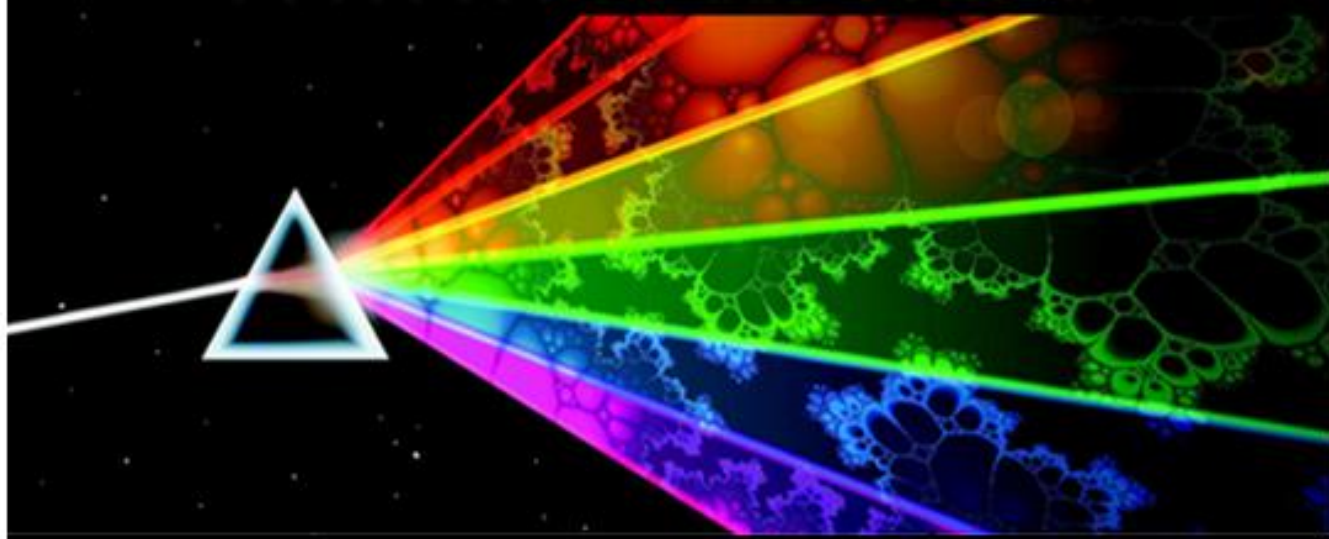


TREBALL DE RECERCA

TECNOLOGIA

FOTOTELEMÈTRICA



PSEUDÒNIM : IAN SPRING

ÀMBIT : CIENTÍFIC-TECNOLÒGIC

BATXILLERAT – BIENNI 2014/2015

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	3
2. LA LLUM	4
2.1 CARACTERÍSTIQUES DE LA LLUM	5
2.1.1 CINEMÀTICA I VELOCITAT	5
2.1.2 REFLEXIÓ	5
2.1.3 DISPERSIÓ	6
2.1.4 REFRACCIÓ	7
2.1.5 INTERFERÈNCIA	7
2.1.6 DIFRACCIÓ	9
2.1.7 POLARITZACIÓ	10
2.2 NATURALES A DE LA LLUM	15
2.2.1 LA TEORÍA ONDULATÒRIA	11
2.2.2 LA TEORÍA CORPUSCULAR	13
2.2.3 TEORIA QUÀNTICA DE LA LLUM	14
2.2.4 EFECTE FOTOELÈCTRIC	16
2.3 ONES ELECTROMAGNÈTIQUES	18
2.3.1 EQUACIONS DE MAXWELL	18
2.3.2 LLEI DE FARADAY	19
2.3.3 LLEI D'AMPÈRE	21
2.3.4 LLEI DE GAUSS ELÈCTRICA	22
2.3.5 LLEI DE GAUSS MAGNÈTICA	24
3. EL LÀSER	25
3.1 QUÈ ÉS UN LÀSER?	25
3.2 CARACTERÍSTIQUES DE LA RADIACIÓ LÀSER.	26
3.3 PARTS DEL LÀSER	27
3.3.1 MEDI ACTIU	27
3.3.2 CAVITAT LÀSER	27
3.4 SISTEMA DE FUNCIONAMENT	29
3.5 TIPUS DE LÀSER	30
3.5.1 LÀSER DE GAS	30
3.5.2 LÀSER D'ESTAT SÒLID	32
3.5.3 LÀSER DE SEMICONDUCTOR	32
3.5.4 LÀSER D'ELECTRONS LLIURES	34

<u>4. APLICACIONS DEL LÀSER</u>	35
4.1 INVESTIGACIÓ CIENTÍFICA	35
4.2 INDÚSTRIA	37
4.3 TELECOMUNICACIONS.....	39
4.4 ROBÒTICA.....	41
<u>5. DESENVOLUPAMENT DE LA PRÀCTICA</u>	43
5.1 SELECCIÓ DEL MÈTODE DE MESURA	43
5.2 MÈTODE DE TRIANGULACIÓ I FUNCIONAMENT	47
5.3 LLENGUATGE DE PROGRAMACIÓ I OPEN SOURCE.....	51
5.4 MUNTATGE DE LA PRÀCTICA	52
<u>6. CONCLUSIONS</u>	53
<u>7. BIBLIOGRAFIA</u>	56

1. INTRODUCCIÓ

El meu treball de recerca i investigació anomenat “Tecnologia fototelemètrica”, s’enfoca al camp de la ciència fotònica com a mode de desenvolupament de noves tecnologies. Concretament, el treball es centra en l’importància del làser, com a nova tecnologia emergent per al funcionament i l’optimització de processos essencials que es duen a terme diàriament amb una freqüència força elevada.

Aquest treball segueix una estructura deductiva, és a dir, s’inicia amb l’obtenció d’una base fonamental de coneixements i a partir d’aquest punt es centra cada cop més en l’objectiu d’aquest treball, de manera que a l’hora de fer referència a coneixements més específics, poguem entendre de manera adequada, com s’aplica la fotònica a les diferents branques tecnològiques.

Em vaig inspirar en aquest tema gràcies a un llibre que em van regalar per al meu aniversari anomenat “Física de l’impossible”, escrit per un físic teòric anomenat Michio Kaku, en el qual es parla d’avenços tecnològics ordenats de menor a major impossibilitat de realitzar-se.

Un d’ells era l’aprofitament de la llum per enviar intel·ligència a d’altres planetes per a nous descobriments a nivell espacial. Concretament es basava en l’enviament de nanorobots intel·ligents sobre un feix làser a l’espai. El fet que aquests cossos poguessin ser propulsats a la velocitat de la llum sobre un raig de llum per a investigar l’univers va sobtar la meua curiositat. Això va fer que em remuntés fins al principi d’aquest projecte: la llum. Aquí neix el meu Treball de Recerca.

L’objectiu principal i a la vegada part pràctica del treball, consisteix en justificar la capacitat d’aplicació del làser en la tecnologia, concretament en el camp de la telemetria. Cal especificar que la telemetria, en el nostre cas, la basarem en la medició de magnituds espacials, és a dir, distàncies físiques i el posterior enviament de les dades obtingudes a un operador informàtic. Això suposa l’anàlisi d’un seguit de mètodes de medició làser, la posterior sincronització de dades mitjançant un programador informàtic i finalment el muntatge del sistema per al funcionament òptim de la nostra estructura telemètrica.

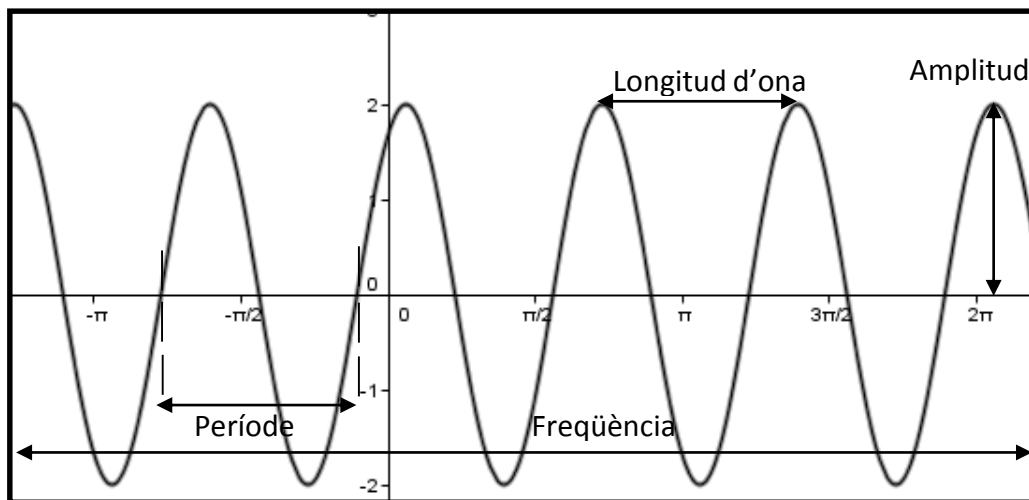
L’objectiu secundari es basa en demostrar el potencial emmagatzemat en la ciència fotònica, a l’hora d’augmentar el rendiment i optimitzar la producció en la ciència, l’indústria, les telecomunicacions i la robòtica, mitjançant fonaments físicomatemàtics, assolits al llarg del treball. Aquesta part coincideix amb la part teòrica del Treball de Recerca.

La major part d’informació adquirida i on he dedicat més temps, ha estat en la recerca d’informació tant en llibres com en pàgines web.

2. LA LLUM

En termes generals, la llum és un tipus de radiació, és a dir, una forma de propagació de l'energia sense necessitat d'un medi material, que es desplaça en el medi en forma d'ones formades per l'interacció d'un camp elèctric i un camp magnètic perpendiculars entre sí. La llum es pot comportar com una ona o com un corpuscle (partícula amb massa pròpia). La ciència que estudia la llum i la seva interacció amb la matèria s'anomena òptica.

Per a que la llum pugui ser percebuda pels nostres ulls ha d'estar entre uns certs límits dins de l'espectre electromagnètic, que marca la longitud d'ona o la freqüència segons les unitats que volguem prendre. La llum que nosaltres podem percebre està compresa entre 400 i 700nm pel que fa a la longitud d'ona. Aquesta mateixa llum que podem percebre en l'ambient està composta per ones electromagnètiques que són propagacions pel medi de radiació electromagnètica en forma d'ones (explicació específica a l'apartat 2.3). Aquest tipus d'ones com qualsevol altre tipus té diversos paràmetres en els quals ens hem de fixar per analitzar-les amb detall. Tota ona disposa d'amplitud, un període, la seva freqüència, la seva longitud d'ona i la direcció en que es propaga. Mitjançant aquesta gràfica podem observar com estan atribuïts els diferents paràmetres d'una ona electromagnètica representada en uns eixos. Afegirem que el sentit de propagació de l'ona és cap a la dreta. No apareix marcada la direcció en el gràfic perquè ja es sobreentén.



Com podem observar, l'amplitud és la distància entre l'eix d'abscisses i la cresta o la vall de l'ona. Podríem dir que és l'elongació màxima respecte l'eix x. La longitud d'ona és la separació entre dos punts situats en fase de dues oscil·lacions consecutives. Prenem aquesta magnitud per distingir el tipus de radiació en l'espectre electromagnètic. La freqüència és la magnitud que indica la continuïtat de les ones en repetir-se una i una altra vegada al llarg de la seva direcció de propagació. Aquest atribut també ens serveix, al igual que la longitud d'ona, per distingir el tipus de radiació amb que tractem. El període és el temps que passa fins que es produeix una acció completa. En aquest cas, podríem indicar dir-ne d'una acció completa quan un punt d'una oscil·lació arriba al mateix on es situava anteriorment la oscil·lació prèvia.

Com que les ondulacions de l'ona són constants, a menys que succeeixi algun tipus de perturbació, si sabem el període en un punt concret, serà el mateix període en qualsevol altre punt de tota la ona sencera. Per últim, la velocitat de propagació d'una ona és la distància en l'espai que recorre tot el conjunt en un temps determinat.

2.1 Característiques de la llum

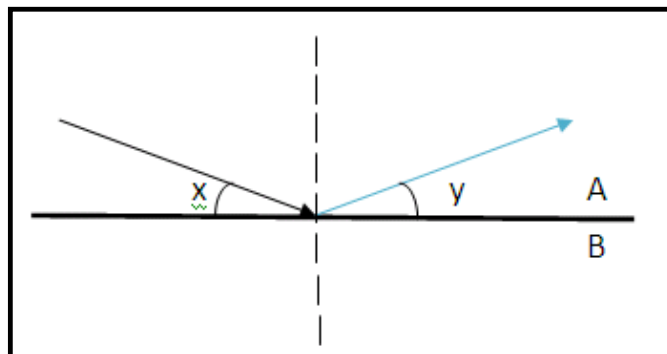
2.1.1 Cinemàtica i velocitat

La llum es desplaça pel medi en totes direccions mitjançant un moviment rectilini a una velocitat finita de 299.792.458 m/s que s'utilitza com a una constant que és essencial per resoldre diversos casos en el camp de la física. Aquesta constant es representa amb la lletra c . La velocitat de la llum es va calcular mitjançant constants de permetivitat i permeabilitat, elèctriques i magnètiques respectivament gràcies a la teoria de Maxwell.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}}$$

2.1.2 Reflexió

La reflexió és un fenomen que es produeix quan una ona canvia de direcció en xocar contra un medi diferent del que prové i surt rebotat amb un angle determinat cap al mateix medi on es trobava abans de provocar la reflexió. La reflexió està relacionada amb el raig incident mitjançant una llei que indica que l'angle d'incidència és igual a l'angle de reflexió ($n_1 \cdot \sin x = n_2 \cdot \sin y$), ja que l'índex de reflexió no varia perquè es manté en el mateix medi per tant en la igualtat ens queda que l'angle de reflexió és igual al d'incidència. La reflexió es dona en molts casos entre d'altres la reflexió de la llum de la lluna a l'aigua o l'exemple més clar seria quan ens mirem al mirall i veiem la nostra pròpia imatge, és a dir, s'ha reflectit la nostra imatge en un sistema òptic.



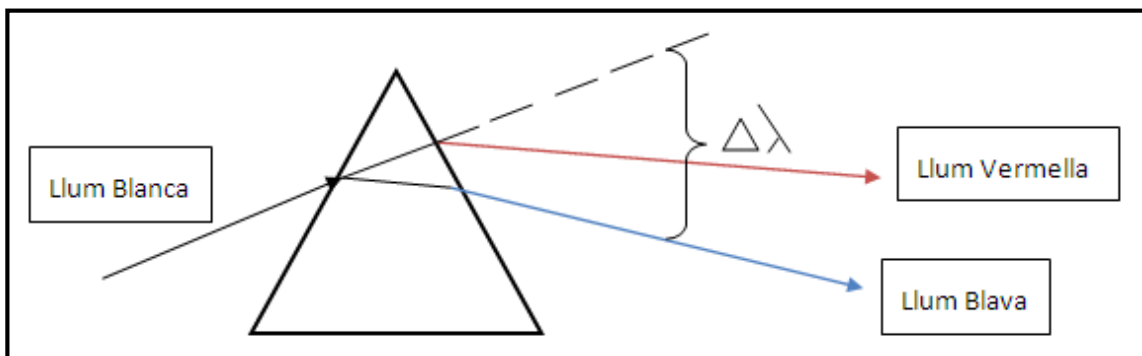
$$n_1 \cdot \sin x = n_2 \cdot \sin y$$

si $n_1 = n_2$ (perquè el raig es manté en el mateix medi) llavors $n_1 \cdot \sin x = n_2 \cdot \sin y$
ens queda que $\sin x = \sin y$

2.1.3 Dispersió

La dispersió és un fenomen lluminós causat per la incidència d'un feix de raigs de llum amb diferents longituds d'ona en un material refractant. El fet de tenir longituds d'ona diferent provoca una refracció de cada radiació amb un angle diferent. Aquest fenomen es conegut com a dispersió de la llum. Quan es projecta llum blanca, la qual està formada per radiacions de diferents longituds d'ona, a un prisma òptic, es refracten totes les radiacions en un angle diferent de manera que no se'n sobreposa cap.

Seguint l'esquema de la imatge podem extreure les següents conclusions: com que la longitud d'ona de la llum vermella és més gran pateix una menor desviació que la llum blava que té la longitud d'ona molt petita, per tant es desvia molt. Com que en el prisma òptic entra llum blanca que es descomposa en tots els colors de l'espectre els quals tenen una longitud d'ona diferent, fa que tots els colors pateixin una dispersió diferent i així formar l'espectre de la llum blanca.



Si s'analitzen les radiacions recollides en una pantalla podem observar l'espectre de la llum blanca. Els colors recollits es corresponen amb els colors de l'arc de Sant Martí.

Aquest fenomen, per tant, és la causa de l'existència dels arcs de Sant Martí, ja que la llum blanca travessa les gotes d'aigua quan plou que actuen com a prisma òptic i d'aquesta manera podem veure al cel la descomposició de tots els colors en forma d'arc. El fet de que ploqui contínuament fa que les gotes d'aigua actuïn com un prisma òptic continu.



Representació real de la dispersió de la llum blanca

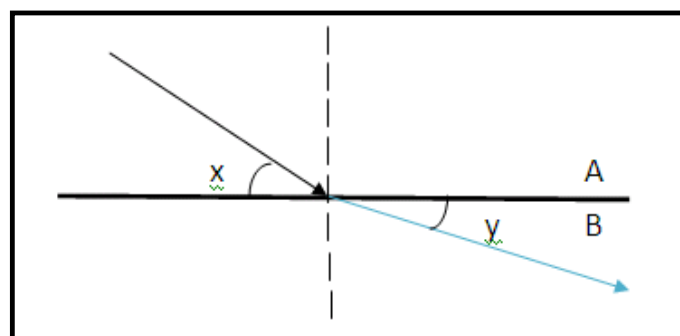
<http://feigel.wordpress.com/tag/light-refraction/>

2.1.4 Refracció

La refracció és un fenomen lluminós que ocorre quan la llum canvia de direcció al travessar el medi amb el qual ha xocat prèviament abans de que el raig de llum hagi sigut refractat. De fet, un raig de llum sempre pateix refracció i reflexió, és a dir, una part torna al medi i l'altre travessa el medi amb el que ha xocat. La refracció es relaciona amb el raig incident mitjançant la fórmula següent:

$$[n_1 \cdot \sin x = n_2 \cdot \sin y].$$

Això indica que l'angle en que surti el raig refractat pel medi B dependrà bàsicament de l'índex de refracció del medi B com també l'angle en que xoca contra el medi el raig incident i el índex de refracció del medi del qual prové.

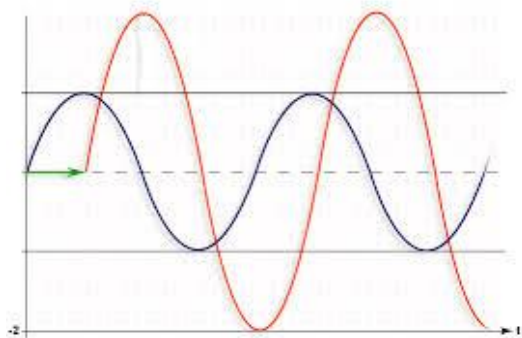


$n_1 \cdot \sin x = n_2 \cdot \sin y$
 com que $n_1 = n_2$ (perquè
 travessa un altre medi) llavors:

$$\sin y = \frac{n_1 \cdot \sin x}{n_2}$$

2.1.5 Interferència

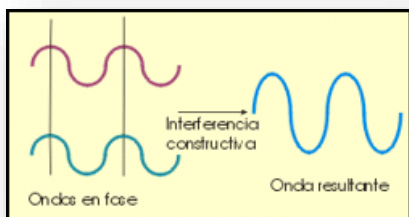
La interferència és un fenomen que es produeix quan dues ones coincideixen en un mateix punt. Quan això passa, s'aplica el principi de superposició que consisteix en descompondre una qüestió en dos subqüestions més senzilles, de manera que el problema més gran l'obtenim com a suma o superposició dels subproblemes. S'aplica només en un punt concret. Aquest punt se situa on coincideixen les dues ones que es propaguen. Quan es superposen es produeix una vibració que analíticament és la suma que experimentaria el mateix punt si fos assolit per separat per cadascuna de les ones. Per plantejar les dues subqüestions dividim la vibració de les dues ones juntes en el punt de superposició en les dues vibracions que es produirien per separat. Per saber l'efecte que produirà la superposició cal que ens fixem en la diferència de fase que hi hagi entre les ones.



