestaketa propagazio distantziaren menpeko neurketarako

Pakete honetan Propagazio distantziaren menpeko neurketetarako behar diren zuntzak prestatuko dira.

- Betebeharrak:
  - B.4.1: Zuntzen prestakuntza: Aukeratuta eta sailkatuta ditugun zuntzak prestatuko dira.

Ez dago mugarri ez entregatzeko unitaterik

Iraupena: 10 egun

Errekurtsuak: Jon Aurrekoetxea Virto, Igor Ayesta Ereño

#### L.P.5 : Propagazio distantziaren menpeko neurketak

Pakete honen helburua lehenago prestatu ditugun zuntzekin neurketak egitea izango da.

- Betebeharrak:
  - B.5.1: Neurketak: Behar diren neurketak egiteari ekin egingo da.
  - B.5.2: Emaitzen analisia: Behin behar diren neurketak eginda hauek prozesatu eta analizatu beharko dira. Behar izatekotan zuntz berriak prestatu eta neurketak errepikatu egingo dira.

Ez dago mugarririk

Entregatzeko unitateak

- E.U.5: Neurketen txostena: Behin egindako neurketak eginda eta *MatLab*-ekin prozesatuta, zuzendaria txosten bat entregatu beharko zaio aldaketaren bat egin behar den ala ez jakiteko eta neurketak modu egokian egin diren ala ez aztertzeko.

Iraupena: 12 egun

Errekurtoak: Jon Aurrekoetxea Virto, Igor Ayesta Ereño

### L.P.6 : Streak Cameran neurketak

Pakete honen helburua lehenago propagazio distantziaren menpeko neurketan erabili ditugun zuntzekin neurketa berriak egitea izango da.

- Betebeharrak:
  - B.6.1: Neurketak: Behar diren neurketak egiteari ekin egingo da.
  - B.6.2: Emaitzen analisia: Behin behar diren neurketak eginda hauek prozesatu eta analizatu beharko dira.

Ez dago mugarririk

Entregatzeko unitateak

- E.U.5: Neurketen txostena: Behin egindako neurketak eginda eta *MaLlab*-ekin prozesatuta, zuzendaria txosten bat entregatu beharko zaio aldaketaren bat egin behar den ala ez jakiteko eta neurketak modu egokian egin diren ala ez aztertzeko.

Iraupena: 15 egun

Errekurtoak: Jon Aurrekoetxea Virto

### L.P.7 : Dokumentazioa

Azkenengo pakete honen helburua GBL osatzen duen dokumentazio guztiaren prestakuntzan datza.

- Betebeharrak:
  - B.7.1: Txostena: Txosten bat egin beharko da aurretik aipatu dugun guztia biltzen duena.

Ez dago mugarririk

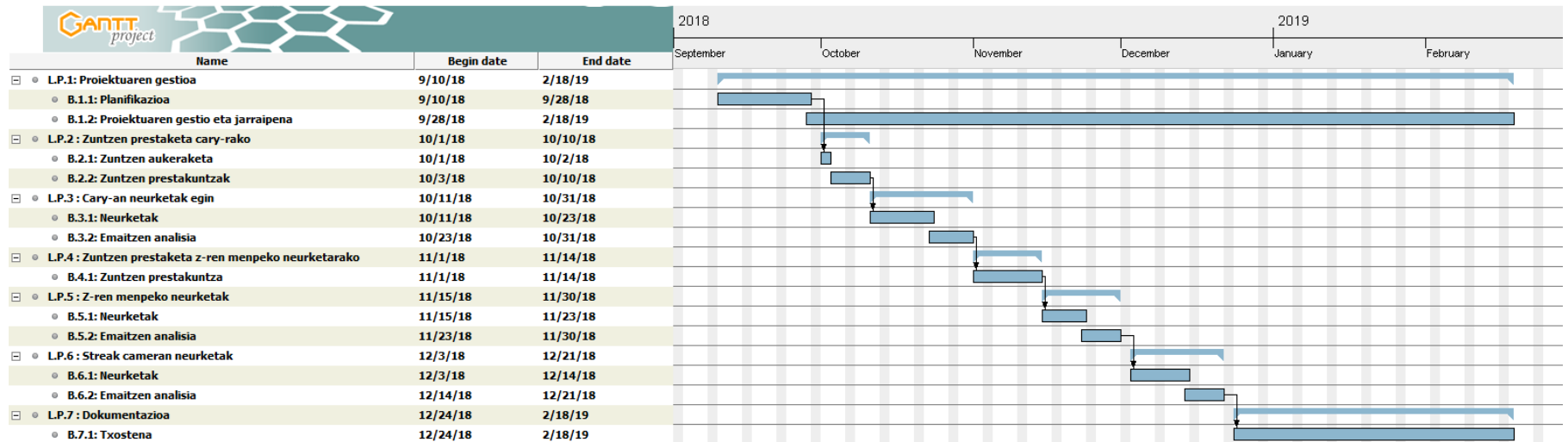
Entregatzeko unitateak

- E.U.7: Txosten finala: Txostena entregatu beharko da, proiektuaren atalik garrantzitsuenak aipatuz eta behar diren ondorioak ateraz.

Iraupena: 41 egun

Errekurtsoak: Jon Aurrekoetxea Virto, Igor Ayesta Ereño

## 9.3 Gantt diagrama



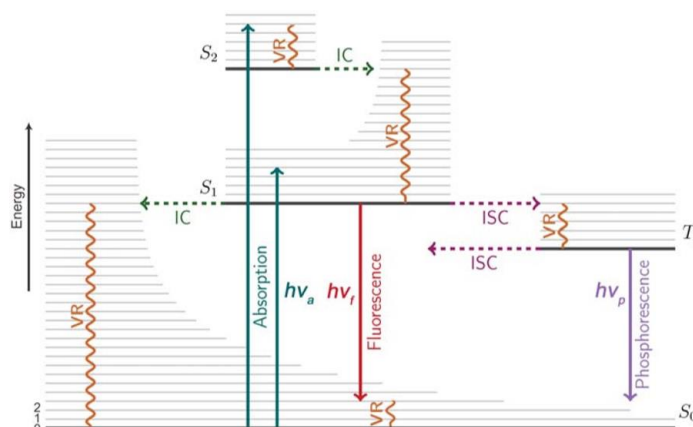
9.1 irudia: Gantt diagrama

## 10. Kalkulu teorikoak

Atal honetan dopante organiko eta lur arraro desberdinekin dopaturiko PZOen ezaugarri optiko desberdinak ulertzeko beharrezkoak diren oinarri teorikoak azalduko dira. Hainbat efektu azalduko ditugu, besteak beste, xurgapena, berezko igorpena, igorpen estimulatua eta foto-egonkortasuna bezalako efektuak batik-bat.

### 10.1 Argiaren erantzuna (Energia mailaren modeloa)

Orokorrean, dopanteen egitura molekularra eta kitzikapen optikoaren eraginez garatutako prozesuak, Jablonskiren diagramaren bitartez azaldu daitezke (energia mailaren modeloa deritzona). 10.1 irudian diagrama hori ikusi genezake:



10.1 irudia: Jablonski diagramaren eskema

Modelo honetan oinarrituz, dopatutako egitura molekularrak oinarritzko bi maila elektroniko dauzka, *singlet* egoera ( $S_i$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ )) eta *triplet* egoera ( $T_i$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ )), lehen erakutsi den diagraman marra beltzek irudikatzen dutena. S<sub>0</sub> Singlet funtsezko egoera moduan ezagutzen da eta energia maila garrantzitsua da, egonkortasun termikoa duena. S<sub>0</sub> eta S<sub>1</sub> lehenengo egoera termikoaren arteko tartea handiegia da kitzikapen termikorako. Hori dela eta, fluoreszentsia lortzeko argia erabiltzen da eta ez beroa. Maila elektroniko bakoitzak dardara azpi-mailak ditu, 0,1,2... zenbakiez izendatuak. Mekanika kuantikoan oinarrituta, transakzio elektronikoak gerta daitezke espin kopuru berdinarekin, hau da, singlet-singlet edo triplete-triplete transakzioak. Hala ere, singlet-triplete edo triplete-singlet

transakzioak oso arraroak dira. Hori dela eta, debekatutako transakzio moduan ezagunak dira. Lehen azaldutakoa kontuan izanda, erasotzen duen argi fotoi, absortzioaren bitartez, dopatutako molekula bat kitzikatu dezake, hau egonkortasun termikoan egotekotan. Erasotzen duen fotoiak duen energia galdu eta elektroi bat mugiarazten du  $S_0$  egoera elektronikotik maila bibratorio batera. Xurgatutako energia  $h\nu_a$  bitartez deskribatzen da,  $h$  Planck konstantea izanda ( $4.136 \cdot 10^{-15}$  eV·s) eta  $\nu_a$  absortzio frekuentzia. Kitzikatutako elektroiak hainbat deskonposizio mekanismo pairatzen ditu  $S_0$  egoerara bueltatzen den arte.

Fotoi batek pairatu ditzakeen desintegrazio mekanismoak bi taldetan banatu daitezke: erradiazioaren eraginezko desintegrazioa eta ez-erradioaktiboa. Trantsizio erradioaktiboa orokorrean  $S_1$  mailaren azpi-maila bibrational baxuenean gertatzen da. Prozesu honi fluoreszentzia deritzo eta  $10^{-10} - 10^{-7}$  s bitartean gertatzen da. Hala ere,  $S_1$  egoeran dauden molekulek espin konbertsio bat ere paira dezakete tripletearen  $T_1$  lehenengo egoerara.  $T_1$ -tik  $S_0$ -ra bitarteko emisio erradioaktiboari fosforeszentzia deritzo.  $T_1$  eta  $S_0$  arteko trantsizioak debekatuta daudenez, fosforeszentzia prozesu luzea da  $10^{-6}$  eta 1s bitartekoa. Bi trantsizio erradioaktiboak lehenengo diagraman irudikatzen dira beheranzkoa marra zuzen bezala eta,  $h\nu_f$  eta  $h\nu_p$  fluoreszentzia eta fosforeszentziaren emisio energiak dira. Trantsizio ez erradioaktiboak lasaipen bibrational (VR), barne konbertsio (IC) eta sistemen arteko gurutzapen (ISC) bezala ezagutzen dira.

## 10.2 Xurgapena

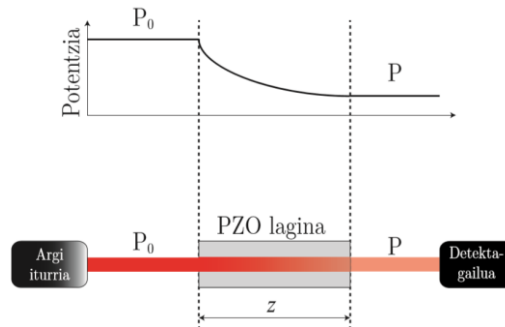
Xurgapena edo absortzioa material batek bere baitan argia hartzea esan nahi du. Absorbantzia berriz, kantitate matematikoa adierazten du [1]:

$$A = \log_{10}\left(\frac{P_0}{P}\right)$$

Zuntzaren sarreran dugun argiaren potentzia  $P_0$  moduan ezagutzen da eta  $P$  transmititutako potentzia zuntzaren irteeran. Zuntz optiko baten galerak hurrengo moduan adieraz daitezke dB-tan:

$$dB\_loss = 10 \log_{10}\left(\frac{P_0}{P}\right)$$

10.2 irudian PZO batetik zeharreko argi-potentziaren eboluzioa adierazten du.



