



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**Disseny, fabricació i muntatge de
dispositius de millora d'un banc de
proves per a la investigació de
comunicacions òptiques**

Presentat per: Héctor Sanmanuel Torres

Titulació: Grau en Enginyeria Mecànica

Tutor: Alejandro Roda Buch

Cotutor: David Barrera Vilar

Curs acadèmic 2015-2016

València, setembre de 2016

Resum

Donat el creixement de la demanda d'amplada de banda que es produeix per l'augment de consum d'Internet s'està utilitzant la tecnologia de les xarxes de difracció de Braggs en fibra (*Fiber Braggs Grating, FBGs*). Però la creació d'aquestes fibres no és senzilla i aquest treball es centra en millorar el procés de fabricació, en concret en l'àmbit de la automatització.

Així en el treball es proposen solucions alternatives per a cinc dels subsistemes, tot i que per motius tant econòmics com de planificació només s'han pogut dissenyar e implementar tres d'aquests subsistemes els quals han sigut implementat amb èxit. Així s'han deixat les següents modificacions com a properes línies d'investigació per a futurs treballs.

Agraïments

*A Manuel que em va donar l'oportunitat,
als meus companys sense els quals no haguera arribat tan lluny,
als meus pares que, conscients o no, m'han encaminat fins aquí,
i sobretot a Sara, que m'ha ajudat, suportat i espentat tot el que ha pogut, donant-li forma a
aquest treball.*

Índex

PART I: Memòria.....	2
1.1. Objecte	2
1.2. Antecedents.....	2
1.3. Factors a considerar	3
1.3.1. Subsistema d'orientació de la fibra	3
1.3.2. Subsistema de control de la càmera	3
1.3.3. Subsistema de manteniment de la fibra.....	3
1.3.5. Subsistema per retirar la cobertura.....	4
1.3.6. Altres factors a considerar.....	4
1.4. Solucions alternatives	4
1.4.1. Subsistema d'orientació de la fibra	4
1.4.1.1. Solució 1	6
1.4.1.2. Solució 2	8
1.4.2 Subsistema de control de la càmera	9
1.4.2.1 Solució 1	9
1.4.2.2 Solució 2	11
1.4.3 Subsistema de manteniment de la fibra.....	12
1.4.4 Subsistema de desplaçament de la fibra.....	12
1.4.4.1 Solució 1	12
1.4.4.2 Solució 2	12
1.4.5 Subsistema per retirar la cobertura.....	13
1.4.5.1 Solució 1	13
1.4.5.2 Solució 2.....	13
1.4.5.3 Solució 3	13
1.5. Descripció detallada de la solució adoptada	14
1.5.1 Subsistema d'orientació de la fibra	14
1.5.2 Subsistema de desplaçament de la càmera.....	16
1.5.3 Subsistema de manteniment de la fibra.....	19
1.6. Conclusions.....	21
1.7. Línies futures d'investigació.....	22
Annex I: Càlculs	23

Referències	30
PART II: Plec de condicions	31
1. Subsistema d'orientació de la fibra.....	31
1.1. Corona del vis sense fi	31
1.2. Acoblador	32
1.3. Vis sense fi	32
1.4. Motor pas a pas	32
2. Sistema de control de la càmera	33
3. Subsistema de manteniment de la fibra	33
PART III: Plànols	34
PART IV: Pressupost	43
1.1. Sistema de rotació de la fibra.....	43
1.2. Sistema de moviment de la càmera.....	44
1.3. Sistema de manteniment de la fibra.....	44
TOTAL	44

Índex d'imatges

Imatge 1: Tipus d'engranatges	¡Error! Marcador no definido.
Imatge 2: Esquema del sistema	10
Imatge 3: Acoblament del engrantge amb el rodador.....	14
Imatge 4: Detall de l'obertura en l'engranatge.....	15
Imatge 5: Subsistema de control de la càmera	16
Imatge 6: Detall dels eixos vertical i horitzontal	18
Imatge 7: Imatge digital del conjunt de basculant i base	20
Imatge 8: Esquema de la descomposició de forces	23

PART I: Memòria

1.1. Objecte

L'objecte d'aquest treball de fi de grau (TFG) és el disseny de millores en una estació de treball per a la investigació de comunicacions òptiques. Principalment es tracta d'una automatització del procés amb intenció de millorar la precisió amb la qual s'opera amb els elements que actuen.

1.2. Antecedents

Amb el creixement d'Internet s'ha incrementat la demanda d'una amplada de banda amb suficient capacitat per suportar el creixent consum de xarxa. Una de les millors maneres d'assumir aquesta demanda és a través de les comunicacions òptiques. En aquests tipus de comunicacions es codifiquen paquets de dades a través de llum de diferents longituds d'ona. Aquesta solució, però, té encara alguns problemes que s'han de resoldre, principalment en l'àmbit de les interferències i la distorsió dels polsos que viatgen per la fibra i les col·lisions entre paquets de dades.

Les xarxes de difracció de Braggs en fibra (*Fiber Braggs Grating; FBGs*), si estan dissenyades adequadament, proporcionen un control sobre l'amplitud i la longitud d'ona dels polsos. Per aquest motiu han estat utilitzades en els sistemes de telecomunicacions des del primer moment en que van aparèixer. Però, donat que aquest és un camp amb una evolució constant, les FBGs segueixen sent objecte d'investigació per tal de millorar les seues prestacions.

El Grup de Comunicacions Òptiques i Quàntiques (GCOC) de la Universitat Politècnica de València (UPV) està investigant les FBGs i, per tant, necessita un sistema de fabricació d'aquestes que siga versàtil. Aquest sistema ha de poder fabricar FBGs de diferents característiques, tant pel que fa als elements de tipus de xarxa, com pel que fa a les seues característiques físiques.

Per poder codificar les FBGs i que obtinguen les característiques adequades el GCOC utilitza una variant de la tècnica desenvolupada per el Optoelectronics Research Center (ORC) en l'any 1997. Aquesta tècnica consisteix en introduir desplaçaments de patró d'interferències respecte el nucli fotosensible i superposar exposicions UV d'una amplada de centenars de micres. Amb una màscara s'aconsegueix controlar tant la xarxa de difracció com l'índex. La principal modificació per part de la GCOC és que la fibra

està estacionaria. En aquest sistema es treballa amb una fibra amb set nuclis fotosensibles protegits per una cobertura de plàstic que es retira en els punts on s'ha de codificar la fibra. Després, s'ha d'orientar la fibra perquè el nucli sobre el qual volem escriure estiga en la part superior i, a més, s'ha de garantir una tensió en la fibra per evitar el vinclament d'aquesta en la mesura del possible. Aquesta modificació respecte a la tècnica del ORC permet relaxar les especificacions sobre la velocitat de commutació entre l'obturador i la plataforma de posicionament però provoca que la fabricació de FBGs siga més lenta que amb l'altre sistema. En aquest cas, a més, en ser un sistema que s'opera de forma manual s'introdueixen errors, per això es pretén una automatització del sistema ja que d'aquesta manera s'aconseguirà més rapidesa i, sobretot, més precisió en la fabricació.

1.3. Factors a considerar

1.3.1. Subsistema d'orientació de la fibra

La intervenció principal a fer en el sistema és el subsistema d'orientació de la fibra, ja que si el nucli no està en la posició adequada no es podrà codificar. L'exactitud d'aquest sistema ha de ser com a mínim de 0,1°.

1.3.2. Subsistema de control de la càmera

El subsistema de control de la càmera transmet una imatge de la fibra i gràcies a ell podem saber si el nucli es troba en la posició adequada o no. És, per tant, un altre sistema important i ha de respondre amb exactitud. L'error màxim admissible serà de 0.1mm.

1.3.3. Subsistema de manteniment de la fibra

El subsistema de manteniment de la fibra s'encarrega de mantindre la fibra en el lloc mentre s'opera amb ella i al mateix temps ha de deixar un joc perquè pugui girar lliurement si el sistema de rotació està actuant.

1.3.4. Subsistema de translació de la fibra

El subsistema de translació de la fibra ha de traccionar la fibra perquè aquesta avance. La fibra s'haurà de moure sense desplaçar-se en l'eix vertical. A més, aquest sistema garantirà que la fibra es mantinga en la tensió suficient per a que no vincle i així millorar l'eficàcia del sistema de codificació. El seu error màxim serà de 0.5mm.

1.3.5. Subsistema per retirar la cobertura

El subsistema per retirar la cobertura té com a funció retirar la cobertura de plàstic que recobreix els nuclis que es van a codificar. Aquesta cobertura s'ha de retirar completament ja que, en cas contrari, no seria possible la fabricació de les FBGs.

1.3.6. Altres factors a considerar

Degut a factors tant temporals com econòmics no es podran realitzar totes les millores que es proposen en aquest treball, per tant s'estudiaran en profunditat els tres primers sistemes, ja que són els més importants i els que més necessita el GCOC en aquest moment, i es deixarà per a línies futures la resta de sistemes així com altres que puguin ser necessaris en un moment determinat. Així i tot, en aquest TFG s'han volgut donar una sèrie de propostes alternatives que puguin servir de base per a futurs projectes i investigacions.

1.4. Solucions alternatives

1.4.1. Subsistema d'orientació de la fibra

En primer lloc, pel que fa al sistema d'orientació de fibra, s'ha de tindre en compte que és una peça complicada ja que el moviment s'ha de transmetre des d'un motor pas a pas fins als rodadors que es disposen en la instal·lació [1]. Aquests rodadors donen la possibilitat d'orientar la fibra com es necessita en aquest TFG, però s'ha de fer manualment i, per tant, es poden introduir errors. La principal característica d'aquest sistema és que ha de tindre una obertura en la part superior per introduir la fibra de forma senzilla.

Atès la necessitat d'aquesta obertura, és impossible utilitzar qualsevol solució basada en la transmissió de moviment mitjançant corretges de fricció o cadenes ja que aquestes impedirien la col·locació de la fibra de forma adequada. S'ha de recórrer per tant als engranatges. Els engranatges, en general, tenen certs avantatges sobre la resta de sistemes de transmissió:

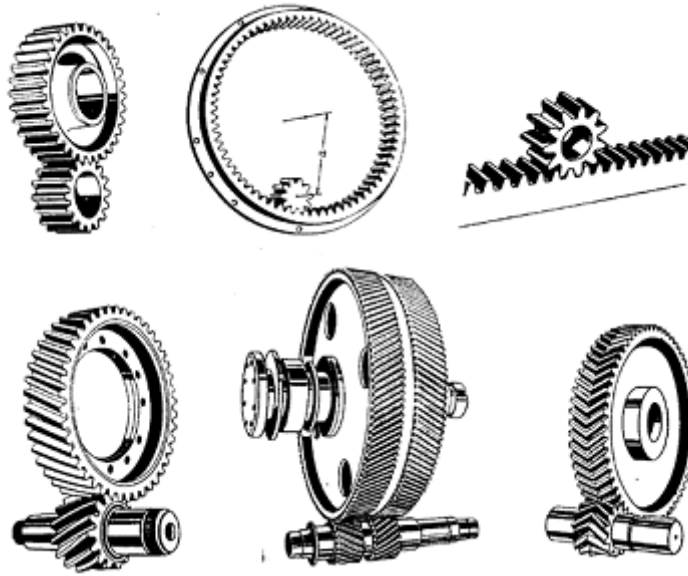
- Relació de transmissió constant i independent de la càrrega
- Elevada fiabilitat i llarga duració
- Dimensions reduïdes
- Rendiment alt
- Poca necessitat de manteniment
- Capacitat per suportar sobrecàrregues en moments puntuals

Per contra tenen alguns inconvenients com:

- Cost elevat
- Generació de sorolls i vibracions mentre actuen
- Poca o nul·la capacitat per a la absorció de xocs i vibracions, cosa que provoca que la transmissió siga rígida

També podem distingir diferents tipus d'engranatges:

- Engranatges cilíndrics. S'utilitzen en arbres paral·lels que en cada etapa poden arribar a una relació de transmissió de $i=8$. Cada etapa té un rendiment entre el 96% i el 99%. Podem trobar engranatges amb dentat recte o amb dentat helicoïdal. Els primers són, generalment, més senzills de fabricar i, per tant, més econòmics; però generen més sorolls i vibracions, i es desgasten més. D'altra banda, els helicoïdals poden transmetre més carrega però introdueixen forces axials.



