

VIS AERI

L'HELICOTPER DEL RENAIXEMENT



ÍNDEX

VIS AERI, l'helicòpter del Renaixement

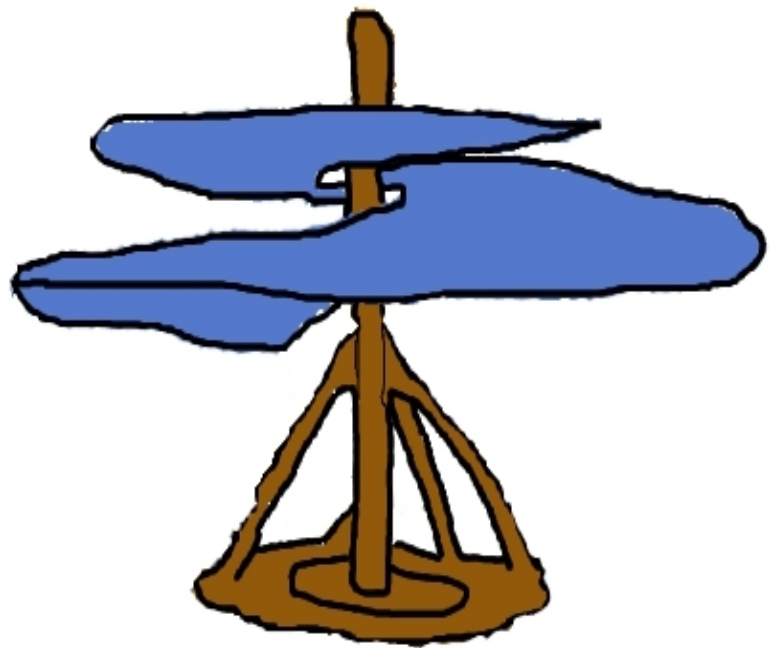
INTRODUCCIÓ	2
Inicis i motivació	3
Objectiu i hipòtesi	5
Metodologia	6
Nomenclatura	7
RECERCA HISTÒRICA	8
Leonardo Da Vinci, el personatge	9
Introducció a la “vite aerea”	12
Anàlisi científica del “vis aeri”	15
RECERCA CIENTÍFICA	17
El concepte del vol	18
APARTAT PRÀCTIC	22
Diferents projectes:	
1r projecte: l'helicòpter	23
2n projecte: “vis aeri” (prototip)	27
3r projecte: “vis aeri” (definitiu)	30
CONCLUSIONS	36
FONTS D'INFORMACIÓ	40
AGRAÏMENTS	44

CD i PROJECTE



INTRODUCCIÓ

- Inicis i motivació
- Objectiu i hipòtesi
- Metodologia
- Nomenclatura



"L'últim que un aprèn és per on començar"

BLAISE PASCAL



Els Inicis i motivació

Abans de començar 4t d'ESO jo tenia gairebé decidit del tot que el que realment volia estudiar jo era història, ser arqueòleg i conèixer tots els secrets que ens porten als temps moderns, entendre el món amb molta més perspectiva. Tot i això vaig decidir seguir estudiant física, ja que també m'atreia molt la part científica de comprendre el món. A mesura que passava el curs no vaig aconseguir decidir-me, no sabia si havia d'estudiar el Batxillerat científic o el Social. I un dels altres grans temes era el Treball de Recerca.



Galleria degli uffizi, Florència

Per sort, abans de fer el viatge de final de curs a Itàlia ja havia decidit que finalment em decantava a favor de les ciències. Malgrat haver triat ja la modalitat, em seguia fent ballar el cap saber com poder combinar-ho amb la història.

Precisament va ser durant el viatge a Itàlia, que se'm va acudir la solució. A la Galleria degli Uffizi, a Florència. Era la combinació perfecta per a mi, història i tecnologia, i just al davant LEONARDO DA VINCI (a més a més) justament la part de la ciència que tenia més ganes d'entendre era el vol, res més perfecte que aquesta combinació. A partir d'aquí, que ja hi havia un tema que em permetia estudiar el que jo volia, només quedava anar perfilant i decidint cap a on dirigir el treball.

Ja tenia decidit tirar cap a la part més tècnica del que podria ser un bon tema del treball, potser estudiar les lleis del vol a partir de les màquines voladores de Leonardo, fer un estudi general de tots els artefactes, trobar les raons per les quals podrien funcionar o no, comparar els materials que va utilitzar amb els que s'utilitzen ara pel vol, o pel que em vaig acabar de decidir: fer una comparació entre l'helicòpter modern i el famós helicòpter (o “vis aèria”) de Leonardo Da Vinci.



Estàtua de Leonardo Da Vinci de la “Galleria degli Uffizi” a Florència



Per tal de triar com orientar el treball vaig comptar amb l'ajuda del professor de tecnologia de l'institut, Pep Porredon, fins i tot abans de saber que seria el meu tutor. A més a més, un cop ja tenia més o menys perfilat el treball, vaig parlar amb exalumnes del centre (i amics meus) que ara estudien enginyeries relacionades amb l'aeronàutica i em van dir quina podria ser una bona manera d'encarar el treball.