10.2 irudia: PZO baten xurgapen optikoa

Beer-Lamber legearen arabera, polimerozko zuntz optiko batetik zeharkatzen den argi potentzia esponentzialki ahultzen da propagazio distantziarekiko:

$$P = P_0 e^{-\alpha(\lambda)z}$$

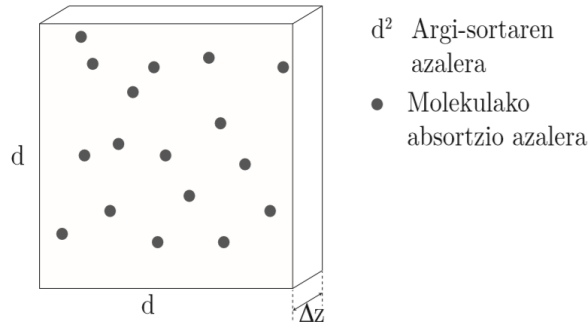
Erlazio hau da 11.2 atalean erabiliko duguna  $\alpha$ -ren balioa lortzeko.  $\alpha(\lambda)z$  adimentsionala denez, atenuazio koefizientea  $\alpha$   $\text{cm}^{-1}$  edo  $\text{mm}^{-1}$  unitateetan adierazten da. Azkenengo bi ekuazioekin hurrengoak lortu genezake:

$$dB_{loss} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_0}{P} \right) = 10 \log_{10} [e^{-\alpha(\lambda)z}] = 10\alpha(\lambda)z \log_{10} e$$

$$\frac{dB_{loss}}{z} = 4.34 \alpha$$

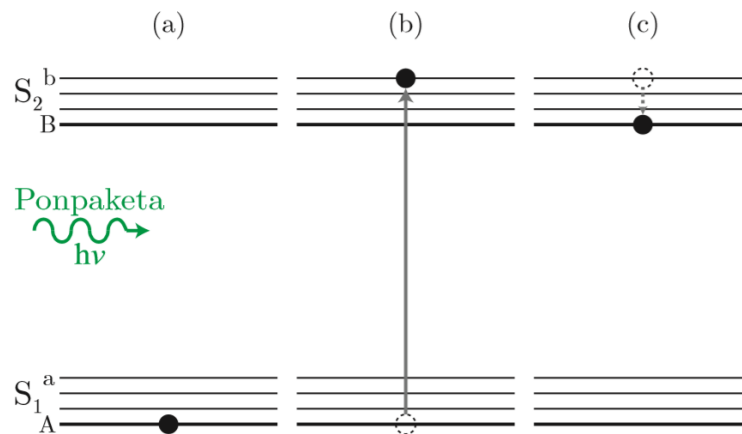
Atenuazio koefizientea xurgapen gurutze-sekzioarekin ( $\sigma_{abs}$ ) eta kitzikatu gabeko energia egoerako molekula dentsitatearekin ( $N_1$ ) (oinarrizko egoera) erlazionaturik dago.

$$\alpha(\lambda) = \sigma_{abs}(\lambda)N_1$$



10.3 irudia: Dopante molekula bakoitzaren xurgapenaren errepresentazioa

Atenuazio koefizientearen unitateek alderantzizko luzerako dimentsioa dutenez ( $m^{-1}$ ), xurgapen gurutze-sekzioaren eta oinarrizko egoerako molekula dentsitatearen unitateak  $m^2$  eta  $m^3$  dira. Xurgapen gurutze-sekzioa molekula bakoitzaren ezaugarria da eta molekularen xurgapeneko azalera efektiboa adierazten du; hau da, bertatik pasatzen den fotoi bat xurgatzeko molekulak duen azalera efektiboa. 10.3 irudian ikusi den bezala,  $d^2$  azalerako argi-sorta batek molekula multzo batekin topo egiten duenean, molekulen xurgapeneko azaleretatik igarotako argia bakarrik izango da xurgatua. Xurgapeneko gurutze-sekzioa molekularen tamaina fisikoa baino handiagoa ala txikiagoa izan daiteke. Horretaz aparte, kontuan hartu behar da molekulen xurgapeneko gaitasuna ez dela konstantea, argiaren uhin-luzerarekiko aldakorra baita.



10.4 irudia: Fotoi baten xurgapena. (a) Elektroia oinarrizko egoeran. (b) Elektroia kitzikaturiko egoerara sustatua fotoi erasotzaile baten energiaren bitartez. (c) Elektroia ez-erradiaziozko desintegrazio oso bizkorra



Xurgapeneko prozesua hobeto ulertzeko asmoarekin 10.4 irudia daukagu. Molekula dopanteek fotoi erasotzailea xurgatu ahal izateko, fotoi erasotzailearen energiak nahikoa izan beharko du trantsizioa kitzikatzeko oinarrizko egoerako  $A$  azpi-mailatik  $S_2$  egoerako  $b$  bibrazio azpi-mailara. Hortaz, xurgapeneko espektroaren maximoa  $E_b - E_A = h\nu$ -ri dagokio, eta bere uhin-luzera honela kalkula daiteke:

$$\lambda_{bA} = \frac{hc}{E_b - E_A}$$

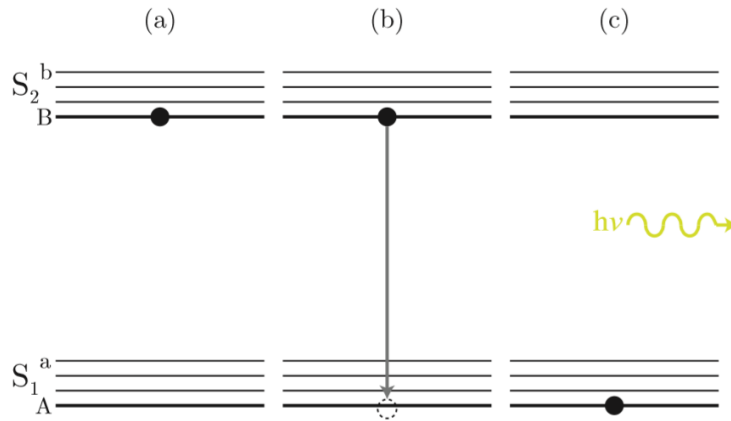
non  $h$  Planck-en konstantea ( $4.136 \cdot 10^{-15}$  eV·s) eta  $c$  argiaren abiadura hutsean ( $3 \cdot 10^8$  m·s<sup>-1</sup>) diren. Xurgapenaren ostean, kitzikaturiko molekulak  $S_2$ -ren azpi-maila bibrazional baxuenera desintegrazio ez-erradiatzailea jasotzen du:  $b \rightarrow B$ . Fotoigorpen gabeko prozesu hau oso bizkorra da, eta sistemako energia totalaren berregituratzearen ondorioa da. Energia hau, kasurik gehienetan, tenperatura igoera edo bero bezala eraldatzen da.

## 10.3 Igorpena

Xurgapen prozesuaren ostean, eta behin kitzikaturiko elektroia  $S_2$ -ren azpi-maila bibrazional baxuenean dagoenean, molekulak prozesu desberdin biren ondorioz igor dezake argia: fluoreszentzia eta fosforeszentzia. Fluoreszentzia elektroien baten erradiaziozko energia galera da  $S_2$  egoera kitzikatutik  $S_1$  oinarrizko egoerara igarotzean. Fosforeszentzia erradiaziozko energia galera moduan ere ezagutzen baita, T triplete-egoeratik  $S_1$  oinarrizko egoerara igarotzean. Fosforeszentzia gertatu baino lehenago transferentzia ez-erradiatzailea gertatu behar izan da,  $S_2$  kitzikaturiko singlete-egoeratik T triplete-egoeraraino. Prozesu hau *sistema-arteko pasagunea* edo, ingelesez, *intersystem crossing* bezala ezagutzen da [2].

### 10.3.1 Berezko igorpena

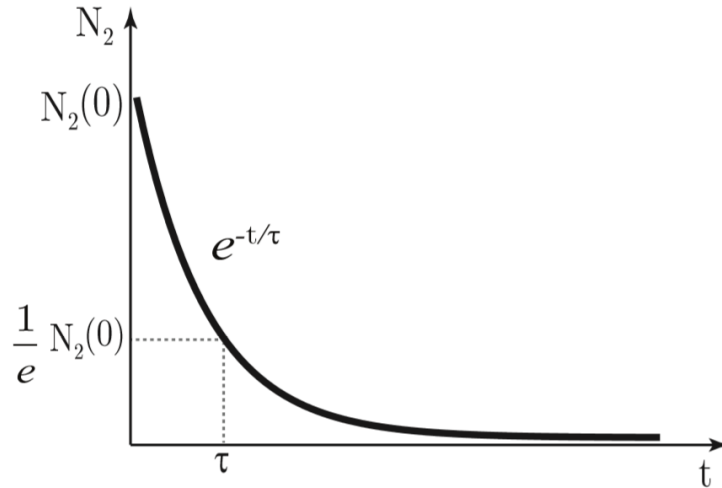
Sistema-arteko pasagunea mesprezatu ostean, edozein elektroia  $S_2$ -ren bibrazio azpi-maila baxuenetik oinarrizko egoerara bueltatuko da, berezko igorpenaren edo igorpen estimatuaren bitartez. 10.5 irudian ikus daitekeen bezala, berezko igorpen prozesuan,  $S_2$ -ren bibrazio azpi-maila baxuenean dagoen elektroia oinarrizko egoerara espontaneoki erlaxatzen da (inolako kanpo eraginik gabe), fotoi bat igorritik (fluoreszentzia).



10.5 irudia: Fotoi baten berezko igorpena. a) Elektroia  $S_2$ -ren bibrazio azpi-maila baxuenean. b) Erradiaziozko berezko desintegrazioa oinarrizko egoerara. c) Elektroia oinarrizko egoeran, fotoi bat igorri ostean

Igorritako fotoiaren uhin-luzera eta baita propagazio noranzkoa ere ausazkoak dira. Beste alde batetik, uhin-luzera bakoitzaren probabilitatea igorpeneko gurutze-sekzioak determinatuko du.

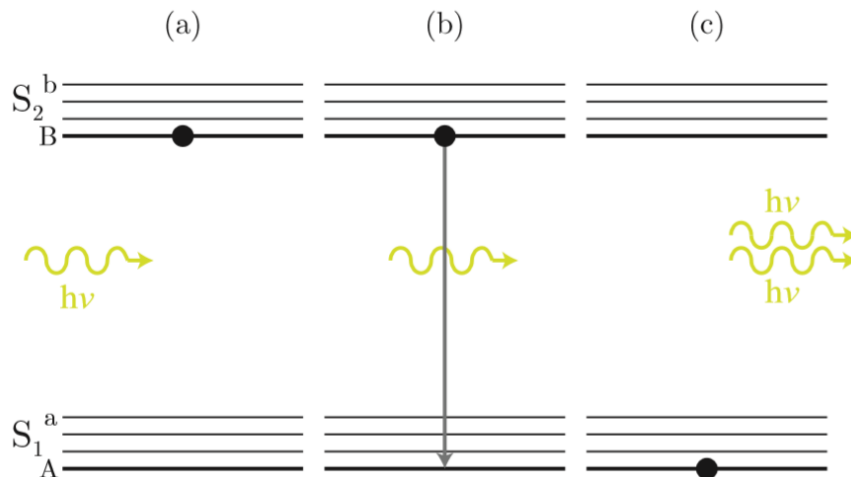
Inolako kanpo-eraginik gabe elektroia bat egoera kitzikatuan mantenduko den denbora, oinarrizko egoerara desintegratu gabe, *fluoreszentzia-erdibizitza*  $\tau$  parametroaren bitartez karakterizatzen da. Fluoreszentzia-erdibizitza, hasiera batean kitzikaturiko egoeran dauden molekula sorta baten berezko igorpenaren batez besteko iraupena da. Bereziki, 10.6 irudian ikus daitekeen bezala, hasierako momentuan kitzikaturiko egoeran dauden molekulen kopurutik  $1/e$  frakzioa edukitzeko pasa behar den denbora zein den adierazten du  $\tau$  parametroak. Ondoz ondoko  $\tau$  denbora tarteen ostean, kitzikaturiko egoeran geratzen diren molekulen kopurua  $1/e$  aldiz txikiagoa da. Fluoreszentzia-erdibizitza kontsideraturiko dopante organikoarekin erlazionaturik dago. Hala eta guztiz ere,  $\tau$  nanosegundoen ordenan kokatzen da proiektu honetan erabilitako dopanteentzat [3].



10.6 irudia: Berezko igorpenaren ondoriozko  $S_2$  bibrazio azpi-mailako populazioaren eboluzio esponentzial beherakorra  $\tau$  erdibitzarekiko

### 10.3.2 Igorpen Estimulatua

Berezko igorpenaz gain, kitzikaturiko edozein molekula oinarrizko egoerara igorpen estimulatuen bitartez ere buelta daiteke, fotoi erasotzaile baten eraginaren ondorioz. Prozesu hau hobeto ulertzeko 10.7 irudia daukagu.