Imatge 1: Tipus d'engranatges recte

- Engranatges cònics. S'utilitzen quan els eixos s'entrecreuen. Treballen igual que els cilíndrics excepte pel fet que la relació de transmissió màxima és inferior ($i=6$).
- Vis sense fi-corona. Amb aquest tipus d'engranatges es poden fer reduccions fins a $i=100$, tot i que quan més augmenta la relació de transmissió pitjor és el seu rendiment. La roda motora ha de ser sempre el vis ja que aquesta al girar pot moure la corona i en cas contrari no es produeix moviment.

Tenint en compte els engranatges explicats anteriorment es proposen dues solucions:

1.4.1.1. Solució 1

La primera solució consisteix en imprimir dos engranatges amb una impressora 3D, ambdós del mateix material (plàstic ABS) i de mateix mòdul (1mm). Les característiques de l'engranatge motriu són els següents:

- 14 dents
- $\Phi=14$ mm
- Amplada = 4 mm
- Velocitat d'entrada = 60 rpm
- Par motor = 47,088 N·cm

- Angle de pressió $\alpha=20^\circ$
- Angle d'inclinació de la dent= 0°

D'altra banda, l'engranatge conduït té les següents característiques:

- 20 dents
- $\Phi=20$ mm
- $\Phi_{int}=15.24$ mm o 0.6 in
- Amplada = 4 mm
- Velocitat d'entrada = 42 rpm
- Angle de pressió $\alpha=20^\circ$
- Angle d'inclinació de la dent= 0°

Com s'ha explicat amb anterioritat, aquest engranatge s'ha d'adaptar per a que funcione correctament amb el rodador del qual es disposa. És per aquest motiu que el diàmetre interior ha de ser suficientment ample com per poder introduir-lo. A més, ha de tindre una obertura per la part superior.

Com a força motriu es proposa un motor pas a pas Nema 17 [2] controlat mitjançant *Arduino* i el *driver* DRV8825 [3]. Aquest motor necessita una tensió de 12 V i una intensitat de 2,5 A.

Aquest motor té 200 passos per volta. Per tant, a cada pas fa girar l'engranatge conductor 1.8° , que al seu temps fa girar 1.26° l'engranatge solidari al rodador. En principi no seria vàlid ja que sobrepassa l'error admissible, però gràcies al *driver* utilitzat podem fer *microstepping* i, per tant, podem dividir cada pas entre 32 micropassos i que cadascun d'ells implique un gir de 0.039° , quedant així dins de la tolerància que havíem definit com a màxima.

El principal avantatge d'aquesta solució és que, atès la seua forma no estandarditzada, la peça acoblada al rodador pot ser cara i, encara més, si tenim en compte que només es van a realitzar dues peces iguals (una per a cada rodador). Per aquest motiu es prefereix imprimir-la en 3D. Per contra, s'ha de tindre en compte que la impressió 3D encara no està tan desenvolupada com altres tècniques i que, per a que es pugui fer aquesta peça amb les toleràncies admissibles per al seu bon funcionament, serà necessària una impressora de bona qualitat.

1.4.1.2. Solució 2

La segona solució consisteix en un vis sense fi-corona. La corona s'haurà de mecanitzar per a que s'adapte a les nostres necessitats, cosa que serà més cara que la solució anterior. Les característiques del vis sense fi són:

- Longitud del vis= 3.2 cm
- Nombre d'entrades = 1
- Diàmetre primitiu = 1.6 cm
- Mòdul = 1 mm
- Velocitat d'entrada = 60 rpm
- Par motor = 47,088 N·cm
- Angle de pressió $\alpha=20^\circ$
- Material= Acer

D'altra banda, les característiques de la corona són:

- 20 dents
- Diàmetre primitiu = 20 mm
- Diàmetre d'acoblament = 22.7 mm
- Velocitat d'eixida = 3 RPM
- Material = Bronze fosforat.

En aquest cas s'utilitzarà un adaptador entre el diàmetre del rodador i el de la corona ja que açò resulta més econòmic que augmentar el diàmetre de l'eix de la corona i, a més, podrà suportar millor les forces. Aquest adaptador estarà unit al rodador mitjançant cargols amb punta de goma com els utilitzats per a instruments òptics que no danyen la peça. Així i tot, s'ha de mecanitzar una ranura igual que en el cas anterior per tal d'introduir la fibra.

A més, de la mateixa manera que en el cas anterior, el motor serà un Nema 17 controlat de la mateixa forma i amb els mateixos *drivers*. Però la diferència és que, en aquest cas, cada vegada que el vis fa una volta la corona gira 18° , ja que avança una dent per cada volta. En fer 200 passos per volta, cada pas seran 0.09° i, per tant, es trobaria dins de la tolerància admesa. Així i tot, podríem fer *microstepping* i afinar més a l'hora d'orientar la fibra.

L'avantatge principal d'aquest sistema és la seua precisió i que, donat el cas, es podria prescindir del *microstepping* i, així, fer la programació més senzilla. Per contra, és més car ja que els engranatges de per sí costen més (els comprem a una empresa i no els imprimim nosaltres) i a més s'han de mecanitzar, cosa que augmentarà el preu. A més, el sistema és més lent que en la solució 1 tot i que aquest no és un problema especialment preocupant.

1.4.2. Subsistema de control de la càmera

Pel que fa al sistema de control de la càmera, s'ha optat per un sistema basat en sistema de control de l'extrusor de la impressora Prusa i3 amb algunes millores com l'ús de caragols en lloc de varetes roscades en l'eix vertical. Per a l'eix horitzontal es proposen dues alternatives.

1.4.2.1. Solució 1

La primera solució és similar a la pròpia de la impressora, amb una plataforma guiada per dos barres d'acer de 8 mm de diàmetre i impulsada per una corretja dentada. Les corretges dentades s'utilitzen entre arbres paral·lels, en general, treballen amb $i < 7$ però si la velocitat és reduïda poden arribar fins a $i = 10$. Els seus principals avantatges són:

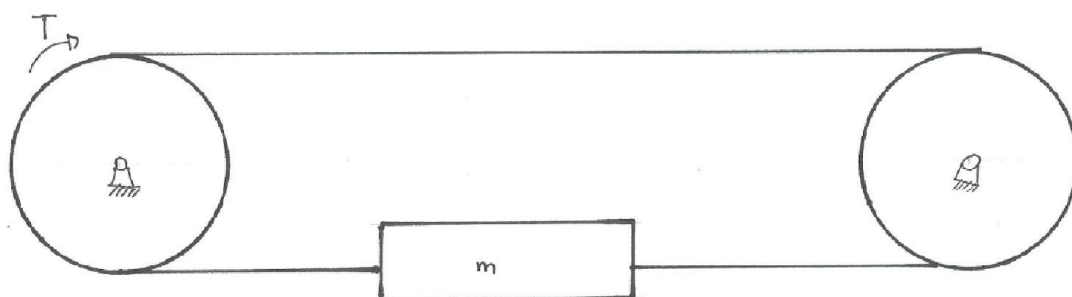
- Cost reduït front als engranatges
- La relació de transmissió es manté constant
- Poden funcionar en ambients agressius
- Amb una sola corretja es poden accionar diverses rodes

Per contra, aquest sistema també presenta alguns inconvenients:

- La seua duració és més limitada, presenten més problemes al llarg del temps

- És necessari manteniment com revisions periòdiques de la tensió
- Tenen limitacions en quant a potència i velocitat
- No son adequades per a càrregues d'impacte

En aquest cas, la corretja uneix la plataforma amb dos politges situades en els extrems de la corretja. Aquestes politges es troben en les peces on es troba la rosca dels fusets i, per tant, en girar aquests fan pujar i abaixar el sistema.



Imatge 2: Esquema del sistema

Tal com es pot observar en la imatge 2, un motor pas a pas, que en girar fa moure la plataforma, està unit a una de les politges. El motor és un Nema 17 de 200 passos per volta i amb un par motor de 47,088 N·cm. El motor estarà controlat pel *driver* DRV8825 que fa possible el *microstepping* i que dóna la possibilitat de dividir cadascun dels passos fins a 32 micropassos, d'aquesta manera es donen girs de 0.05625°. El desplaçament de la plataforma és el mateix que l'arc que gira la politja i, com aquesta té un diàmetre de 20 mm, l'arc és de:

$$d = \pi * 20 * \frac{0.05625}{360} = 0.009817477 \text{ mm}$$

Com es pot comprovar, aquest resultat està dins les toleràncies que es proposen. Aquest sistema té com a avantatge la seua rapides de resposta, però necessita de revisions periòdiques de la tensió de la corretja. La qual cosa pot suposar un inconvenient en un ambient d'investigació on no hi ha lloc per a l'error i una corretja fluixa pot donar problemes.

1.4.2.2. Solució 2

L'altra opció per a l'eix horitzontal és l'ús d'un tercer caragol. Aquest caragol engranaria amb una femella que està en la plataforma on es situa la càmera i tindria les següents característiques:

- Diàmetre= 8 mm
- Avanç per volta= 1 mm
- Nombre d'entrades= 1
- Pas de rosca= 1 mm
- Longitud total = 500 mm

La plataforma, igual que en l'opció anterior, estaria guiada per dues varetes d'acer de 8 mm. Per evitar al màxim qualsevol tipus de fricció entre la plataforma i les guies s'utilitzen de dos rodaments lineals. D'aquesta manera, la necessitat de lubricació és redueix, tot i que convé que no s'elimine del tot per facilitar el moviment.

Donat que la fricció entre la femella i el caragol és elevada, i que normalment es necessita un par elevat per fer girar el caragol i així moure la plataforma, s'utilitzaran dos motors pas a pas Nema 17 un en cada extrem del fuset, fent-lo girar els dos en el mateix sentit. D'aquesta manera s'eliminen problemes que podrien aparèixer per la torsió o per vinclament. Així, a més, es disposa del doble de potència per si fóra necessari avançar ràpidament. Tot açò és interessant ja que s'ha de tindre en compte que l'objectiu final és agilitzar la fabricació de FBGs i per tant les velocitats són importants. No obstant això, no arriba a ser tan ràpid com l'opció anterior. En aquest cas, l'avanç per volta són 1 mm i, tenint en compte que cada volta són 200 passos, trobem que a cada pas són:

$$\frac{1}{200} = 0.005 \text{ mm}$$

Per tant, sense necessitat de fer *microstepping*, ja ens trobariem dins dels límits de tolerància admesos i, per aquest motiu, el programa és molt més senzill. Com a avantatge principal trobem la senzillesa a l'hora de programar, la no necessitat de manteniment i el fet que es pot donar més precisió si es decideix fer *microstepping*. Com a inconvenient trobem la necessitat de dos motors, amb el consegüent encariment, i la falta de rapidesa.

1.4.3. Subsistema de manteniment de la fibra

Per al subsistema dedicat a mantindre la fibra en el lloc, també conegut com a *clamp*, es decideix utilitzar una peça amb una ranura amb forma de V (*v-groove*) i un basculant amb un extrem redó que reposa sobre la ranura i no deixa que la fibra es desplace ni horitzontalment ni verticalment, només la deixa rotar i avançar en l'eix longitudinal. Aquest basculant serà mogut per un electroimant, fabricat al laboratori, que atraurà un imant de neodimi de dimensions $\phi 8 \times 1$ mm. Tot ha d'estar unit a una base acoblable a les plataformes ajustables en tres eixos de les que disposa el laboratori.