Un cop triat el treball i vist que de motivació no me'n faltava, només calia algú (en aquest cas el Pep) que m'ajudés a donar una primera empenta al projecte, em faltava trobar com començar i per on. Per tant, una bona manera de començar va ser fer un estudi de la màquina escollida, el “vis aeri”, el famós helicòpter de Leonardo. Per entendre-la calia fer un estudi de quina era la funció que tenia, com se suposava que havia de volar, com Leonardo va pensar que podria funcionar...



OBJECTIU I HIPÒTESI

L'objectiu del treball és dur a terme la comparació entre el vis aeri que Leonardo Da Vinci va dissenyar durant el Renaixement italià i un helicòpter modern, a partir de tres apartats diferents:

Pel que fa el tema més històric, l'objectiu és conèixer una mica més l'enginyer polifacètic italià, les seves màquines i treballs, i les eines de les quals disposava per dur a terme la seva feina.

Una de les altres vessants, la més científica, té com a objectiu aprendre sobre el vol amb els coneixements moderns, entendre per què els helicòpters i els avions volen, com l'ésser humà ha arribat a conquerir el cel.

L'última part del treball és la part més tècnica, l'objectiu és dur a terme la comparació en si, construir un prototip d'helicòpter i un prototip de “vis aeri” de característiques similars (pes, grandària, potència dels motors...) i així finalitzar el treball ajuntant les dues parts tot arribant a una conclusió a partir dels resultats obtinguts en aquesta pràctica i els coneixements adquirits en els apartats anteriors.

Amb els objectius exposats, formulo la següent hipòtesi:

“El “vis aeri” que va dissenyar Leonardo Da Vinci no pot enlairar-se independentment del pes i força amb què giri, ja que la forma de l'ala impossibilita el vol”



METODOLOGIA

En cada apartat i subapartat del treball s'utilitza una metodologia diferent, que ara explicaré:

Pel que fa a la part més històrica i tot el que es refereix a Leonardo Da Vinci i les seves màquines, la informació serà bàsicament escrita. Utilitzaré diversos llibres que parlen de la vida i obra de Leonardo, com ara: " Las máquinas de Leonardo", en el qual s'informa detalladament de molts dels ginyes que Leonardo va dissenyar, i que ha estat molt útil per entendre com Leonardo concebia els seus mecanismes. També es combinarà amb la recerca d'informació a través de documents extrets d'Internet i la informació de l'exposició itinerant "Da Vinci EL GENIO" de Madrid.

La part científica es basa en l'explicació del concepte del vol, i la informació s'extraurà en la seva totalitat del llibre "Understanding Flight" que he aconseguit gràcies a l'estudiant d'Enginyeria d'Aeronavegació Dani Callejas. La intenció és llegir el llibre, extreure'n les informacions més rellevants per al treball i exposar-les al treball de manera clarificadora i que tothom amb una petita base de física pugui copsar.

Pel que fa a la part tecnològica, al projecte en si, es farà una comparació molt bàsica entre un helicòpter modern i la "vite aèria" que Leonardo Da Vinci va dissenyar el 1489. Per tal de poder realitzar aquesta comparació, es farà una maqueta del "vis aeri" de Leonardo que es pugui intercanviar amb els rotors d'un helicòpter RC, així podrem estudiar el comportament de l'helicòpter en els dos tipus de rotors: els utilitzats actualment i el "vis aeri" de Leonardo. Per tal de construir les maquetes es treballarà al taller de tecnologia durant el curs 2011-2012 i durant l'estiu treballarà a casa amb les eines cedides pel meu cosí Gerard Puig. Els plànols i dissenys estaran fets de maneres diferents segons la part del treball en què ens trobem: en el primer projecte, al ser només un prototip i en veure que hi hauria un projecte final més o menys diferent, el disseny està fet a mà, i serveixen essencialment per donar una idea bàsica de com ha de ser i de com he de construir el projecte; pel segon projecte també s'utilitzen plànols fets a mà, tot i que més que uns plànols o disseny més aviat és un model, ja que està fet a escala 1:1, a més a més, per l'apartat en el qual explico el procediment de la construcció del giny, utilitzo un dibuix que jo mateix he fet amb QCad; finalment, per al projecte del "vis aèria" definitiu utilitzo plànols fets a escala, tots realitzats amb QCad.



Nomenclatura

Aquest apartat a priori pot semblar que no sigui del tot necessari, però en tot cas m'ha semblat una bona iniciativa la introducció de la nomenclatura per tal d'evitar confusions i facilitar la lectura del text.

“Vis aeri” → la màquina que va dissenyar Leonardo Da Vinci, la qual té una estructura que ens pot recordar a un helicòpter modern. Al llarg del treball, per tal d'evitar la repetició podrem trobar “vis aeri” o bé “vite aerea” (el nom original en italià).