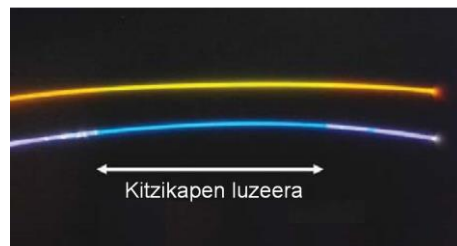


10.7 irudia: Fotoi baten igorpen estimulatua. a) Elektroi bat  $S_2$ -ren bibrazio azpimaila baxuenean. b) Fotoi erasotzaile batek bigarren fotoi baten igorpena estimulatzen du, lehenengo fotoiaren fasean eta energia berarekin. c) Estimulaturiko fotoia oinarrizko egoeran

Energia egokia duen fotoi batek eta  $S_2$ -ren bibrazio azpi-maila baxuenean kokatzen den elektroio batek elkar eragiten badiote, elektroioa  $S_1$  oinarrizko egoeraraino estimulatua izan daiteke, hazi bezala erabilitako fotoi erasotzailearen uhin-luzera, noranzko eta energia berarekin. Kitzikaturik dagoen molekulak igorpen estimulatua edukitzeko, fotoi erasotzailearen energia eta molekularen baimendutako trantsizio-energia berdinak izan behar dute. Populazio gehien daukan egoeraren arabera, xurgapen ala igorpen garbia izango dugu. Xurgapen prozesua nagusia izateko, molekula gehiago egon beharko dira oinarrizko egoeran. Populazio-inbertsioa baldin badago, hau da, molekula kopuru handiagoa kitzikaturiko egoeran baldin badago, orduan, igorpen estimulatua izango da dominatzailea.

## 10.4 Fotoegonkortasuna

PZOetan oinarrituriko laser eta anplifikadoreak eraikitzerako orduan laserren bitartezko kitzikapena erabiltzea ohikoa izaten da. Hala ere, intentsitate altuko ponpaketa jarraituek, dopante organiko eta lur arraroen ezaugarri fisikoei eragin diezaiokete, argia emititzeko kapazitatea txikiagotuz. Dopante molekula batek bere igorpena inolako degradazio barik mantentzeko kapazitatea foto-estabilitate terminoarekin definitzen da [4]. Foto-estabilitateak, argi esposizioaren ondorioz, zuzeneko ala zeharkako degradazio prozesua karakterizatzen du. Alde batetik, zuzeneko prozesuan dopante molekulak kitzikatzeko argiaren xurgapenaren ondorioz degradatzen dira, aldaketa kimikoak pairatzen dituztelarik. Tripete-egoera, adibidez, oso egoera errektiboa da. Oxigenoa argiaren bitartez aldaketa kimikoak errazten dituen katalizatzailea da. Oxigenoa laginetik at mantenduz gero, askoz ere motelago degradatzen dira dopante molekulak. Beste alde batetik, zeharkako prozesuan argia xurgatzean materialean paraturiko energiak laginaren tenperatura igotzen du eta honek, dopante molekulen itxuran aldaketak eragiten ditu. Ondorioz, dopante molekulak fluoreszentzia emititzeari laga diezaiokete edo eredu desberdinarekin igorri ahalko du. Degradazio mota hau lehenengoko dopaturiko polimeroen garaitik da ezaguna [5]. Aurreko ikerketetatik ikus daiteke [2],[6]-[8] fotoegonkortasunerako garrantzitsuak diren hainbat parametro aurkitu direla dagoeneko, hala nola, tenperatura, matrize ostalaria, ponpaketa potentzia eta uhin-luzera, molekula dopante mota, dopantearen kontzentrazioa eta ezpurutasunak materialean. Zuntzen geometria fin eta luzeak erlaxazio termiko ona errazten du, tenperaturaren ondoriozko degradazioa txikiagotzen duelarik. PZOetan oinarrituriko laserretan, anplifikadoreetan eta eguzki argi kontzentradoretan igorpen estimulatua lortzeko, beharrezko kitzikapen intentsitatea masa-materialetan baino baxuagoa izaten da. Gertaera hau oso garrantzitsua da, izan ere, material dopanteen fotoegonkortasuna eta erdibizitza kitzikapen intentsitate altuekin txikiagotzen baitira. Beste alde batetik, aipatu beharra dago molekula dopanteen fotoegonkortasuna gutxiagotu egiten dela energia altuko fotoiekin (espektroaren alde ultramorean) kitzikatzen badira [2].



10.8 irudia: Bi PZOetan degradazioaren eragina

## 10.5 Erreferentziak

- [1] A. Tagaya, S. Teramoto, E. Nihei, K. Sasaki eta Y. Koike. "Highpower and high-gain organic dye-doped polymer optical fiber amplifiers: Novel techniques for preparation and spectral investigation," *Appl. Opt.*, vol. 36, no. 3, pp. 572-578. 1997.
- [2] G. D. Peng, Z. Xiong eta P. L. Chu, "Fluorescence Decay and Recovery in Organic Dye-Doped Polymer Optical Fibers," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 16, no. 12, pp. 2365-2372. 1998.
- [3] A. Tagaya, S. Teramoto, T. Yamamoto, K. Fujii, E. Nihei, Y. Koike eta K. Sasaki. "Theoretical and experimental investigation of rhodamine B-doped polymer optical fibre amplifiers," *IEEE J. Quant. Electron.*, vol. 31, no. 12, pp. 2215-20. 1995.
- [4] A. Dubonis, M. Canva, A. Brun, F. Chaput eta J. P. Boilot. "Photostability of dye molecules trapped in solid matrices," *Appl. Opt.*, vol. 35, pp. 3193-3199. 1996.
- [5] I. Kaminow, L. Stulz, E. Chandross eta C. Pryde. "Photobleaching of organic laser dyes in solid matrices," *Appl. Opt.*, vol. 11, no. 7, pp. 1563-1567. 1972
- [6] Y. Nishizawa, S. Nishihara, K. Kuriki, A. Tagaya eta Y. Koike. "Lasing analysis of highly efficient rhodamine 6G-doped graded-index plastic optical fiber lasers," in *Proc. 16th Int. Plast. Opt. Fibers Conf.*, Torino, Italy, 2001, pp. 105.
- [7] U. Scherf, S. Riechel, U. Lemmer eta R. Mahrt. "Conjugated polymers: Lasing and stimulated emission," *Curr. Opin. Solid State Mater. Sci.*, vol. 5, no. 2-3, pp. 143-154. 2001.
- [8] J. Jo, D. Vak, Y. Y. Noh, S. S. Kim, B. Lim eta D.Y.Kim. "Effect of photo- and thermo-oxidative degradation on the performance of hybrid photovoltaic cells with a fluorene-based copolymer and nanocrystalline TiO<sub>2</sub>," *J. Mater. Chem.*, vol. 18, no. 6, pp. 654-659. 2008.

## II. Lortutako emaitzak

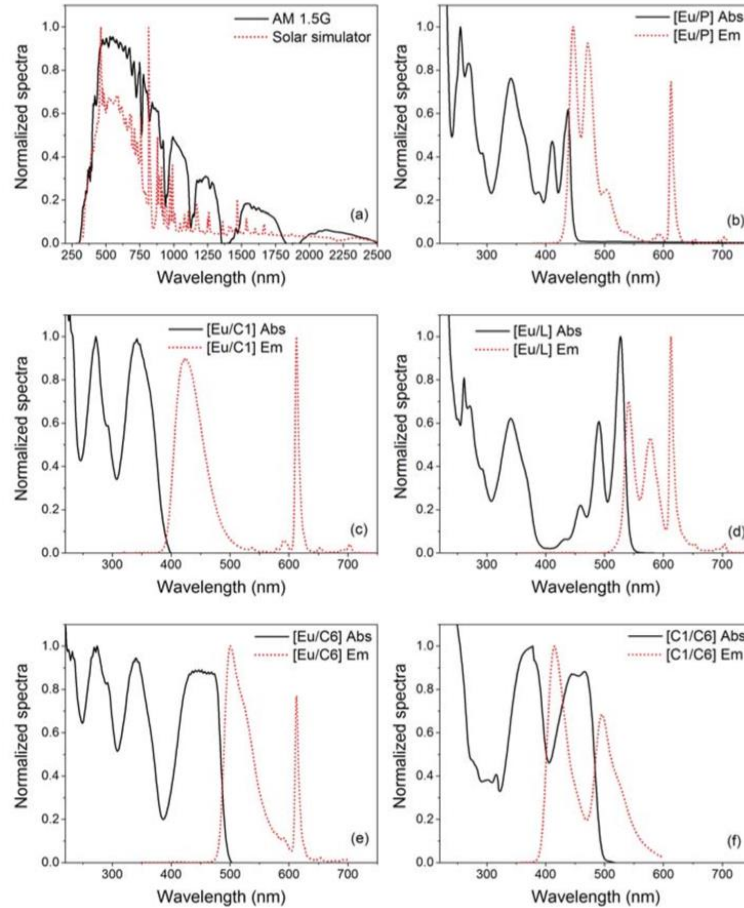
Atal honek proiektuan zehar egin ditugun neurketak prozesatu ondoren lortu ditugun emaitzak, eta hauei dagokien analisi eta ondorioak argitaratzea du helburu, ondorio orokorrago bat lortzeko eta gure helburu nagusirako (eguzki argi kontzentradoreetarako balio duten ala ez aztertzea).

### II.1 Cary-an lortutako emaitzak

Lehen atalean azaltzen dugun moduan, zuntz hauek FAT taldean dagoeneko egon diren zuntzak dira [4]. Bertan Nitrogenoz asetutako MMA (metilmetakrilato) soluzio batekin nahastu ziren dopanteak, II.1 irudiko xurgapen espektroak lortuz. II.1 taulan proiekturako erabili ditugun zuntz guztien zailkapena egiten da.

LAGINA	DOPANTE + KONTZENTRAZIOA
1. lagina	Eu(TTFA) <sub>3</sub> Phen eta Coumarin-1 (0.001, 0.0003 kontzentrazioekin, hurrenez hurren)
2. lagina	Eu(TTFA) <sub>3</sub> Phen eta Lumogen Orange (0.003, 0.003 kontzentrazioekin, hurrenez hurren)
3. lagina	Coumarin-1 eta Coumarin-6 (0.006, 0.02 kontzentrazioekin, hurrenez hurren)
4. lagina	Coumarin-1 eta Coumarin-6 (0.003, 0.018 kontzentrazioekin, hurrenez hurren)
5. lagina	Eu(TTFA) <sub>3</sub> Phen eta Lumogen Orange (0.005, 0.03 kontzentrazioekin, hurrenez hurren)
6. lagina	Eu(TTFA) <sub>3</sub> Phen eta Coumarin-6 (0.001, 0.0035 kontzentrazioekin, hurrenez hurren)
7. lagina	Eu(TTFA) <sub>3</sub> Phen eta Perylene (0.001, 0.0023 kontzentrazioekin, hurrenez hurren)
8. lagina	Eu(TTFA) <sub>3</sub> Phen eta Lumogen Orange (0.001, 0.004 kontzentrazioekin, hurrenez hurren)

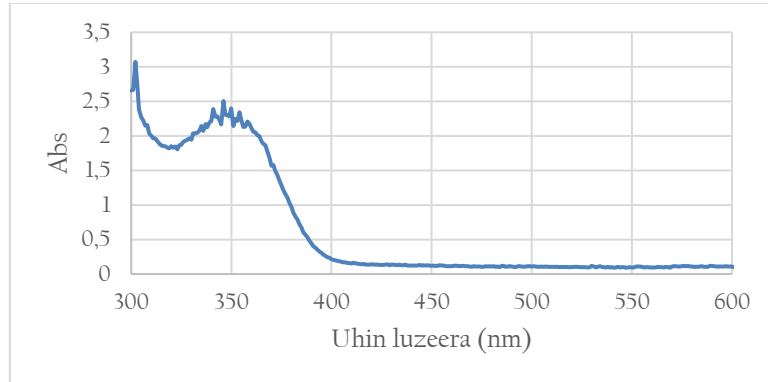
II.1 Taula: Zuntzen sailkapena



11.1 irudia: [4] erreferentziatik lortutako xurgapen espektroak

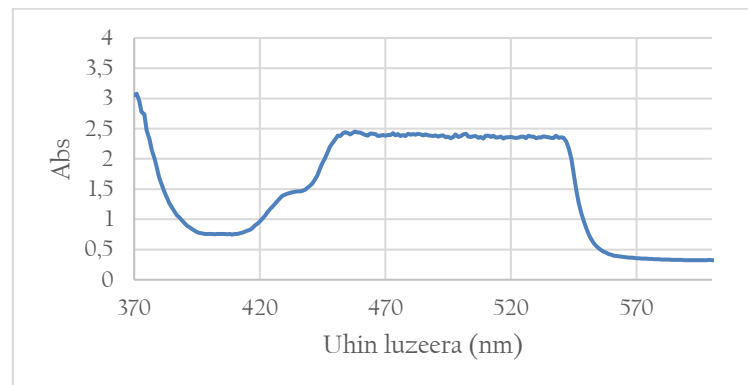
Proiektu honetan, neurketak dopaturiko zuntzetan egin dira zuzenean. Beraz, [4] erreferentzian lortutakoarekin konparatuko ditugu xurgapen espektroan aldaketarik dagoen aztertzeko. Zuntz bakoitza banan banan aztertu eta azkenik ondorioak aterako ditugu.