En aquesta imatge podem observar la diferència de fase entre dues ones. Extraïem la conclusió, per tant, de que la fase és la distància des del punt on comença el creixement o decreixement d'una ona fins al punt de l'altra.

Hi ha dos tipus d'interferència:

La interferència constructiva. Diem que es produeix aquest tipus d'interferència quan l'amplitud de la ona resultant és màxima en valor absolut. L'amplitud de l'ona resultant es correspon amb el doble de l'amplitud dels moviments que tractem. Quan es produeix l'interferència constructiva s'intensifiquen les ones. Per això, la diferència de recorreguts ha de verificar que (1) i la diferència de fase verifica que (2):



$$(1) \rightarrow r' - r = n\lambda ; n = 0,1,2 \dots$$

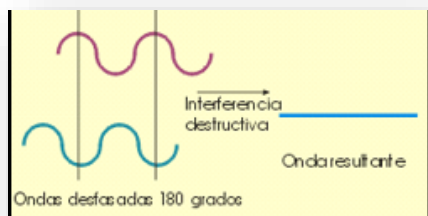
$$(2) \rightarrow \Delta\varphi = 2n\pi ; n = 0,1,2 \dots$$

Ja que:

$$\cos\left(\pi \frac{r' - r}{\lambda}\right) = \pm 1 ; \pi \frac{r' - r}{\lambda} = n\pi$$

$$\cos\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) = \pm 1 ; \frac{\Delta\varphi}{2} = n\pi$$

L'interferència destructiva es produeix quan l'amplitud resultant entre les dos ones és mínima. L'amplitud del moviment resultant és nul·la per a tots els punts on la diferència de recorregut de les ones sigui un nombre imparell de semi longituds d'ona. Les ones arriben en el punt on coincideixen les dues ones en interferència desfasades amb un valor de $\pi/2$ radianys (180° de desfasament). Al contrari que en l'altre interferència, la intensitat és mínima. Per això s'obté un valor molt baix i s'afebleix la senyal. Per això, com en el cas anterior, la diferència de recorreguts ha de verificar que (1) i la diferència de fase verifica que (2):



$$(1) \rightarrow r' - r = (2n + 1) \frac{\lambda}{2} ; n = 0,1,2 \dots$$

$$(2) \rightarrow \Delta\varphi = (2n + 1)\pi ; n = 0,1,2 \dots$$

$(2n+1)$ per a que el valor resulti en un múltiple de 3 i $\frac{\lambda}{2}$ es refereix a la semilongitud d'ona. Ja que:

$$\cos\left(\pi \frac{r' - r}{\lambda}\right) = 0 ; \pi \frac{r' - r}{\lambda} = (2n + 1) \frac{\pi}{2}$$

$$\cos\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) = 0 ; \frac{\Delta\varphi}{2} = (2n + 1) \frac{\pi}{2}$$

Mitjançant la superposició, veiem que al ser iguals les ones, es superposen i en formen una d'igual a les inicials ja que són les mateixes. En canvi, quan tenen oposició de fase, les ones queden contraposades i es suprimeixen entre sí, per això no forma una ona el resultat de la superposició de les ones desfasades. Un exemple clar per entendre per què es suprimeixen les ones és quan tenim un signe + i un signe – en una xifra igual a cada banda de una igualtat. Aquests termes s'eliminen ja que el resultat és zero en canviar un dels termes a l'altra banda de l'equació.

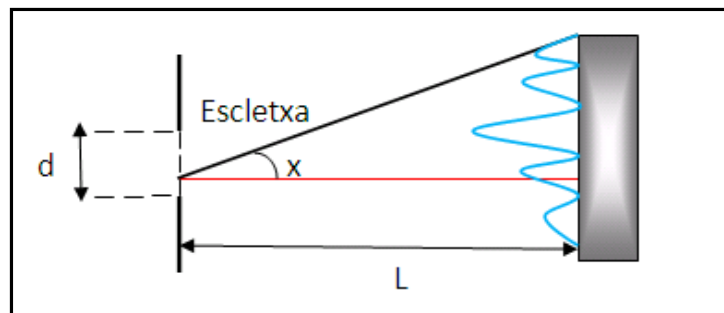
2.1.6 Difracció

La difracció és un fenomen lluminós que s'associa a la capacitat de les ones lluminoses a envoltar un obstacle i a arribar a punts situats darrere de l'objecte i ocults darrere del focus quan passen per una escletxa. Mitjançant la difracció podem justificar la naturalesa ondulatoria de la llum ja que només les ones són capaces de difractar-se. La difracció i la interferència tenen una relació de semblança degut a que les franges es poden interpretar mitjançant el principi de Huygens (elemental en la interferència) en que cada punt de l'escletxa es converteix en emissor de ones elementals en fase que interfereixen entre elles.

Mitjançant la fórmula $[\sin x = n \frac{l}{d}]$ podem relacionar l'angle de desviació que ha patit el raig en passar per l'escletxa amb la longitud d'ona l i la radiació (n) i la grandària de l'escletxa (d). El terme n serà un valor enter (1,2,3...) que correspon a el ordre del tipus de radiació (les primeres franges fosques corresponen al número 1).

Com que l'angle és molt petit, utilitzem la raó trigonomètrica que relaciona la tangent de l'angle amb l'alçada de la pantalla i la distància de l'escletxa a aquesta.

D'aquesta manera podem saber l'angle amb què es desvia l'ona. Aquest esquema ens demostra el fet que quan menys desviació pateix la radiació, més intensitat duu quan xoca contra la pantalla ja que un raig incideix de manera més "força" si ho fa de manera perpendicular a l'objectiu. Un clar exemple són els raigs del sol, que incideixen més perpendiculars en la zona de l'equador (el fet de que la terra estigui inclinada fa que incideixin perpendiculars) i és per això que n'és una zona tropical, degut a les altes temperatures i a arrel d'això sorgeix una fauna i una flora determinades. Cal afegir que les ondulacions de color blau ens ajuden a entendre els màxims i els mínims d'intensitat en que incideix la radiació quan passa per l'escletxa.

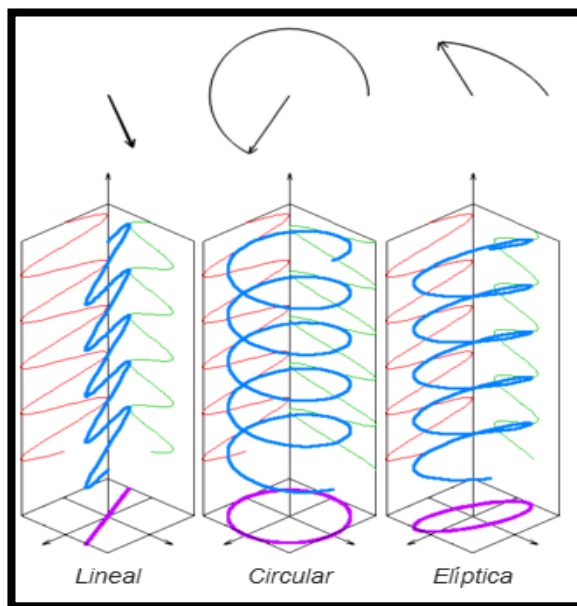


2.1.7 Polarització

La polarització és un fenomen òptic que demostra el fet que les ones lluminoses siguin transversals. Diem que un feix de llum està polaritzat si el seu camp magnètic oscil·la sempre en la mateixa direcció i per tant el seu camp elèctric ho realitzarà de la mateixa forma. Al contrari d'una ona no polaritzada, el camp elèctric de la qual oscil·la en totes direccions. En les ones longitudinals i en les ones sonores no es pot produir la polarització perquè la oscil·lació es desplaça en la mateixa direcció que la de la seva propagació.

L'exemple més clar per observar la polarització és analitzant una ona plana que és el més semblant a una ona de llum. Quan es descomposa vectorialment la direcció del camp elèctric observem una recta transversal a la direcció de propagació que varia segons l'espai i el temps.

La suma de les components x, y de la direcció de propagació de la ona traça una figura que es descomposa en l'eix z. Segons la forma que tingui aquesta figura es pot tractar d'una polarització lineal (recta), circular (circumferència) o el·líptica (el·lipse).



Esquema de funcionament d'una ona polaritzada segons els diferents tipus existents

http://es.wikipedia.org/wiki/Polarizaci%C3%B3n_electromagn%C3%A9tica

2.2 Naturalesa de la llum

Al llarg de la història s'han desenvolupat diverses teories en referència a la naturalesa de la llum. Des que s'investiga la propagació de la llum en el medi han sorgit molts problemes a l'hora de decidir quin dels dos tipus de naturalesa (ondulatòria o corpuscular) s'ajustava més a la realitat. El cas és que tota teoria que sorgia es contradeia amb una altra teoria posterior, és a dir, quan era proclamada una llei que deia que la llum es comportava com a ona, més tard en sortia una altra que deia el contrari. El dilema del comportament de la llum en la seva propagació es va acabar en el moment que es va demostrar, mitjançant la teoria quàntica de la llum d'Einstein (explicació detallada en l'apartat 2.2.3) que la llum es pot comportar de manera corpuscular i de manera ondulatòria (dualitat ona-partícula). Concretament, Einstein deia que la llum es propaga mitjançant ones electromagnètiques però que quan interacciona amb la matèria on hi ha intercanvis d'energia, manifesta un caràcter corpuscular, és a dir, que la llum es transporta en corpuscles que són partícules que posseeixen massa pròpia i per tant es poden associar amb totes les coses que formen l'univers.

Propagació de la llum a través de fibra òptica

<http://www.eluniverso.org.es/2013/01/la-luz-esa-maravilla-de-la-naturaleza/>



2.2.1 La teoria ondulatoria

Segons aquesta teoria, ideada per C. Huygens, es va establir que la llum es propaga mitjançant ones mecàniques emeses per un focus lluminós. La energia es situa al llarg de la ona al contrari que en la teoria corpuscular que només es concentra en una partícula. A més, la teoria ondulatoria permet demostrar perfectament els fenòmens lluminosos que s'expliquen en l'apartat 2.1 mitjançant una construcció geomètrica anomenada principi de Huygens. Aquesta teoria va ser oblidada durant uns anys a causa de l'impacte que va tenir Newton amb la teoria corpuscular ja que era un científic més conegut que l'holandès Huygens.

El moviment ondulatori és un camp molt extens i caldria realitzar un treball sencer sobre aquest tema per satisfer una base sòlida de coneixements. No obstant això, explicarem els principis bàsics sobre les ones per entendre de la millor manera possible qualsevol apartat on es presenti aquest tipus de moviment.

Les ones es produeixen a causa d'una vibració determinada que es projecta sobre l'eix y d'ordenades. Això fa que la ona es desplaci de manera perpendicular a les vibracions i per tant, viatgi a través de l'eix x d'abscisses.

Existeixen dos tipus d'ones; les ones mecàniques que necessiten un medi elàstic per produir-se com el so, que necessita un cos per produir-se el xoc i que el so es propagui, i les ones electromagnètiques les quals en parlarem en l'apartat 2.3 de manera més detallada, ja que són essencials per entendre el comportament de la llum, què és la base del nostre projecte.

Aquest tipus d'ones no requereixen cap medi material perquè es propaguen mitjançant la interacció de camps elèctrics i magnètics, que són variacions periòdiques de l'estat elèctric i magnètic.

A continuació tenim l'equació general del moviment ondulatori. Aquesta depèn de dues variables ja que l'ona en sí, necessita dos components diferents per a la seva producció; el temps i l'elongació. En el moviment ondulatori cal considerar el retard que es produeix quan un punt de l'ona arriba al següent punt de l'ona que prenem com a referència en funció de la velocitat de propagació que dugui l'ona. A més d'això cal tenir en compte l'elongació, que és la variable clau en la cinemàtica del MVHS (moviment vibratori harmònic simple), ja que com hem observat, l'ona necessita una certa vibració per a que es produeixi la propagació d'aquesta.

$$y = A \sin(\omega t - kx) \rightarrow y = A \sin\left(\frac{2\pi \cdot t}{T} - \frac{2\pi \cdot x}{\lambda} + \varphi_0\right) \rightarrow y = A \sin\left[2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) + \varphi_0\right]$$

$$\text{on } k = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ i } \omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

$$\text{Per tant : } y(t, x) = A \sin\left[2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\right]$$

On A és l'amplitud, t és el retard de l'ona, T és el període, x és l'elongació en aquell punt i λ que és la longitud d'ona.

Si derivem l'equació prèvia respecte el temps podrem obtenir l'equació de la velocitat i si realitzem la segona derivada, l'equació de l'acceleració:

$$v = \frac{dy}{dt} = A\omega \cos(\omega t - kx) \quad / \quad a = \frac{dv}{dt} = -A\omega^2 \sin(\omega t - kx)$$

A partir d'aquí podríem deduir les fórmules d'energia d'ones, de la seva potència i de la seva intensitat:

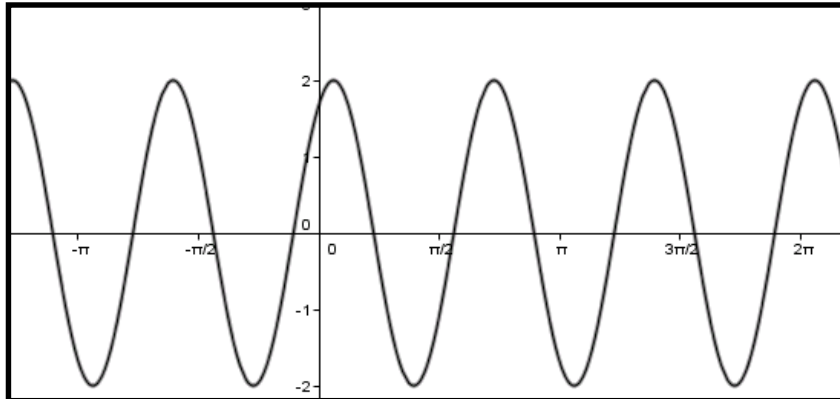
$$V_{M\lambda X} = \frac{2\pi A}{T} \rightarrow E_c = \frac{1}{2} m v_{M\lambda X}^2 = \frac{1}{2} m \left(\frac{2\pi A}{T}\right)^2 = \frac{2\pi^2 m A^2}{T^2} \rightarrow E = 2\pi^2 m A^2 f^2$$

$$P = \frac{E}{\Delta t} = \frac{2\pi^2 m A^2 f^2}{\Delta t}$$

$$I = \frac{E}{S} = \frac{P}{S}$$

Cada tipus d'ona, és a dir, mecàniques, electromagnètiques, transversals, etcètera, utilitzen la mateixa equació en tots els casos. L'únic que canvia és el significat de les variables.

Aquesta seria la gràfica de la funció sinusoidal donant valors a les diferents variables que tenim en la fórmula de representació de la funció de la qual estem parlant :



Podem extreure la conclusió de que l'amplitud màxima de l'ona (A), és la xifra que ens marca els màxims i els mínims de la funció. La relació dels altres valors entre sí són els que augmenten el nombre d'ones i la seva longitud. No obstant això, l'amplitud sempre es manté constant i per això en aquest cas:

$$A=\text{Im}g[f(x)]=[-2,2]\rightarrow\text{Dom}[f(x)]=\mathbb{R}.$$

2.2.2 La teoria corpuscular

La teoria corpuscular va ser creada per Isaac Newton on sostenia que la llum es comporta com a partícules de matèria emeses a gran velocitat pels cossos lluminosos mitjançant un moviment rectilini. La direcció en que es propaguen les partícules de massa s'anomena raig lluminós.

Aquesta teoria es mantenia gràcies a tres fenòmens que donaven a entendre aquest comportament:

-La reflexió de la llum. El fet que les partícules xoquessin i rebotessin confirmava la teoria del xoc elàstic que només passa en objectes, partícules o càrregues, és a dir, demostrava l'existència d'un corpuscle.

-La refracció de la llum. El canvi de velocitat en canviar de medi a causa del diferent índex de refracció entre medis, es deduïa que era a causa de la atracció a les partícules lluminoses.

-La direcció de propagació rectilínia. Sostenia que el fet que els corpuscles es propaguessin en línia recta era perquè es desplaçaven pel medi a gran velocitat.

2.2.3 Teoria quàntica de la llum

El físic alemany Albert Einstein va proposar una teoria pròpia amb fonaments d'òptica quàntica sobre el comportament i la naturalesa de la llum en el medi. Va ser el primer dels seus articles publicats (1905), anomenat "Un punt de vista heurístic sobre la producció i transformació de la llum", on va mostrar a la gent la seva teoria amb les demostracions matemàtiques corresponents.

Einstein volia demostrar la capacitat de la llum de poder comportar-se com a ona i com a partícula, és a dir, que existís la possibilitat que la llum al ser un tipus d'energia, s'anés transformant entre les dues possibles naturaleses; com ell ja va dir, "l'energia ni es crea ni es destrueix, només es transforma". En aquest article, va proposar la existència de paquets d'energia anomenats Quàntums (fotons) per poder utilitzar-ho com a fonament per explicar l'efecte fotoelèctric (s'explica detalladament en l'apartat 2.4).

El fet de l'existència dels Quàntums de llum va fer que es comencés a pensar sobre una hipotètica dualitat ona-corpúscle. De fet, aquest principi establert per Einstein ha quedat com una de les bases de la mecànica quàntica per a la posterioritat, ja que es pot derivar d'aquestes deduccions moltes altres fórmules relacionades amb altres branques de la física.

Einstein va rebre el premi Nobel de física gràcies a les aportacions de les quals estem parlant i pel gran impacte que van tenir en les posteriors investigacions l'any 1921.

Per basar-se en la possible dualitat ona-partícula després que el descobriment dels Quàntums fes un incís sobre l'existència d'aquesta possible naturalesa, degut a que en l'efecte fotoelèctric la llum arribava en forma d'ones electromagnètiques (ondulatori) i sortia de la placa metàl·lica en forma d'electrons que són partícules elementals de la matèria, és a dir, una partícula amb massa (corpúscle) va utilitzar expressions matemàtiques per exemplificar-ho.

Per demostrar-ho va basar-se en la següent expressió que va deduir mentre estudiava fluctuacions en la energia de radiació tèrmica sense cap intenció d'arribar a parar on justament esdevindria una de les deduccions més importants pel que fa a la llum i tot el que l'envolta:

$$\langle \Delta E_{\omega}^2 \rangle = V d\omega \left[h\omega p(\omega) + p^2(\omega) \left(\frac{\pi^2 c^3}{\omega^2} \right) \right]$$

Si agafem els dos termes per separat que s'estan sumant i els analitzem podrem entendre i justificar perquè va deduir mitjançant aquesta expressió el doble comportament de la llum.