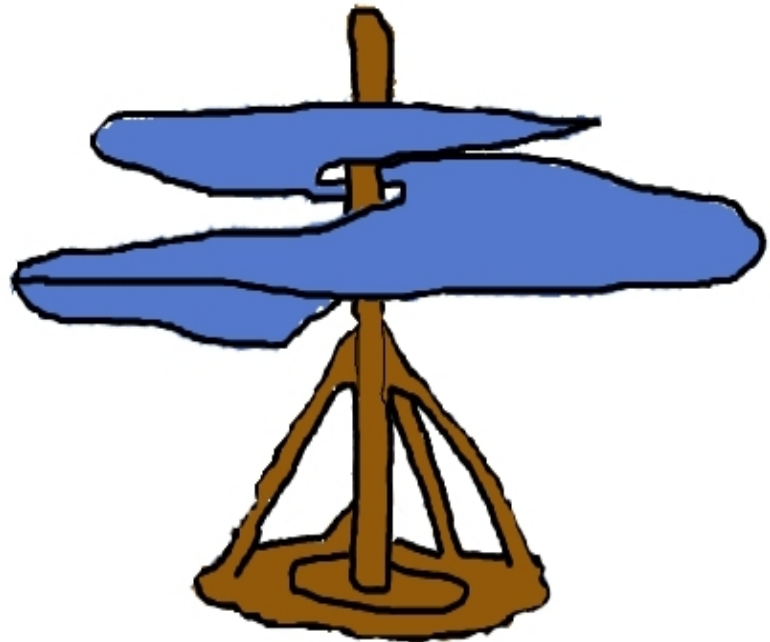
Helicòpter RC → s'utilitza per anomenar un helicòpter de Radio Control, és a dir, maquetes d'helicòpters controlades per radio.

Rotors → pales de l'helicòpter. Són els plans aerodinàmics dels quals l'helicòpter obté la força de sustentació.



RECERCA HISTÒRICA

- Leonardo Da Vinci, el personatge
- Introducció a la “vite aera”
- Anàlisi científica del “vis aeri”



"Leonardo Da Vinci, què més se'n pot dir? El seu geni diví i la seva mà divina li van merèixer expirar sobre el pit d'un rei. La virtut i la fortuna vetllen, premi a les grans despeses, en aquest monument que li correspon"

GIORGIO VASARI



Leonardo Da Vinci, EL PERSONATGE



Autoretrat de l'autor datat de 1512 a 1515, el podem trobar a la "Biblioteca Reale" de Torí

Leonardo va ser un personatge molt important per l'època i per l'evolució de les ciències i enginyeries en general (entenen enginyeries com l'aplicació dels coneixements de la ciència per tal de resoldre problemes i satisfer necessitats) en general més enllà del que va aportar en el camp del vol. Comptem amb un seguit de proves d'aquests avenços que va crear Leonardo, i que a diferència de les màquines de vol, van tenir una aplicació útil en la mateixa època.

Per tal de fer més lleuger i entenedor l'apartat de les màquines el dividirem per tipus de màquines:

- Les conegudes **màquines de guerra** de Leonardo:

Leonardo va viure temps de guerres. Durant el renaixement italià, els diferents Estats Italians (Florència, Venècia, Milà, l'Estat Pontifici i Nàpols) van viure confrontats entre ells i amb altres potències de l'època, per tant, Leonardo va tenir un paper important com a enginyer de guerra de famílies com els Sforza (a Milà) o de Cèsar Borja (a les campanyes militars de la Romagna).

Les màquines més destacades que va dissenyar en aquest període de guerres són:

- L'Espingarda, canó que permetia una gran quantitat de moviments i que era relativament senzill. Apareix per primer cop al Còdex Atlàntic f.844r¹ entre 1493 i 1495.
- Metralladores diverses amb gran capacitat de tir. Cobrien un gran radi d'acció, lleuger, i per tant dissenyat per a poder ser transportat fàcilment. Es creu que va ser

¹ Enumeració típica en els Còdex de Leonardo Da Vinci, indica la pagina on trobaràs la informació en qüestió.



dissenyada el 1482 i apareix també al Còdex Atlàntic f.157r.

- Carro de combat, de les màquines bèl·liques de Leonardo Da Vinci, potser la més impressionant i complexa, si més no de les més famoses. Consistia en un carro de combat protegit per un escut gegant, i era especial degut a la gran potència que tenia com a màquina de guerra, es podia moure amb relativa llibertat pel camp de batalla. Apareix el 1485.

Aquesta només és una petita selecció de diverses màquines que l'italià va idear i en molts casos construir pels senyors en temps de guerra, que van des de fortaleses i proteccions per a les muralles fins a catapultes i canons innovadors.

- **Màquines hidràuliques**

Així com l'aire va ser un element que va meravellar Leonardo, també va treballar durament per lluitar contra els problemes que l'aigua ens proporciona i intentà que ens poguéssim sentir tan còmodes a l'aigua com a terra ferma. A més a més, també comptem amb algunes màquines que Leonardo va idear per treure profit de la força de l'aigua.

- Serra mecànica: servia per tallar grans troncs de llenya, utilitzava la força de l'aigua per moure un molí que amb l'energia necessària accionava la serra, al mateix temps un sistema de politges movia els troncs al llarg de l'eix de tall.
- Embarcació de pales: canviava el sistema de rem, que era un sistema interromput, per un sistema de pales que proporcionava energia per al moviment de l'embarcació contínuament.
- Pont giratori: en el conjunt de ponts que va dissenyar el florentí, destaca el pont giratori, que permetia el desplaçament terrestre des d'una riba a l'altra i alhora permetia el moviment de vaixells.



- **Màquines de Treball**

Leonardo va dissenyar un seguit de màquines que facilitaven tant els treballs al camp com els treballs de taller. Va dissenyar des de grues fins a artefactes que fabricaven torns.