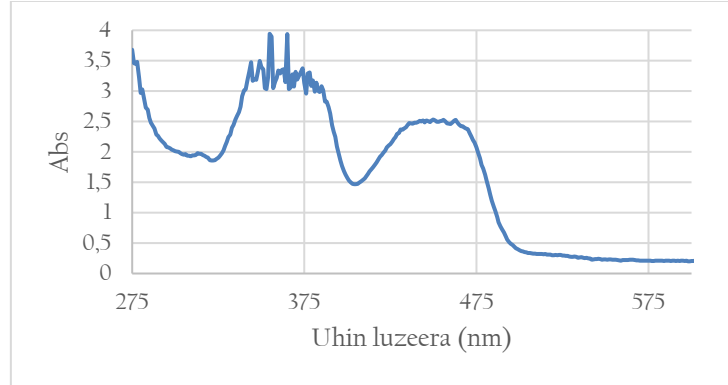
11.2 irudia: 1. laginaren xurgapen espektroa

Ikus dezakegunez, 11.1 irudiko (c) espektroaren uhin-luzera tarte berean dago kokaturik dopateen xurgapena (300 eta 400 nm tartean piko bakarra ikus daiteke).



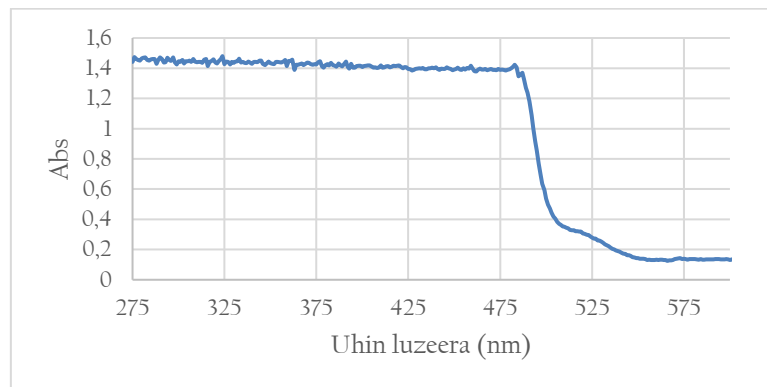
11.3 irudia: 2. laginaren xurgapen espektroa

Beste kasu honetan berriz, 11.1 irudiko (d) espektroarekin lortzen duenarekin konparatuz emaitza antzekoa edo hobea dela esan genezake: Antzekoa xurgapen banda berdina delako, gutxi gorabehera 420 eta 570 nm bitartean, eta hobea banda horretan zehar xurgapena konstantea delako.



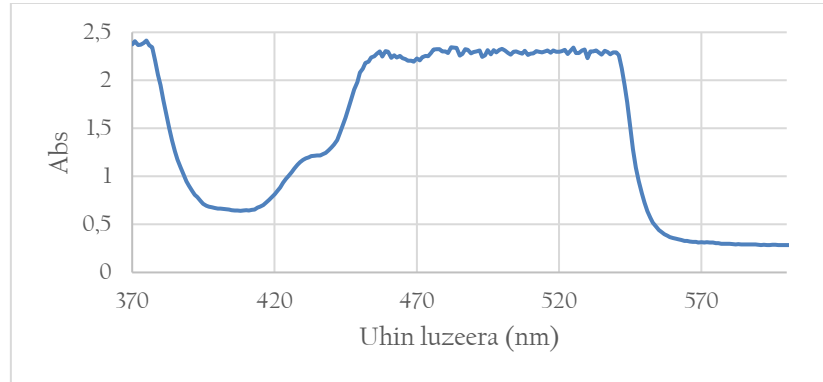
11.4 irudia: 3. laginaren xurgapen espektroa

Hemen ere 11.1 irudian lortutako emaitza berdinak ditugu ((f) grafikoa, xurgapen banda berdina piko berdinekin)



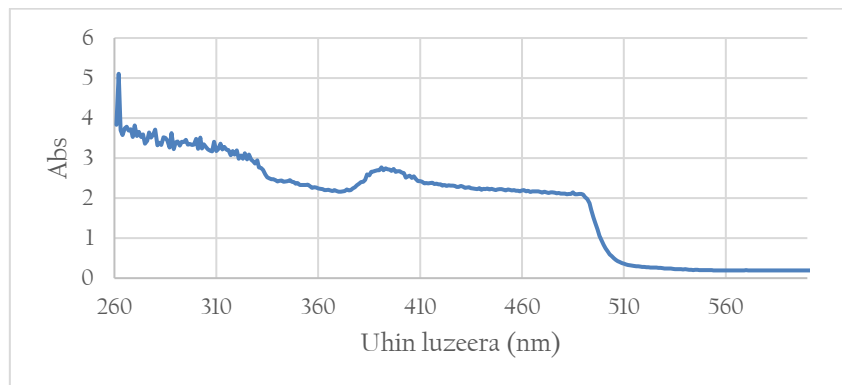
11.5 irudia: 4. laginaren xurgapen espektroa

Kasu honetan berriz 3. laginaren kasu berdina da baina kontzentrazio ezberdinarekin. Ikus dezakegunez kontzentrazio desberdina erabilia dopante berdinekin xurgapen banda berdina izaten jarraitzen du baina erantzun hobeagoarekin (kasu honetan konstante mantentzen delako banda osoan zehar)



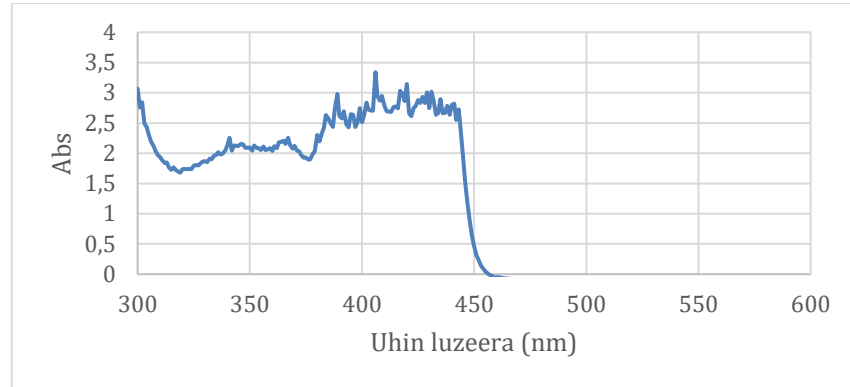
11.6 irudia: 5. laginaren xurgapen espektroa

11.3 irudian dugun dopante berdinak baina kontzentrazio desberdina. Emaitzak antzekoak dira.



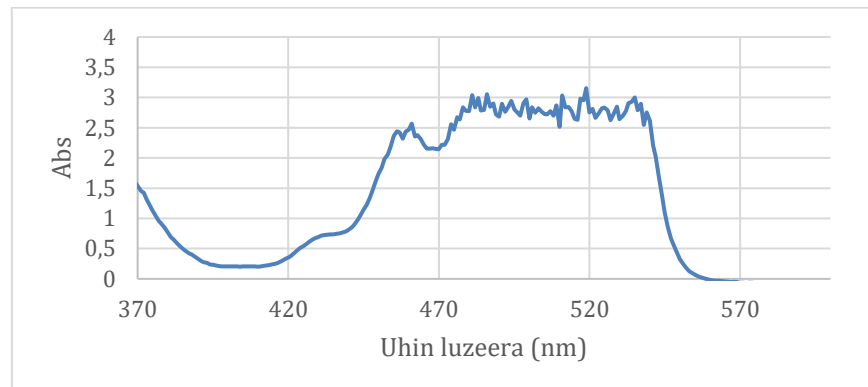
11.7 irudia: 6. laginaren xurgapen espektroa

Kasu honetan, 11.1 irudiko (e) grafikoko dopante berdina dugu. Xurgapen banda berdina bada ere, lortutako emaitzak nahiko desberdinak dira (disoluzioaren eraginez edo PMMA materialak zuntzan eragiten dion aldaketaren eraginez)



II.8 irudia: 7. laginaren xurgapen espektroa

Hemen aurreko kasuan gertatzen zaigun berdina gertatzen zaigu. Hau da, xurgapen banda berdina baina emaitzak oso desberdinak dira. Arrazoiak lehen aipatutako berdinak izan daitezke.



II.9 irudia: 8. laginaren xurgapen espektroa

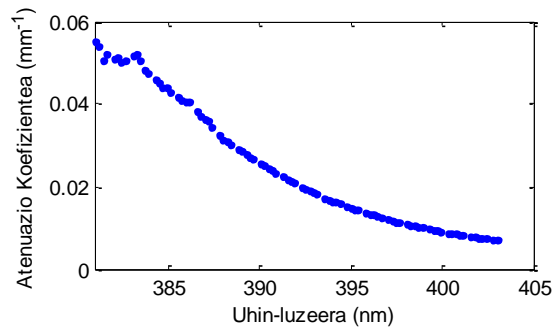
II.3 eta II.6 irudietako dopante berdinak baina kontzentrazio desberdina. Atzeko emaitzak lortzen ditugu

Beraz, hau guztiarekin atera ahal ditugun ondorioak ondorengoak dira:

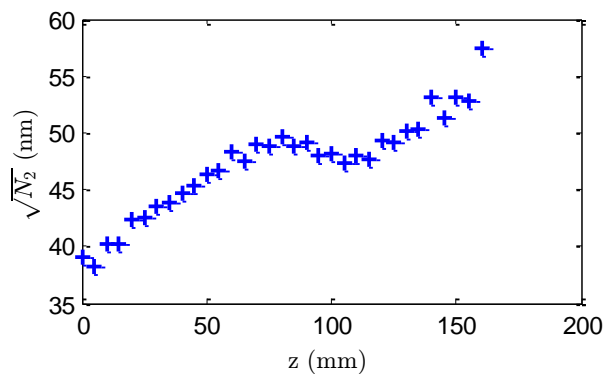
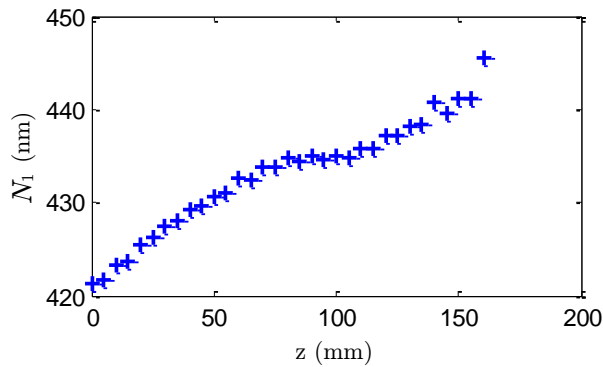
- 1. lagina erabilia erantzunak berdinak izan dira disoluzioan eta zuntzan.
- 2, 5 eta 8 laginak erabilia berriz, erantzun berdina edo antzekoa lortu dugu.
- 3 eta 4 laginen kasuan, Coumarin-1 kontzentrazio gehiago eta C-6 gutxiago erabilia espektroa asetu egiten dela ikus genezake.
- 6 eta 7 laginetan emaitzak oso desberdinak izan direla ikus daiteke.

## 11.2 Propagazio distantziaren menpeko emaitzak

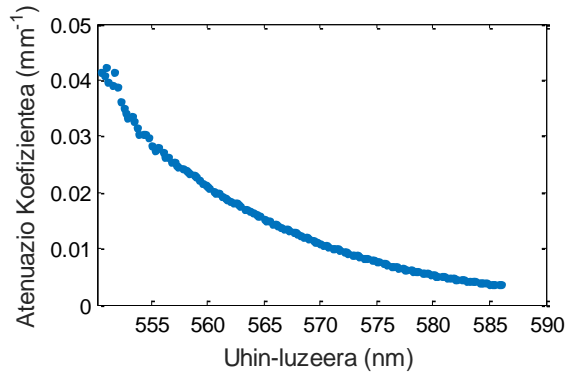
Atal honetan lortutako emaitzak irudikatuko ditugu dopante eta kitzikatutako uhin luzera ezberdinekiko eta amaieran ondorio batzuk aipatuko ditugu.