Aquest és el primer terme dels dos sumands i ens indica que és un gas amb Quants d'energia independents ($h\omega$). Llavors, si és un gas, estarà format per partícules d'una massa particular en funció de l'element o elements que formen les partícules que estan suspeses i formen el gas.

$$\langle \Delta E_{\omega}^2 \rangle = V d\omega [h\omega p(\omega)]$$

Aquest és el segon terme que es refereix a una superposició d'ones que fluctuen per elles soles, és a dir, que ho fan de manera independent. En aquest cas com que són ones, la naturalesa correspondria a un comportament ondulatori.

$$\langle \Delta E_{\omega}^2 \rangle = V d\omega \left[p^2(\omega) \left(\frac{\pi^2 c^3}{\omega^2} \right) \right]$$

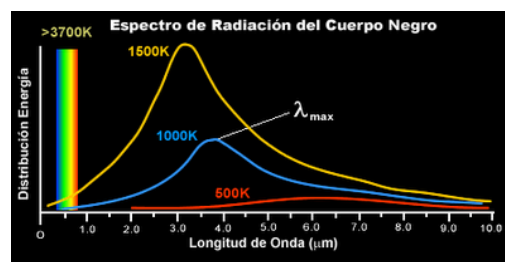
Com podem observar, si el gas forma quants independents, és a dir, que produeix fotons propis i les ones superposades fluctuen soles sense necessitat de suport d'una altra ona, deduïm que l'energia està dividida en dues parts diferents ja que cada un dels sumands té una forma d'energia que és diferent de l'altre sumand i viceversa.

El que vol dir Einstein amb això és que l'Energia o en el nostre cas, el fotó, es pot comportar de dues maneres possibles, cosa que ho associa a la suma dels dos termes en l'equació.

Tant la ona com la partícula que s'estan sumant entre sí, poden actuar tant d'una manera com de l'altra, ja que si per exemple, es comporta com un corpuscle, i per tant, no és una ona, el resultat del terme que correspon a la superposició de les ones serà igual a zero.

Malgrat això, tindrem el terme que correspon al corpuscle el resultat del qual serà diferent de zero, ja que si actua com a corpuscle, ens ha de donar el valor del propi terme en sí. Llavors si el terme del corpuscle és diferent de zero i el terme de les ones és igual a zero, si sumem un valor a zero, ens quedarà el valor del terme corpuscular que serà igual a l'energia del corpuscle.

El cas es pot donar al revés, i que en comptes de comportar-se com a corpuscle ho faci com a ona i en aquest cas el terme corpuscular seria igual a 0 i l'ondulatori diferent de zero. L'energia d'aquest procés seria igual al terme de l'ona.



Espectre de radiació del cos negre en funció de l'energia despesa en cada interval de longitud d'ona. (El color negre posseeix tots els colors, és a dir, totes les longituds d'ona possibles). <http://2fisicamoderna.wordpress.com/category/linea-de-tiempo/>

2.2.4 Efecte fotoelèctric

L'efecte fotoelèctric és un fenomen lluminós que ens permet a partir de l'estudi d'aquest, aprovar l'existència del doble comportament de la llum. Com veurem a continuació, aquest efecte necessita matèria per produir-se, d'aquesta manera l'efecte fotoelèctric també ens ajuda a comprendre el comportament de partícules de llum amb massa pròpia, així com el comportament de les ones.

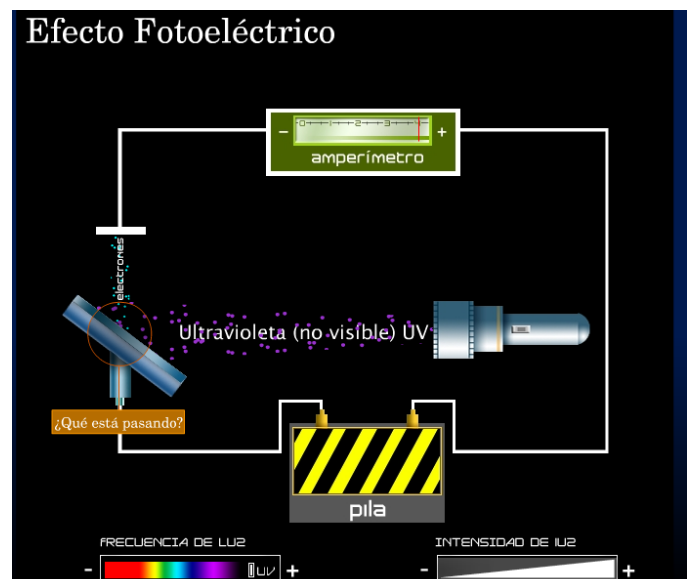
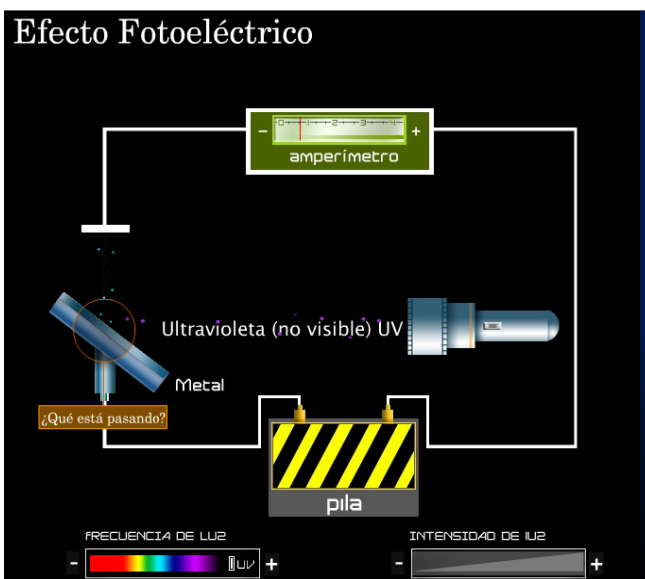
L'efecte fotoelèctric es basa en irradiar mitjançant ones electromagnètiques una placa de metall de manera que quan s'hagi produït l'efecte, el resultat sigui la conversió dels fotons que han arribat a electrons.

Aquest fet va ser descobert pel físic alemany H. Hertz l'any 1887. Més tard va ser demostrat teòricament per Albert Einstein al 1905 mitjançant la teoria dels quanta de Planck que deia que els cossos emeten energia o n'absorbeixen en forma de quàntums d'energia, també anomenats fotons.

El que va demostrar teòricament Albert Einstein va ser que quan un fotó d'una freqüència (ν) i energia ($h\nu$) determinades incideix sobre una placa metàl·lica, cedeix la seva energia a un electró. L'electró utilitza una part de la energia o treball ($W=h\nu_0$) per a sortir del metall i la resta la fa servir per augmentar la seva energia cinètica ($E_c = \frac{1}{2}mv^2$).

D'aquestes dues deduccions se'n va treure la fórmula general de l'efecte fotoelèctric que correspon a : $[h\nu = h\nu_0 + \frac{1}{2}mv^2]$.

Aquest seria l'esquema que definiria millor el que succeeix quan es dona l'efecte fotoelèctric. En la primera imatge observem el muntatge per demostrar l'efecte. Disposem d'un amperímetre per mesurar la intensitat del corrent, en aquest cas s'utilitza per justificar l'existència de electrons. També tenim una placa metàl·lica, un generador de corrent i una llanterna que serà l'aparell per proporcionar llum, és a dir, fotons.

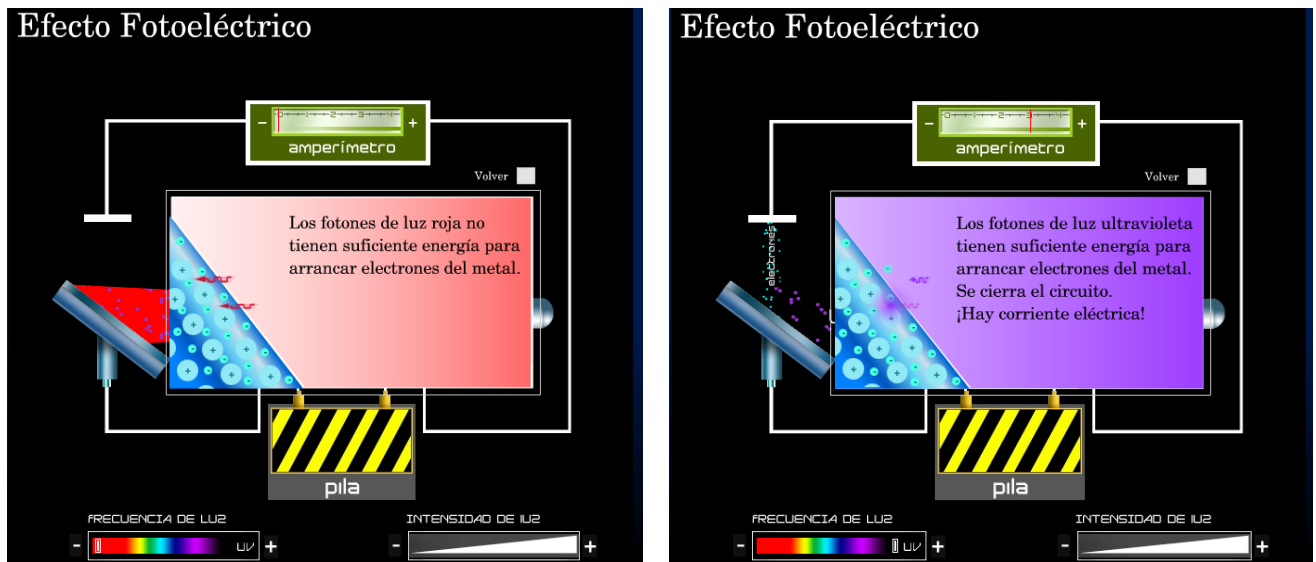


<http://litalo.blogspot.es/>

En la segona imatge, observem el que passa quan accionem la llanterna i projectem fotons contra la placa metàl·lica, com veiem, quan encenem la llanterna i veiem la radiació ultraviolada, podem apreciar com l'amperímetre marca el pas de electrons a diferència de en la primera foto en la qual encara no havíem encès la llanterna. D'aquesta manera es demostra el principi pel qual quan un fotó incideix sobre una superfície metàl·lica, se'n desprèn un electró amb l'energia necessària per augmentar el seu nivell d'energia i amb l'energia cinètica suficient com per circular pel circuit que hem establert.

L'efecte fotoelèctric només es produeix si l'energia associada a la radiació és més gran en relació a l'energia necessària per produir l'efecte fotoelèctric, també anomenada energia llindar.

Com que els materials tenen freqüències llindar diferent, això fa que segons quin material, es produeixi efecte fotoelèctric amb espectres de llum diferents. A continuació, disposem d'un exemple per apreciar la diferència d'energia llindar entre una superfície i una altra en incidir fotons de llum de colors diferents i suposant la emissió i la no emissió d'electrons.



Com podem observar en les imatges següents, en projectar llum vermella sobre una placa metàl·lica, l'amperímetre no marca pas d'electrons pel circuit que em creat ja que la llum vermella no té una energia superior a la energia llindar que cal superar perquè es produeixi l'efecte fotoelèctric. En canvi, quan incideix llum ultraviolada en una placa de metall podem veure com l'amperímetre marca pas de corrent pel circuit ja que la llum ultraviolada té la freqüència d'ona superior a l'energia llindar necessària per arrancar electrons de la placa. És a dir, que mitjançant aquestes imatges podem veure gràficament la demostració de quan es produeix l'efecte fotoelèctric.

Simplement, s'ha de disposar de llum amb una freqüència (ν) que al ser multiplicada per la constant de Planck (h), $[E_{\text{extracció}} = h \cdot \nu]$, ens dongui un valor superior al de la energia llindar necessària per produir la extracció d'electrons del metall $[E_{\text{extracció}} > E_{\text{llindar}}]$.

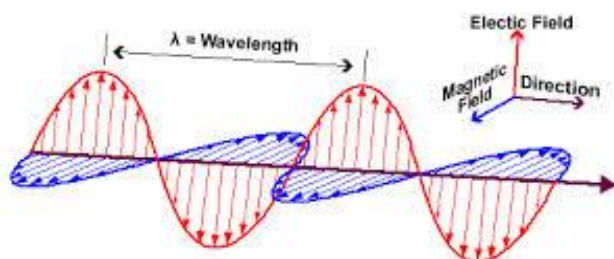
2.3 Ones electromagnètiques

Les ones electromagnètiques són propagacions en forma d'ona produïdes per la vibració de càrregues elèctriques. Aquestes no necessiten un medi material per produir-se, és a dir, que no hi ha necessitat d'intervenció de la matèria per a que es produeixi la propagació d'aquestes pel medi. Aquestes ones es caracteritzen per propagar-se entre un camp magnètic i un camp elèctric que són perpendiculars entre sí.

El concepte d'ones electromagnètiques es va iniciar gràcies a la teoria del Escocès J.C. Maxwell que explicava mitjançant raonaments matemàtics les característiques de les ones electromagnètiques.

Entre d'altres va obtenir diversos conceptes que deien que les ones eren originades per càrregues elèctriques accelerades, que les ones consisteixen en la variació periòdica de l'estat electromagnètic de l'espai o que els vectors dels camps elèctric i magnètic varien periòdicament amb el temps i la posició.

En resum de tot el que va demostrar Maxwell, s'extreu que quan la llum actua com una ona, existeix un camp elèctric variable que genera al seu temps un camp magnètic i viceversa. Això passa degut a les diferents teories sobre la interacció dels camps electromagnètics que defineixen que un camp magnètic que varia en el temps produeix un camp elèctric, segons la llei de Faraday i que un camp elèctric variable en el temps produeix un camp magnètic, segons la llei d'Ampère. També hi han dos lleis que va proposar Gauss; una que parla d'electricitat i l'altre de magnetisme, tot relacionat amb els conceptes dels camps elèctrics i magnètics i la seva interacció entre sí.



Representació d'una ona electromagnètica

<http://xabierjota.wordpress.com/2013/02/13/hagase-la-luz-y-la-luz-se-hizo-onda-electromagnetica-ii/>

2.3.1 Equacions de Maxwell

James Clerk Maxwell va ser un científic que va revolucionar la física moderna en unificar com una sola força l'electricitat i el magnetisme. Maxwell creia que tot estava format per un flux electromagnètic i a través d'ell es propagaven totes les altres forces. Va introduir el camp de força i també va determinar que quan dos càrregues circulen en el mateix sentit s'atreuen i si circulen en sentit contrari hi ha repulsió entre elles.



James Clerk Maxwell

http://rebelblackdot.blogspot.com.es/2007_03_01_archive.html

A més, també va demostrar que el corrent elèctric variable en el temps crea un camp magnètic i viceversa. Aquesta força unificada era i és molt forta. Per exemple, té total control sobre la repulsió electromagnètica que fa que els àtoms dels objectes no deixin travessar-los.

Per demostrar tots els seus conceptes i en concret la unificació de l'electromagnetisme, es va basar en quatre equacions diferencials els conceptes dels quals ja van ser observats i formulats per Faraday, Ampère i Gauss.

El cas és que Maxwell va haver de corregir algun defecte d'alguna de les equacions ja fetes que parlaven d'electromagnetisme i per tant, se'l coneix com el científic que va formular de manera completa els principis de l'electromagnetisme.. Les expressions estan formades per recursos matemàtiques; bàsicament es basen en càlcul vectorial ja que els camps elèctrics, magnètics i els seus fluxos pertanyents són magnituds vectorials. També abunda el càlcul diferencial i integral per relacionar les magnituds vectorials segons quina acció fan.

2.3.2 Llei de Faraday

La llei que va establir Michael Faraday diu que el voltatge induït en un circuit tancat és proporcional a la quantitat de flux que travessa una superfície qualsevol d'un circuit establert. Pot expressar-se en funció de la força electromotriu i del pas de flux magnètic a través d'una superfície.

Primer de tot, s'escriu la fórmula de la força electromotriu o del voltatge induït que correspon a la integral del camp elèctric (E) a través de la línia diferencial de l (dl) :

$$V = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

Faraday diu que aquest voltatge s'indueix, és a dir, que apareix un voltatge sense necessitat d'una font d'alimentació, gràcies a l'existència d'un camp magnètic. La expressió del flux magnètic correspon a la següent equació:

$$\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} = \oint \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

Michael Faraday també proposa en la seva teoria que el voltatge induït és directament proporcional a la rapidesa amb que canvia en el temps el flux magnètic.

Per representar el temps de manera matemàtica apliquem la derivada respecte el temps i per representar el flux magnètic integrem el producte del vector camp magnètic pel diferencial de l'àrea.

$$-\frac{d}{dt} \oint \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

Per tant deduïm que el voltatge induït o força electromotriu és igual a la derivada respecte del temps del flux magnètic:

$$V_{\varepsilon} = -\frac{d}{dt} \oint \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

o de manera simplificada :

$$V_{\varepsilon} = -\frac{d}{dt}(\Phi)$$

La simplificació es deu a que:

$$\Phi = \oint \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

Com que el flux magnètic es pot expressar en funció del vector camp magnètic (B) multiplicat pel vector de la direcció del flux magnètic (A) trobem la expressió següent:

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A}$$

Finalment obtenim la equació de Faraday general:

$$V_{\varepsilon} = -\frac{d}{dt}(\vec{B} \cdot \vec{A}) = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (\text{Llei de Faraday})$$

2.3.3 Llei d'Ampère

Ampère es va inspirar en la llei de Biot i Savart ($\mathbf{B} = \frac{\mu}{2\pi} \frac{I}{R}$) per establir una relació que indicava que la intensitat del camp magnètic situat en una superfície tancada és proporcional al corrent elèctric que circula per el $d\vec{l}$ d'aquesta mateixa superfície.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} \cdot \cos 0 = \vec{B} \oint d\vec{l} = \vec{B} \cdot 2\pi R$$

Si considerem les següents igualtats;

$$\vec{B} \oint d\vec{l} = \mu \cdot \sum I \quad / \quad \vec{B} \oint d\vec{l} = \vec{B} \cdot 2\pi R$$

Llavors si aïllem \vec{B} del terme que obtenim arribem a llei de Biot i Savart:

$$\vec{B} \cdot 2\pi R = \mu \cdot \sum I \rightarrow \vec{B} = \frac{\mu \cdot \sum I}{2\pi R} = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{\sum I}{R}$$

Ara hem obviat per què es va inspirar en Biot Savart. A continuació veurem el significat de la llei d'Ampère i com s'aplica :

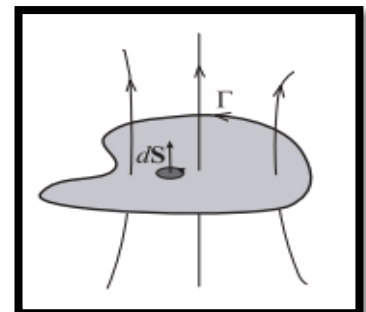
La fórmula que relaciona els raonament dona lloc a la equació de la llei d'Ampère que correspon a la següent com hem vist anteriorment.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu \cdot \sum I$$

Matemàticament, diem que la integral del producte del vector camp magnètic (B) pel diferencial de l (que correspon a la longitud del circuit tancat per on circula el corrent) és igual a el producte de la constant de permeabilitat pel sumatori d'intensitat de corrent que circulen pel circuit tancat que hem creat.

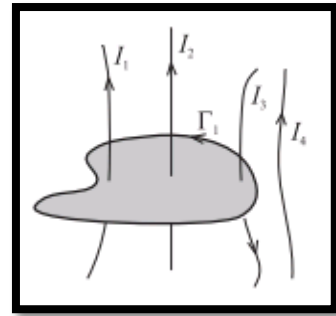
Aquesta és la expressió general de la llei d'Ampère seguint l'esquema de la figura;

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu \int \vec{j} \cdot d\vec{S}$$



Se'ns indica que el camp magnètic B està situat al llarg d'un circuit tancat, en aquest cas una corba Γ , com mostra la imatge, que és μ vegades la densitat de corrent J que travessa una superfície dS.