- Màquina del moviment altern: era un giny dissenyat per Leonardo que havia de tenir la funció de transformar el moviment altern en moviment continu.

A més a més d'encarregar-se d'afrontar unes necessitats de l'època mitjançant les màquines, Leonardo es va dedicar a millorar la ciència i la medicina fent estudis de la natura, del cos humà... va ser un científic complet, que depenia únicament de l'observació i un no parar de preguntes que ell mateix es formulava, ja que al ser el fill il·legítim del notari Messer Piero Fruosino di Antonio Da Vinci no va poder estudiar llatí ni ciències.



Còdex Forster, 1493-1505

Tot el que Leonardo descobria, escrivia i inventava va quedar recollit en codis (també anomenats còdex) que han facilitat la recuperació de la memòria de Leonardo Da Vinci. Actualment es conserven deu codis repartits arreu del món (un dels quals es troba a la Biblioteca Nacional a Madrid).

L'expressió que més bé crec que s'escau per descriure Leonardo seria "Homo Universalis" (que es traduiria com a Home d'esperit universal), és a dir, un home que era un expert en molts camps, ja que Leonardo, a part de ser un reconegut científic, enginyer, inventor, arquitecte... també és un dels artistes més importants del Renaixement italià. Deixeble del pintor florentí Andrea Berrocchio, Leonardo és l'autor d'obres d'art mundialment conegudes com ara "L'Home de Vitruvi", "La Mare de Déu de les Roques", "La Gioconda" o "el Sant



La Gioconda, Leonardo Da Vinci, 1503-1507



Sopar”, entre d'altres. Era un artista polifacètic, com en tots els camps, era tant bon pintor, com escultor i músic. Quan es dedicava a una pintura no tenia ulls per res més, treballava de sol a sol, sense descans i fins i tot sense menjar si convenia fins que l'acabava.

En resum (si és que la vida de Leonardo es pot resumir): Leonardo va ser una persona que va revolucionar completament una època, que va aportar millores en cada un dels camps en els quals va treballar, un geni que va innovar tot el que va poder, fins i tot es diu que era un excel·lent cuiner que aportà receptes noves (cal destacar que era vegetarià i amant dels animals), amb les dietes que ideà, s'ha de dir que Leonardo va gaudir d'una salut esplèndida, vivint 67 anys. La fama de Leonardo és tal que fins avui dia és un personatge conegut arreu del món i gràcies a llibres, pel·lícules i videojocs segueix sent un personatge vigent.

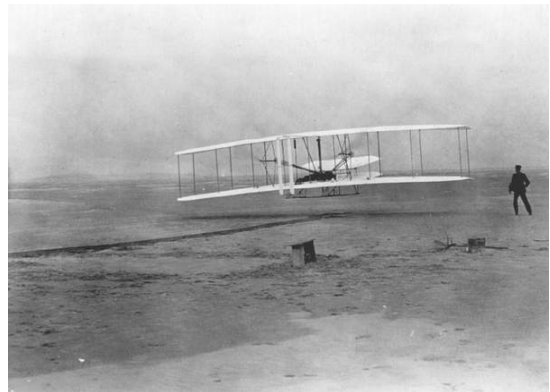


INTRODUCCIÓ A LA “VITE AEREA”

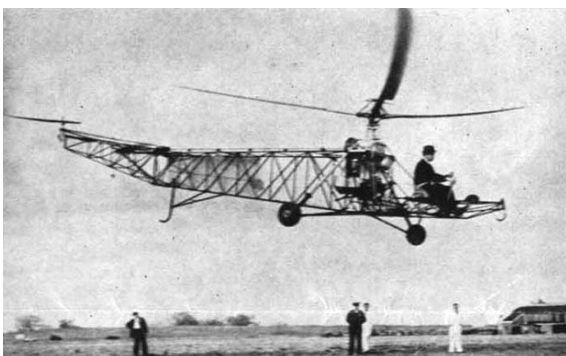
Leonardo Da Vinci era un gran observador de la natura, i no només es quedava aquí, volia descobrir com funcionava la dinàmica de la terra, les lleis que la regien, el per què de tot. I com a bon científic que era, es formulava preguntes. Una de les preguntes més notables que tenia era el funcionament del vol dels ocells.

Per tal de copsar fins a quin punt va fascinar el fet del vol a Leonardo, només cal fer un cop d'ull als estudis que va realitzar sobre la dinàmica dels fluids en els quals s'observen rius, corrents d'aire... recollits al còdex Hammer (o Leicester). També són apassionants els estudis que va realitzar sobre màquines de vol i com l'home podria arribar algun dia a conquerir el cel, recollits al còdex Atlàntic.

Malgrat que Leonardo, considerat el primer científic i el primer enginyer, va avançar molt els coneixements que hi havia en aquest àmbit, no va poder assolir els coneixements suficients sobre la dinàmica de l'aire com per poder ni tans sols imaginar una màquina capaç d'elevant l'home. Per tant, no va ser fins al 17 de desembre de 1903 que els germans Wright van aconseguir realitzar el primer vol controlat.