1.4.4. Subsistema de desplaçament de la fibra

1.4.4.1. Solució 1

Per al desplaçament de la fibra en l'eix longitudinal s'hi proposen dues solucions. En primer lloc, un tambor on la fibra s'enganxa un extrem de la fibra i el qual en girar traccionaria la fibra i la faria desplaçar-se. Com que la fibra no pot doblar-se en circumferències de radi massa menut, el tambor ha de ser d'uns 20 cm de diàmetre per evitar partiments de la fibra. Açò pot produir problemes d'espai així que s'haurien de col·locar corrioles per orientar la fibra en direcció al tambor. Per al tambor es podria utilitzar o bé un motor pas a pas amb *microstepping*, o bé un motor de corrent continua amb un *encoder* per controlar el gir i, d'aquesta forma, desplaçar la fibra. Aquest sistema, a més, permet assegurar la tensió de la fibra i, per tant, evita el possible vinclament d'aquesta. Per contra, es tracta d'un sistema unidireccional que tan sols serveix per a que la fibra avance. A més, es necessari desaprofitar una determinada quantitat de fibra per tal que aquesta arribe fins al tambor i es puga enganxar.

1.4.4.2. Solució 2

Un altra opció per al mateix sistema és la utilització de dues rodes de cautxú tangents que giren en sentit contrari l'una de l'altra i que utilitzen la pressió entre elles i la falta de fricció per estirar de la fibra i fer que aquesta es moga. El principal avantatge d'aquest sistema és que no cal desaprofitar tanta fibra com en el cas anterior, a més, la fibra es pot moure en dues direccions i, per tant, es possible tornar enrere i repetir alguns passos quan siga necessari. El seu principal problema és la falta de precisió que comporta.

1.4.5. Subsistema per retirar la cobertura

1.4.5.1. Solució 1

Per a retirar la cobertura de la fibra es proposen diverses solucions. En primer lloc es proposa utilitzar una pinça robòtica controlada mitjançant *Arduino*. Aquesta pinça té incorporades dues fulles les quals, en tancar, deixen entre elles un forat lleugerament més estret que la fibra. En tancar-se la pinça i passar la fibra pel forat, com que la fibra és més grossa que aquest, perd la seua cobertura i deixa al descobert els nuclis.

1.4.5.2. Solució 2

En segon lloc, i aprofitant unes fulles similars al cas anterior, es proposa fabricar un sistema en què les fulles estan controlades per un mecanisme impulsat per un electroimant amb un èmbol que empentaria una de les fulles front a l'altra. Quan l'electroimant deixara d'estar connectat, uns molls tornarien la fulla a la seua posició original.

1.4.5.3. Solució 3

Finalment, es proposa un sistema per a automatitzar els utensilis dels quals es disposa actualment. Aquests utensilis són similars a unes tenalles: tenen les fulles amb el forat; en fer força al mànec, aquestes es tanquen, i si passa fibra al seu interior la cobertura es retira. Es pretén que aquest sistema siga senzill i que, en cas de necessitat, es puguin canviar els utensilis perquè aquests són relativament senzills i econòmics de trobar.

1.5. Descripció detallada de la solució adoptada

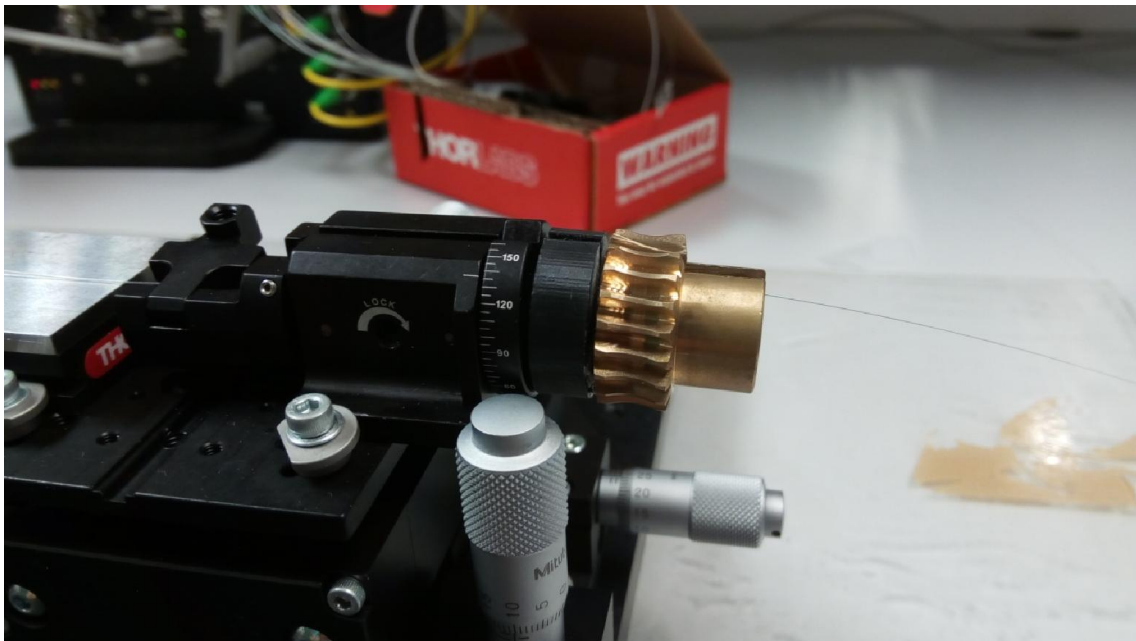
1.5.1. Subsistema d'orientació de la fibra

Degut a les dificultats d'imprimir engranatges amb suficient precisió i exactitud es decideix utilitzar la solució del vis sense fi. Com s'ha mostrat en el punt anterior, aquest vis tindrà unes dimensions i característiques específiques:

- Longitud del vis= 3.2 cm
- Nombre d'entrades = 1
- Diàmetre primitiu = 1.6 cm
- Mòdul = 1 mm
- Angle de pressió $\alpha=20^\circ$
- Material= Acer

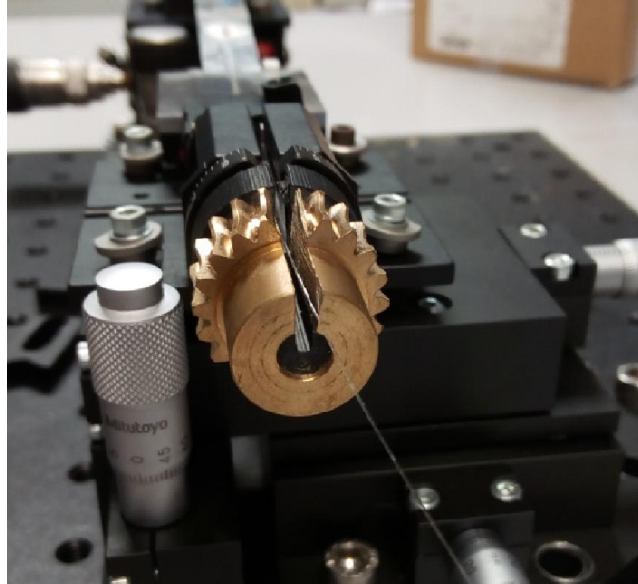
La corona, per tant, té les següents característiques:

- 20 dents
- Diàmetre primitiu = 20 mm
- Diàmetre d'acoblament = 22.7 mm
- Material = Bronze fosforat.



Imatge 3: Acoblament del engranatge amb el rodador

Les característiques estan extretes de [4] i [5] respectivament. Es decideix utilitzar peces comercials sobretot per motius econòmics, ja que, d'altra manera al ser un lot reduït seria massa car.



Imatge 4: Detall de l'obertura en l'engranatge

Per a deixar pas a la fibra se li haurà de fer una ranura a la corona al llarg del eix longitudinal, aquesta ranura, perquè tinga les mateixes dimensions que la del rodador al qual s'ha d'acoblar, haurà de ser de 0.8 polzades A més, atès que el diàmetre de la corona no coincideix amb el del rodador, s'imprimeix una peça per acoblar les dues peces. La unió entre aquest acoblador i el rodador es farà mitjançant de cargols amb punta de *nylon* [6]. Aquest tipus de cargols s'utilitzen en la subjecció de lents i d'elements òptics perquè permeten mantindre l'element en el seu lloc sense necessitat de fer-li un forat o de deixar marca.

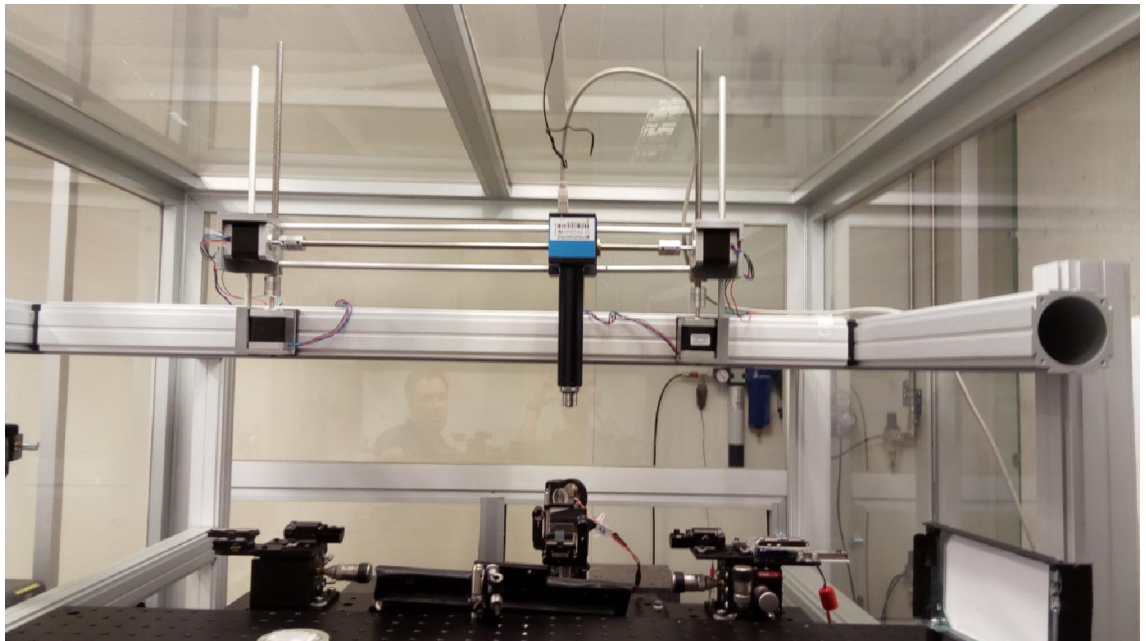
Un motor pas a pas Nema 17 [7] donarà el moviment del vis. Aquest motor té les següents característiques:

- Tensió= 12 V
- Intensitat = 2,5 A
- Passos per volta/Gir per pas = 200/1.8°
- Diàmetre del eix =5 mm
- Longitud del eix = 20 mm

Cada volta del vis sense-fi correspon a l'avanç d'una dent de la corona, al tindre aquesta 20 dents el gir donat a cada revolució és de $\frac{360}{20} = 18^\circ$ que al dividir-se entre 200 passos queda una resolució de $\frac{18}{200} = 0.09^\circ$, quedant dins del nostre límit sense necessitat d'utilitzar *microstepping* així i tot, s'utilitzarà el *driver* DRV8255 i es programarà per fer-ne i així augmentar la seua resolució.