En aquest cas en particular, podem observar les diferents intensitats que intervenen en la corba i que en la expressió anterior no havíem observat.



$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu(I_1 + I_2 - I_3)$$

En el sumatori d'intensitats indiquem les que van cap a dalt en signe positiu i les que van cap a sota en signe negatiu. Les que no travessen la superfície, en aquest cas I_4 se les considera 0.

Les intensitats són importants ja que depenen del nombre de corrents que passin varia tota la equació i per tant seria errònia.

Per tant l'equació d'Ampère se'ns converteix en la següent expressió:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu \int \vec{j} \cdot d\vec{S} = \mu \cdot \sum I$$

No obstant això, Maxwell va modificar la expressió creada per Ampère (a dalt) degut a que es contradeia la llei de la conservació de la càrrega i és per això que va aconseguir adaptar-la als camps no estacionaris.

Més tard va ser aprovada experimentalment per Heinrich R. Hertz i va adoptar el nom de llei d'Ampère-Maxwell. Finalment així va quedar la expressió:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu \int \vec{j} \cdot d\vec{S} + \mu\epsilon \frac{d}{dt} \int \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

Observem que la fórmula és exactament igual però a la integral de la densitat del flux (J) i el diferencial de la superfície (dS) li suma una expressió de manera que s'assegura que quan varia en el temps ($\frac{d}{dt}$) un camp elèctric (E) situat al voltant d'una àrea dS es crea un camp magnètic i alhora se'n conserva la càrrega de les partícules ($\mu\epsilon$).

2.3.4 Llei de Gauss elèctrica

La llei de Gauss pels camps elèctrics diu que el flux elèctric que circula per qualsevol circuit tancat és proporcional a la càrrega que hi ha emmagatzemada dins del mateix circuit.

La fórmula integral per la llei de Gauss elèctrica és la següent :

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon} = 4\pi kq$$

Per deduir la llei de Gauss cal conèixer el concepte de l'angle sòlid ($\Delta\Omega$). Es basa en un angle de dues dimensions en un espai tridimensional. En el nostre cas, una esfera, que abasta l'objecte sencer des d'un punt concret. Per calcular l'angle sòlid d'una esfera cal considerar la següent equació sabent que r és el radi de l'esfera i A l'àrea d'aquesta.

$$\Delta\Omega = \frac{A}{r^2}$$

Pot donar-se el cas de que A no sigui perpendicular a les línies que surten de l'origen que té $\Delta\Omega$ (cal situar l'esfera sobre uns eixos de coordenades), llavors busquem la normal que es defineix de la següent manera i la substituïm per l'expressió de l'àrea de l'esfera:

$$\Delta\Omega = \frac{\Delta A \cdot n \cdot r}{r^2} \quad \text{on } n \cdot r = \cos\theta$$

$$\text{i per tant } \frac{\Delta A \cdot \cos\theta}{r^2}$$

Per calcular el flux de corrent hem de trobar la relació $E \cdot n\Delta A$ per cada unitat d'àrea de la superfície. És per això que substituïrem els dos termes que s'estan multiplicant per un altre terme més senzill d'operar.

$$\Phi = E \cdot n\Delta A$$

Aquesta relació s'ha deduït de la següent manera:

$$E = \frac{K \cdot q}{r^2} \quad \text{i } \Delta\Omega = \frac{\Delta A \cdot n \cdot r}{r^2}$$

Com que volem transformar $n\Delta A$ en $\Delta\Omega$ aïllarem el primer terme per substituir-lo en la expressió:

$$\Delta\Omega = \frac{\Delta A \cdot n \cdot r}{r^2} \rightarrow \Delta\Omega \cdot r^2 = \Delta A \cdot n \cdot r \rightarrow \Delta A \cdot n = \frac{\Delta\Omega \cdot r^2}{r} \rightarrow n\Delta A = \Delta\Omega \cdot r$$

Ara substituïm els termes obtinguts anteriorment en l'equació principal:

$$\Phi = E \cdot n\Delta A = \frac{K \cdot q}{r^2} \cdot r \cdot \Delta\Omega \cdot r = \frac{kq \cdot r^2 \cdot \Delta\Omega}{r^2} = kq\Delta\Omega$$

Per simplificar $\Delta\Omega$ en forma integral, com que l'àrea de l'esfera és $4\pi r^2$, llavors :

$$\Delta\Omega = \frac{4\pi r^2}{r^2} = 4\pi$$

I per tant, per una banda Kq com està multiplicat el podem treure fora de l'integral i d'altra banda $\Delta\Omega$ el convertim en $d\Omega$ i plantejem l'integral definida entre 4π i 0 ja que $\Delta\Omega = 4\pi$ com hem vist en l'anterior deducció.

I per últim, aquesta és l'expressió, que ens queda si seguim els passos anteriors i resollem l'integral obtenim l'expressió general de la llei de Gauss pel camp elèctric.

$$\Phi = \oint \vec{E} \cdot n d\vec{A} = kq \int_0^{4\pi} d\Omega = 4\pi kq = \frac{q}{\epsilon}$$

2.3.5 Llei de Gauss magnètica

Aquesta és una de les dues lleis de Gauss sobre electromagnetisme. Ens justifica que quan existeix flux magnètic fora d'una superfície, aquest és equivalent a 0. Això ens remunta fins als dipòls magnètics, en els quals, qualsevol superfície que estigui tancada conté el mateix flux provinent del nord que del sud, per tant, s'anul·len i és igual a 0. En les fonts dipolars, el flux magnètic sempre és igual a 0. En cas de que la font magnètica fos monopolar, és a dir, que el flux magnètic només s'emetés des d'un pol, el resultat de la integral d'àrea no seria igual a 0.

En resum, la llei de Gauss magnètica correspon a un incís de la no existència de monopols.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

Per a la deducció d'aquesta fórmula només cal aplicar el teorema de Gauss a la fórmula anterior:

$$\oint_{\partial T} \vec{B} \cdot d\vec{A} = \int_T \vec{\nabla} \cdot \vec{B} dT = \int_T 0 \cdot dT = 0$$

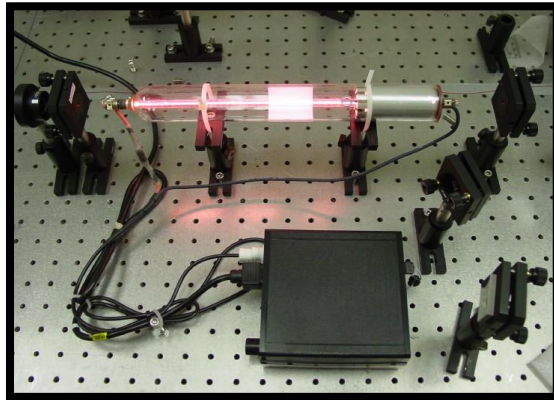
Per tant la llei de Gauss per al camp magnètic és la següent ja que arribem a la conclusió que la primera equació abans d'aplicar el teorema de Gauss ens dona finalment que és igual a zero.

$$\oint_{\partial T} \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

3. EL LÀSER

3.1 Què és un làser?

Un làser és un dispositiu electrònic basat en un sistema d'amplificació de llum que produeix raigs coincidents de gran intensitat, amb la mateixa freqüència i fase. Tots els raigs que es projecten desemboquen en un punt comú a causa de la coherència de la radiació làser, que es tracta d'una propietat característica dels raigs de llum que emet el làser.



Làser d'Heli-Neó

<http://galileo.phys.virginia.edu/classes/533.op6n/UVAPhysicsOpticsLabs.html>

La llum d'aquest aparell es pot emetre i controlar de diverses formes. Si està connectat a una font d'alimentació estem utilitzant el sistema d'ones contínues ja que el làser estarà emetent el feix lluminós fins que el desconnectem.

També es pot controlar mitjançant un polsador normalment tancat (per encendre el làser cal prémer un botó ja que es manté sempre en posició d'apagat) que ens permet accionar-lo quan nosaltres decidim, a més que és un sistema força més pràctic i econòmic.

El funcionament d'aquest es basa en la emissió estimulada, un efecte que s'explica mitjançant la mecànica quàntica, per produir un feix de llum coherent i monocromàtic. Làser és un acrònim que prové de l'anglès que traduït al català vol dir ampliació de la llum mitjançant l'emissió estimulada o induïda. Avui dia, és utilitzat en diversos camps en els quals actua com a element fonamental o com a suport per dur a terme una tasca concreta. Des d'acceleradors de partícules fins a drons militars.

No obstant això, cal recordar que el làser ha hagut de ser desenvolupat al llarg dels anys i ha passat molt de temps per arribar a desenvolupar funcions tant útils com avui en dia realitza. Tot va començar al 1916, en el moment en que el físic Albert Einstein estudiava el comportament dels electrons dins de l'estructura de l'àtom. Encara que els electrons emetessin llum espontàniament, Einstein va plantejar la idea d'estimular un electró perquè emetessin una llum d'una determinada longitud d'ona mitjançant una radiació externa amb la mateixa longitud d'ona que la llum emesa pels electrons mencionats anteriorment.

Malgrat que R. Ladenberg va demostrar la hipòtesi d'Einstein al 1928, fins als anys 50 ningú va imaginar que es pogués construir un dispositiu que es basés en el principi de funcionament d'Albert Einstein.

Fins a aquest moment, ja es sabia com estimular els electrons per obtenir una llum d'una determinada longitud d'ona però faltava amplificar la radiació. L'aportació més transcendental en l'amplificació de la radiació va ser portada a terme pel físic Charles H. Townes mentre seia en un banc abans d'una reunió científica a Washington.

Se li va ocórrer que la millor manera de amplificar una radiació qualsevol era utilitzar microones. La seva idea va portar a la construcció del primer làser (amplificació de microones per emissió estimulada de radiació).

Van haver-hi diversos problemes de patents entre els diversos creadors del làser. Va ser Theodore Maiman qui va ser proclamat el creador del primer làser mitjançant un cristall de Rubí l'any 1960 a Califòrnia. Des d'aquell moment, es desenvolupa per anar més enllà d'un simple projector de llum.

3.2 Característiques de la radiació làser

La llum que emet el làser té unes característiques pròpies que fan que es distingeixi dels altres tipus de radiació les quals es propaguen en totes direccions. La radiació làser té tres característiques bàsiques: monocromaticitat, direccionalitat i coherència.

-La monocromaticitat té a veure amb el fet de que la radiació làser només tingui una longitud d'ona, a diferència de diferents dispositius com bombetes incandescentes que emeten radiació d'un rang més gran en l'espectre electromagnètic i això fa que desprenguin calor. La longitud d'ona en l'espectre electromagnètic es pot comprovar fent passar la radiació per un prisma òptic. Si fem passar llum blanca es descomposarà en els diferents colors de l'espectre (dispersió de la llum), en canvi, si fem passar un feix de llum làser per un prisma òptic obtindrem un raig amb el mateix color de la radiació làser abans de passar pel prisma òptic.

-La direccionalitat del làser és molt alta, és a dir, pot projectar-se a una distància molt llarga sense que s'obri el feix de llum i que segueixi en un punt sobre un objecte sense dispersar-se. Això es degut a la baixa divergència que té la radiació làser, que suposa una no dispersió de la llum quan es desplaça pel medi.

Gràcies a aquesta propietat de la llum va ser possible enregistrar la distància de la Terra a la Lluna; es va projectar un làser a la Lluna i es va fer rebotar contra un mirall situat a la superfície del satèl·lit. Es va processar el temps que va trigar en arribar la radiació làser després de rebotar en el mirall i coneixent la velocitat a la que es desplaça la llum amb un cert tant per cent d'error per culpa d'algun petit defecte que pogués tenir el làser van poder calcular la distància a la Lluna. El fet és que gràcies a la direccionalitat de la radiació làser, es va poder enviar el feix sense que patís cap desviació ni dispersió i d'aquesta manera el càlcul de la distància fos el més exacte possible.

-La coherència fa referència a la transmissió de la llum en una mateixa direcció degut a la seva naturalesa, és a dir, el fet de tenir la mateixa fase, la mateixa amplitud i la mateixa freqüència. El que passa és que totes les ones que emet el feix de llum del làser s'acoblen entre sí a causa de les característiques semblants que tenen.

3.3 Parts del làser

Per a explicar les parts del làser m'he basat en un tipus de làser estàndard les peces del qual són comunes en qualsevol tipus de dispositiu. Com que avui en dia, hi ha molts tipus de làsers i cada un està construït d'una manera diferent que afavoreixi les qualitats del tipus de medi actiu que tingui, és del tot impossible explicar només un únic model, ja que no hi ha cap làser que tingui un sistema idèntic a qualsevol altre.

3.3.1 Medi Actiu

El medi actiu és l'espai on es regula totes les qualitats del làser, és a dir, la longitud d'ona, la potencia del làser, el sistema d'emissió que ja pot ser o bé polsada o continua. També s'hi produeix l'efecte quàntic d'emissió estimulada. Aquest fenomen es basa en l'excitació d'un àtom present en el medi actiu per al descens d'un dels seus nivells d'energia i la despresa espontània d'un fotó per compensar la disminució del nivell d'energia associat. Això es produeix contínuament fins a que es desconnecta el làser (explicació en l'apartat 3.4).

El material del medi actiu ha de complir que augmenti l'eficàcia i que redueixi les pèrdues que es produeixen en el medi actiu i la cavitat làser. Com que el material ens marca l'eficàcia del feix de llum, cal que utilitzem un material idoni, els quals no n'hi ha massa en la natura que s'ajustin del tot al que es busca quan ens referim a un medi actiu. El primer làser que es va construir tenia per medi actiu un cristall de robí. El medi actiu pot ser un semiconductor, com dues piles connectades a dos terminals, per exemple. També pot ser un medi actiu gasós com un per exemple un làser d'Heli-Neó i un làser d'estat sòlid com per exemple un cristall YAG.

3.3.2 Cavitat làser

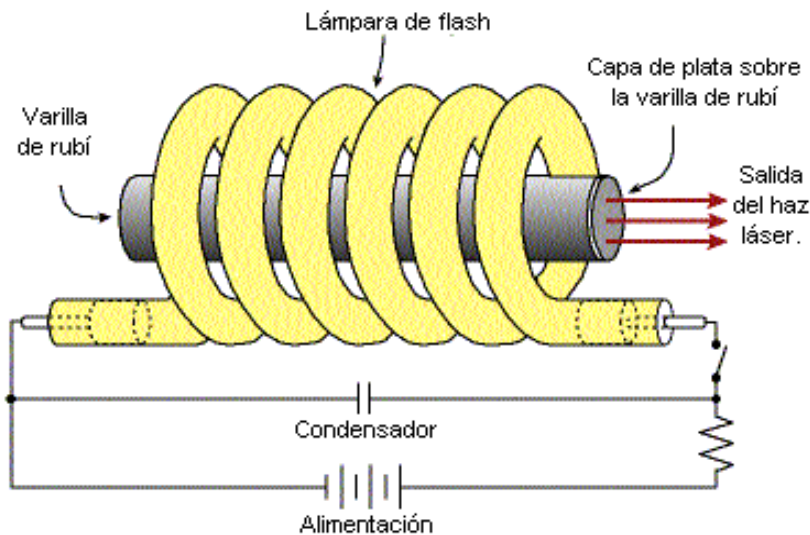
És l'element que fa que la llum es mantingui constant gràcies al seu sistema de miralls. El primer làser que es va construir tenia a les vores de la cavitat un tub de centelleig que emetia llum intensa quan s'encenia o es connectava el làser. Aquest tub servia per emetre llum i d'aquesta manera estimular els àtoms del medi actiu.

Avui en dia aquest tub es present en un número reduït de làsers ja que s'utilitzen mètodes més eficaços per emetre els primers fotons incidents per iniciar el procés, el qual acostuma a ser de gas, concretament i en la major part dels casos, de Xenó.

La cavitat làser engloba el medi actiu que és on es produeixen l'efecte quàntic, és a dir, d'alguna manera, és la càpsula on transcorren tots els processos. Està format, com s'ha dit anteriorment, per dos miralls els quals tenen característiques diferents degut a la seva funció específica. Un mirall fa de reflector total aproximadament de tota la llum que rep creada pel medi actiu i l'altre fa una reflexió menor que el primer. Els miralls es construeixen segons la necessitat i el tipus de làser. Ja poden ser plans o lleugerament esfèrics. Si per exemple, volem un làser d'estat sòlid, haurem de situar els miralls a les parets del medi actiu. També es poden construir sobre una estructura de vidre. Tot això serveix per assegurar-se de que la llum que circula i rebota de banda a banda del medi actiu estigui estabilitzada sobre un mateix feix.

En la següent imatge tenim la disposició de les parts del làser concret que hem explicat anteriorment. Dit esquema està expressat en forma de circuit elèctric. Com podem observar, disposem d'una font d'alimentació, un interruptor per moderar-ne l'activitat, un condensador i una resistència per ajustar el circuit a la intensitat i a la potència, que requereixen les peces clau per al funcionament del làser. La làmpada de flaix seria l'activador del procés (serpentí groc). Com hem dit abans, des d'aquí iniciem l'estimulació del primer àtom. La vareta de Rubí seria el medi actiu íntegrament.

El Rubí és el material del qual està format el medi actiu que està situat dins de la cavitat làser que seria el cilindre gris que observem en imatge. A cada extrem de la cavitat tenim situats els dos miralls reflectors per produir-ne l'efecte quàntic de manera repetida al llarg del temps en que tinguem encès el làser. A la dreta del tub hi tenim el reflector parcial i a l'esquerra el reflector total. Per últim observem per allà on surt el feix de llum, i com podem deduir surt a l'exterior per la mateixa zona on està situat el mirall semi-reflector.



<http://www.monografias.com/trabajos61/laser-aplicaciones/laser-aplicaciones2.shtml>

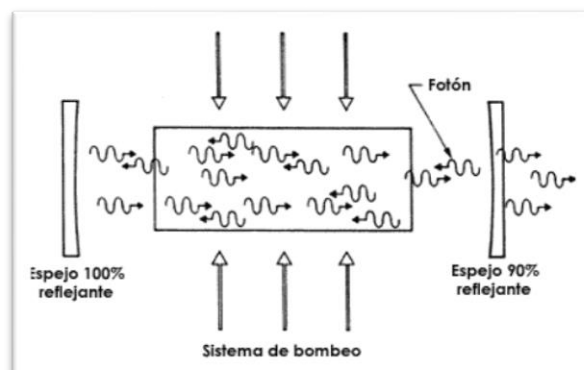
3.4 Sistema de funcionament

El làser funciona basant-se en dos efectes específics que fan que el làser emeti un feix de llum coherent. Els dos efectes són l'emissió estimulada i l'absorció del bombeig. Cadascun d'aquests efectes té lloc a una part específica del làser. En concret, l'emissió estimulada té lloc al medi actiu i l'absorció del bombeig a la cavitat ressonant junt amb els miralls que en formen part.

Primer de tot els àtoms de dins del làser estan en nivells estables. Aquests són excitats mitjançant un feix de llum de bombeig, en aquest cas un tub de centelleig, que produeix l'energia fotònica suficient al voltant de la cavitat làser al brillar. D'aquesta manera quan s'envia un fotó per estimular un àtom aquest redueix un nivell d'energia, cosa que produeix l'emissió d'un fotó. Aquest procés rep el nom d'emissió estimulada. Aquests fotons tenen la mateixa freqüència que els fotons incidents, és a dir, els emesos pel tub de centelleig i es desplacen en fase amb els fotons produïts. Aquest moviment fa que els fotons xoquin constantment amb els àtoms excitats existents en el medi actiu del làser amb el resultat de la despesa de nous fotons.