El primer vol de la història realitzat pels germans Wright al 17 de desembre de 1903



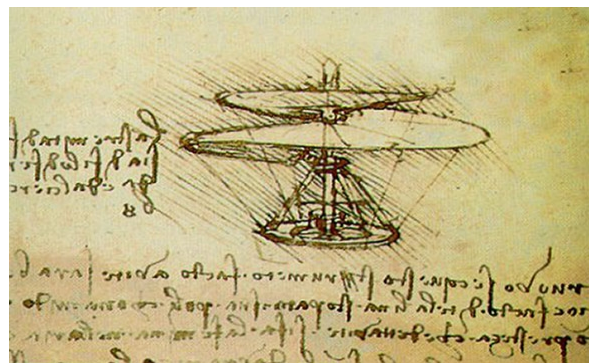
Helicòpter d'Igor Sikorsky

Inspirant-se també en Leonardo, aquesta vegada en la “Vite aerea” al 1930 Igor Sikorsky va construir el primer helicòpter.



Leonardo, a part d'observar la natura, a l'hora de dissenyar una de les seves màquines més famoses, la “vite aerea”, també va comptar amb “l'ajuda” dels treballs d'Arquímedes. Leonardo, com he esmentat, va realitzar molts estudis sobre el comportament de fluids com ara l'aigua, i va arribar a la conclusió que si podia exercir la suficient força de la manera adequada sobre l'aigua aconseguiria comprimir-la fins al punt que aquesta actuaria com un sòlid. També va pensar que en l'aire funcionaria. D'aquí li van començar a sorgir les idees de la “vite aerea”. Leonardo es proposava fer girar el pla de l'ala contínua a suficient velocitat com per comprimir l'aire que hi havia a sota i llavors al tenir forma de vis, el seu “helicòpter” es clavaria en l'aire i s'enfilaria cel amunt.

A part dels problemes, ara fàcilment perceptibles, com són la qüestió del pes, la forma de la ala, la força amb la que s'hauria de fer girar perquè obtingués la suficient velocitat, al disseny que es va trobar al codi Atlàntic s'hi pot observar un error molt més important que Leonardo podria haver evitat:



segons el disseny inicial, el gir de la barra central que projectaria l'aparell amunt obliga la plataforma de la base a girar en sentit contrari, fet que no permetria que l'aparell volés de cap manera. D'aquí en podem treure dues conclusions: una, o bé Leonardo no dominava o no comprenia el concepte físic de la torsió, o, com es pot veure en molts dels seus dissenys, Leonardo va errar els plànols expressament, per tal que si mai queien en mans enemigues, els fos impossible de realitzar l'invent (fet que es va comprovar científicament² en el tanc que va dissenyar, que tenia un error massa bàsic com perquè Leonardo no l'hagués percebut).

Leonardo Da Vinci tenia tal seguretats en si mateix, o estava del tot segur que ningú estaria prou boig com per construir i provar les seves màquines, que com en moltes altres de les seves màquines (el paracaigudes, per exemple) garantia que si estava construït tal com Leonardo ho ordenava, l'invent funcionaria. Tot i això, com molts dels invents de Leonardo, la “vite aerea” mai va ser construïda en vida de l'artista. Leonardo, només es va ocupar d'estudiar i dissenyar-la. Cal indicar també que, malgrat que aquest fos un disseny erroni, entenent que no podria ser utilitzat per la funció per la qual es va dissenyar, Leonardo va aconseguir dissenyar màquines per planejar que sí que compleixen la funció per la qual van ser dissenyades.

² En el documental de la BBC “Leonardo Da Vinci: the man who wanted to know everything”.



ANÀLISI CIENTÍFICA DEL “VIS AERI”

Per poder entendre com i en què va fracassar Leonardo Da Vinci en la seva màquina de vol, cal tenir coneixements sobre com funcionen, quins mecanismes i quines lleis regeixen el vol. Tot aquest coneixement és modern, fins fa poc era impossible entendre com volen els ocells, i Leonardo es podria dir que va encaminar malament els seus estudis quant al vol. Leonardo no tenia els coneixements ni els mitjans com per arribar als coneixements necessaris per poder crear una màquina com l'helicòpter, per tant els errors que va tenir són comprensibles i diria que necessaris, ja que a partir de molts errors s'arriba a encertar.

La “contracció” de l'aire

Més enllà dels errors en els aspectes més tècnics que tenien els dissenys de l'italià, hi ha un gran error de concepte: Leonardo estudiava el comportament de l'aire com un fluid qualsevol a partir dels seus estudis de l'aigua i suposava que el pas de fluid a sòlid era possible. És a dir, Leonardo pretenia que un objecte tingués el mateix comportament en l'aigua que en l'aire. Leonardo sabia que l'aire, com l'aigua, pel fet de ser un fluid permetia que fos pressionat, per tant va arribar a la conclusió que contraient l'aire arribaria a crear tanta pressió a l'aire, que aquest es comportaria com a sòlid. Un cop el fluid es comportés com a sòlid només caldria que la màquina en qüestió es cargolés dins l'aire i pugés cel amunt.