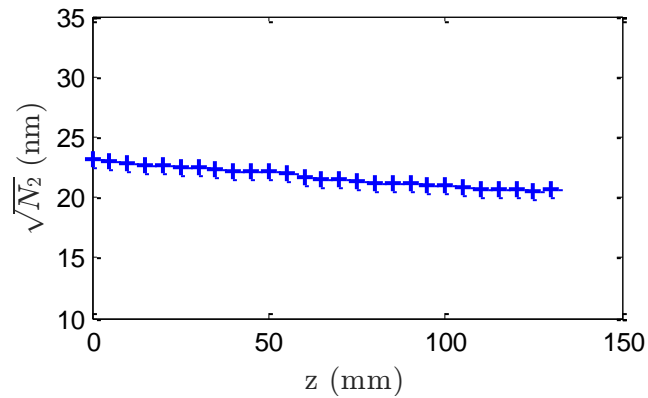
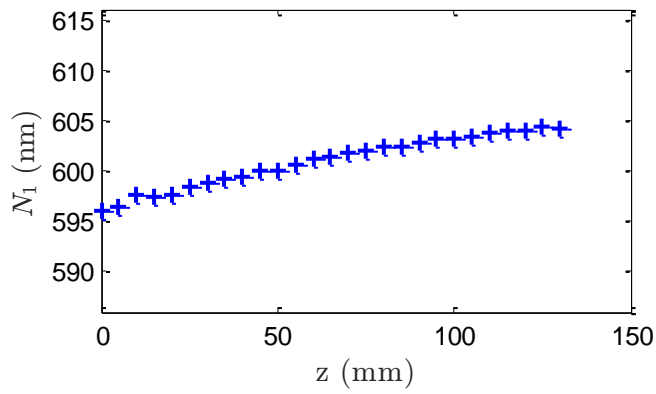
11.10 irudia: 360nm-tan kitzikatutako l. laginaren atenuazio koefizientea



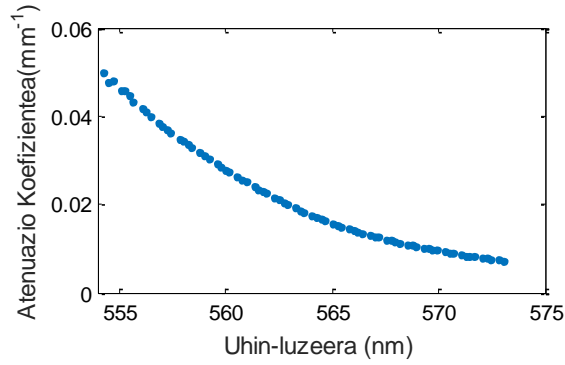
11.11 irudia: 360nm-tan kitzikatutako l. laginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua ( $N_1$  eta  $\sqrt{N_2}$ , hurrenez hurren)



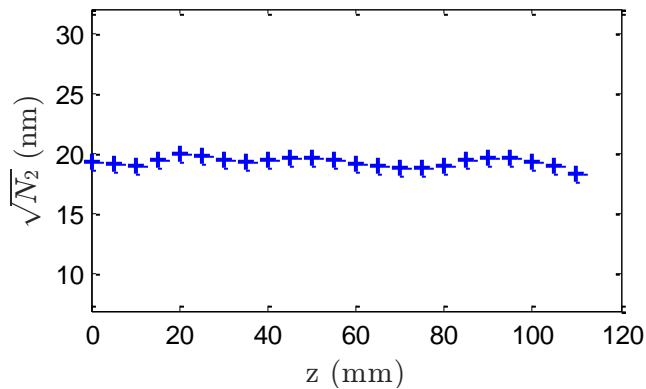
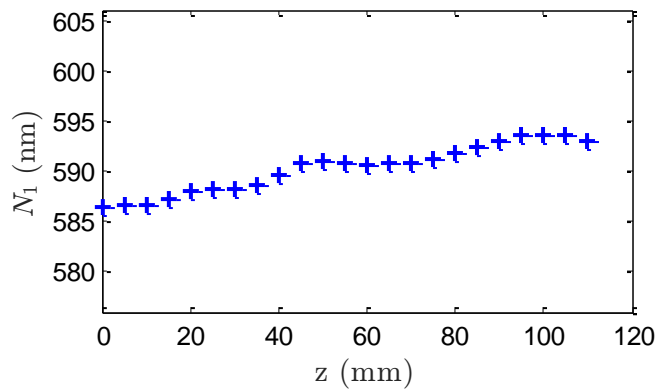
11.12 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 2. laginaren atenuazio koefizientea



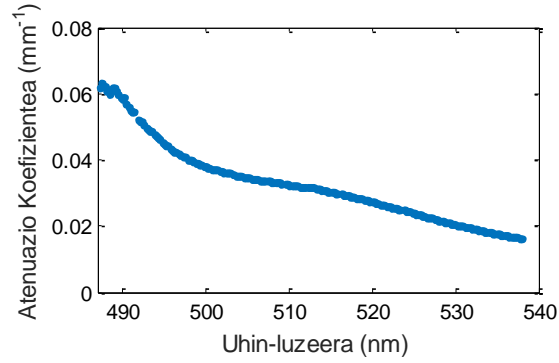
11.13 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 2. laginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua ( $N_1$  eta  $\sqrt{N_2}$ , hurrenez hurren)



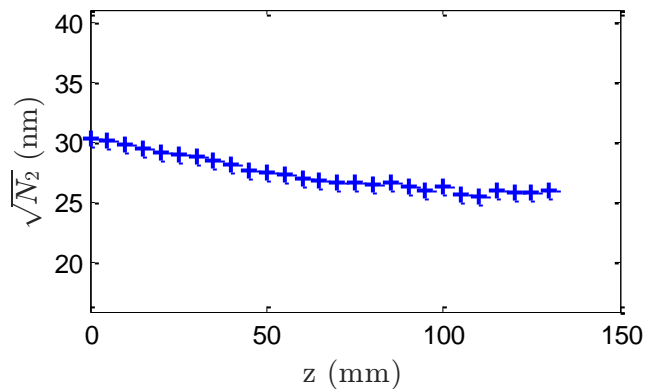
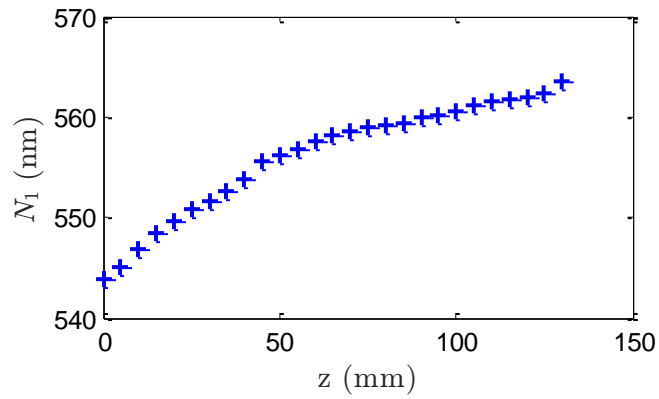
11.14 irudia: 520nm-tan kitzikatutako 2. laginaren atenuazio koefizientea



11.15 irudia: 520nm-tan kitzikatutako 2. laginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua ( $N_1$  eta  $\sqrt{N_2}$ , hurrenez hurren)

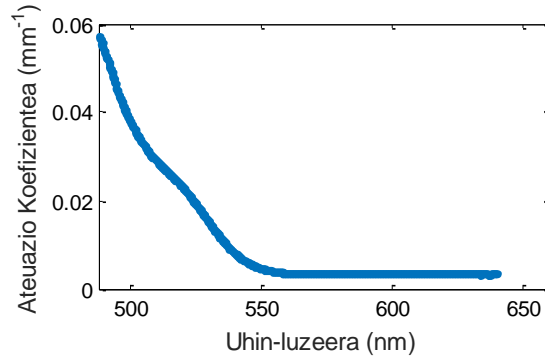


11.16 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 3. luginaren atenuazio koefizientea

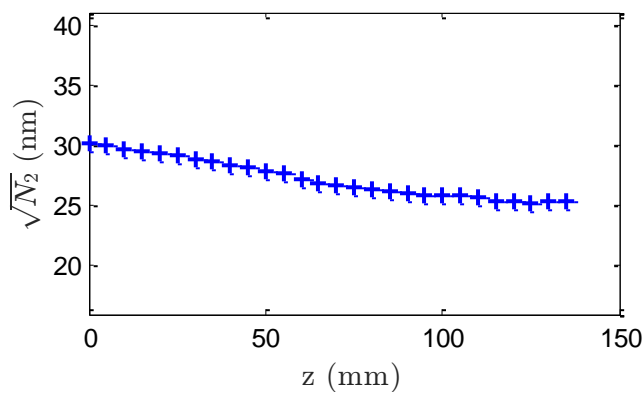
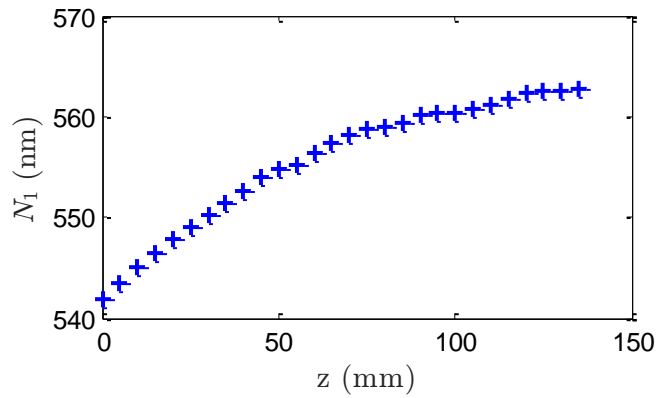


11.17 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 3. luginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua ( $N_1$  eta  $\sqrt{N_2}$ , hurrenez hurren)

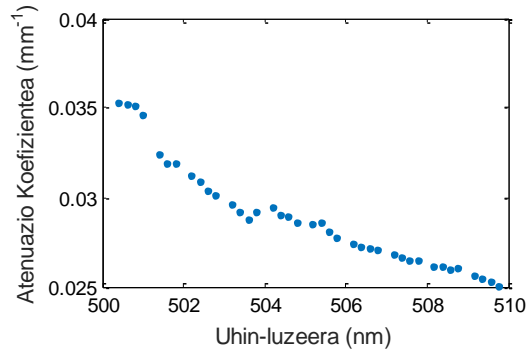




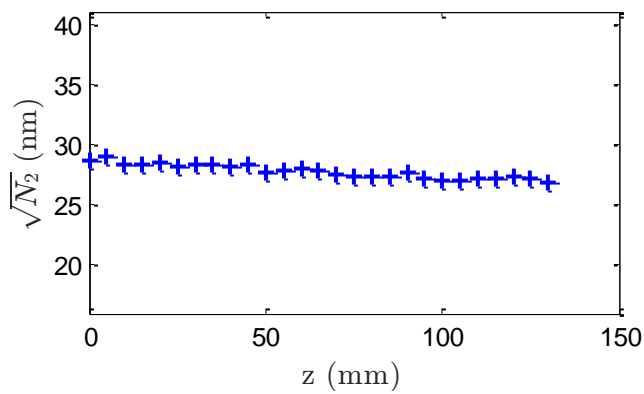
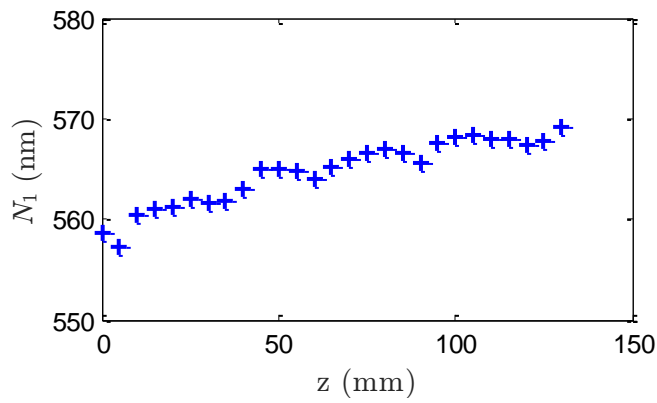
11.18 irudia: 450nm-tan kitzikatutako 3. laginaren atenuazio koefizientea