La llum s'amplifica i per tant, augmenta la seva intensitat, a mesura que els fotons van rebotant de mirall en mirall situats a la cavitat làser. El fotons emesos són idèntics entre sí i per tant, contenen la mateixa energia cosa fa que la llum làser només sigui d'un color i que només es desplaci en una única direcció. A mesura que van rebotant es va produint la emissió estimulada una i una altra vegada ja que el xoc entre els fotons amb els àtoms excitats del medi actiu és continu. Com hem vist abans, hi ha un mirall que no reflexa amb totalitat; és allà, per on el feix de llum creat al nucli del làser surt a l'exterior a través d'aquest mirall.

D'altra banda, l'absorció del bombeig està relacionat amb la capacitat de la cavitat làser per a retenir els fotons i no deixar que escapin fora del recinte, ja que sinó els fotons creats a partir de l'estimulació dels àtoms de Rubí no xocarien amb d'altres, perquè no n'hi haurien i per tant, l'efecte quàntic d'emissió estimulada s'aturaria. El determinat raig de llum que nosaltres podem observar quan encenem el làser és el resultat de tot aquest procés amplificat una i altra vegada deixat passar a través d'un dels dos miralls que és menys reflector que l'altre.



http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/105/htm/sec_6.htm

3.5 Tipus de làsers

Els làsers es poden diferenciar entre ells en funció del material en que està compost el seu medi actiu, que com ja hem dit abans, és la part concreta on es produeix l'estimulació dels àtoms del material i la consegüent producció de nous fotons de manera espontània per a contrarestar l'augment d'energia.

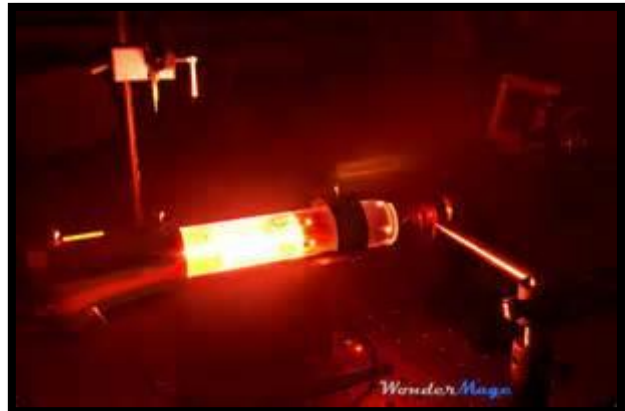
A continuació, veurem els làsers més emprats avui en dia amb els diferents materials que pot estar format el medi actiu que és el que els caracteritza.

3.5.1 Làser de gas

Els làsers de gas es caracteritzen perquè el seu medi actiu està format per àtoms d'un element gasós.

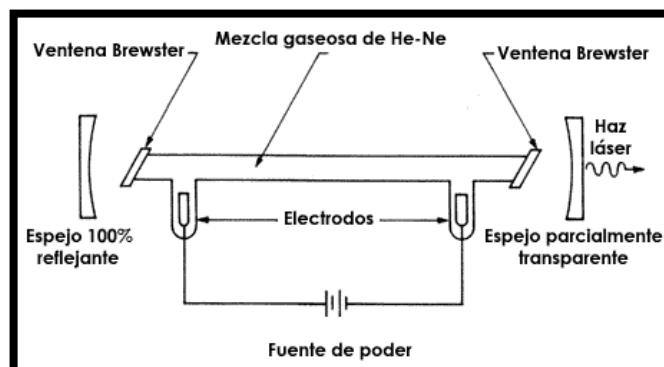
Un dels més comuns és el làser d'Heli-Neó (He-Ne). Aquest làser té un medi actiu format per una mescla entre dos gasos nobles com són l'Heli i el Neó. S'utilitzen sobretot per a demostrar fenòmens quàntics al laboratori i també en diverses operacions de mesura.

La seva llum és de color vermell ja que la seva longitud d'ona és d'aproximadament uns 633nm (l'espectre electromagnètic ens marca quin color tindrà la llum del làser en funció de la seva longitud d'ona). Per iniciar el bombament dels fotons per produir l'emissió estimulada són necessaris 1000V que s'aconsegueixen a partir de dos elèctrodes connectats a cada costat del medi actiu.



www.wondermage.com/

Per cada 5 parts d'Heli, n'hi ha 1 part de Neó. El gas està a una pressió de 300Pa, és a dir, aproximadament 0,003 atm, per tant, una pressió molt baixa. Els dos miralls estan situats entre 15 i 20cm entre sí i la potencia amb que poden sortir els fotons resultants de l'estimulació pot ser entre 1 i 100mW.



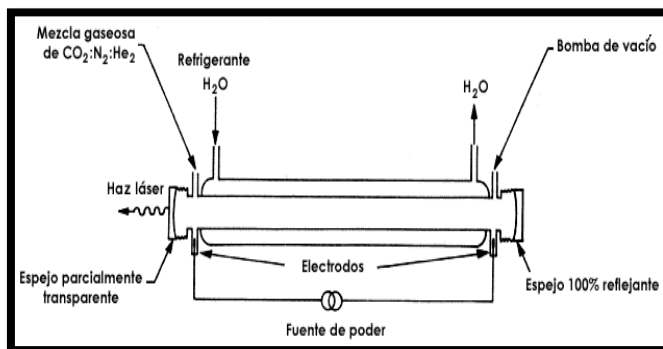
Parts del làser de He-Ne

<http://www.monografias.com/trabajos61/laser-aplicaciones/laser-aplicaciones2.shtml#xtiposlaser>

També existeix el làser de diòxid de carboni que està format per un gas i un tub de refrigeració per on acostuma a circular aigua. La seva longitud d'ona està compresa entre 9,4 i 10,6 micres, per tant, entenem que la seva radiació és infraroja. El medi actiu està format per diòxid de carboni però també hi ha Nitrogen, Hidrogen i Heli.

El procés per a la emissió estimulada en el làser del diòxid de Carboni es força complex, és a dir, les diferents fases del bombeig a la estimulació es duu a terme mitjançant combinacions entre els diferents gasos. El làser de diòxid de Carboni té una gran potència degut a l'abundància de gasos que es combinen entre sí. Això fa que el seu preu sigui elevat. En canvi, té infinitat de aplicacions; per exemple, en la indústria, s'utilitza per tallar peces de metall o per soldar-les.

També s'aplica en operacions militars com per exemple per marcar objectius terrestres o aeris. Per últim també es pot aplicar en especialitats quirúrgiques degut a la seva curta longitud d'ona que és especialment favorable per als teixits dels éssers vius.



Parts del làser de CO₂

<http://www.monografias.com/trabajos61/laser-aplicaciones/laser-aplicaciones2.shtml#xtiposlaser>

També destaca el làser excímer, el medi actiu del qual està format per una combinació d'un gas noble com argó, kriptó o xenó amb un gas reactiu com pot ser el Clor o el Fluor.

Per a l'estimulació dels àtoms del medi actiu elèctricament cal crear una molècula, en aquest cas un excímer, la qual només es pot originar en nivells d'energia elevats per a generar llum làser entre les longituds d'ona que comprèn el rang ultraviolat. El làser en sí, s'anomena excímer, ja que per a realitzar la combinació amb els gasos nobles es requereix un excímer, és a dir, un dímer (dos monòmers enllaçats entre sí de curta vida) que hagin estat excitats. El fet que el làser funcioni amb un excímer és que té la capacitat de funcionar en un estat excitat i en un estat no excitat. Això és essencial ja que els gasos nobles, al ser inerts no solen formar compostos químics. En canvi, quan se'ls indueix electricitat poden formar dímers variables en el temps enllaçats entre sí o amb gasos halògens reactius com el Clor o el Fluor. Després d'aquesta combinació es forma un compost excitat. Aquest mateix compost és capaç d'alliberar l'energia de bombeig per a estimular els àtoms del medi actiu i per tant produir l'emissió estimulada.

Aquest làser és molt utilitzat en productes electrònics petits com poden ser microxips o circuits integrats de dimensions reduïdes. També es creu que és un dels responsables de que cada dos anys es dobli el nombre de transistors en

circuits integrats, procés que té una pròpia llei associada i rep el nom de la Llei de Moore. Per últim, també cal afegir que la seva llum ultraviolada és molt útil per a la cirurgia ocular.

3.5.2 Làser d'estat sòlid

Els làsers d'estat sòlid tenen per medi actiu materials sòlids com diu el propi nom. Poden ser cristalls, vidres o fibres millorades amb materials específics. Tots són molt semblants entre sí, només varia el material amb que es combinen els vidres o els cristalls.

Els làsers YAG estan formats per un cristall d'Itri, Alumini i un mineral anomenat Granat. Aquests làsers es combinen amb materials sintètics obtinguts al laboratori i formen làsers amb longituds d'ona molt grans, d'entre 1000 i 2000nm aproximadament a excepció del làser YAG de neodimi. Com a característica també podem afegir-hi que aquests làsers emeten un pols molt continuat. Els làsers YAG més utilitzats i comuns són aquells que es combinen amb neodimi trivalent (1064nm o 532nm si doblem la freqüència mitjançant un cristall no lineal), erbi trivalent (2900nm o 1645nm), tuli trivalent (2015nm) i homi trivalent (2090nm).

També existeixen un tipus de làser que es combinen amb metalls de transició com el làser de safir que es combina amb titani trivalent. Aquest làser té la peculiaritat de poder variar la longitud d'ona, des de 650 a 1100nm, és a dir, que podem utilitzar des de llum vermella fins a radiació infraroja.

A part, del làser de safir també hi ha el làser de robí, el qual emet llum amb longitud d'ona de 694,3nm, és a dir, emet un color vermell aproximat al roig fosc. Com a anècdota, podem afegir que el primer làser es va construir amb un cristall de robí idèntic al qual estem explicant.



Làser d'estat sòlid

<http://www.nei.com.br/produto/2009/08/laser+de+estado+solido+changchun+new+industries+optoelectronics+tech+co+ltd.html>

3.5.3 Làser de semiconductor

Aquest tipus de làser es caracteritzen per tenir un material semiconductor d'unió positiu-negatiu. Aquestes regions tenen una estructura complexa que es fa funcionar mitjançant un díode per produir un efecte làser. En la unió p-n, es dona el cas de un espai buit en el positiu i un electró al negatiu. Aquest cas suposa un estat excitat. Quan es recombina l'estat, és a dir, es fusiona amb un altre parell p-n produeix l'emissió de fotons.



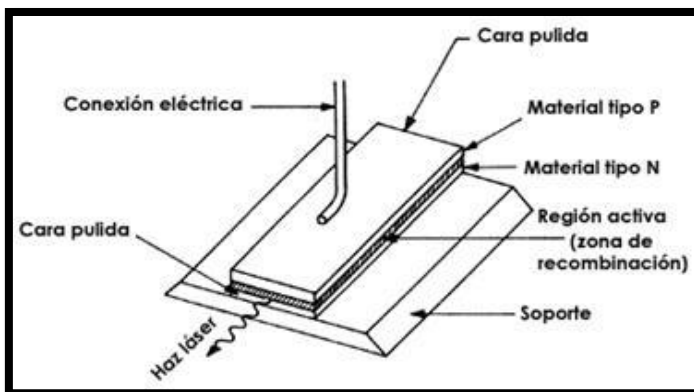
Díode Làser

http://www.3bscientific.es/diodo-laser-1000-mw-u14022,p_652_1018.html

L'emissió estimulada en els làsers de semiconductor no es deu al descens del nivell d'energia de certs àtoms del material sinó que s'ha de considerar els costats d'absorció del material com a una sola unitat.

Dins del làser semiconductor destaquen dos tipus de làser específics en funció del tipus de semiconductor que estem utilitzant.

El làser de díodes s'utilitza en punters làser, impressores, lectors de CD, DVD, com en altres diversos complements electrònics.



Parts del làser de semiconductor

<http://www.monografias.com/trabajos61/laser-aplicaciones/laser-aplicaciones2.shtml#xtiposlaser>

Aquest tipus té avantatges i desavantatges, per exemple consumeix molt poc, pesa poc i ocupa poc volum com a avantatges i té una alta sensibilitat als canvis de temperatura i es sobreescalfa quan passa la corrent sobre el díode com a desavantatges.

3.5.4 Làser d'electrons lliures

El làser d'electrons lliures té el mateix funcionament que tots els altres làsers però a l'hora de generar els fotons es basa en un principi totalment diferent a l'emissió estimulada.

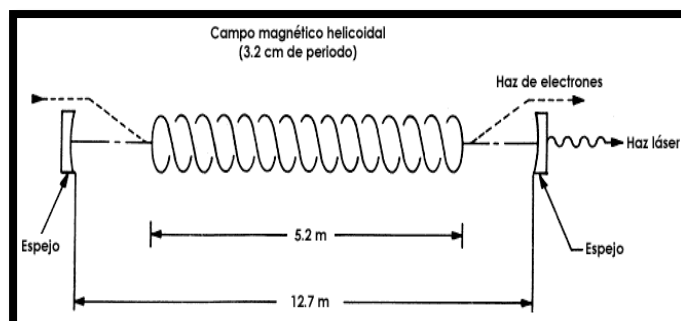
Aquest làser, en comptes d'estimular els electrons i reduir-ne els seu nivell d'energia, el que fa és accelerar a velocitats altíssimes com a mitjà per a produir el feix de llum làser.

Com hem vist en l'apartat d'ones electromagnètiques, recordem que les càrregues elèctriques en moviment individual i variables en el temps formen un camp magnètic. És per això que el làser ha adoptat aquest nom, ja que quan disparem les càrregues i augmentem la seva velocitat, giren en un camp magnètic lliurement.

El funcionament en sí, és força complex; s'accelera els electrons en un sistema semblant al dels acceleradors de partícules, és a dir, s'accelera els electrons fins a una velocitat propera a la llum fent-los passar per un camp magnètic format per dos fileres d'imants amb inversió dels seus pols (positiu-negatiu, negatiu-positiu). Aquest procés d'imantació s'anomena ondulator ja que quan els electrons són pertorbats per l'acció del camp magnètic format pels imants formen una trajectòria sinusoidal, és a dir, una ona. Aquesta radiació formada és l'encarregada de separar els electrons i deixar-los lliures mitjançant la mateixa longitud d'ona de la radiació.

Hi ha molt pocs làsers d'aquest tipus actualment, però com és un mètode molt més senzill i independent de que es produeixi un efecte quàntic força complex, és molt interessant de cara el futur per construir nous làsers i noves formes de produir llum manualment. Aquest làser es pot sintonitzar en un ampli rang de longituds d'ona de l'espectre electromagnètic, aspecte que el fa molt útil segons per a què el volem utilitzar.

N'és un dels més pràctics ja que pot ser utilitzat tant en el camp de la investigació científica tant en física, en química o en biologia, com en medicina, fabricació d'armes, aeronaus i vehicles en la indústria militar i la recerca de nous materials tant ja existents com possibles de generar dins d'un laboratori.



Parts del làser d'electrons lliures

<http://www.monografias.com/trabajos61/laser-aplicaciones/laser-aplicaciones2.shtml#xtiposlaser>

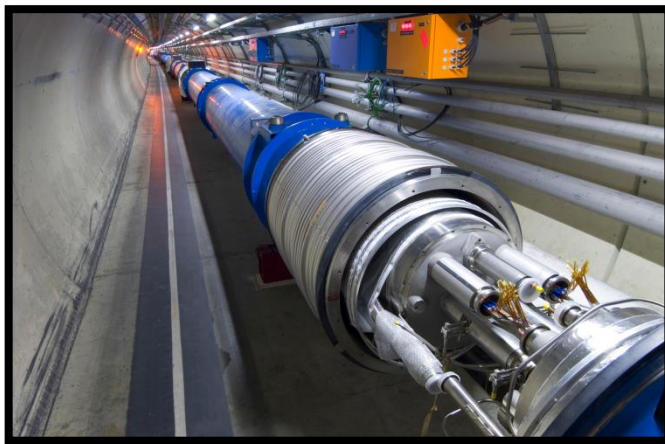
4. APLICACIONES DEL LÀSER

Avui en dia, el làser és i ha estat necessari per al descobriment i el la comprensió del funcionament de cossos existents en la naturalesa que són imprescindibles per a entendre el desenvolupament i així poder dur a terme processos a una escala considerablement major. En els següents subapartats s'explicarà les diferents parts on el làser pot ser aplicat per ajudar de manera directa o indirecta al descobriment noves tecnologies, a la optimització de processos, a l'automatització de mecanismes, etcètera.

4.1 Investigació científica

La primera aplicació del làser en la investigació científica ens duu cap als acceleradors de partícules. El làser forma una petita part i té una utilitat senzilla però elemental per al funcionament d'aquests aparells. Un accelerador de partícules és un sistema que utilitza l'electromagnetisme per accelerar partícules girant a través d'un tub, una i una altra vegada, de manera que va agafant velocitat progressivament fins que arriben a una velocitat determinada i es fa xocar aquestes partícules accelerades per obtenir noves partícules desintegrant les càrregues accelerades a causa del xoc.

Hi ha diversos tipus d'acceleradors de partícules que es diferencien entre sí ja que tenen un funcionament diferent. Entre ells varia la manera d'accelerar les partícules. Per exemple, entre els acceleradors lineals i circulars s'aprecia la diferència que en un s'apliquen plaques amb un camp elèctric altern i de polarització invertida que fa que es produeixi una repulsió i la càrrega acceleri, i en l'altre es combina un camp elèctric amb un camp magnètic cosa que afavoreix a l'acceleració de les partícules en menys espai respectivament. També existeixen els ciclotrons, en els quals l'acceleració es produeix en fer passar les càrregues a través de quatre imants agrupats en dos parells. Cada parell forma un dipol magnètic altern carregat de manera diferent a l'altre, i això fa que es produeixi una diferència de potencial que és el que provoca l'acceleració. Per últim també existeixen els sincrotrons que simplement són capaços de produir energies més altes i per tant el pressupost és molt més elevat.



Accelerador de partícules (CERN)

<http://www.bing.com/images/search?q=accelerador+d e+particulas&FORM=HDRSC2#view=detail&id=BEF31B287535C4A8076BC64B7D56B3B70A78AE62&selectedIndex=7>

Quan una partícula es desplaça a través de camps electromagnètics es relacionen dues equacions de les quals en sorgeix una unificada i és important tenir en compte per al funcionament dels acceleradors de partícules:

$$\left. \begin{aligned} F &= q(\vec{E} + \vec{v} \cdot \vec{B}) \\ F &= m \cdot a = m \cdot \frac{dv}{dt} \end{aligned} \right\} m \cdot a = q(\vec{E} + \vec{v} \cdot \vec{B}) \rightarrow \frac{m}{q} \cdot \frac{dv}{dt} = (\vec{E} + \vec{v} \cdot \vec{B})$$

Com podem observar, hem unificat la equació de Lorentz amb la segona llei de Newton, fins a arribar a una equació diferencial que ens indica que el moviment d'una càrrega a través d'un camp electromagnètic depèn de l'acceleració que li donem a dita partícula i de la seva relació massa-càrrega.

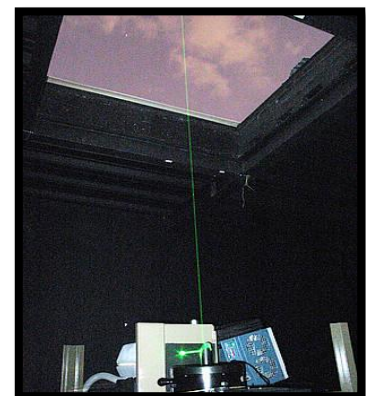
Hem deixat l'equació d'aquesta manera (separant la relació massa-càrrega), ja que si dues partícules tenen el mateix valor en aquesta relació, suposarà que el seu moviment a través del camp electromagnètic és igual.