1.5.2. Subsistema de desplaçament de la càmera

Pel que fa al desplaçament de la càmera, s'ha dissenyat una estructura que serà impresa en plàstic PLA mitjançant una impressora 3D. Aquestes peces aniran unides a unes plaques per mitjà d'unions roscades. Les plaques estan preparades per fixar-se a uns rails d'alumini ja existents on s'hi troben ja fixats altres elements de la instal·lació. Les peces han estat basades en el disseny de la impressora 3D open source Prusa i3, en concret s'han utilitzat els dissenys dels eixos X i Z d'aquesta impressora. Els dissenys originals es poden trobar en la comunitat RepRap per a l'ús públic i general. Per tal d'adaptar les peces per a la funció que necessitem s'hi han modificat.



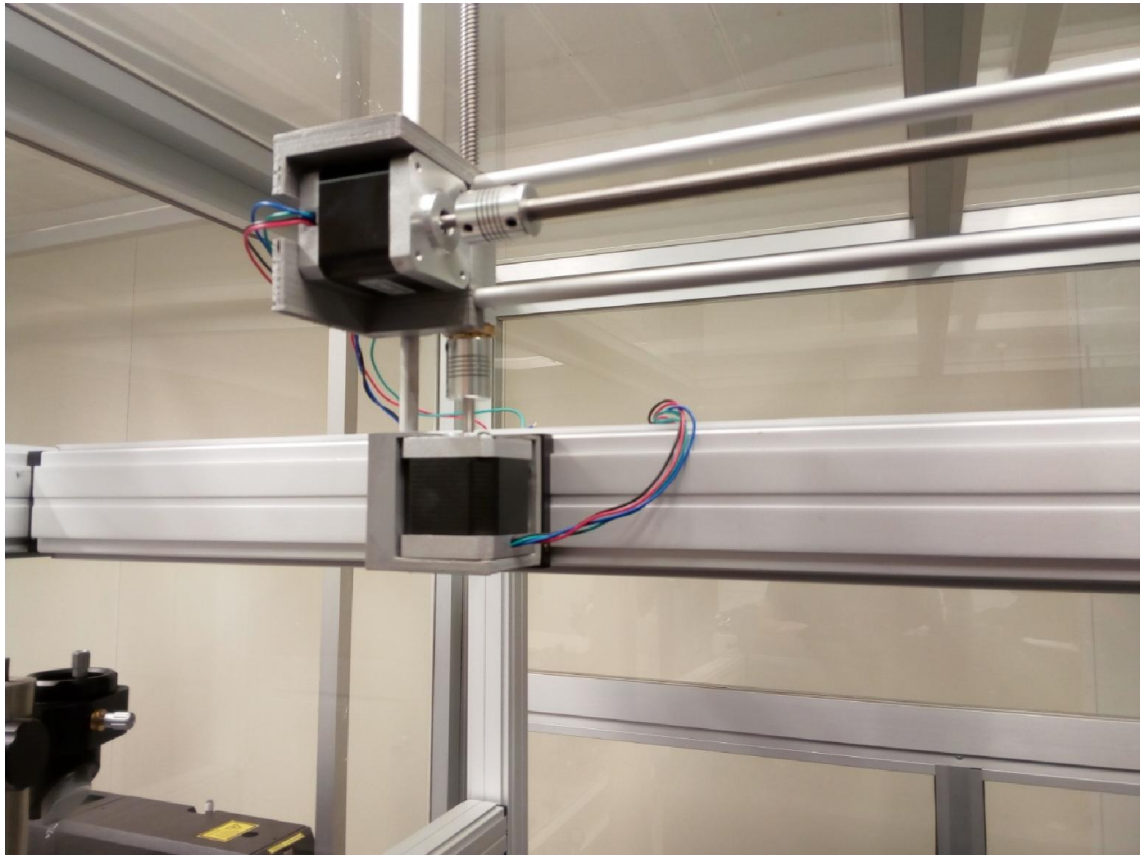
Imatge 5: Subsistema de control de la càmera

La primera modificació és l'ús de caragols per controlar el moviment vertical de la càmera. El moviment vertical s'utilitza per a que la càmera enfoque la fibra, en lloc de

les varettes roscades del disseny original. D'aquesta manera s'aconsegueix un desplaçament més uniforme perquè els caragols no tenen el joc que sí que presenten les varettes roscades. A més, s'ha de tindre en compte que els caragols estan pensats per a resistir forces de fricció provocades per un moviment constant mentre que les varettes roscades no i, per tant, es provoca un desgast que a la llarga faria perdre precisió i que, per aquest motiu, no podria aconseguir enfocar la càmera correctament. D'aquesta forma es perdria qualsevol capacitat per conèixer l'orientació dels nuclis de la fibra. Es tracta de dos caragols en les següents característiques:

- Longitud = 300 mm
- Diàmetre = 8 mm
- Pas de rosca = 2 mm
- Nombre d'entrades = 4
- Avanç per volta = 8 mm

El caragol girarà per mitjà d'un motor Nema 17. Com ja hem explicat abans, aquest motor pot arribar a fer 200 passos per volta avançant a cada pas $\frac{8}{200} = 0.04 \text{ mm}$ sense fer *microstepping*. Les femelles dels caragols estaran unides a les peces on se situa l'eix horitzontal de forma que, en girar el caragol, faja pujar o baixar les peces en qüestió. Aquestes peces, a més, estaran guiades per dues barres d'acer de diàmetre 8 mm que s'introduiran en uns rodaments lineals LML8UU que es troben en la peça, amb l'eix paral·lel a l'eix de la femella.



Imatge 6: Detall dels eixos vertical i horitzontal

També s'ha fet una modificació respecte al sistema original de l'eix horitzontal. En aquest cas, s'ha substituït el sistema de desplaçament per mitjà de corretges per un sistema basat en un caragol similar a l'utilitzat en l'eix vertical. En aquest cas, la femella estarà unida a la plataforma on s'enganxarà la càmera. Apart de la femella, en la plataforma es troben dos rodaments lineals LML8UU. En aquests rodaments s'introduiran dues barres d'acer de diàmetre 8 mm que faran de guia limitant el seu moviment al desplaçament horitzontal. En aquest cas, el caragol tindrà les següents característiques:

- Longitud = 500 mm
- Diàmetre = 8 mm
- Pas de rosca = 1 mm
- Nombre d'entrades = 1
- Avanç per volta = 1 mm

Com es pot observar l'avanç per volta és menor a en el cas anterior així doncs la precisió serà de $\frac{1}{200} = 0.005 \text{ mm}$, o el que és el mateix, $5 \mu\text{m}$, una resolució deu vegades inferior al que es volia i amb un codi de programari molt més senzill que si fóra necessari fer *microstepping*.

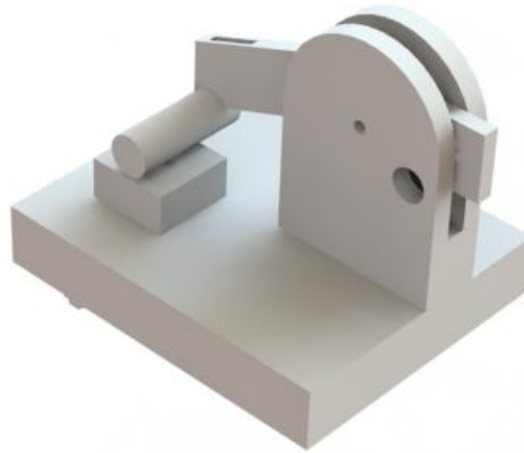
Per a l'eix horitzontal s'utilitzaran dos motors Nema 17 situats un en cada costat del caragol. Els motors es programaran per a que giren al mateix temps però en direcció contrària. En estar els motors amb els eixos enfrontats, si giren en direcció contrària fan que el caragol gire en una direcció aportant el doble de par que un sol motor. Açò ens ajuda perquè es pretén que els motors giren una velocitat entre 450 rpm i 600 rpm i, per això, la fricció tant del caragol en la femella com dels rodaments amb les varetes d'acer serà més elevada que a velocitats baixes.

1.5.3. Subsistema de manteniment de la fibra

Pel que fa al sistema dedicat a mantindre la fibra al lloc s'imprimiran en plàstic ABS dues peces. La primera, farà de base i s'adherirà a la taula de treball mitjançant caragols. En aquesta base podem trobar dues parts fonamentals. Una d'elles és el suport on va enganxat la segona peça, el basculant, i consta de dues parets amb una obertura en mig on estarà aquest. La segona part és la part on se situarà la fibra. Es tracta d'un eixint en forma ortogonal de dimensions $20 \times 20 \times 10 \text{ mm}$ amb una ranura en la seua part superior amb forma de triangle isòsceles de base 0.71 mm i d'altura 0.355 mm .

La segona de les peces és un basculant que en la seua posició de repòs descansarà damunt de l'obertura fent així que la fibra no es desplace en l'eix vertical. Està format per una làmina plana de 4 mm de grossor al fons de la qual s'hi troba un cilindre de 5 cm de diàmetre que és el que descansa sobre la ranura de l'altra peça. En la làmina es situen diverses fenedures. La primera d'elles en el plànol superior, de forma rectangular i cega on se situarà un contrapès de plom que ajudarà a mantindre el basculant en la seua posició dalt la ranura i, per tant, a que la fibra es mantinga al seu lloc. En el plànol frontal o alçat trobem una segona i una tercera fenedura passant i de forma circular. En la fenedura més propera al centre, de 10 mm de diàmetre, s'introduirà un rodament L293ZZ que farà contacte entre l'eix que uneix les dos peces i aquesta segona peça assegurant així que gire correctament i no hi hagen problemes de

fricció. En la última de les fenedures es troba un imant de neodimi del mateix diàmetre de la fenedura, 8 mm.



Imatge 7: Imatge digital del conjunt de basculant i base

En una de les parets del suport del basculant s'allotjarà un electroimant que, en passar-hi corrent, atrau l'imant de neodimi del basculant i modifica la seua posició per tal d'alinear els dos camps magnètics. D'aquesta forma s'alça la part contrària i s'allibera la fibra.

Per alimentar l'electroimant, atès que és necessària una tensió de 12V, que és més gran que la que ens pot proporcionar el microcontrolador *Arduino*, serà necessari utilitzar una font d'alimentació. Per a controlar el pas de la corrent s'utilitzarà un relé que si que serà controlat per mitjà de *Arduino*.

El control de tots els sistemes es farà per mitjà d'una placa *Arduino Mega 2560* [7]. *Arduino* és una companyia de *hardware* lliure que dissenya microcontroladors programables mitjan un *software* propi. El principal avantatge d'aquest sistema és que, com que es tracta d'un entorn orientat a l'aprenentatge, tant el *hardware* com el *software* són lliures i, per tant, es poden trobar gratuïtament. Com a conseqüència d'aquest fet, existeix una comunitat d'usuaris que serveix d'ajuda en la majoria de les aplicacions possibles. A més, la programació dels sistemes es torna senzilla en haver-hi una gran quantitat de biblioteques que possibiliten l'ús de diverses funcions amb un codi de programari simple. Hi ha diversos tipus de plaques, en aquest projecte s'utilitzarà la placa MEGA 2560 que té les següents característiques:

- Tensió d'alimentació = 7-12 V
- Tensió del sistema = 5 V
- Freqüència del rellotge = 16MHz

- Entrades/eixides digitals = 54
- Entrades analògiques = 16
- PWM = 14
- UART = 4
- Memòria flash = 256 Kb

1.6. Conclusions

El projecte ha finalitzat amb èxit en la mesura que s'han implementat les millores dissenyades i aquestes funcionen tal i com s'espera. Així doncs, s'ha aconseguit fer del sistema original una automatització que permet una fabricació de *FBGs* molt més eficient i lliure d'errors. A més, en tots els casos s'ha aconseguit una resolució major a la desitjada i s'ha dissenyat perquè, en cas necessari, aquesta resolució pugui ser major simplement canviant la programació de la placa *Arduino*.