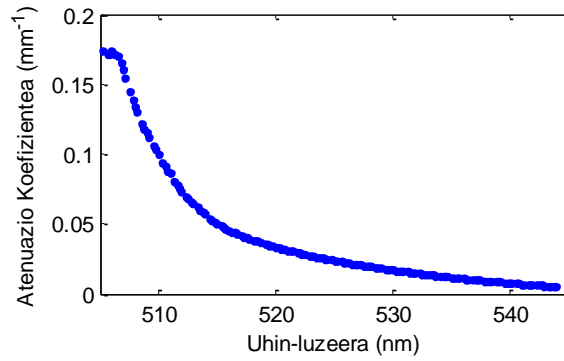
11.19 irudia: 450nm-tan kitzikatutako 3. laginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua ( $N_1$  eta  $\sqrt{N_2}$ , hurrenez hurren)



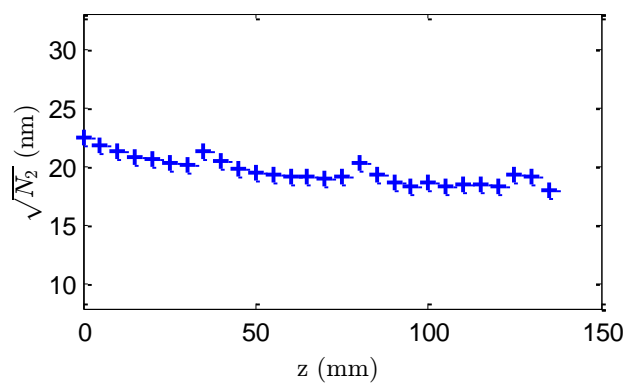
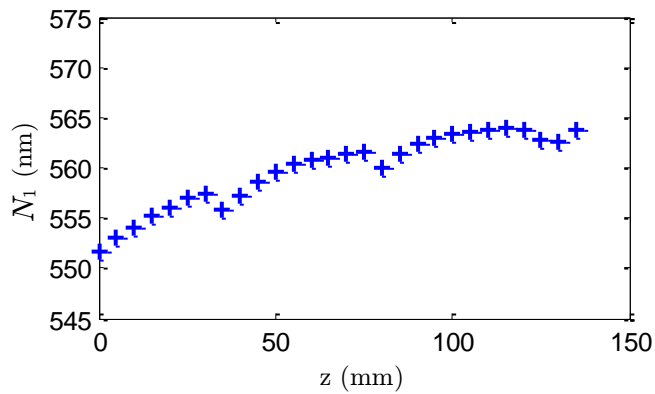
11.20 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 4. luginaren atenuazio koefizientea



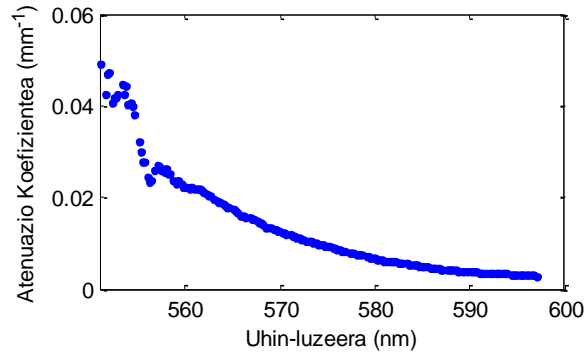
11.21 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 4. luginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua ( $N_1$  eta  $\sqrt{N_2}$ , hurrenez hurren)



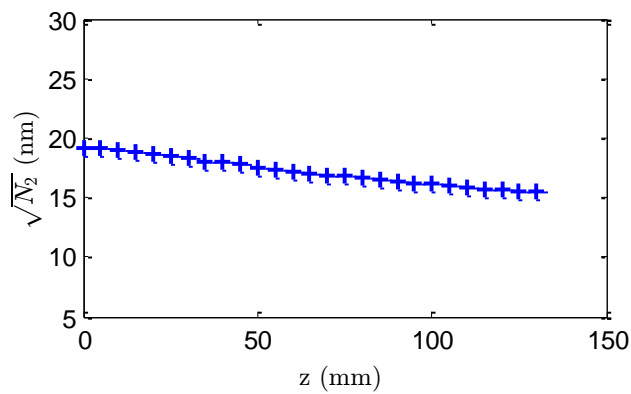
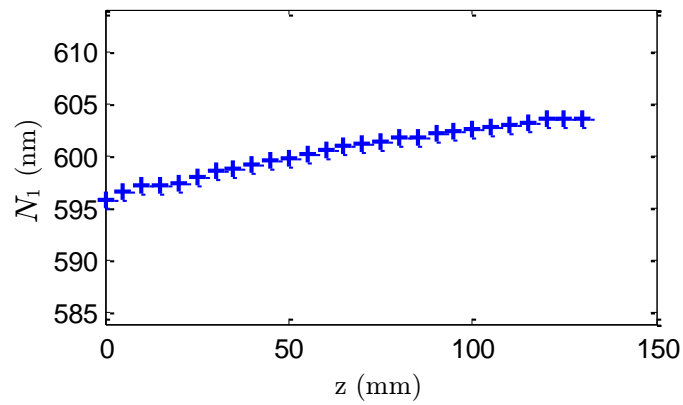
11.22 irudia: 450nm-tan kitzikatutako 4. laginaren atenuazio koefizientea



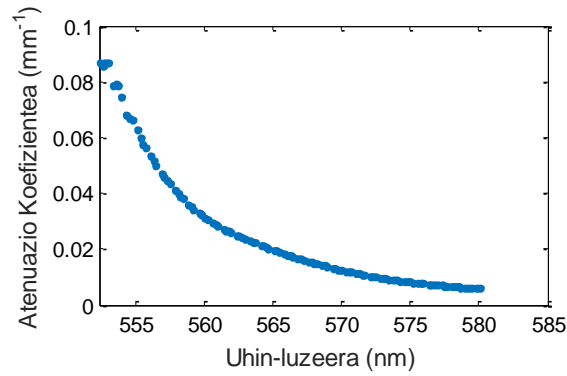
11.23 irudia: 450nm-tan kitzikatutako 4. laginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua ( $N_1$  eta  $\sqrt{N_2}$ , hurrenez hurren)



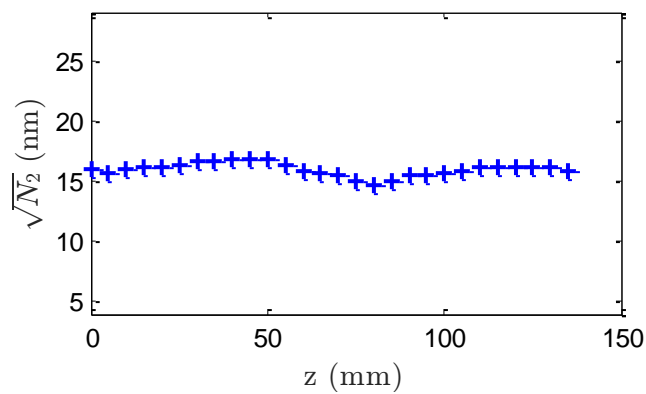
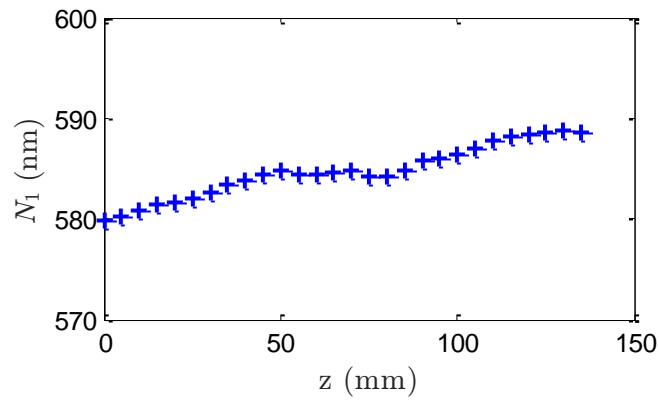
11.24 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 5. laginaren atenuazio koefizientea



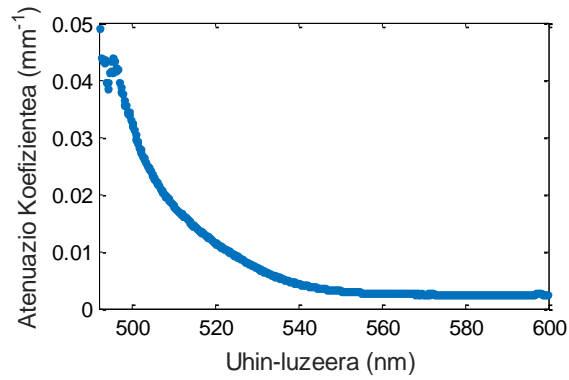
11.25 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 5. laginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua ( $N_1$  eta  $\sqrt{N_2}$ , hurrenez hurren)



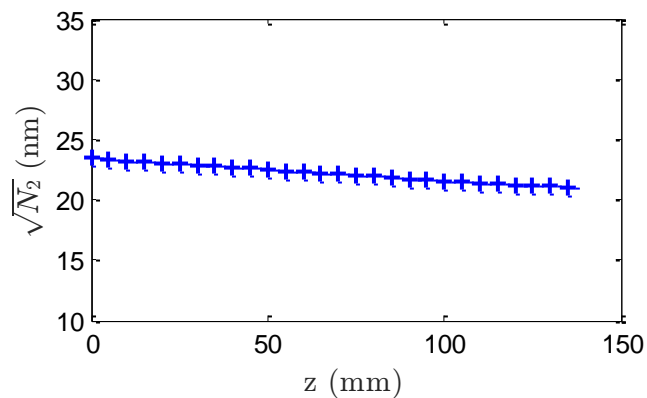
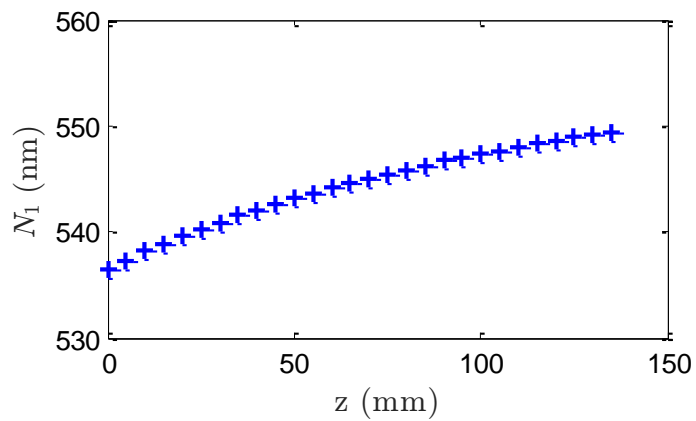
11.26 irudia: 520nm-tan kitzikatutako 5. laginaren atenuazio koefizientea



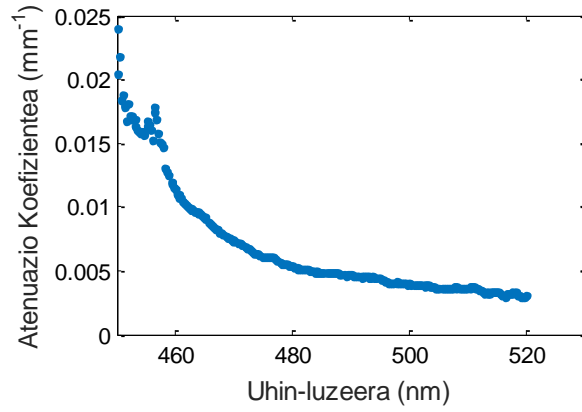
11.27 irudia: 520nm-tan kitzikatutako 5. laginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua ( $N_1$  eta  $\sqrt{N_2}$ , hurrenez hurren)



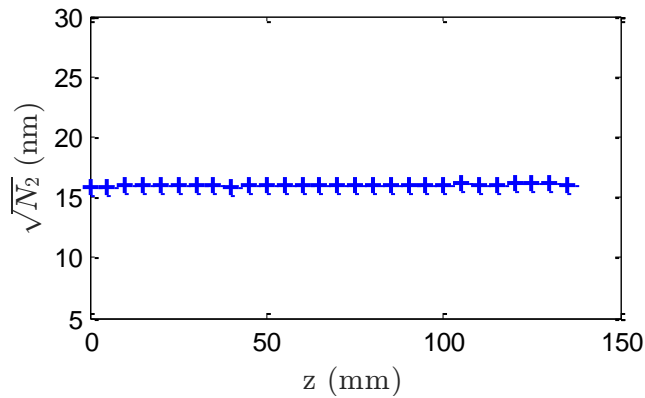
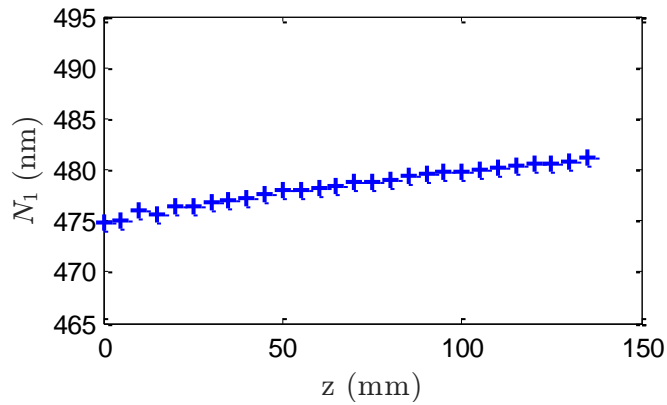
11.28 irudia: 450nm-tan kitzikatutako 6. laginaren atenuazio koefizientea