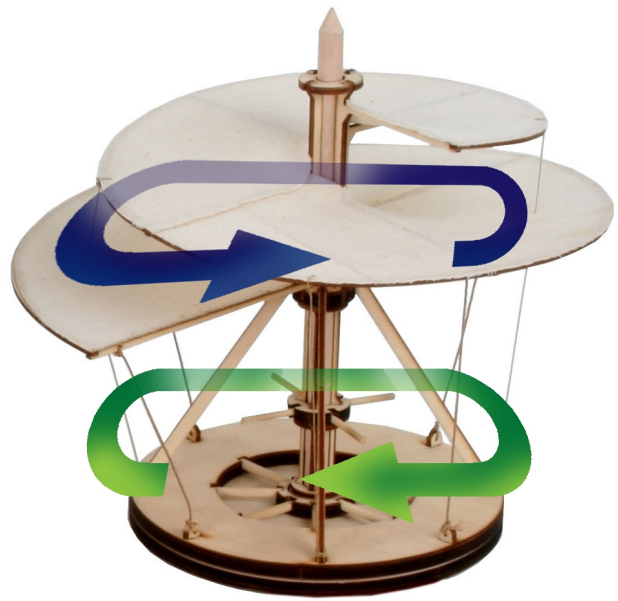
Com podem observar l'error és que no podria haver comprimit prou l'aire com per què actués com un sòlid. Per tant, era un error de concepte, Leonardo no va enfocar bé el vol (tot i que sí que va aconseguir dissenyar unes màquines capaces de planejar i un paracaigudes suficientment eficient), però tenint en compte que va ser el primer científic i enginyer en intentar comprendre el vol i en aventurar-se a fer uns primers prototips per copiar els ocells, va fer uns grans avenços que més endavant van ser de gran utilitat.



Errors que presentava la màquina

Més enllà dels errors del pes, forma, força que necessitava..., que eren errors obvis i que feien impossible que s'aixequés, suposant que la màquina hagués tingut la potència suficient i la forma bona per volar, el vis aeri tenia d'altres errors tècnics que els helicòpters d'avui en dia han hagut d'afrontar:

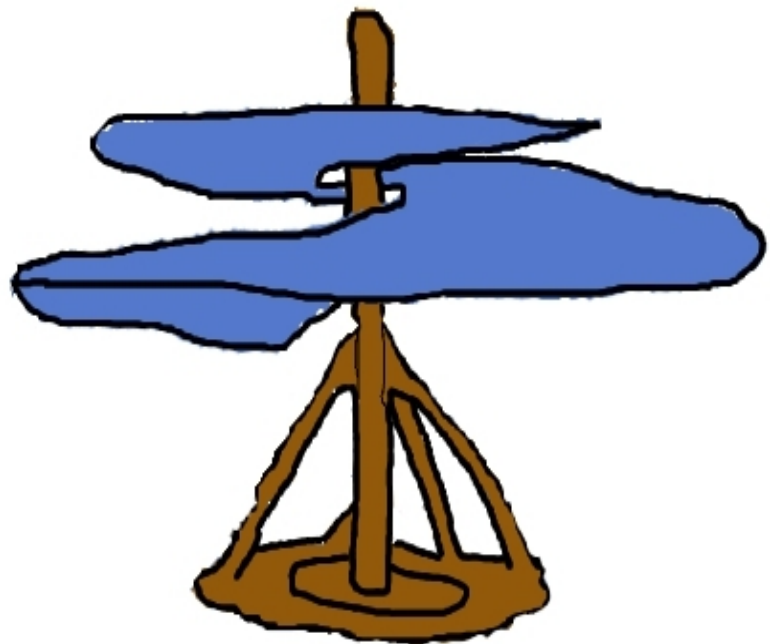
- Leonardo va dissenyar un “helicòpter” amb una única ala, que si hagués arribat a tenir la forma i força per aixecar-se no ho hauria fet, ja que al girar, només hauria aconseguit que la resta de la màquina girés en sentit contrari. Per tal de solucionar aquest problema, els helicòpters d'avui en dia compten amb dos parells de rotors, uns que giren en sentit horari i els altres giren en sentit antihorari, així es compensen els uns als altres i eviten que l'helicòpter giri sobre si mateix. Una altra manera de solucionar-ho hauria estat col·locar l'hèlice al darrere de l'aparell.
- Leonardo no va pensar en cap sistema que servís per fer girar el “vis aeri”. El seu objectiu, devia ser només que s'enlairés, ja que un cop enlairat hauria estat impossible maniobrar una estructura com aquella, i també hauria resultat gairebé impossible d'aterrar amb seguretat, ja que feia servir la potència humana per funcionar, i cal ser molt més precís per tal de poder manejar un aparell semblant.





RECERCA CIENTÍFICA

– El concepte del vol



"Els que s'enamoren de la pràctica sense la teoria són com els pilots sense timó ni brúixola, que mai podran saber a on van"

LEONARDO DA VINCI



EL CONCEPTE DEL VOL

Sovint és malentès el concepte del vol. És fàcil de trobar en diverses explicacions i llibres que la clau del vol es troba en el “principle of equal transit times”, que explica que, per causa de la forma bonyeguda de l'ala, gràcies a l'efecte Venturi³, l'aire que passa per sobre d'aquesta haurà de circular més ràpid que el que passa per sota de l'ala per tal de tornar-se a ajuntar al final de l'ala i així crearà la pressió diferencial.