Després de fer un breu incís sobre el funcionament dels acceleradors de partícules ens centrarem en què fa el làser dins de tot aquest sistema complex. Bàsicament es fa servir per a dues coses: Es pot fer servir per calentar una partícula enfocant cap a ella per a que es produeixi un moviment i per tant es carregui dita partícula.

Aquesta partícula ens servirà per accelerar el moviment de rotació del camp de força amb que estiguem treballant. També s'utilitza per l'activació de commutadors en diversos dispositius del accelerador en sí, ja que la velocitat de la llum supera la velocitat a la que porten les partícules al llarg del tub i per tant sempre s'activarà abans que arribi la partícula al punt on hi ha el dispositiu que s'activa amb el commutador. Això permet més fiabilitat en comptes de realitzar cert procés mitjançant tècniques mecàniques.

A part, de estar aplicat en acceleradors de partícules també podem utilitzar el làser per a mesurar la quantitat de contaminació atmosfèrica en suspensió en un espai determinat. Si es produeixen moviments en l'escorça, el làser es capaç de detectar-los, a més de poder calcular distàncies entre un punt i un altre. També és útil en ciència forense per detectar algun tipus de matèria o substància en algun determinat material. A més d'això, es pot fer una inducció d'una reacció química prèviament preparada a partir d'un feix làser i per últim, recentment, s'ha creat un sistema com una espècie d'espectròmetre per analitzar els espectres de diferents àtoms fent-los retenir en un feix de llum làser.

Per tant, com podem observar, hi ha un ampli rang de possibilitats d'aplicar el làser de manera útil en tot el que engloba la ciència, és a dir, és potencialment considerat a l'hora de realitzar futurs descobriments o d'altres que ja estan en marxa. Cal dir també que la investigació científica o la ciència en general, és el camp on més utilitat té el làser, com bé hem pogut observar en els paràgrafs anteriors.



Sistema làser de detecció de contaminació atmosfèrica

<http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/estacion-atmosferica-de-la-un-es-estrategica-a-nivel-global.html>

4.2 Indústria

En la indústria, la utilització del làser es fa servir per optimitzar processos, és a dir, fer-los més ràpidament i per tant augmentar la producció en un temps reduït. El làsers que s'apliquen en la indústria solen tenir el medi actiu fet de gas ja que tenen molta potència.

Per exemple, el làser s'aplica per a fondre materials ja que si enfoquem la llum d'alta intensitat i gran potència durant un temps prolongat, creem una gran densitat d'energia i per tant escalfem el material a altes temperatures, tals que podem fondre el material i arribar a vaporitzar-lo.

També es pot arribar a tallar i a soldar. La potència d'aquests aparells és tant elevada que fins i tot són capaços de perforar el diamant que és el material més dur de la terra. A més, s'utilitzen per modelar qualsevol material, per posar-nos en situació, el làser pot donar forma a màquines específiques, sense anar més lluny, s'aplica en les impressores 3D.

A part, també se li pot donar forma a dispositius electrònics ja que és possible enfocar de forma molt precisa perquè el punt de llum és molt concret i com hem justificat en l'apartat de les característiques de la llum làser, la seva coherència i direccionalitat ens ajuda a que no es dispersin els raigs que formen el feix.

Això és tot per a l'optimització de la producció d'objectes i de processos industrials.

No obstant, cal afegir una important aplicació en l'indústria nuclear que permet augmentar el rendiment de la central i per tant augmentar-ne la producció d'energia i reduir-ne el temps.

El làser ens permet produir una reacció nuclear, en aquest cas una reacció de fusió. Aquest procés és més ràpid i més eficaç que les indústries nuclears convencionals.

Recordem que una reacció de fusió es basa en ajuntar dos nuclis atòmics per crear-ne un més gran i de major energia. S'utilitzen diversos làsers de raigs X o d'electrons accelerats apuntant directament cap al combustible. També s'enfoca indirectament cap a unes plaques característiques que produeixen raigs X, procés el qual és més efectiu que l'enfocament directe. El làser juga un paper important ja que redueix aquesta fusió a petits grànuls d'una mescla de deuteri i triti. Aquest procés es produeix a causa d'una implosió de gran densitat d'energia. D'aquesta manera s'assegura que els àtoms de deuteri i triti no es separin massa i no hi hagi opció a que es provoqui cap anomalia no desitjada.

Aquest procés s'anomena confinament inercial i està basat en un funcionament força complex que explicarem a continuació.

Primer de tot cal preguntar-se el perquè d'aquest procés. Farem incidir partícules, en aquest cas fotons, per augmentar la pressió de la càpsula on hi ha el combustible i d'aquesta manera augmentar-ne la densitat. El motiu d'aquest fet es l'augment de partícules en el mateix espai on es situa el combustible, i la de retruc la temperatura, ja que dit augment de la concentració farà que estiguin en contacte entre elles i es produeixin xocs, els quals desembocaran en la producció d'agitació tèrmica i per tant un augment de la temperatura.

Com que els fotons, són un corpuscle i per tant tenen massa i ocupen un lloc en l'espai tenen un moment de força associat, i per tant crearan un augment de la pressió en la càpsula del deuteri i el triti.

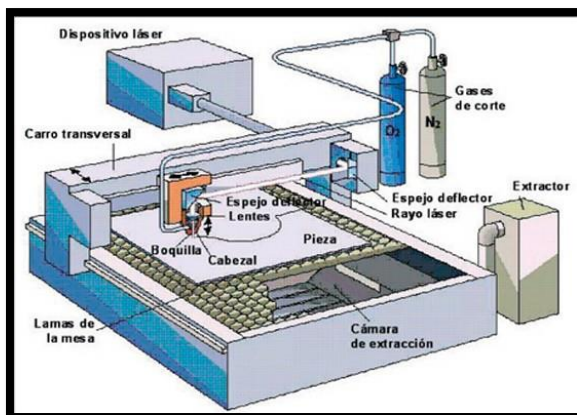
Per tant, primer de tot cal projectar el feix de llum sobre la càpsula del combustible. En aquest procés s'emeta energia a l'exterior de la càpsula on es crea una capa de plasma calent. Recordem que el plasma es correspon a un estat d'agregació de la matèria, que es basa en un fluid gasós les partícules del qual estan carregades elèctricament i no mantenen cap equilibri electromagnètic.

Aquesta energia produïda pel làser es transmet cap a l'interior de la càpsula produint-ne la implosió de la càpsula, és a dir, l'ona expansiva creada per l'energia fotònica es desplaça cap a l'interior de la càpsula i comprimeix el combustible amb el consegüent augment de la seva densitat. Comprimir el combustible desemboca en un augment de l'energia cinètica de les partícules (com que l'espai no varia, l'augment de partícules fa que es recol·loquin i per tant es produeixin xocs entre elles, això fa que es moguin i per tant existeixi energia cinètica).

Aquesta energia cinètica es transforma en energia interna de la partícula i desenvolupa un augment molt gran de la temperatura, degut a l'agitació tèrmica produïda. Tots aquests fenòmens entre la interacció de les partícules s'expliquen gràcies a la teoria cineticomolecular. Un cop adquirit l'augment de la temperatura, ja podem continuar el curs del funcionament d'una central nuclear. En resum, mitjançant un conjunt de làsers hem pogut produir una fusió nuclear, el procés del qual, és molt més eficaç que els mètodes tradicionals i molt menys contaminant, per tant, aquest procés s'hauria de tenir molt en compte de cara al futur.

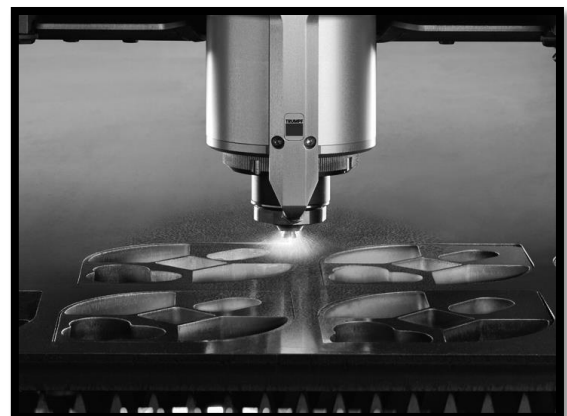
Sistema de tall industrial amb làser d'Oxigen i Nitrogen

<http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/12110-Tecnologias-de-corte-de-chapa.html>



Imatge augmentada del tall d'Alumini amb làser d'Argó

<http://tallersggb.net/servicios/>



4.3 Telecomunicacions

Quan apliquem el làser en el camp de la comunicació, principalment fem referència a la fibra òptica. Aquest recurs és molt utilitzat avui en dia, gràcies a la velocitat en que s'envien dades i amb la qualitat en que arriba la senyal. Aquest sistema s'està imposant avui en dia, ja que dobla en velocitat de transmissió a les senyals que es transmeten via ones a través de l'aire.

L'energia necessària per bombar un làser a través de la fibra és gairebé inapreciable. A més, es poden enviar infinitat de dades, ja que la llum làser, al ser monocromàtica, permet que la senyal sigui d'una sola longitud d'ona, i per tant, no es distorsioni, degut a que no té la capacitat de variar entre una altra longitud d'ona possible (cada sintonització de ràdio o televisió té la seva pròpia longitud d'ona).

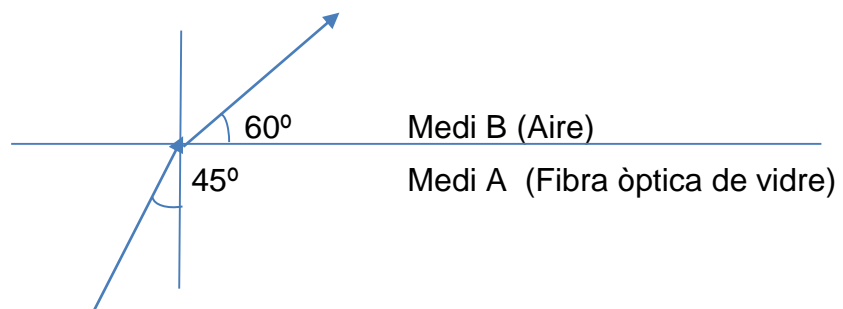
En general, es vol dir que el làser al ser monocromàtic, és capaç d'evitar el distorsionament dels pols enviats pel làser.

La fibra òptica en sí, es basa en un conjunt de tubs fins o fils transparents formats per un material que pot ser plàstic o vidre, pel qual circula la llum que conté la informació que es vol transmetre. Aquests pols de llum són emesos o bé per un làser, o bé per un LED.

Aquest sistema es basa en la reflexió interna total en el qual la llum es propaga amb un angle superior a l'angle límit amb totalitat de reflexió. És força semblant al sistema de funcionament que s'utilitza en els hivernacles. La reflexió interna total es produeix quan l'índex de refracció del medi cap on es dirigeix el raig és més petit que el índex del medi originari. Això produeix que el raig no sigui capaç de refractar-se i per tant es reflecteixi totalment, és a dir, que formi el mateix angle amb el que ha incidit el raig. Aquest fenomen només es produeix quan l'angle en que incideix el raig és més gran que el valor de l'angle crític.

$$\text{Angle crític : } \theta_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1} \quad \left. \begin{array}{l} \theta_1 > \theta_c \rightarrow \frac{n_2 \cdot \sin \theta_2}{\sin \theta_1} > \arcsin \frac{n_2}{n_1} \rightarrow r. total \\ \text{Angle incident : } n_1 = \frac{n_2 \cdot \sin \theta_2}{\sin \theta_1} \end{array} \right\}$$

$$\text{Angle incident : } n_1 = \frac{n_2 \cdot \sin \theta_2}{\sin \theta_1}$$

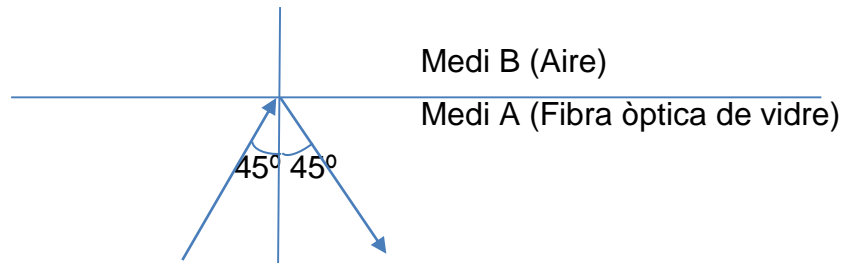


$$n_B = 1 \quad \theta_A = 45^\circ$$

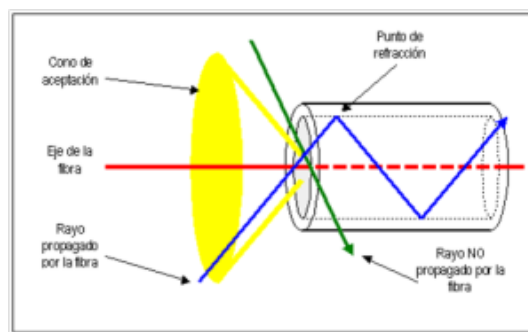
$$n_A = 1,5 \quad \theta_B = 60^\circ$$

$$\theta_c = \arcsin \frac{1}{1,5} = 41,8^\circ$$

Un cop calculat l'angle crític, observem la relació $\theta_A > \theta_c$. Com podem veure l'angle incident és més gran que l'angle crític i per tant aquest angle seria capaç de produir una reflexió interna total i quedar de la següent manera :



Aquesta il·lustració mostra precisament el funcionament de la fibra òptica. L'angle dels raigs lluminosos es superior a l'angle crític i això fa que es produeixi la reflexió total i per tant les dades es quedin dins de la fibra òptica sense que es produeixi cap mena de pèrdua. A continuació explicarem per què els raigs són capaços de establir un angle determinat per superar l'angle crític i per tant que es produeixi la reflexió total.



Sistema de funcionament de la fibra òptica

<http://ropalmaromera.files.wordpress.com/2011/08/imagen2.png>

En aquesta imatge podem observar les parts de la fibra òptica. El més important, és el con d'acceptació, ja que si els raigs passen a través d'ell tenen un angle determinat superior a l'angle crític i per tant entren a la fibra i produeixen la reflexió interna total (raig blau). En cas de que el raig no passi a través del con d'acceptació (raig verd) no es propaga per la fibra ja que l'angle crític és superior a l'angle d'incidència d'aquest raig i per tant no produeix l'efecte reflector. A partir d'aquí si el raig és acceptat, es va produint l'efecte una i altra vegada fins a arribar al destí on han d'arribar les dades emeses.

Avui en dia, és el mitjà de comunicació de dades més utilitzat. Això és així per dues raons; la primera és que la llum té una velocitat de propagació molt alta i per tant les dades triguen molt poc en arribar al seu destí (encara que la llum a través de la fibra no es desplaça a una velocitat tant elevada com la de la llum). La segona raó, és que aquest sistema no pateix les interferències que produeixen els camps electromagnètics i per tant tot el procés és més ràpid.

4.4 Robòtica

El làser també té la seva aplicació corresponent en el camp de la robòtica. Especialment el podem trobar en drons, autòmats industrials, robots, etcètera. L'aplicació del làser és força curiosa en tots éssers robòtics controlats per l'home mitjançant diversos mitjans; s'utilitza el làser en combinació amb altres components per simular el sentit visual del robot, és a dir, actuen com a ulls de la màquina creada.

En general, i d'una manera més àmplia de dir-ho, volem construir un sistema làser que mesuri la distància entre el robot i l'obstacle que tingui davant seu. El cas és que per simular la visió d'un robot, es necessita a part d'un o dos làsers, una càmera. Llavors, el que nosaltres volem aconseguir és crear un sistema visual en el qual el robot efectui certes accions en funció del que li demanem guiant-se per els seus "ulls".

Cal afegir que aquest sistema de programació visual d'un robot, és en el que està basat la meva pràctica i per això no explicaré en aquest punt al detall cada punt de dit sistema.

Mitjançant un programador d'ordinador li podem demanar que quan es trobi a 3cm de l'obstacle, inverteixi la polarització de les seves bateries (no oblidem que és una màquina i necessita energia per efectuar moviments), i s'aturi. No obstant això, com mesura la distància entre els dos punts? Només cal utilitzar la trigonometria i conèixer les propietats de la càmera de la que disposem. Si combinem aquest dos factors ja tindrem el nostre sistema làser aplicat a robots.

També podríem mesurar la distància entre els dos punts amb un sensor d'ultrasons o infrarojos i calcular el temps que triga a retornar el feix làser al receptor després d'haver xocat amb l'obstacle.

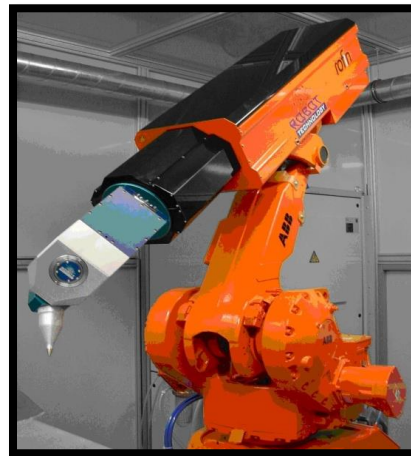
Sabent la velocitat de la llum, amb cert error del làser, ja podríem calcular l'espai que separa els dos punts.

A tot això, cal dir que és més eficient per a robots el sistema de triangulació o trigonometria ja que és més acurat per a un rang de distàncies en les quals aquestes màquines tenen el seu ús.



Autòmat aspirador amb visió pròpia

<http://www.cis.pku.edu.cn/vision/Visual&Robot/english/research/research.html>



Braç mecànic amb làser integrat

<http://r-yonemura.jp/info/robot-laser>

En el cas dels drons, que recordem, són vehicles guiats per control remot a distància, s'utilitza el mateix sistema però un làser més potent i una càmera amb més resolució degut a que al ser un vehicle aeri està sotmès a distàncies més elevades.

Bàsicament, aquesta és la principal aplicació per al ús de robots. Personalment crec que és essencial per a la robòtica a curtes distàncies l'ús d'aquest sistema amb làsers ja que és possible controlar el moviment del robot d'una manera més analítica i més acurada.

D'altra banda, el làser també és aplicat en robots per a un mode enfocat a l'ofensiva, com podrien ser els drons, que a part de tenir el seu sistema visual amb làser, disposen de làsers per fixar objectius a l'hora d'atacar sobre un punt determinat. Això fa que els míssils es guiïn pel sentit del feix làser i per tant l'ofensiva sigui molt més precisa.

5. DESENVOLUPAMENT DE LA PRÀCTICA

La part pràctica d'aquest Treball de Recerca consisteix en l'elaboració d'un sistema telemètric làser. L'estructura i el software d'aquest sistema poden ser combinats com a un i ser aplicats en el camp de la robòtica com a un sistema de visió per a robots i drons. No obstant, nosaltres només construirem el sistema de medició sense aplicar-lo a un camp específic. La col·locació en l'espai de cada dispositiu utilitzat és summament important ja que ens hem basat en principis trigonomètrics relacionats amb la posició dels objectes per a la realització de la pràctica. Per al funcionament del processador de dades s'ha modificat un codi de programació OpenSource utilitzant el programador Visual Bàsic per adaptar-lo al nostre conjunt de dispositius.

Una de les aplicacions del làser, concretament en la part de robòtica, està basada en el processament de dades per l'obtenció de la distància entre dos punts concrets. Doncs bé, per fer això cal disposar d'una càmera web i òbviament, d'un ordinador per a processar les dades obtingudes i d'aquesta manera elaborar el programa de medició.