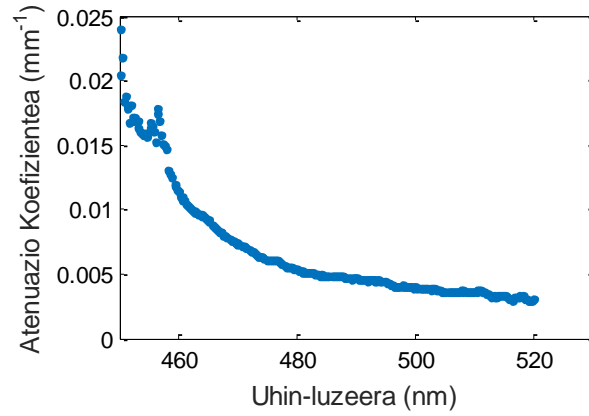
11.29 irudia: 450nm-tan kitzikatutako 6. laginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua ( $N_1$  eta  $\sqrt{N_2}$ , hurrenez hurren)



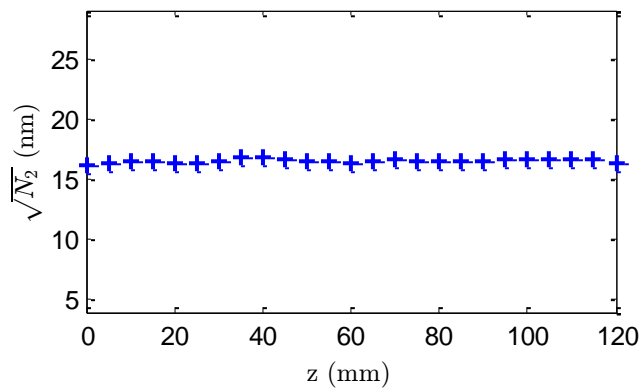
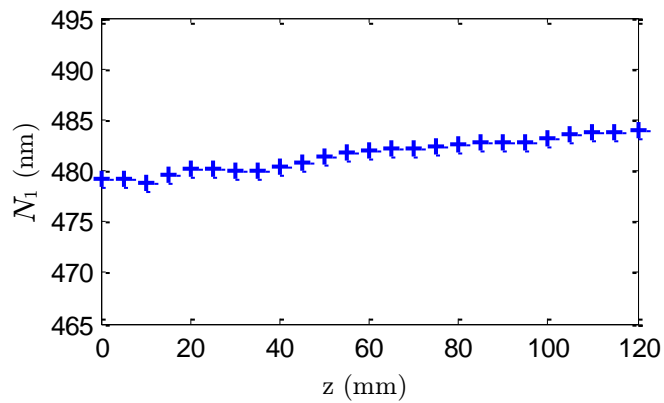
11.30 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 7. laginaren atenuazio koefizientea



11.31 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 7. laginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua ( $N_1$  eta  $\sqrt{N_2}$ , hurrenez hurren)

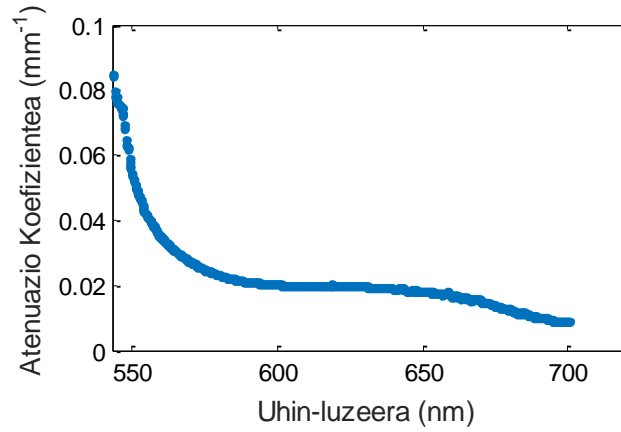


11.32 irudia: 420nm-tan kitzikatutako 7. luginaren atenuazio koefizientea

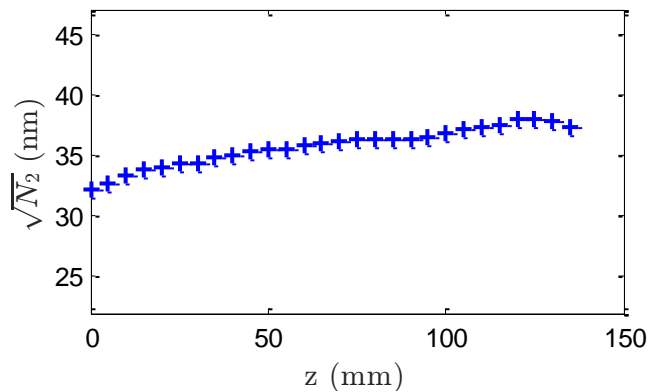
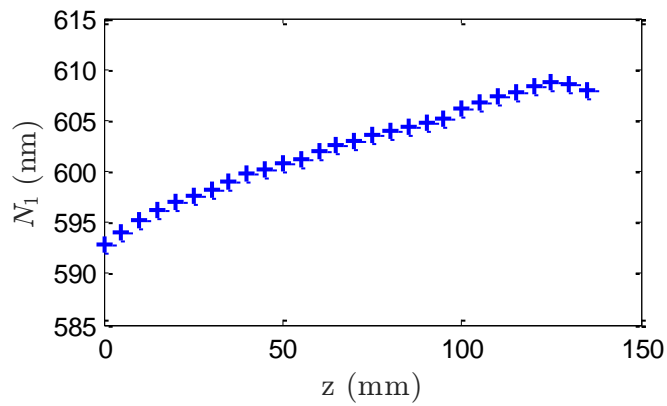


11.33 irudia: 420nm-tan kitzikatutako 7. luginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua ( $N_1$  eta  $\sqrt{N_2}$ , hurrenez hurren)

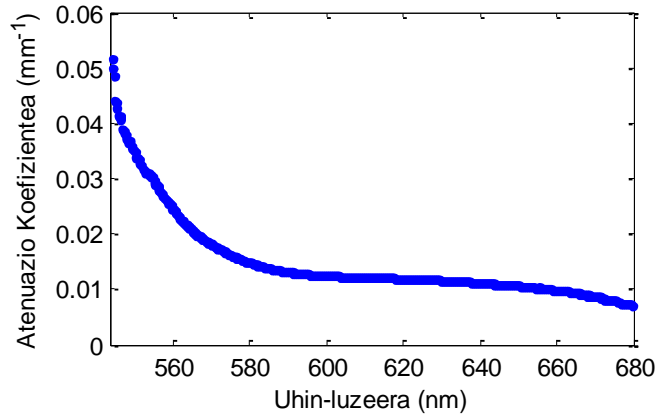




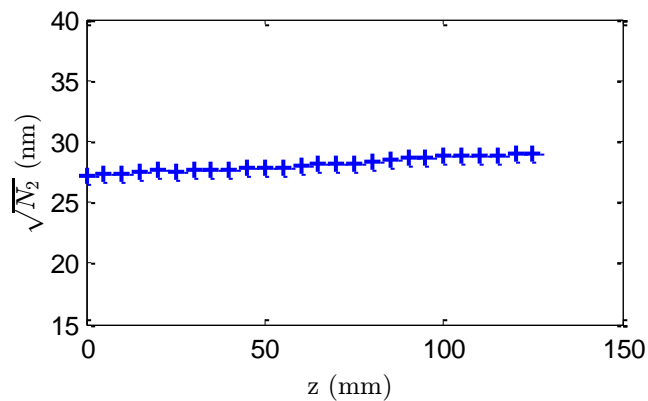
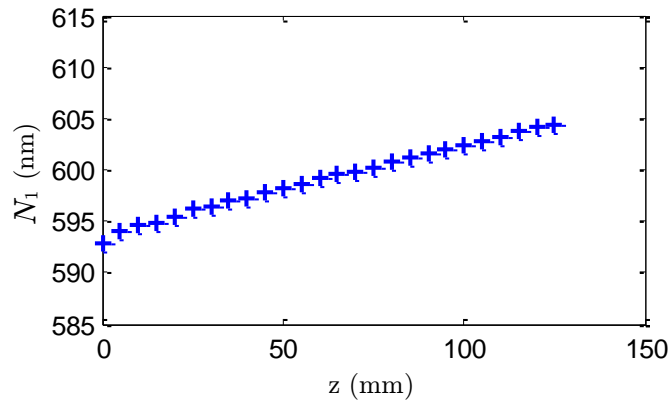
11.34 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 8. laginaren atenuazio koefizientea



11.35 irudia: 360nm-tan kitzikatutako 8. laginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua ( $N_1$  eta  $\sqrt{N_2}$ , hurrenez hurren)



11.36 irudia: 520nm-tan kitzikatutako 8. laginaren atenuazio koefizientea

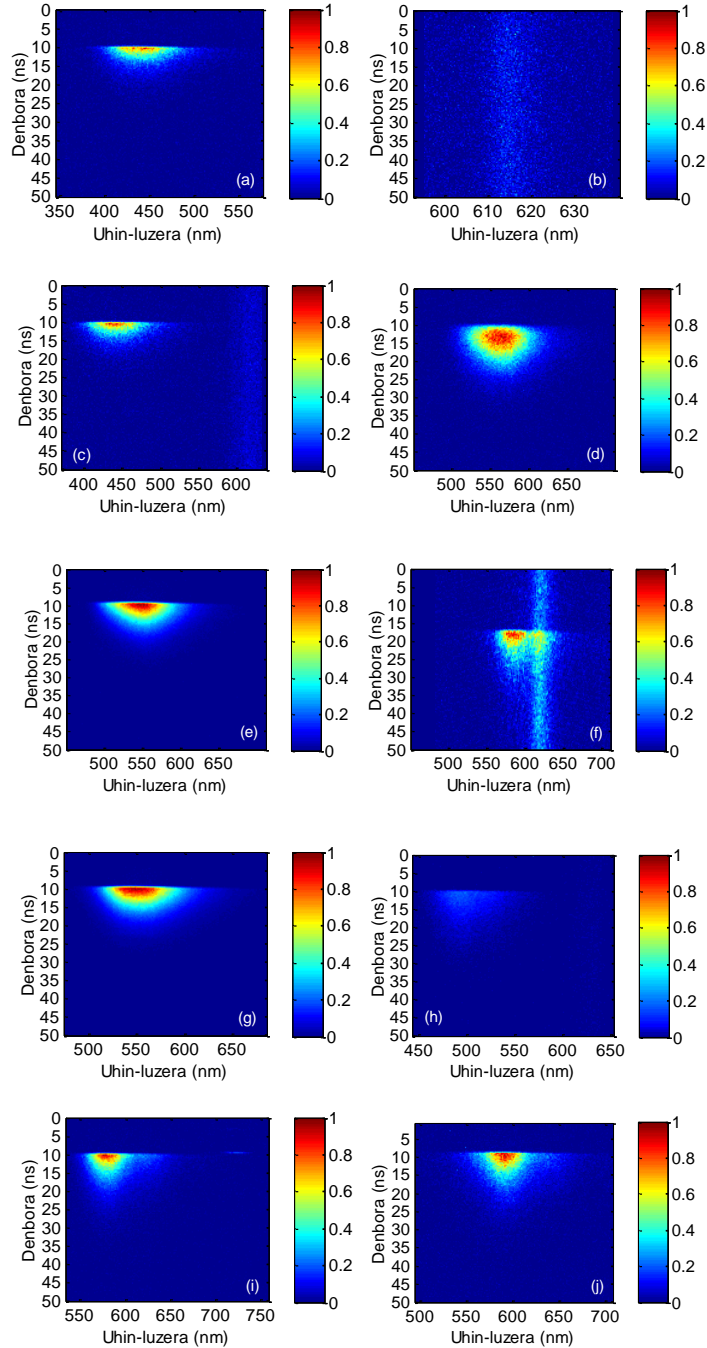


11.37 irudia: 520nm-tan kitzikatutako 8. laginaren lehenengo momentua eta bigarren momentuaren erro karratua ( $N_1$  eta  $\sqrt{N_2}$ , hurrenez hurren)