Tot i que s'han aconseguit els objectius marcats hi han aparegut una sèrie de problemes que han fet que algunes parts del projecte hagen estat endarrerides o inclús s'han hagut de modificar per tal de solucionar els distints entrebancs que han marcat. El primer d'ells es tracta de la poca resolució de les impressores 3D a les quals es tenia accés que ha fet per una part que algunes peces hagen de ser descartades, com pot ser els engranatges que es tenien pensat fer per al sistema de rotació de la fibra o que la majoria de la resta de peces hagen hagut de ser rectificades o mecanitzades per poder ser d'utilitat. Un altre gran inconvenient que ha aparegut ha sigut la manca d'informació en molts dels productes adquirits. Fet que ha provocat que en alguns casos s'ha hagut de majorar, agafar el valor més alt entre els possibles o inclús donar-li valors a algunes dades per tal que el resultat siga el màxim i poder saber si arriba als límits o no. Això per exemple ha comportat el fet d'haver de ficar dos motors en l'eix horitzontal ja que la falta de dades junt a l'experiència dels usuaris de la comunitat RepRap feia pensar que sols amb un no es podria garantir que un sol motor tinguera un par suficient per desplaçar la plataforma. A més, alguns dels elements utilitzats no han sigut estudiat en profunditat al llarg de la carrera i per tant s'ha hagut de buscar informació en altres fonts.

Tot i això pense que aquest projecte m'ha aportat coses positives ja que m'ha permès entendre com és l'exercici lliure de la professió on un client, en aquest cas el GCOC, necessita solució a uns problemes i s'ha de investigar quina solució pot ser la

més convenient tant en termes de funcionalitat, qualitat i economia. A més he pogut aprendre com es treballa en un laboratori d'investigació, lliçó que considere molt enriquidora ja que en un futur voldria ser part de la comunitat científica i dedicar-me a la investigació.

1.7. Línies futures d'investigació

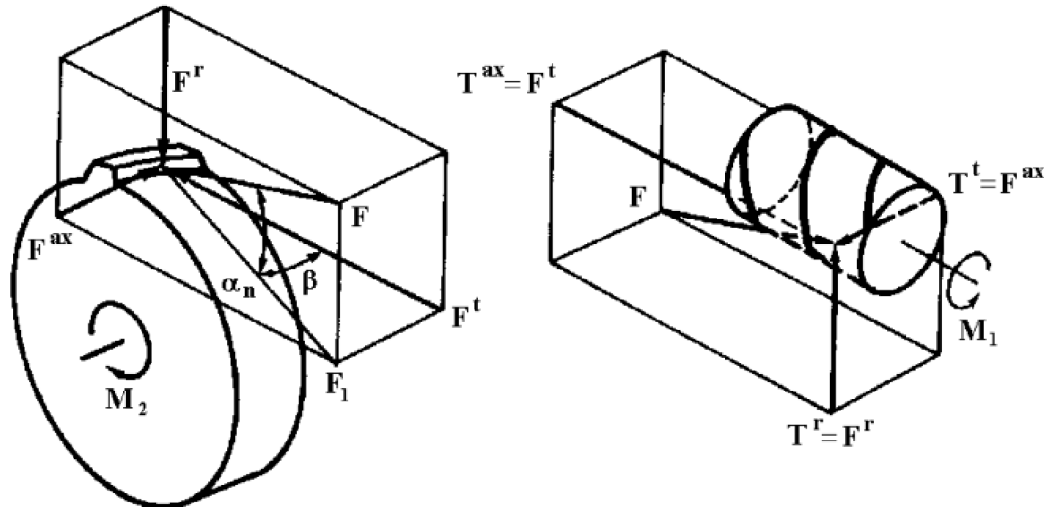
Tot i que en aquest projecte s'ha aconseguit millorar la instal·lació existent en el laboratori el procés encara no està totalment automatitzat i per tant encara es pot avançar més.

En aquest TFG s'han plantejat solucions alternatives a dos dels sistemes susceptibles de millora com és el moviment de la fibra i la retirada de la cobertura protectora que té per tal de poder codificar els nuclis. Podria ser objecte de futurs treballs el valorar aquestes solucions i posar-les en pràctica de la forma convenient o fer noves propostes.

També podrien estudiar-se altres sistemes com la selecció de màscares per les quals passa el làser i que li donen les característiques necessàries per a la codificació de la fibra o fer plans de manteniment per a la instal·lació.

Annex I: Càlculs

És necessari saber si el vis sense fi és capaç de suportar les carregues que s'aplicaran, per a identificar aquestes carregues en els càlculs s'utilitzarà el següent esquema:



Imatge 8: Esquema de la descomposició de forces

El moviment del vis sobre la corona provoca una força que es pot descompondre en tres forces diferents.

- Una primera, tangencial a la corona, és la dedicada d'efectuar el gir en l'esquema s'identifica amb Ft. Al mateix temps hi apareix una força del mateix mòdul i sentit contrari en el vis identificada amb Tax.
- Una segona força tangencial al vis, identificada amb Tt, s'oposa al moviment del vis. Al mateix temps apareix una força axial en la corona Fax.
- Finalment, una tercera força radial que apareix en els dos elements amb sentit contrari i s'identifica amb Tr o Fr i separa els dos elements.

Per a calcular tant de les forces que es produeixen com de la força tangencial màxima s'utilitzarà el mètode descrit en el llibre *A textbook of machine design* [8].

En primer lloc calcularem la força tangencial màxima que pot suportar la corona:

$$F^{t,max} = (\sigma_o * C_v) * b * \pi * m * y$$

On:

- $F^{t,max}$ és la força màxima que es pot fer abans que la corona es deforme, en les taules del llibre ressenyat aquest valor per al bronze fosforat és de 84 MPa.
- σ_0 és la tensió estàtica màxima.
- C_v és un coeficient que depèn de la velocitat.
- b és l'amplada de la corona.
- m és el mòdul.
- y és el factor de Lewis

Per a determinar el C_v és necessari saber la velocitat perimetral de la corona

$$v = \frac{\pi * D_c * N_c}{60} = \frac{\pi * 20 * 3}{60} = 3.14159 \frac{mm}{s} = 0.00314 \text{ m/s}$$

On:

- D_c és el diàmetre nominal de la corona.
- N_c és la velocitat en RPM.

Ja podem, per tant, calcular el coeficient de velocitat.

$$C_v = \frac{6}{6 + v} = 0.9994$$

El factor de Lewis es calcula de forma diferent segons l'angle de pressió entre el vis i la corona. En aquest cas, com que l'angle és de 20° la fórmula és la següent:

$$y = 0.0154 - \frac{0.912}{T_c} = 0.0154 - \frac{0.912}{20} = 0.1084$$

Tenim ja totes les dades necessàries per calcular el valor de la força màxima:

$$F^{t,max} = (84 * 0.9994) * 10 * \pi * 1 * 0.1084 = 285.91 \text{ N}$$

Coneixent la força tangencial màxima admissible, passem a calcular la força que exercim en la nostra aplicació. Abans d'això, però, s'han de calcular uns paràmetres geomètrics que s'utilitzaran en els càlculs posteriors.

L'angle d'avanç és el que es forma entre la tangent del vis sense fi i la línia perpendicular al seu eix. Com que és un disseny compacte, la forma més adient de calcular-lo és la següent:

$$\tan \lambda = \sqrt[3]{\frac{N_c}{N_v}} = \sqrt[3]{\frac{3}{60}} = 0.3684$$

Per tant:

$$\lambda = 20.22^\circ$$

Aquest angle es troba dins del rang recomanat per a un angle de pressió de 20° . Per tant, considerem el resultat com a acceptable.

En primer lloc, doncs, calcularem la força tangencial del vis o l'axial de la corona ja que, com hem vist anteriorment, aquestes dues forces són equivalents.

$$T^t = F^{ax} = \frac{2 * T_e}{D_v} = \frac{2 * 47.088}{1.6} = 58.86 \text{ N}$$

On:

- D_c és el diàmetre nominal del vis.
- T_e és el par aplicat.

Per a calcular la força tangencial a la corona utilitzarem l'angle calculat anteriorment:

$$F^t = T^{ax} = \frac{F^{ax}}{\tan \lambda} = 159.77 \text{ N}$$

Finalment, calcularem la força radial:

$$F^r = T^r = \frac{F^t}{\cos \theta} = 58.151 \text{ N}$$

Comparem, doncs, la força radial en la corona amb la força màxima:

$$X = \frac{F^r}{F^{t,max}} = 1.789$$

Com podem observar el factor de seguretat és major que 1, per tant no trencarà ho donem com a vàlid.

Pel que fa al sistema de desplaçament de la càmera, tant en l'eix horitzontal com en l'eix vertical s'haurà de comprovar que els motors tinguen la potència suficient per permetre el gir del caragol.

En primer lloc s'han d'identificar les forces que s'oposen al moviment, les quals s'han de vèncer. En el cas horitzontal només es troben les forces de fricció, per una part les que es donen entre la femella i el caragol i, per una altra, les del rodament lineal amb la guia d'acer.

La fricció entre el rodament i la guia és més complicada de calcular ja que el fabricant no especifica el seu coeficient de fricció i no és una dada que s'hi trobe de manera habitual. El que s'ha fet és buscar les dades d'un altre fabricant i, en el cas que s'assemblava al nostre, hem agafat les dades més desfavorables. Tot i això, s'ha de tindre en compte que serà tot una estimació, per això ens hem d'assegurar un bon coeficient de seguretat.

Primer hem de calcular la força normal a la barra, que serà igual en mòdul i de sentit contrari que el pes conjunt de la plataforma i de la càmera. Atès que el conjunt indicat té una massa de 0,5 kg aquesta força serà:

$$N = |P| = 0.5 * 9.81 = 4.95 \text{ N}$$

Multiplicant aquesta força pel coeficient de fricció sabem la força total que ha de vèncer el sistema. Aquest coeficient és de $\mu=0.03$, és un coeficient molt baix però hem de recordar que eixa és precisament la funció del rodament lineal, que no es produïska fricció.

Per tant la força és:

$$F_f = \mu * N = 0.1475 \text{ N}$$

Per a saber el par necessari s'utilitza la següent formula:

$$T = \frac{W * d_m}{2} * \left(\frac{f + \cos \alpha_n * \tan \lambda}{\cos \alpha_n - f * \tan \lambda} \right)$$

On:

- W és la carrega, en aquest cas la F_f
- d_m és el diàmetre del fuset
- f és el coeficient de fricció entre la femella i el fuset
- α_n és l'angle que es dona entre l'eix del fuset i la tangent de la rosca
- λ és l'angle que es formaria si desenvoluparem una volta completa

D'aquests angles, el primer que hem de calcular és λ :

$$\tan \lambda = \frac{L}{\pi * d_m} = \frac{n * p_a}{\pi * d_m} = 0.03978$$

$$\lambda = 2.2785^\circ$$

Per a calcular l'angle α_n és necessari l'angle de pressió α , el qual no ens proporciona el fabricant. Per tant, agafarem un angle de 45° ja que en aquest cas el resultat serà màxim. Amb aquest angle i λ podem calcular α_n .

$$\alpha_n = \tan^{-1}(\tan \alpha * \cos \lambda) = 44.97^\circ$$

El coeficient de fricció és l'últim que necessitem per calcular el par que fa moure el sistema. Aquest ve donat per taules en la teoria de l'aula. Agafarem el valor màxim que és 0.23. Per tant, ara ja podem calcular el par:

$$T = \frac{W * d_m}{2} * \left(\frac{f + \cos \alpha_n * \tan \lambda}{\cos \alpha_n - f * \tan \lambda} \right) = 2.17 * 10^{-4} N \cdot m$$

El par que ens donen els motors és de $0.94176 \text{ N}\cdot\text{m}$, molt major que el necessari però hem de tindre en compte que hi ha diferents suposicions que hem fet, com per exemple:

- Els coeficients de fricció mostrats no han estat assegurats en per el fabricant, els hem extret de guies i altres fabricants. A més, s'ha de tindre en compte que al girar a velocitats elevades com la que es pretén (al voltant de 450 RPM) es possible que aquest coeficient augmente sensiblement.
- L'angle de pressió tampoc ens el dóna el fabricant, ha estat suposat. En ser diferent al real podria ser que el resultat no coincidira.