Però és incorrecte, el que passa realment és relativament fàcil d'explicar amb les tres lleis de Newton:

Si observem una imatge d'un helicòpter volant a prop de l'aigua, ens podrem fixar que a la zona de sota l'helicòpter es crea un corrent d'aire vertical que baixa, i ho podrem comprovar observant com l'aigua de sota l'helicòpter s'agitarà (passa el mateix amb l'avió).



L'helicòpter crea un corrent cap avall, visible quan està a prop de l'aigua.

PRIMERA LLEI DE NEWTON: “tot objecte en repòs seguirà en repòs si no se li aplica una força, i si estava en moviment rectilini uniforme, seguirà en moviment rectilini uniforme”

Per tant, adaptat al vol vindria a ser: si una massa d'aire comença a moure's vol dir que se l'hi ha aplicat una força.

3 L'efecte Venturi es coneix com el fenomen el qual experimenta un fluid en moviment a través d'un conducte tancat: quan el diàmetre del tub disminueix, la velocitat del fluid augmenta, fet que provoca que augmenti la pressió d'aquest. Això ho podem demostrar si tenim en compte que el cabal del fluid serà constant.

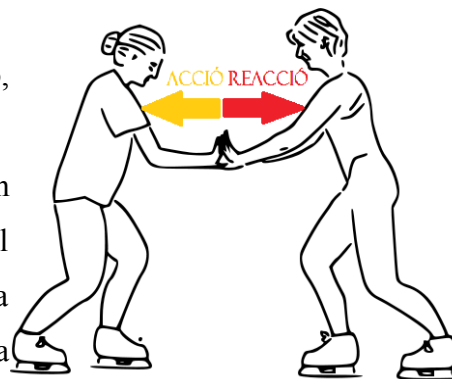


SEGONA LLEI DE NEWTON: “ $F = ma$ ” “força és igual a massa per acceleració”

En aquest cas és molt necessari adaptar la llei a l'aerodinàmica: “ $F = g \cdot v$ ”, on $F \rightarrow$ força o empenta; $g \rightarrow$ la quantitat de gas expulsat o mogut per temps (Kg/s); i $v \rightarrow$ la velocitat vertical del gas expulsat o mogut. Per tant, segons aquesta llei, la força de l'aeronau dependrà de la quantitat de gas i la velocitat d'aquest.

TERCERA LLEI DE NEWTON: “Per cada força, acció, hi haurà una reacció igual i oposada”

Aquesta és essencial d'entendre, ja que si ho apliquem en aerodinàmica vol dir que la força que fa l'aeronau a l'aire per tal de crear el corrent descendent és l'acció, i per tant, l'aire fa una força contra l'aeronau que serà igual però ascendent, que serà la força de sustentació que elevarà l'aeronau.

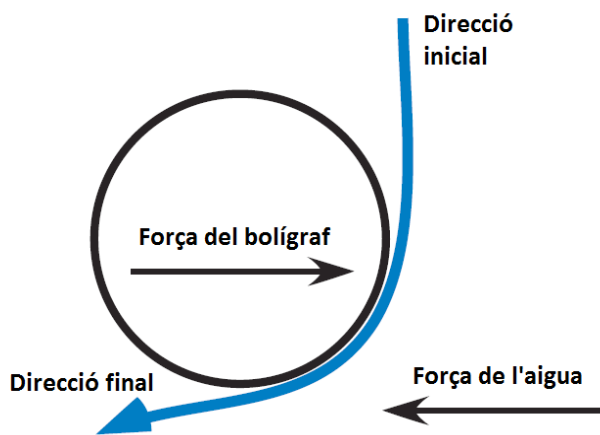


Un cop entès com es crea la força que farà que un avió o helicòpter voli, cal entendre com en pren part la forma de l'ala o rotor en tot el procés del vol, i perquè és tan important que aquest pla aerodinàmic estigui en un angle o en un altre.

Per poder explicar-ho i entendre-ho fàcilment, primer cal fer-nos una pregunta: com és crea el corrent descendent d'aire? Si gràcies a les tres lleis de Newton hem entès que aquest corrent és vital, és necessari fer-nos aquesta pregunta, ja que és aquí on entren en acció la forma i l'angle de l'ala o rotor.

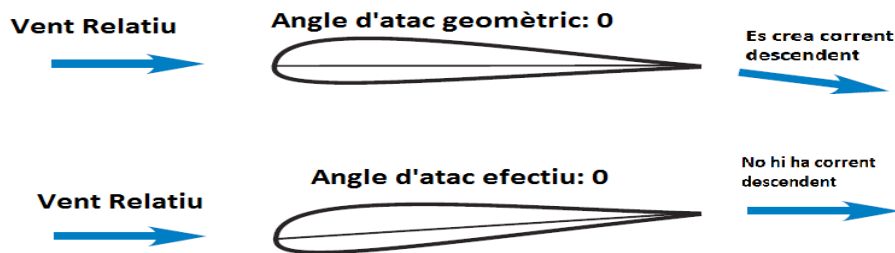
La forma bonyeguda d'una ala provoca que l'aire que passa per sobre d'aquesta, al sortir de la zona de l'ala hagi canviat de direcció i en lloc d'anar completament horitzontal, tal com ha entrat, surt lleugerament cap avall, tot creant el corrent descendent que necessitem. I com ho fa l'ala per tal de canviar la direcció de l'aire?