El làser utilitzat té una potència de menys de 5mW i una longitud d'ona de 650nm de manera que podem afirmar que estem tractant amb un làser que emet radiació amb un color vermell i pertany a l'estament de llum visible en l'espectre electromagnètic. A part d'això, hem utilitzat una càmera web Logitech c170 amb uns paràmetres de 640x480 píxels per a la captura de vídeo.

5.1 Selecció del sistema de mesura

Per a realitzar aquesta pràctica, ens hem basat en els principis de la triangulació, també anomenada trigonometria. S'ha seguit aquest procediment ja que és el més idoni per als rangs que comprenen tots els sistemes de visió robòtica. Primer de tot, vam haver de plantejar-nos tots els tipus de sistemes possibles per al processament de dades. Teníem diverses opcions a triar, cada una tenia els seus avantatges i les seves desavantatges. En aquest apartat justificarem el perquè de la tria d'un sistema de medició concret i per què no qualsevol dels altres possibles.

Entre les opcions a avaluar i posteriorment escollir, hi havia tres possibles mètodes: el sistema de medició per diferència de fase, considerant la diferència de recorregut de les ones en sortir i arribar al sensor; la medició mitjançant ones ultrasòniques en connexió amb sensors per a establir el temps de retorn des del xoc contra l'obstacle fins a arribar al receptor, i el sistema de triangulació amb dispositius receptors i emissors connectats entre sí d'una manera específica.

El fet de que les ones ultrasòniques tinguin una freqüència molt alta fa que siguin gairebé impossibles de captar i per tant el sensor hauria de ser molt potent per a la captació de dita radiació. Un cop haguéssim processat el temps de rebot entre l'obstacle i el receptor només caldria determinar la velocitat del so en l'aire i aplicar l'equació de la velocitat en funció de l'espai recorregut per unitat de temps. De manera que aïllant l'espai en l'equació anterior i donant valors ja podríem obtenir l'espai que els separa. També caldria afegir les pèrdues d'energia a causa de l'atenuació i l'absorció en el medi amb la consegüent pèrdua de velocitat (L'energia depèn en part de la velocitat i viceversa: $\frac{1}{2}mv^2$). No obstant això, necessitaríem molts pocs càlculs per a determinar la nostra qüestió, però en canvi, hauríem d'invertir molts diners en els receptors que degut a la alta freqüència, fa que tinguin un preu elevat. A més d'això, cal tenir en compte que la radiació ultrasònica es presenta en forma de con i per tant, es pot donar el cas que no mesuri just en el centre de l'objecte sinó en un punt més apropat o més allunyat. I per últim, nosaltres hem considerat que el medi per on es propaga el so és l'aire; la densitat de l'aire depèn de certes condicions atmosfèriques. Una en pot ser la temperatura ja que segons la llei dels gasos ideals:

On: P = pressió / V = volum / n = nombre de mols del compost /
 R = constant / T = temperatura

$$PV = nRT \rightarrow PV = \frac{m}{M_m}RT \rightarrow PV = \frac{m \cdot RT}{M_m} \rightarrow PV \cdot M_m = m \cdot RT$$

Com que $\delta = \frac{m}{V}$, ens quedaria que:

$$\frac{m}{V} = \frac{P \cdot M_m}{RT} \rightarrow \delta = \frac{P \cdot M_m}{RT}$$

A part de la temperatura, també hem de considerar la puresa de l'ambient a l'hora d'aplicar la velocitat del so, que es manté com una constant, és a dir, quan l'ona sonora passa a través d'una suspensió de partícules en el medi, tant d'aigua, com de contaminació atmosfèrica, etcètera, frena i disminueix la velocitat progressivament fet que desemboca en una davallada del valor velocitat del so en l'aire. És per això que cal tenir en compte que la densitat del aire ens pot fer errar en els càlculs ja que la velocitat no serà la que està posada de manera estàndard en les taules. Finalment, es va arribar a la conclusió que mesurar la distància entre dos punts mitjançant radiació ultrasònica desembocaria en l'obtenció d'un tant per cent d'error massa elevat com per parlar d'un sistema de mesura mitjanament exacte.



Sensors de radiació ultrasònica

www.forosdeelectronica.com/
<http://www.alpha-crucis.com/>

Pel que fa al mètode de diferència de fase es requereix un sensor que actuï com a emissor i captador de la radiació simultàniament ja que, d'aquesta manera, serà capaç d'enregistrar la fase que duia l'ona quan ha estat emesa i la podrà comparar amb la fase que dugui l'ona en arribar al sensor. Aquest aparell emissor-receptor té un preu massa elevat per a una pràctica el pressupost de la qual no volem que sigui massa desorbitat i en el que es busca simplicitat i efectivitat.

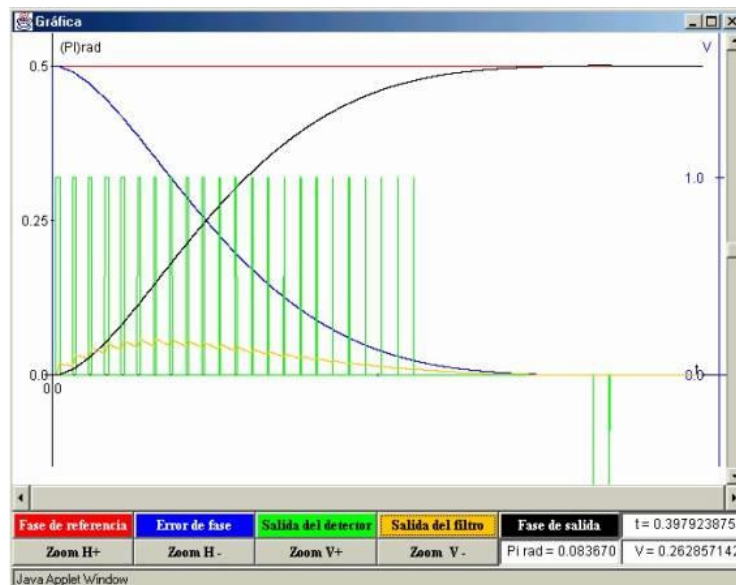


Dispositiu Emissió-Recepció

<https://dub120.mail.live.com/>

En la següent imatge observem un programa per al processament de les dades obtingudes en l'aparell de la imatge anterior. Quan acabem d'obtenir les dades en l'aparell, processem els resultats a l'ordinador i directament ens dibuixa una gràfica amb diferents variables. Podem observar que la fase de sortida és inversa a l'error de fase, el qual és nul, i per tant deduïm que hi ha hagut una diferència de fase entre l'ona emesa i l'ona captada.

El programa té uns algorismes concrets que efectuen uns càlculs i ens dona el temps que ha passat des de que ha sortit l'ona fins a la seva tornada al receptor. En aquest cas 0,4 segons aproximadament. Aquest processament de dades és molt útil a l'hora de calcular el temps per després treure'n la distància que separa el receptor de l'obstacle on hem fet rebotar l'ona.



<http://www.gr.ssr.upm.es/docencia/grado/elcm/software/>

	Ultrasons	Δ Fase	Triangulació
Resolució	5mm	0,1mm	1cm
Dist. Màx	5m	100m	1m
Mesura en superfícies reflectants	Si	Si	No
Distorsió amb poca visibilitat	Si	No	No
Mesura sobre posició concreta	No	Si	Si
Pressupost	Alt	Molt Alt	Mitjà

Mitjançant aquesta taula podem observar diverses característiques a l'hora de fer una tria pel nostre sistema de mesura. En primer lloc es relacionen les resolucions dels sensors (en els casos de ultrasons i variació de fase) i la resolució de la càmera. A continuació s'analitza la distància màxima a la que arriba la llum abans de just sortir rebotada cap al receptor. En el cas de la càmera, depèn de la resolució, és a dir, si la resolució és més alta, el làser s'apreciarà de manera més pronunciada en la càmera i per tant podrem calcular distàncies més llargues.

A partir d'aquí, s'avaluen els tres receptors per separat a l'hora de captar la llum, la capacitat de mesurar quan el làser es situa sobre una superfície reflectant (la llum es reflexa), quan es troba en una situació de poca visibilitat i per últim l'intentar mesurar sobre un punt concret; els ultrasons actuen de forma cònica i és molt poc precís, a diferència de les altres dues opcions les quals és un sol feix o punt.

És per això que finalment vaig escollir el mètode de triangulació mitjançant una càmera web, a més dels raonaments anteriors, perquè s'ajusta a les característiques que es buscaven abans d'iniciar la part pràctica, és a dir, que fos senzill, amb un pressupost normal-baix i òbviament que fos efectiu sobre un rang de <1m que és una distància suficient per a que un robot efectuï qualsevol tipus de tasques.

5.2 Mètode de triangulació i funcionament

Com hem citat anteriorment en l' introducció general a aquest apartat, el principi fonamental de la meua pràctica està basat en la trigonometria. Per al funcionament del projecte es necessita un làser com a referència i una càmera web que actua com a sensor receptor de la radiació làser. També necessitarem un ordinador per processar les dades obtingudes per la càmera i programar el software que més tard ens indicarà la distància entre dos punts concrets a partir d'un seguit d'algoritmes. Aquest sistema rep el nom de triangulació perquè el punt del làser projectat sobre l'obstacle, la càmera i el làser en sí formen un triangle.

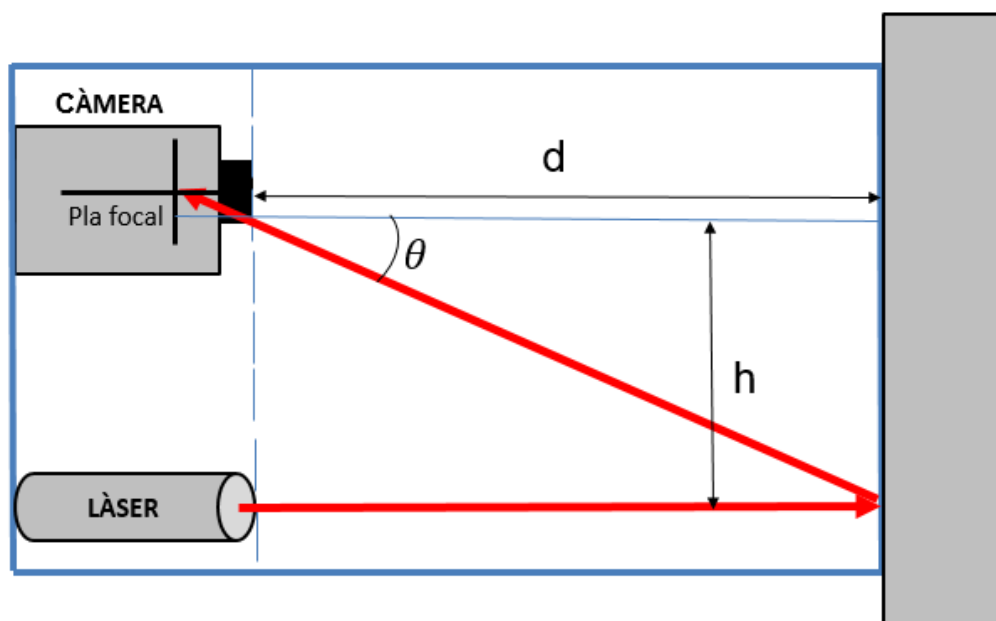
Les càmeres d'avui en dia tenen un sensor CCD intel·ligent que detecta qualsevol canvi de color en tot l'espai que abasta la seva capacitat de visió, cosa que ens posa més fàcil la captació del punt làser a l'hora de fer funcionar el nostre programa específic.

Les variables trigonomètriques que utilitzarem per a que el software a partir d'unes dades ens calculi l'espai són les següents:

$$\sin\theta = \frac{c. oposat}{h} \quad \cos\theta = \frac{c. continu}{h}$$

$$tg\theta = \frac{c. oposat}{c. continu} = \frac{\sin\theta}{\cos\theta}$$

Plantejarem l'esquema de la pràctica, i un cop fet relacionarem cada variable trigonomètrica amb la seva part dins del dibuix, ja que sabem que ens quedarà format un triangle rectangle i per tant podrem utilitzar dites variables.



Ens hem de fixar en el triangle rectangle que té el seu angle on es situa la càmera. Com podem observar, la distància (d) correspon al costat continu d'aquest triangle, l'altura entre el làser i la càmera (h) correspon al costat oposat i l'angle, com hem dit abans, està situat a la vora de la càmera (θ). Com que l'objectiu de la pràctica és calcular la distància des de l'eix on es situen la càmera i el làser fins a l'obstacle, haurem de trobar la incògnita que correspon a la lletra d. És per això que utilitzarem la raó de la tangent ja que volem relacionar els dos costats amb l'angle:

$$tg\theta = \frac{h}{d} \rightarrow d = \frac{h}{tg\theta}$$

Un cop aïllada la distància que volem saber, ens fixem en les variables de l'equació; l'altura entre el làser i la càmera és mesurable. L'angle d'inclinació, per fer els càlculs més exactes, utilitzarem les característiques de la càmera per substituir l'angle en l'equació i que existeixi un marge d'error mínim.

$$\theta = pdc \cdot rpp + ea$$

On: pdc = píxels des del centre
rpp = radians per píxel
ea = error d'alineació

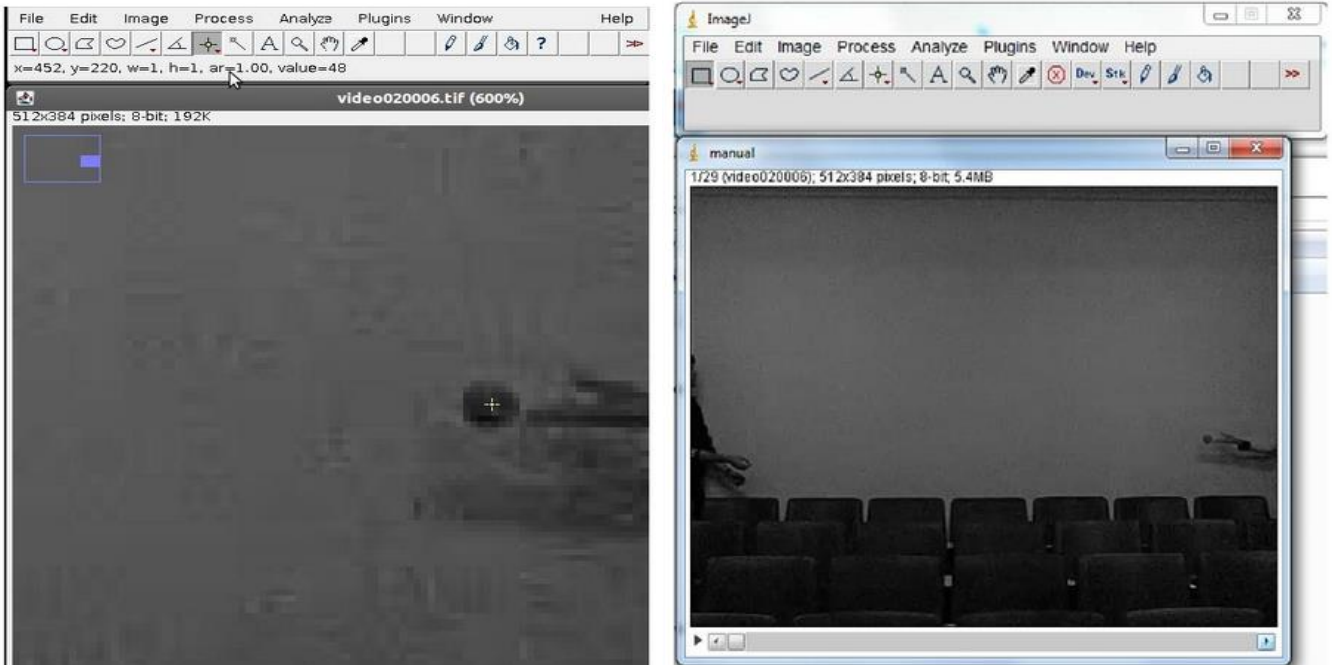
Per tant ens quedarà l'equació següent:

$$d = \frac{h}{tg(pdc \cdot rpp + ea)}$$

Per calcular les variables existents dins de la tangent haurem de realitzar diversos processos fins a que recaptem totes les dades per a que només tinguem una incògnita en la nostra equació (d).

Sovint la càmera duu un manual de característiques i d'instruccions dels que podem extreure les nostres dades requerides. Si es dona el cas de que no disposem de les característiques de la càmera, haurem de calcular-les manualment. El més senzill és utilitzar un programa de processament d'imatges en el qual podrem obtenir totes aquelles dades restants.

En el nostre cas, hem utilitzat un programa anomenat ImageJ, que ens ha servit de gran ajuda per completar la nostra equació, ja que no disposàvem de les característiques de la càmera i per tant no coneixíem les variables. A continuació observem una captura del programa emprat per a l'enregistrament de dades.



Aquest programa ens permet calcular els píxels situats des del centre de la imatge. Només cal fer clic en el punt on volem que ens indiqui el número de píxels. També podem capturar una regió específica i marcar-ne el centre com a punt de partida per saber la quantitat de píxels des del punt central del quadrat que forma la pantalla on enregistrem la imatge. De fet, aquest últim mètode és com hem obtingut la dada que buscàvem.

Per calcular els dos altres paràmetres calcularem un angle real mitjançant l'equació :

$$\theta_{ACTUAL} = \arctg\left(\frac{h}{D_{ACTUAL}}\right)$$

On h és constant, ja que no varia la altura entre el làser i la càmera i D actual la mesurarem manualment amb una regla calibrada.

Com tenim aquestes dues dades per calcular els radians per píxel (rpp) i l'error d'alineació (ea) situarem els paràmetres en uns eixos cartesianes i quan el Geogebra (programa emprat) ens dongui l'equació de la recta, ja disposarem del pendent, que serà igual a rpp i n que serà ea. És per això que utilitzarem l'equació explícita de la recta. Abans però hem hagut de realitzar unes taules de calibració com les que tenim a continuació amb les dades que haurem calculat amb l'expressió anterior i que haurem de situar en els eixos. En el nostre cas hem realitzat les nostres pròpies taules de calibració.

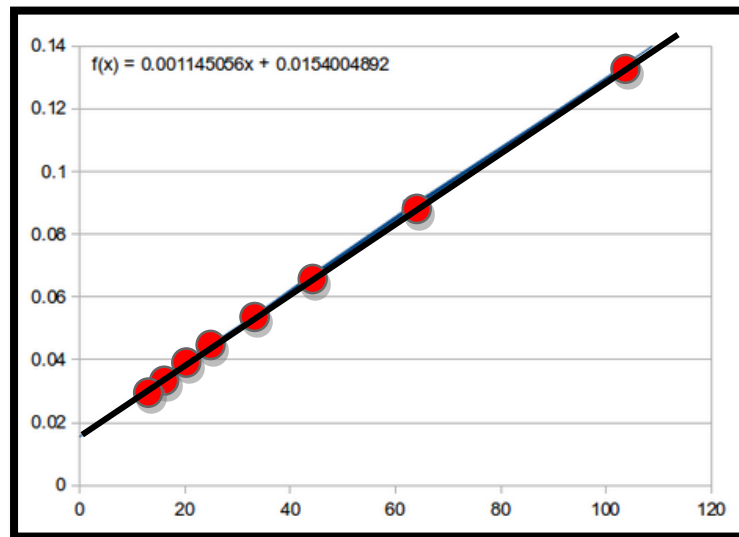
Taula 1

actual_d (cm)	pix_dist
180	13
160	16
140	20
120	25
100	33
80	44
60	63
40	103

Taula 2

pix_dist	theta
13	0.02960246
16	0.033300183
20	0.038053045
25	0.044387481
33	0.053249584
44	0.066526594
63	0.088600397
103	0.132466918

En la primera taula de calibració tenim la distància que hem mesurat manualment i la quantitat de píxels obtinguda des del centre. En la segona ja hem relacionat la distància actual amb l'angle theta ja que hem resolt l'equació en funció de la distància mesurada actualment. Finalment disposem d'una taula (Taula 2), en la qual tenim dos paràmetres que introduïrem en uns eixos com hem citat abans.