En el cas de l'eix vertical farem les mateixes operacions però tenint en compte que la força és el pes del sistema, repartit entre els dos punts de recolzament que són els dos fusets. Donat que la massa del sistema son 1,3 kg la força és:

$$W = \frac{P}{2} = \frac{1.3 * 9.81}{2} = 6.3765 N$$

$$T = \frac{W * d_m}{2} * \left(\frac{f + \cos \alpha_n * \tan \lambda}{\cos \alpha_n - f * \tan \lambda} \right) = 0.0155 N * m$$

El par en aquest cas és de 0.47088 N·m i per tant és major que el necessari. Podem col·legir doncs que en aquest apartat no tindrem cap problema.

Per al sistema de retenció de la fibra s'ha de calcular la potència de l'electroimant que es va a utilitzar, per a aquest fi primer hem de saber quina és la força que s'ha d'exercir. En primer lloc s'ha d'identificar les forces que ja actuen sobre el sistema, aquestes són tres:

- El pes propi del basculant
- El pes del contrapès utilitzat per mantenir el basculant sobre la *v-groove*
- El pes del disc d'acer que al qual atraurà l'electroimant

El pes propi del basculant es reparteix per tot ell, però donat que aquest té una geometria complexa s'ha decidit que actue com una força puntual en el centre de gravetat. Aquest centre de gravetat, donada la complexitat de la geometria, s'ha situat per mitjà del programa *Solidworks*. La massa de la peça és de 4 g i per tant el seu pes és de $P_p = m * g = 39.24 mN$

El contrapès es tracta d'un octaedre de plom de dimensions 12x3x2 mm. Igual que en el cas anterior, per simplificar els càlculs, actuarem com si fóra una força puntual en el seu centre. La seua massa és de 8.16 g i el seu pes $P_c = m * g = 80.1 mN$

Finalment, el pes del disc d'acer, igual que en els casos anteriors, es considerarà una carrega puntual de massa 1,4 g i pes $P_d = m * g = 13.734 mN$

Calcularem ara el moment que actua sobre el punt on es manté el basculant, on es troba un rodament que garanteix que gire sense cap tipus de fricció. Les distàncies les podem trobar en l'esquema de la imatge 8.

$$M = 41 * 81.1 + 24.84 * 39.24 - 15 * 13.734 = 4026.77 \text{ mN} \cdot \text{mm}$$

Com que la força s'aplicarà en el mateix lloc on està el disc aquesta ha de ser de:

$$F_m = \frac{M}{d} = 268.45 \text{ mN}$$

Referències

- [1] <http://www.thorlabs.de/thorproduct.cfm?partnumber=HFR007> (Consultada 3 de juny de 2016)
- [2] <http://www.3despana.com/mecanica/8-motor-nema-17-25ah-42byghw811-4800-gcm.html> (Consultada 3 de juny de 2016)
- [3] <http://www.3despana.com/drivers-stepstick-pololu/165-driver-stepper-drv8825-disipador.html> (Consultada 3 de juny de 2016)
- [4] <http://es.rs-online.com/web/p/products/5216890/> (Consultada 4 de juny de 2016)
- [5] <http://es.rs-online.com/web/p/products/5216935/> (Consultada 4 de juny de 2016)
- [6] <https://www.thorlabs.de/thorproduct.cfm?partnumber=SS6N013> (Consultada 4 de juny de 2016)
- [7] <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560> (Consultada 15 de juliol de 2016)
- [8] R.S. Khurmi and J.K. Gupta, *A textbook of machine design*, 14^a ed., S Chand & Co Ltd, 2005

PART II: Plec de condicions

Donades les característiques d'aquest projecte, no existeix una normativa que ens indique de forma clara com s'ha de procedir a l'hora de escollir els components, per tant només podem actuar seguint les necessitats del producte, aquestes necessitats s'han tractat en l'apartat 1.3 de la memòria però es recalcaran per tal de clarificar-les.

Com en la resta del projecte, es dividirà en tres apartats corresponents a cadascun dels subsistemes

1. Subsistema d'orientació de la fibra

Donada la importància d'aquest sistema i la necessitat d'exactitud aquest sistema ha de tindre un error màxim de $0,1^\circ$. En quant a les peces que conformen aquest sistema trobem les següents:

1.1. Corona del vis sense fi

La corona ha de tindre les següents especificacions:

- 20 dents
- Diàmetre primitiu = 20 mm
- Diàmetre d'acoblament = 22.7 mm
- Material = Bronze fosforat.
- Tolerància H7

Aquestes característiques queden assegurades per la empresa que subministra els engranatges. A la corona se li ha de fer una ranura d'una amplada entre 2 i 3 mm per tal que la fibra descansa en l'acoblador dissenyat, aquesta ranura s'ha de cuidar perquè no tinga cap rebava on la fibra pugui enganxar-se i fer-se malbé.

1.2. Acoblador

Aquest acoblador està imprès mitjançant la tècnica de la impressió 3D i, per tant, no respon a cap normativa que no siga la de reproduir objectes patentats. Com en aquest cas el disseny és propi no hi ha cap problema. Una vegada imprès s'ha de comprovar que les mesures són les adequades.

1.3. Vis sense fi

L'empresa subministradora ens garanteix que el vis té les següents característiques:

- Longitud del vis= 3.2 cm
- Nombre d'entrades = 1
- Diàmetre primitiu = 1.6 cm
- Mòdul = 1 mm
- Angle de pressió $\alpha=20^\circ$
- Material= Acer
- Tolerància H7

1.4. Motor pas a pas

El motor ha de tindre les següents característiques:

- Tensió= 12 V
- Intensitat = 2,5 A
- Passos per volta/Gir per pas = 200/1.8°
- Diàmetre del eix =5 mm
- Longitud del eix = 20 mm

La unió de totes les peces es farà amb adhesius d'elevada resistència. Abans del muntatge en la instal·lació es faran proves manual per assegurar-se que l'adhesiu resisteix i la unió és forta.

2. Sistema de control de la càmera

Aquest sistema transmet una imatge de la fibra i, gràcies a ell, podem saber si el nucli es troba en la posició adequada o no. És, per tant, un altre sistema important i ha de respondre amb exactitud, l'error màxim admissible serà de 0.1mm. Pel que fa a les peces que el conformen, tenim les següents especificacions:

Fuset de 500 mm:

- Diàmetre = 8 mm
- Pas de rosca = 1 mm
- Nombre d'entrades = 1
- Avanç per volta = 1 mm

Fuset de 300 mm:

- Diàmetre = 8 mm
- Pas de rosca = 2 mm
- Nombre d'entrades = 4
- Avanç per volta = 8 mm

Varetes guia:

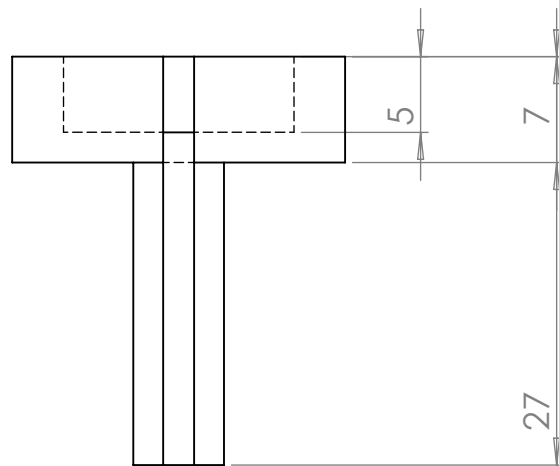
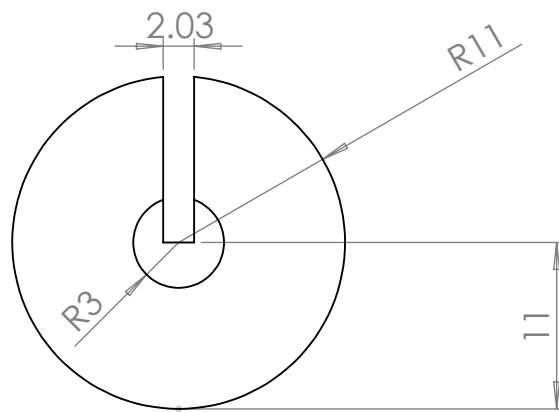
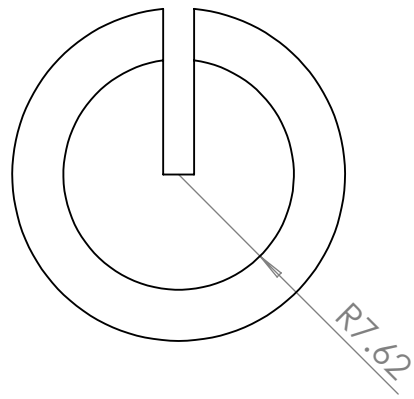
- Diàmetre = 8 mm

Una vegada unides totes les peces, s'engrassaran les varetes per tal de facilitar el moviment i es comprovarà que no tinga cap tipus d'inclinació. A més, es farà una prova per comprovar l'avanç de la càmera tant en l'eix horitzontal com en el vertical.

3. Subsistema de manteniment de la fibra

Aquest sistema s'encarrega de mantenir la fibra en el lloc mentre s'opera amb ella i, al mateix temps, ha de deixar un joc per a que pugui girar lliurement si el sistema de rotació està actuant. En les peces impreses s'hauran de mesurar per tal que tinguin les dimensions adequades i no hi hagen hagut errors d'impressió. Una vegada muntat el sistema s'ha de comprovar que el sistema funciona de manera correcta.

PART III: Plànols



Héctor Sanmanuel Torres

UPV- ETSID

ESCALA

PLANO

FECHA

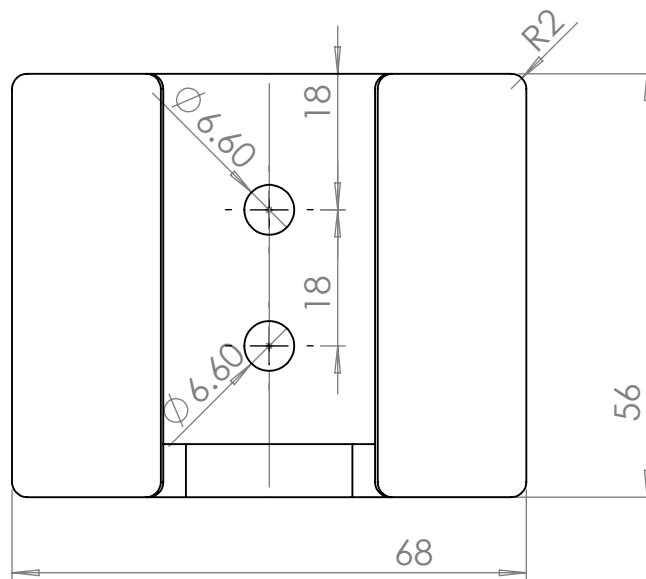
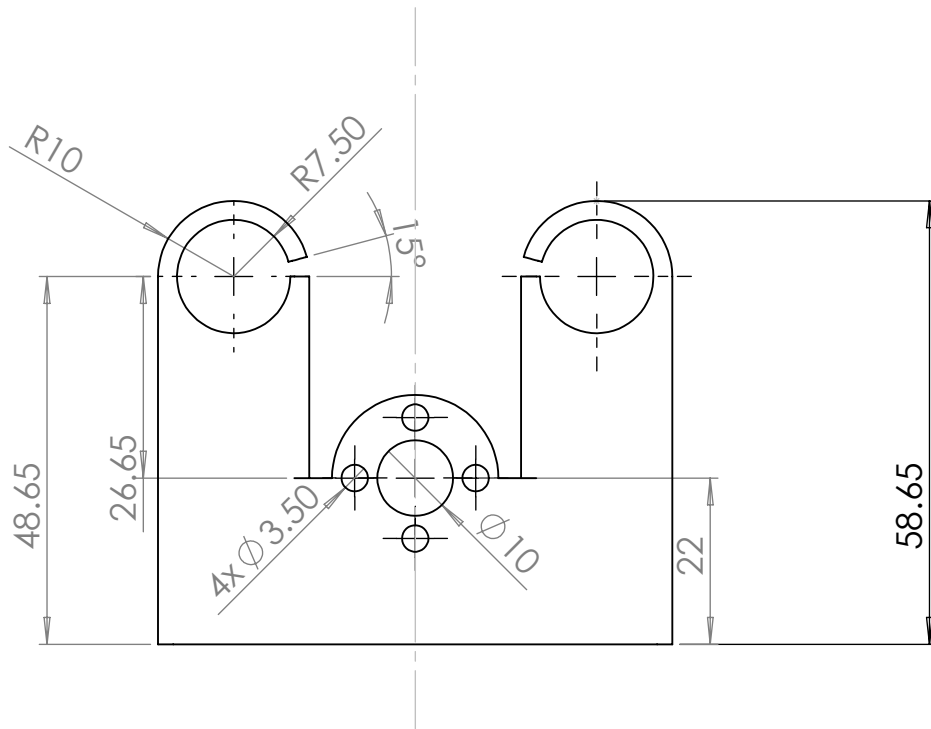
2:1