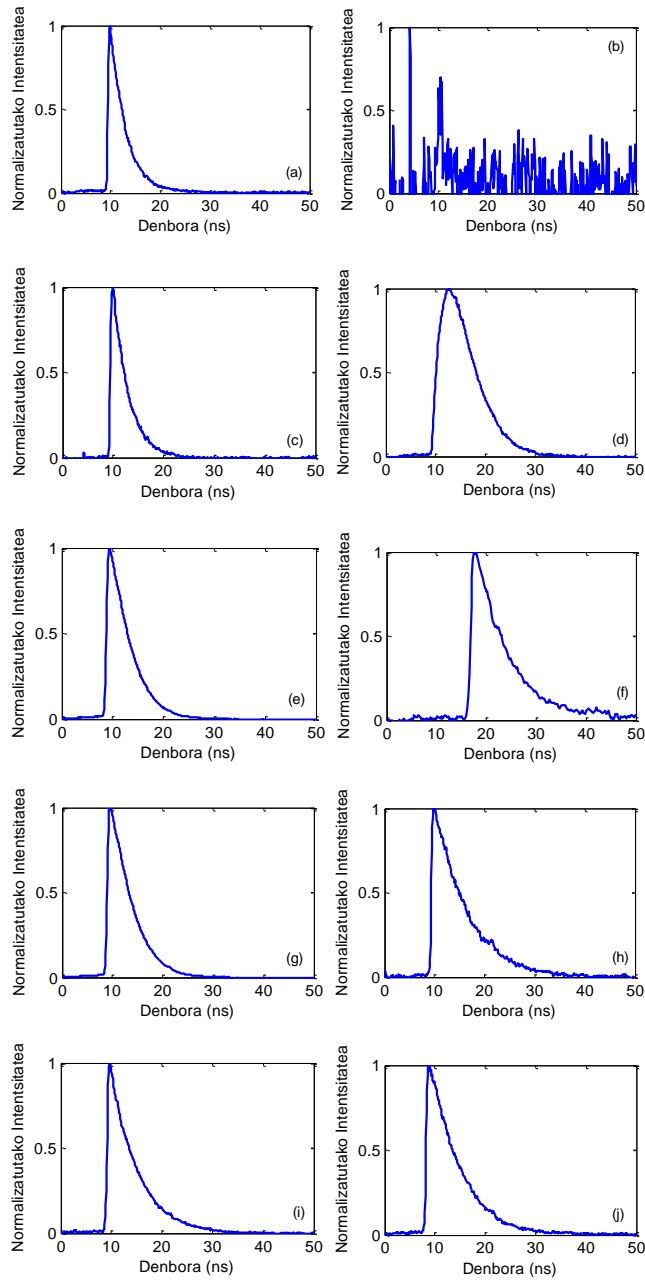
Emaitza hauek ikusita hurrengo ondorioak atera genitzake:

- 7. laginak nahiko atenuazio baxua dauka (gainontzeko laginekin alderatuz) kitzikatutako bi uhin luzeretan eta bigarren momentua konstanteen mantentzen dena da.
- 4. laginak 3. laginarekin konparatuta atenuazio txikiagoa dauka 360nm-tan. Beraz Coumarin-1 kontzentrazio baxuagoak eta Coumarin-6 kontzentrazio altuagoak erabilia atenuazio oso baxuak lortu genitzake.
- 1. laginaren bigarren momentuak asko oszilatzen du.
- 2, 5 eta 8 laginetan bigarren momentua nahiko konstantea da 520 nm-tan eta, espero den bezala, kontzentrazio geroz eta handiagoak erabilia atenuazio handiagoa lortzen dugu.
- 6. laginaren bigarren momentuak gutxi oszilatzen du eta atenuazio ertainak lortzen dira.
- 1. eta 3. laginak maldarik handiena dute lehenengo momentuan.
- Linealtasuna aztertzen badugu lehenengo momentuan berriz, 4. laginak galtzen du gehien bat

## 11.3 Streak Cameran lortutako emaitzak



11.38 irudia: Dopaturiko PZO-en erantzuna Streak Camerarekin neurtua: 1. lagina, 360nm (a, b, c), 3. lagina, 360nm (d), 3. lagina, 450nm (e), 5. lagina, 360nm (f), 6. lagina, 450nm (g), 7. lagina, 360nm (h), 8. lagina, 360nm (i), 8. lagina, 520nm (j)



11.39 irudia: Normalizatutako Intentsitatea: 1. lagina, 360nm (a, b, c), 3. lagina, 360nm (d), 3. lagina, 450nm (e), 5. lagina, 360nm (f), 6. lagina, 450nm (g), 7. lagina, 360nm (h), 8. lagina, 360nm (i), 8. lagina, 520nm (j)

	Fluoreszentziaren erdibizitza (ns)
1. lagina; 360 nm; Lehenengo seinalea	3,6
1. lagina; 360 nm; Bi seinaleak batera	4,4
3. lagina; 360 nm	6,3
3. lagina; 450 nm	4,4
5. lagina; 360 nm; bi seinaleak	8,6
6. lagina; 450 nm	4,6
7. lagina; 360 nm; bi seinaleak	9,1
8. lagina; 360 nm; bi seinaleak	6
8. lagina; 520 nm	6,8

11.2 Taula: Erdibizitzaren balioa neurketa bakoitzeko

Emaizta hauek ikusita hurrengo ondorioak atera genitzake:

- Erdibizitzarik handiena 7. lagina erabilia lortu dugu eta txikiena berriz 1. lagina erabilia.
- 3. laginean ikus dezakegu uhin-luzera handiagoarekin kitzikatzen badugu, erdibizitza txikiagoa lortzen dela.
- 5 eta 8 laginak konparatuz ikus daiteke  $\text{Eu}(\text{TFFA})_3$ Phen kontzentrazio handiagoa eta Lumogen Orange kontzentrazio txikiagoa erabilia erdibizitza handiagoa lortu ahal dela.

## 12. Aurrekontua

Atal honetan aurrekontua kalkulatzeko jarraitu diren pausuak adieraziko dira. Giza baliabideak eta baliabide materialak aurkeztuko dira batik bat. Puntu hau hiru ataletan banatuko da: giza baliabideak (barne orduak direnak), amortizazioak (baliabide materialak eta material suntsigarriak desberdinduz) eta azkenik honen guztiaren laburpen bat.

### 12.1 Barne orduak

Proiektu hau aurrera eramateko behar izan diren giza baliabideak barne orduen barruan esleitzen dira. 12.1 taulan giza baliabideko partaide bakoitzak erabili duen ordu kopurua proiekturako eta bere kostu unitarioa agertzen dira, bakoitzaren kostu totala kalkulatzeko asmoarekin.

Deskribapena	Kostu Unitarioa (€/ordu BEZ gabe)	Ordu kopurua	Prezioa (€ BEZ gabe)
Proiektuaren zuzendaria (Igor Ayesta)	60	35	2100
Administratiboa (Jon Aurrekoetxea)	35	300	10500
<b>GUZTIRA</b>			12100

12.1 Taula: Barne orduen taula

## 12.2 Amortizazioak

Amortizazioen barruan proiektua aurrera eramateko behar izan diren aktibo guztiak (hardware zein software) islatzen dira. FAT-aren barruan jada zeuden errekurtsoak barne hartzen dira eta beste proiektu batzuetarako erabili daitezkeenak. 12.2 taulak aktibo bakoitzaren kostua islatzen du:

Deskribapena	Prezioa €	Kopurua	Bizitza erabilgarria (urteak)	Amortizazio epea (hilabeteak)	Guztira €
Ordenagailua	1500	1	3	4	166,66
Inprimagailua	257	1	3	4	28,55
Multimetroa	900	1	5	4	60
Foto-detektorea	869	1	10	4	28,96
EPS300 kontroladorea	381	1	5	4	25,4
Linear Stage ardatz motorizatua	1594,95	1	7	4	75,95
GPIB kablea	125	1	5	4	8,33
Argi iturria: laserra	177480	1	10	4	5916
Maiztasun bikoizlea	20540	1	10	4	684,66
Espektrometroa	1896,11	1	10	4	63,2
Zuntz optikoak	0	8		4	0
Zuntz optikoak ebaki eta leuntzeko tresneria	450	1	7	4	21,42
Zuntza eta foto- detektorea eusteko euskarriak eta zutabeak	274,5	1	7	4	13,07
Streak Camera	60000	1	10	4	2000
Zuntzaren posizionamendurako karrilak	36	1	7	4	1,71
Cary espektro fotometroa	4500	1	5	4	300
XYZ ardazdun euskarriak	1000	1	7	4	47,62
Mahai optikoa	3000	1	7	4	142,86
Beam Splitter	350	1	10	4	11,66
Lab View	1995	1	1	4	665



Matlab	2300	1	1	4	766,66
GPIB busaren software kontrolatzailea	610	1	1	4	203,33
XP office paketea	130	1	1	4	43,33
SpectraSuit espektrometroaren softwarea	0	1	1	4	0
Mai-Tai laseraren software kontroladorea	0	1	1	4	0
<b>GUZTIRA</b>					9474,1

12.2 Taula: Amortizazioak

## 12.3 Material Suntsigarriak

Proiektuan zehar amortiza ezin daitekeen materiala ere badago; honen bidez, berrerabili ezin daitekeen zerbitzu edo materialari dagokion kostuari erreferentzia egiten zaio.

Deskribapena	Guztira €
Bulegoko materiala	250
Beste batzuk	30
<b>GUZTIRA</b>	280

12.3 Taula: Material Suntsigarriak

## 12.4 Aurrekontu totala

Atala	Guztira €
Barne orduak	12100
Amortizazioak	9474,1
Material suntsigarria	280
<b>GUZTIRA</b>	21854,1

12.4 Taula: Aurrekontu totala

## ONDORIOAK

---

Atal honetan proiektuan lortutako emaitzak aztertu ondoren lortu daitezkeen ondorioak aipatuko dira.

Ikus dezakegunez hiru ataletan banatu dira emaitzak: Cary-ko emaitzak (xurgapen espektroa), propagazio distantziaren menpeko emaitzak (non atenuazioa, lehenengo eta bigarren momentua aztertzen diren) eta Streak Camerako emaitzak (erdibizitzaren balioa):

- Xurgapen espektroari dagokionez C-1 + C-6 dopanteak dituen zuntza (4. lagina) da banda zabalera handien duena.
- Bestalde, C-1 + C-6 dopanteak erabilia eta kontzentrazio egokiarekin atenuazio oso txikiak lor daitezke, bigarren momentua nahiko konstante mantenduz
- Ala ere erdibizitza balioak nahiko baxuak dira

Beraz, esan genezake 4. lagina aukera hona izango litzatekela eguzki kontzentradoreetan erabiltzeko, banda zabalera nahiko handian xurgatzen duelako konstanteki, atenuazio txikiarekin gainera.

## BIBLIOGRAFIA

---

Kapitulu bakoitzean erreferentziak erabili eta aipatu dira baina, proiektu hau garatzeko erabili izan ditugun dokumentu garrantzitsuenak honako hauek dira:

- [1] S. Kamimura eta R. Furukawa. “Strain sensing based on radiative emission-absorption mechanism using dye-doped polymer optical fiber”, American Institute of Physics.
- [2] Igor Ayesta, María Asunción Illarramendi, Jon Arrue, Felipe Jiménez, Joseba Zubia, Iñaki Bikandi, Jone M. Ugartemendia, and Jose-Ramon Sarasua, “Luminescence Study of Polymer Optical Fibers Doped With Conjugated Polymers”, Journal of Lightwave Technology, Vol.30, No.21, November 1, 2012
- [3] Igor Ayesta Ereño, “Polimerozko Zuntz Optiko Aktiboen Ikerkuntza, Laser eta Anplifikagailu Gisako Funtzionamendua Hobetzeko”, Euskal Herriko Unibertsitatea
- [4] Itxaso Parola Domingo, “Doped polymer optical fibers for high performance fluorescent fiber applications”, Euskal Herriko Unibertsitatea