Un cop plasmat els punt dins dels eixos obtenim l'equació explícita de la recta que ens indica els paràmetres dels radians per píxel (m) i l'error d'alineació (n). Cal afegir que l'eix d'ordenades (y) pertany a l'angle theta on les unitats són els radians i l'eix d'abscisses (x) que està expressat en funció dels radians des del centre de la imatge i les unitats estan expressades en píxels.

$$y = mx + n \rightarrow f(x) = 0,00114x + 0,015$$

On $\left\{ \begin{array}{l} m = rpp = 0,00114 \\ n = ea = 0,015 \end{array} \right.$

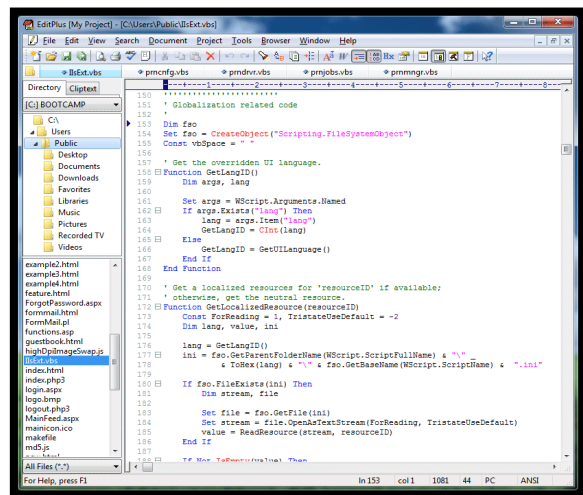
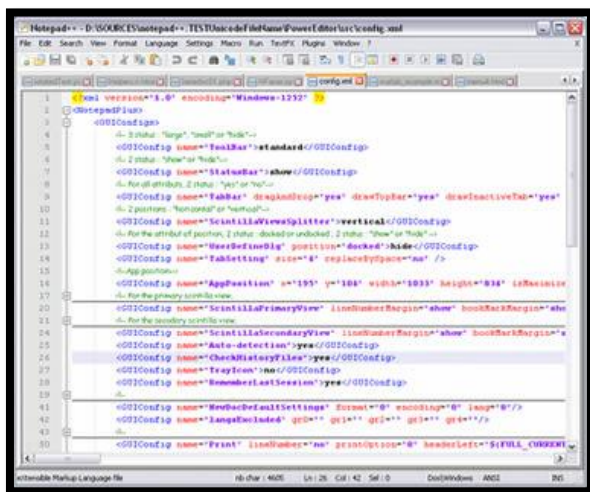
Finalment, ja tenim totes les dades i podem substituir-les en l'equació principal en la qual obtenim la distància en funció de les característiques de la càmera. Ara només cal establir el codi del software per crear el programa que ens processi totes aquestes dades i ens indiqui la distància entre els dos punts establerts.

5.3 Llenguatge de programació i Open Source.

Per al processament de les dades enregistrades hem hagut de modificar un codi OpenSource i adaptar-lo a les calibracions que hem obtingut prèviament. Per realitzar aquest seguit de processos hem utilitzat el programador Microsoft Visual Basic, que com bé indica el nom és un sistema basat en la programació BASIC.

Primer de tot, cal dir que aquest codi OpenSource que hem utilitzat consisteix en el projecte de Todd Danko, que està basat en la programació d'un radar làser. OpenSource és una atribució que es fa al conjunt de tot aquell software que es lliure de ser tractat i desenvolupat per a que compleixi un seguit de condicions imposades per al funcionament d'un propi projecte. L'objectiu d'aquest concepte consisteix en que els usuaris puguin modificar, millorar i corregir errors per adaptar-lo a les seves condicions i als seus propis projectes, de manera que en sorgeix un millor software. El projecte Open Source va ser posat en pràctica per primera vegada l'any 1990 per substituir el concepte "free software" que traduït de l'anglès vol dir software lliure.

És per això que nosaltres hem partit de la base d'aquest codi i hem modificat línies específiques per adaptar-les als nostres dispositius.



Aquesta és la disposició del programador Visual Basic. Està organitzat en línies de programació les quals indiquen l'acció que es vol realitzar. El codi de programació és molt extens, no obstant això, és fàcil d'aprendre les funcionalitats bàsiques d'aquest i per tant hem pogut modificar i completar amb èxit les necessitats presents en adaptar cert codi al nostre material.

5.4 Muntatge de la pràctica

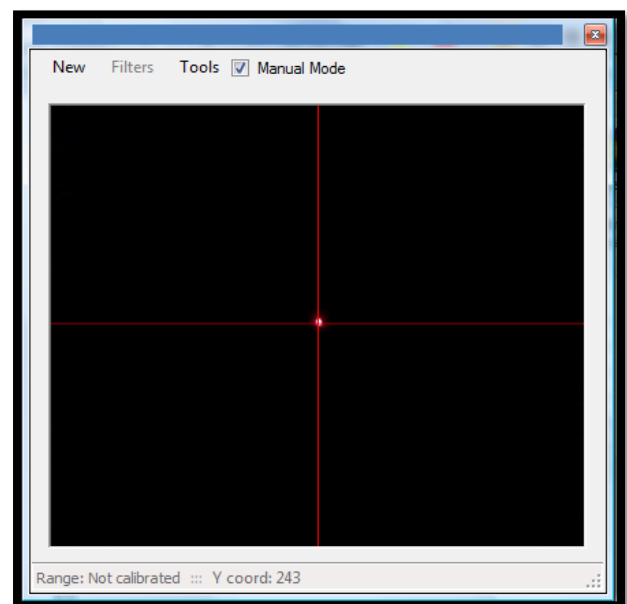
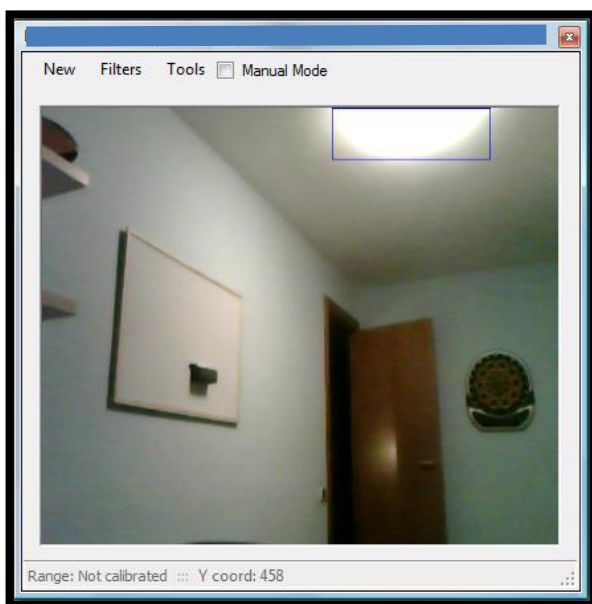
Seguint l'esquema de la situació de tots els dispositius hem aconseguit muntar el sistema en triangulació per al funcionament de la nostra pràctica. Hem hagut de muntar-ho amb precisió d'acord amb les magnituds establertes a l'hora de modificar el nostre codi.

Primer de tot hem situat la càmera a 3cm del nostre làser semiconductor ja que haurem hagut de triar una altura que es mantindrà com a constant al llarg de tota la nostra part pràctica.

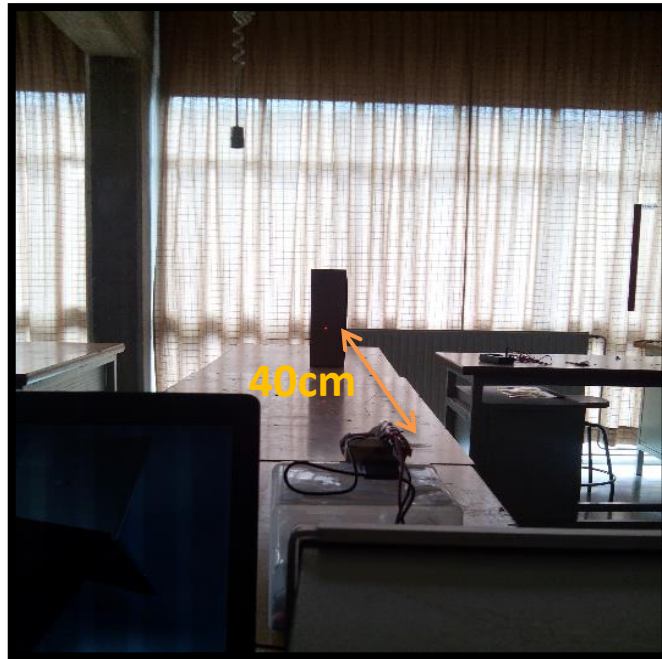
Un cop situat hem connectat la càmera al nostre ordinador mitjançant el port USB. Un cop configurada la càmera i els drivers d'aquesta hem obert el programador Visual Basic amb el codi ja establert.

En accionar el nostre codi, se'ns obre una finestra amb tres funcions per a calibrar la nostra càmera. Farem clic a New, seleccionarem la nostra càmera web i ja podrem enregistrar vídeo a partir del nostre ordinador.

Un cop tinguem la càmera encesa, encendrem el nostre làser i la variació de llum dins de la imatge farà que el programa sol ens detecti el punt làser en l'obstacle. És per això que és recomanable fer-ho en un espai on no hi hagi molts agents emissors de llum perquè d'aquesta manera serà més fàcil detectar el làser.



Llavors, en funció de quant s'apropa a l'obstacle, el punt es va allunyant dels dos eixos. Quan els eixos corregeixen la posició fins al centre del punt, la distància que ens marcarà a sota, on hi ha la paraula Range, variarà, és a dir, a mesura que ens allunyem i ens apropem de l'obstacle, el punt s'allunyarà dels eixos i la distància augmentarà o disminuirà en funció de la distància a la qual es trobi el punt dels eixos cartesianes. Un cop ho haguem col·locat en posició ens quedarà la següent disposició:



6. CONCLUSIONS

És lògic que a l'acabar un treball d'investigació s'extreguin un conjunt de conclusions que fan canviar el nostre pensament inicial de certes coses i poguem entendre de manera correcta el funcionament d'aquestes.

Primer de tot, el fet de realitzar el treball sobre el camp de la fotònica m'ha fet obrir els ulls davant d'aquest tipus d'energia emergent i de gran potencial, cosa que fins ara, no tenia tant present, sinó que més aviat prenia com a una forma d'energia subdesenvolupada i sense futur tecnològic.

La llum és un concepte d'un abast tant extens que mitjançant aquesta recerca i fins al punt on s'acaba aquest treball d'investigació, hem pogut descobrir noves i interessants coses sobre aquest mode d'energia. Des del seu comportament, la seva naturalesa i la seva interacció amb el medi, entre d'altres.

També hem pogut comprovar la diferència establerta entre les diferents teories de la llum dins de la història fins a l'actual. A part d'això, també hem pogut demostrar i entendre els principals fonaments de l'electromagnetisme que és el principi bàsic de la propagació de la llum en el medi.

No obstant això, a l'hora d'enfocar el nostre treball de cara a l'emissió d'aquesta radiació, és a dir, al làser, hem hagut de centrar-nos més pel que fa al caire tecnològic ja que, tant bon punt assolits els coneixements físics, hem hagut d'aplicar fonaments tecnològics per veure com s'apliquen aquests principis per a fer-ne ús i augmentar el rendiment de mecanismes d'obtenció d'energia, processament de dades, automatització, etcètera.

Pel que fa a la part pràctica, ha estat un llarg i laboriós procés de meditació entre la tria del mètode en que basar-se per a la construcció del sistema. Finalment hem aconseguit amb èxit sincronitzar fonaments matemàtics amb l'utilització de l'informàtica i les tecnologies audiovisuals per a un sistema telemètric làser. Podem considerar llavors, que els objectius establerts des d'inici han estat assolits al llarg d'aquests tres mesos empleats per a culminar aquest treball d'investigació:

-Comprendre els fonaments físics sobre la llum, concretament el seu comportament, la seva naturalesa, l'electromagnetisme i l'efecte fotoelèctric.

-Descobrir a fons el món que envolta el làser, des de les seves parts i el seu funcionament fins a els tipus de làsers existents i les característiques d'aquest tipus de radiació, entre d'altres.

-Analitzar i tractar les diferents aplicacions que té en el camp de la tecnologia aplicada el làser, estudiant-ne la capacitat que té aquest per substituir processos elementals com la fissió nuclear o l' de la fibra òptica... augmentant el rendiment que tenen aquests processos quan es realitzen amb energies convencionals i la reducció del cost econòmic per a dita producció.

-Hem après a programar en llenguatge BASIC per sincronitzar fonaments matemàtics i informàtics per a la programació d'un sistema de telemetria fotònic utilitzant el làser.

-Experimentalment, a l'hora de fer la pràctica, el sistema de medició disminueix la seva precisió a partir dels 43cm aproximadament, ja que el làser del que disposem és considerat semiconductor i per tant no té una intensitat prou elevada com per ser captada per la càmera que tenim, a més, aquesta no és d'alta resolució.

En cas de poder disposar d'un làser d'Heli-Neó, amb una intensitat suficientment gran per poder ser captat per la nostra càmera, les distàncies a mesurar serien més precises en rangs més llargs. Malgrat això, els làsers de gas només són disponibles en laboratoris, universitats i a l'exèrcit.

No obstant això, hem acomplert el nostre objectiu construint un sistema de medició làser mitjançant el processament de dades visuals de fins a un rang de 40cm, que era la nostra meta a l'hora de realitzar la part pràctica.

Per concloure, m'agradaria afegir que el treball de recerca m'ha costat molt d'esforç i dedicació i per tant estic molt orgullós d'haver pogut acomplir tots els objectius establerts abans de començar amb el treball en sí.

Per dur-lo a terme, he hagut d'utilitzar coneixements físics, químics i matemàtics adquirits durant el curs de primer de Batxillerat. No obstant això, he hagut d'estudiar i aprendre noves tècniques per part meva, ja que sinó hagués estat impossible de realitzar certs apartats presents en el meu treball d'investigació i recerca, ja que els coneixements eren d'un nivell superior al cursat durant aquest any. A més, haver realitzat aquest treball, m'ha ajudat a encaminar de manera considerable els meus estudis de cara al període d'estudi universitari.

AGRAÏMENTS

M'agradaria donar les gràcies i dedicar el meu treball a totes aquelles persones que m'han ajudat en tot moment, que m'han fet costat a l'hora de realitzar aquest llarg camí i que han fet possible que aquest treball es pogués dur a terme:

-Al meu tutor, per l'ajuda que m'ha prestat al llarg de tot aquest període de treball i esforç.

-Als meus pares, que m'han recolzat en els mals moments i que m'han acompanyat durant aquest viatge.

7. BIBLIOGRAFIA

LLIBRES

- 1- MICHIO KAKU. 2008. Física de lo imposible, ed. 2009. Editorial Debate, 384pàgs.
- 2- LUIS DEL ARCO VICENTE. 1978. Física para ciencia e ingeniería. Barcelona, Ariel. 685pàgs.
- 3- GUY SÉGUIER. 1976. Electrónica de Potencia; Las funciones básicas y sus principales aplicaciones. Ed. 1982. Barcelona, Editorial Gustavo Gili. 379pàgs.
- 4- R. AGELOFF; R. MOJENA. 1985. Programación Basic aplicada. Traductor Alfonso Pérez Gama. Bogotá, Colombia, Mc Graw Hill. 444pàgs.
- 5- J.A ROVIRA; J.F. BASARTE LORENTE; D.J. CASTELLO; T.GARCIA POZO; M.A. JURADO; C.MACHÍ GÓMEZ; M.J. MARTÍNEZ; L.C. PARDO SOTO; R.M. PRECKLER GIRRUTA. 2009. Física II Batxillerat. Barcelona, Edebé. 335pàgs.

PÀGINES WEB

- 1- M.N.RUIZ. 2008. El láser.
(<http://www.monografias.com/trabajos/laser/laser.htm>.) Consultat el 16 de Setembre de 2014.
- 2- ANÒNIM. 2014. El làser i sus propiedades.
(<http://www.portalplanetasedna.com.ar/laser.htm>) Consultat el 16 de Setembre de 2014).
- 3- WALTER FENDT, 1999. Universidad de Zaragoza.
(<http://www.unizar.es/lfnae/luzon/CDR3/electromagnetismo.htm>) Consultat el 23 d'Agost de 2014)
- 4- JMND. 2008. Dualidad onda-partícula.
(http://www.iesandalus.com/joomla3/images/stories/FisicayQuimica/Fis2B/t8_cuantica.pdf) Consultat el 20 d'Agost de 2014.
- 5- USUMORTADELO. 2007. Triangulación i trilateración.
(http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-ii/contenidos/Mis_documentos/Tema-9-Triangulacion-y-Trilateracion/Teoria_Triang_Tema_9.pdf) Consultat el 19 de Juny de 2014.
- 6- ANÒNIM. 2014. El láser y sus aplicaciones.
(http://centrodeartigo.com/articulos-utiles/article_110480.html) Consultat el 4 d'Agost de 2014.
- 7- ANÒNIM. 2014. Tipos de láser.
(<http://www.monografias.com/trabajos61/laser-aplicaciones/laser-aplicaciones.shtml>) Consultat el 8 d'Agost de 2014.

- 8- FERNANDO. 2012. Medición por triangulación.
(<http://www.frsn.utn.edu.ar/tecnicas3/problemas/Medicion%20con%20laser%20por%20triangulacion.pdf>). Consultat el 27 de Juny de 2014.
- 9- JOSEY. 2003. Sistema ultrasónico de medición.
(<http://profesores.elo.utfsm.cl/~jgb/AVILES.pdf>). Consultat el 21 de Juny de 2014.
- 10-ANÓNIM.2009. Láser : principios de funcionamiento y aplicaciones.
(http://media.axon.es/pdf/77378_1.pdf). Consultat el 18 d'Agost de 2014.
- 11-TODD DANKO. 2014. Laser Rangefinder.
(https://sites.google.com/site/todddanko/home/webcam_laser_ranger)
Consultat el 25 d'Agost de 2014.
- 12-IKKY. 2005. Bombeo coherente.
(http://docencia.izt.uam.mx/mfg/laseres1/contenido/bombeo_coherente.pdf) Consultat el 17 de Juny de 2014.
- 13-ANÓNIM. 2014. Polarització electromagnètica.
(http://es.wikipedia.org/wiki/Polarizaci%C3%B3n_electromagn%C3%A9tica) Consultat el 8 d'Agost de 2014.
- 14-ANÓNIM. 2014. Visual Basic Programming.
(<http://msdn.microsoft.com/en-us/library/y4wf33f0.aspx>) Consultat el 16 de Juny de 2014.
- 15-STAÜBLI. 2014. Cutting robot system.
(<http://msdn.microsoft.com/en-us/library/y4wf33f0.aspx>) Consultat el 29 de Juny de 2014.
- 16-YURISAY RODRIGUEZ. 2014. La fibra óptica.
(<http://www.monografias.com/trabajos13/fibropt/fibropt.shtml>)
Consultat el 19 d'Agost de 2014.
- 17-FRANCISCO. R. VILLATORO. 2014. Confinamiento inercial hasta la ignición.
(<http://francis.naukas.com/2011/11/04/la-fusion-por-confinamiento-inercial-paso-a-paso-hacia-la-ignicion/>). Consultat el 30 d'Agost de 2014.
- 18-ANÓNIM. 2007. Acceleradores de partículas.
(<http://home.web.cern.ch/>) Consultat el 19 d'Agost de 2014.