Adaptador

14/09/16

Nº PLANO

1



Héctor Sanmanuel Torres

UPV- ETSID

ESCALA

1:1

PLANO

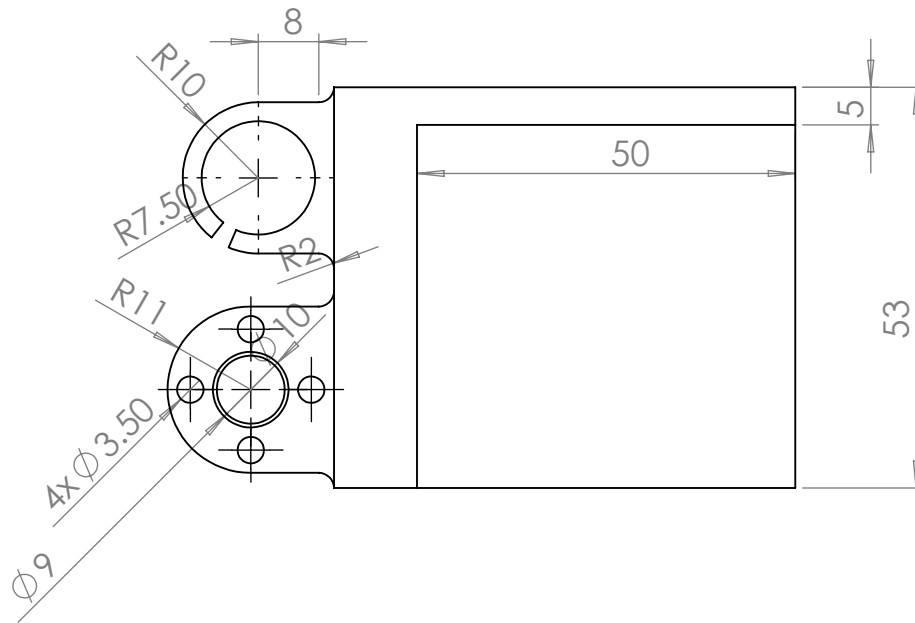
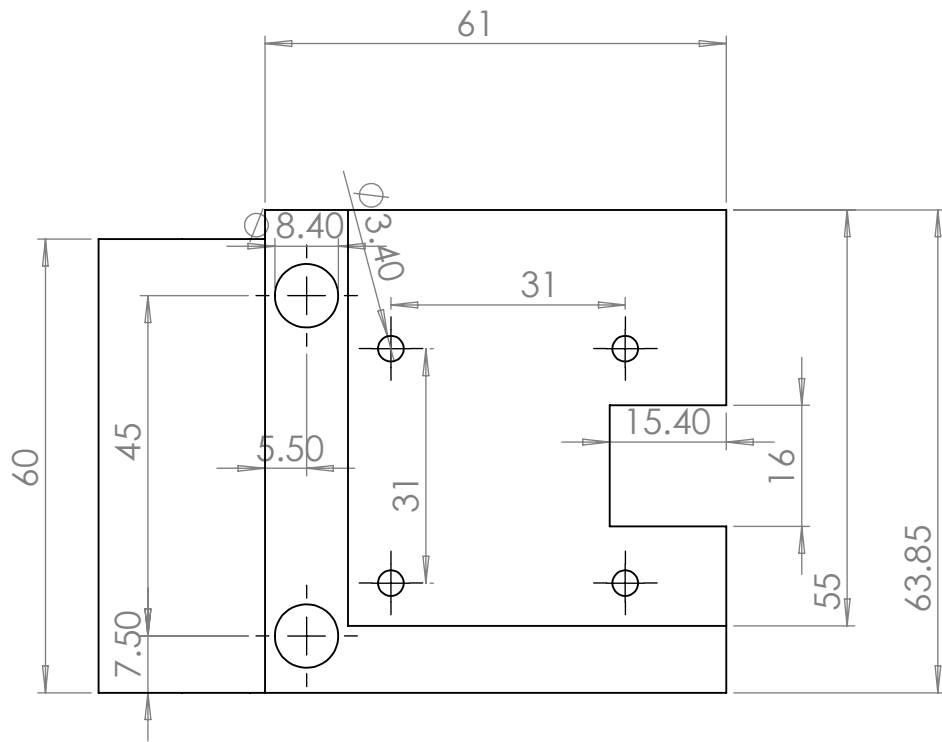
Carro

FECHA

14/09/16

Nº PLANO

2.1



Héctor Sanmanuel Torres

UPV- ETSID

ESCALA

1:1

PLANO

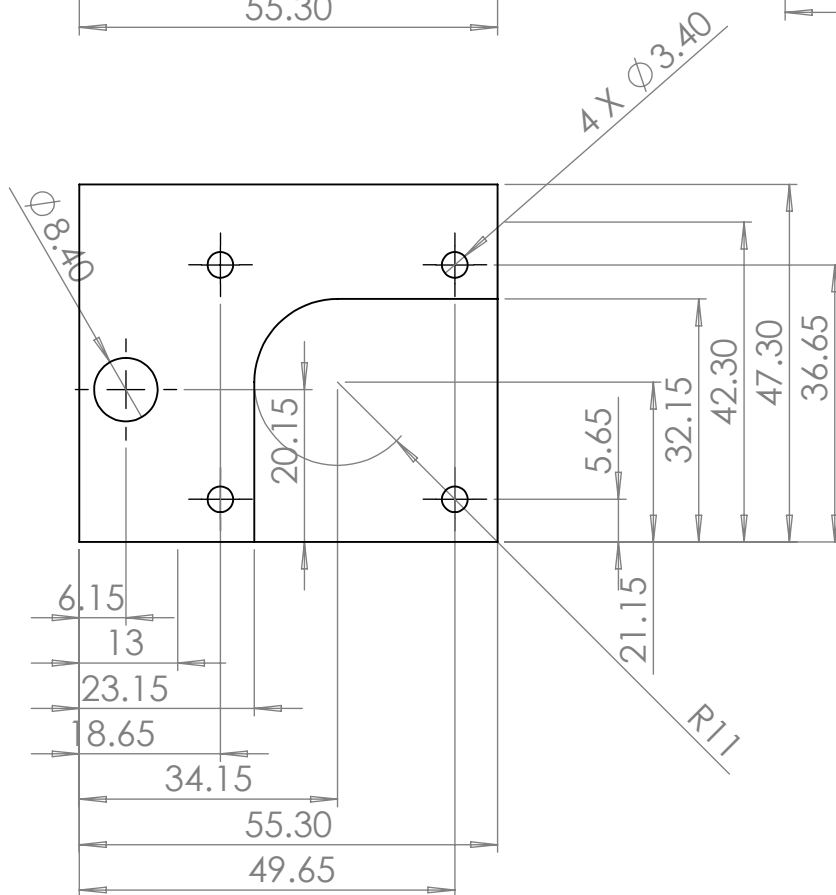
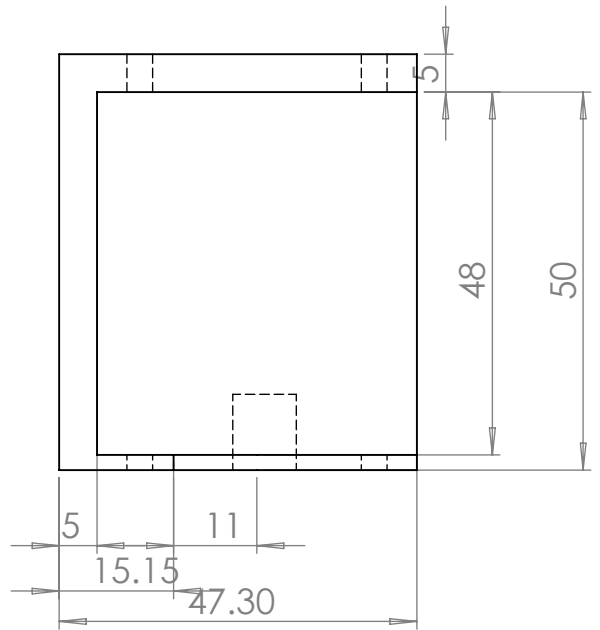
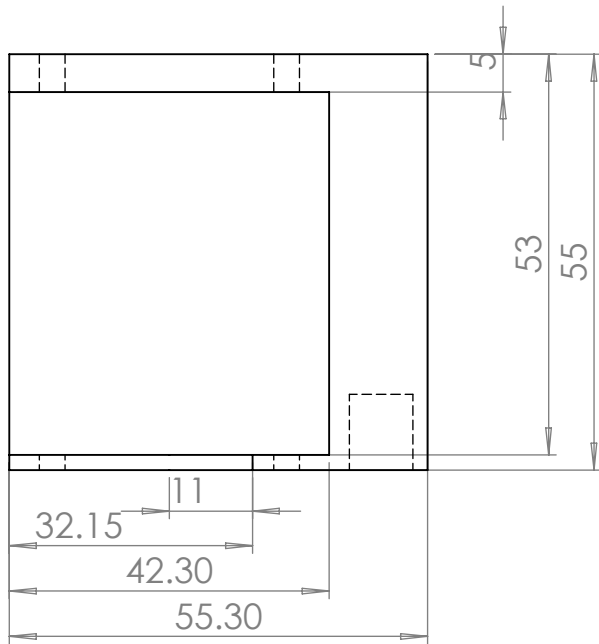
Suport motor horizontal
esquerre

FECHA

14/09/16

Nº PLANO

2.3



Héctor Sanmanuel Torres

UPV- ETSID

ESCALA

1:1

PLANO

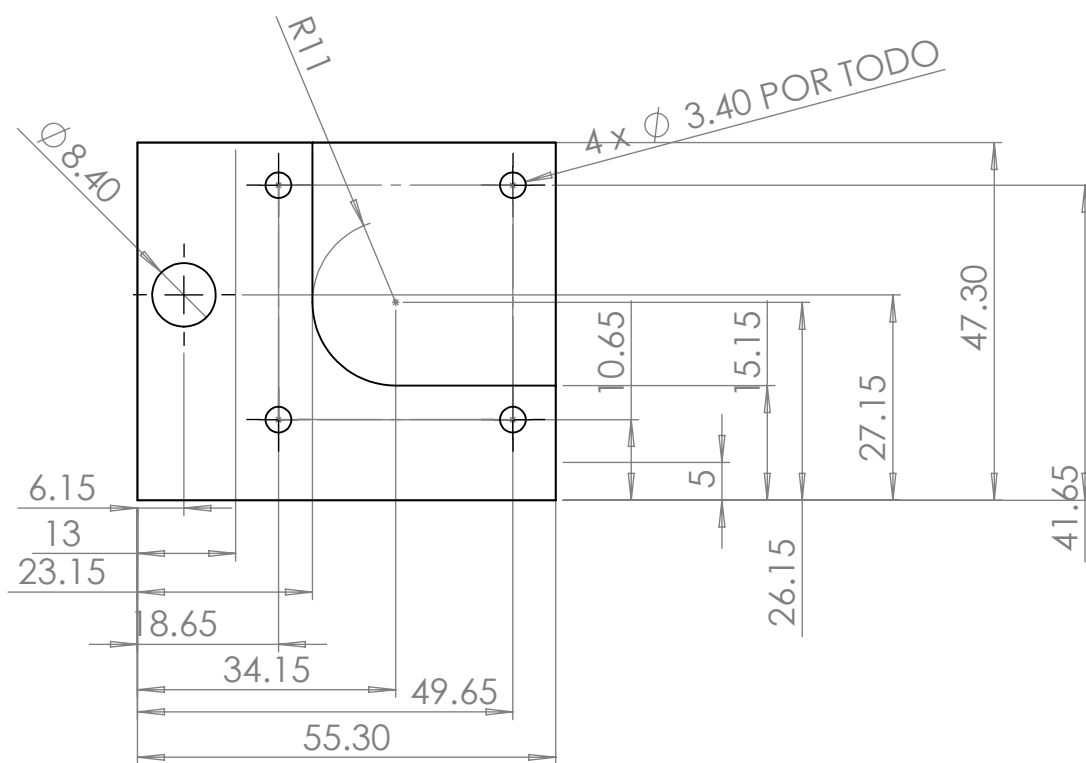
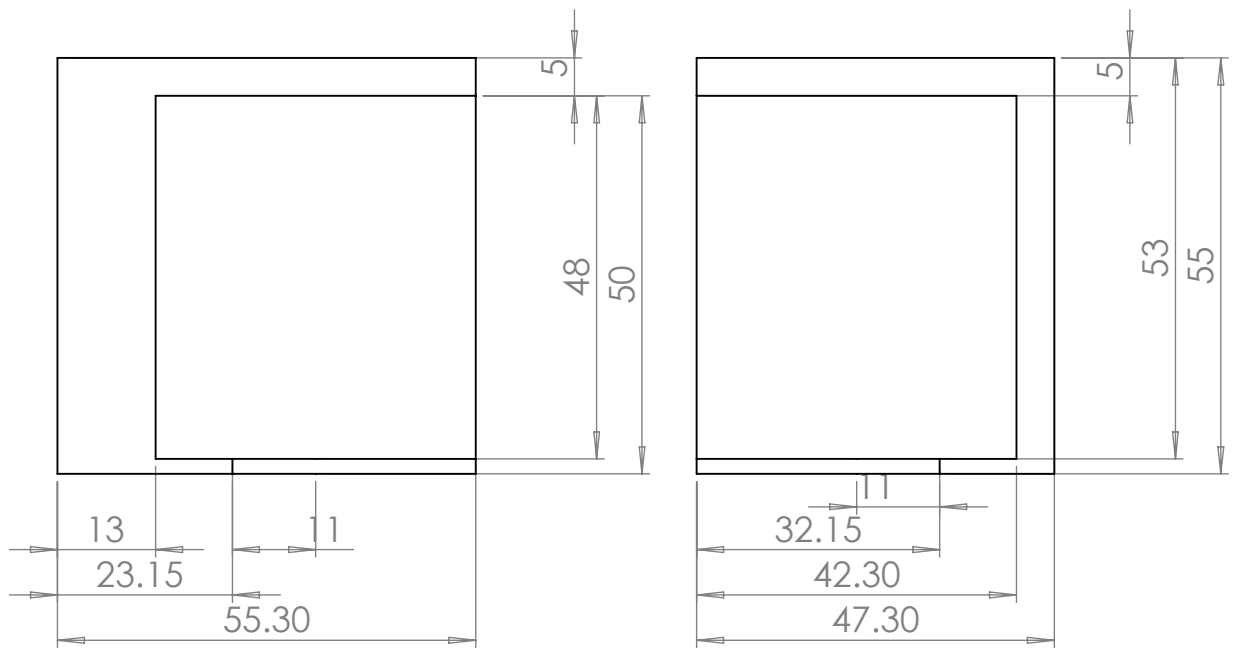
Suport vertical motor
esquerre

FECHA

14/09/16

Nº PLANO

2.4



Héctor Sanmanuel Torres

UPV- ETSID

ESCALA

1:1

PLANO

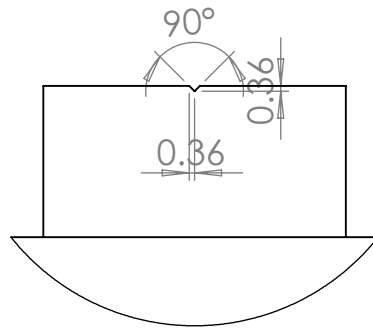
Suport motor vertical dret

FECHA

14/09/16

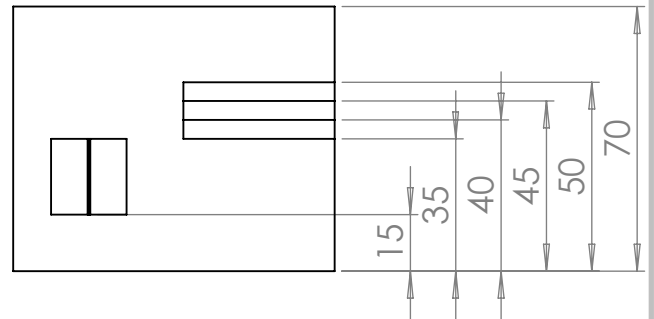
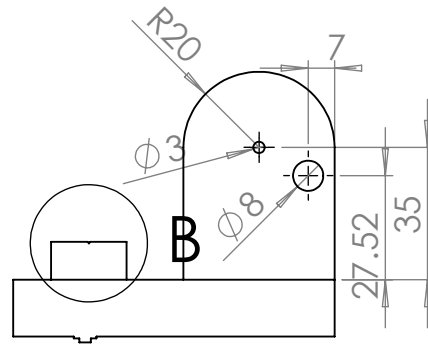
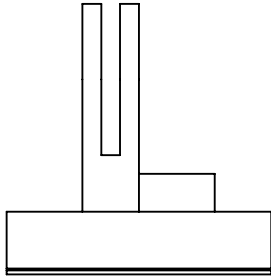
Nº PLANO

2.5



DETALLE B

ESCALA 2 : 1



Héctor Sanmanuel Torres

UPV- ETSID

ESCALA

1:2

PLANO

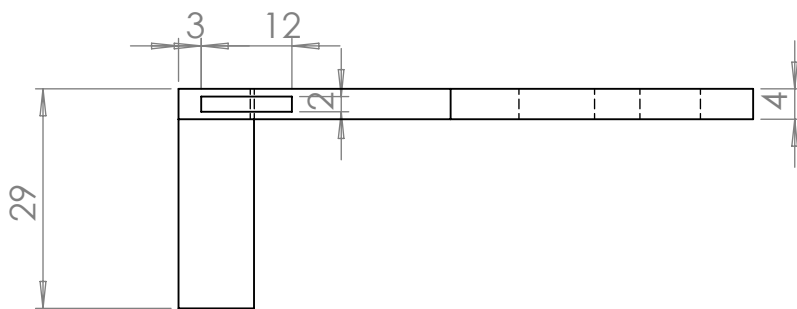
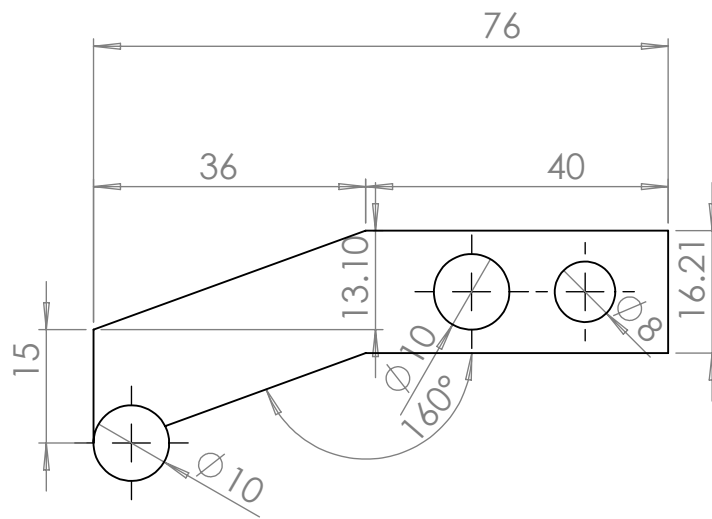
Base *clamp*

FECHA

14/09/16

Nº PLANO

3.1



Héctor Sanmanuel Torres

UPV- ETSID

ESCALA

PLANO

FECHA

1:1

Basculante

14/09/16

Nº PLANO

3.2

PART IV: Pressupost

En primer lloc s'ha de remarcar que en el pressupost no s'ha inclòs el preu de la impressió 3D, ja que aquesta ha sigut realitzada tant en una impressora pertanyent al GCOC com en l'espai destinat a la impressió de l'ETSED. Tot i això, s'ha consultat quin podria ser el preu en l'empresa *Shapeways* la qual és l'única que ens assegura la tolerància admesa en aquest projecte i ens permet aproximar un pressupost sense cap tipus de compromís.

Tenim 11 peces, el volum total de les quals és de 690.38 cm³. El preu dels materials que desitgem és de 5\$ per peça i 2.99\$ per cm³, és un dels materials més cars però ,com ja hem esmentat, és l'únic que ens assegura la tolerància desitjada. El total és per tant de:

$$5 * 11 + 690.38 * 2.99 = 2119.26\$$$

Que, al canvi a euros, corresponen a un total de 1883.66€, un preu elevat si s'haguera d'incloure en el projecte; encara que, com no és el cas, permet que el projecte es mantinga en l'objectiu marcat de ser econòmic.

Així mateix, no s'han inclòs preus en concepte de mà d'obra ja que entren dins del objecte del TFG .

Així doncs, passem al desglossament dels diferents sistemes:

4.1. Sistema de rotació de la fibra

Peça	Quantitat	Preu nominal	Preu final
BWW10/20/1R	2	18.75	37.5
SWB10/1R	2	12.09	24.18
Transport	1	5	5
IVA	1	14	14
Nema 17	2	10.99	21.98
Drivers	2	3.19	6.38
Total			109.04

4.2. Sistema de moviment de la càmera

Peça	Quantitat	Preu nominal	Preu final
Fuset 300	2	10.99	21.98
Fuset 500	1	17.99	17.99
Varilla 8mm	2	3.65	7.3
Nema 17	4	10.99	43.96
Drivers	4	3.19	12.76
Total			103.99

4.3. Sistema de manteniment de la fibra

En aquest sistema, l'única peça que s'haurà d'adquirir és un imant de neodimi de cost 7.89 €.

4.4. Cost del disseny, mà d'obra i llicències

Concepte	Hores	Preu per hora	Preu total
Disseny	5	15	75
Muntatge	2	10	20
Llicències	3	1.36986301	4.10958904
Total			99.109589

TOTAL

En total, en els tres sistemes s'ha invertit un total de 320.03€, aquesta xifra es troba dins dels límits que s'havien marcat per tal que el projecte resultara econòmic.