Això ho podem demostrar amb un petit experiment casolà, només ens cal un corrent d'aigua d'una aixeta i qualsevol objecte corbat, com per exemple un bolígraf. Si obrim l'aixeta i col·loquem el bolígraf sota el corrent de l'aigua, veurem com en entrar en contacte amb el bolígraf l'aigua es desviarà lleugerament quan deixi d'estar en contacte amb el bolígraf. Això ho podem explicar amb la llei d'acció-reacció de Newton: el bolígraf exercirà una força sobre el corrent i aquest farà una força exactament igual sobre el bolígraf i serà aquesta força la que obligarà el corrent d'aigua a sortir gairebé horitzontal després de deixar de tocar el bolígraf.



Un cop entenem com la forma de l'ala intervé en el vol i ja entenem com es provoca el canvi de direcció de l'aire, per acabar d'entendre com es crea el corrent descendent cal comprendre la funció de l'angle d'incidència de l'aire amb el pla aerodinàmic.

Primer cal diferenciar l'angle d'atac (l'angle de l'aire amb l'ala) geomètric, i l'angle d'atac efectiu. Amb la següent il·lustració es pot comprovar que no necessàriament són els mateixos angles:



Com es pot observar, malgrat que l'angle d'atac geomètric sigui 0, es pot crear un corrent descendent i per tant una força de sustentació. En canvi, si l'angle d'atac efectiu és 0, malgrat que l'angle geomètric sigui un altre, no es crearà corrent descendent i per tant no volarà.

Un altre factor vital per entendre la força de sustentació i el vol és la quantitat d'aire, ρ , al qual el pla aerodinàmic en qüestió serà capaç de canviar la direcció. Això depèn d'un seguit de factors com ara la densitat de l'aire, que indirectament ve condicionada per l'altura a la qual l'avió està volant. Podem calcular ρ , si sabem l'angle d'atac efectiu, la velocitat (amb els dos podem trobar, v , velocitat vertical) i si sabem el pes de l'aeronau en qüestió. Ja que $F = \rho v$, com indica la segona llei de Newton. Depèn de l'angle d'atac i de la forma del pla aerodinàmic. Si poguéssim veure la quantitat

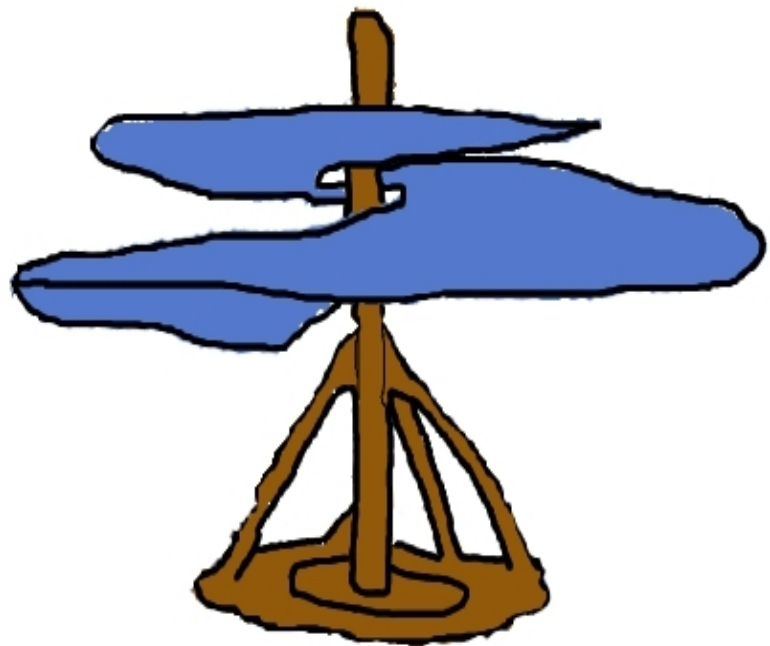


d'aire moguda en un avió ens podríem fixar que principalment es troba a la part central de l'avió i com més a les puntes de l'ala ens dirigim, menys aire s'aprofita. Al contrari que l'helicòpter, ja que com més lluny del centre del rotor, més velocitat té el rotor, per tant més aire es mou i guanya més velocitat vertical, per tant la sustentació es produeix principalment més lluny del centre que no pas amb l'avió.



APARTAT PRÀCTIC

- 1r projecte: l'helicòpter
- 2n projecte: vis aeri (prototip)
- 3r projecte: vis aeri (definitiu)
- Pressupost



"La intel·ligència no consisteix únicament en el coneixement, sinó també en la destresa d'aplicar els coneixements en la pràctica".

ARISTÒTIL



La part pràctica d'aquest treball de recerca en un principi estava pensada com a la comparació i l'explicació d'un rotor d'helicòpter i l'ala continua que Leonardo Da Vinci havia dissenyat per al "vis aeri", i així poder explicar les lleis de la dinàmica de vol, i com l'home ha aconseguit volar. Per tal de fer aquesta comparació necessitàvem un helicòpter amb rotors convencionals i el mateix helicòpter amb l'ala de Leonardo. La idea inicial era construir directament un helicòpter que jo mateix havia dissenyat per poder dur a terme aquesta comparació.

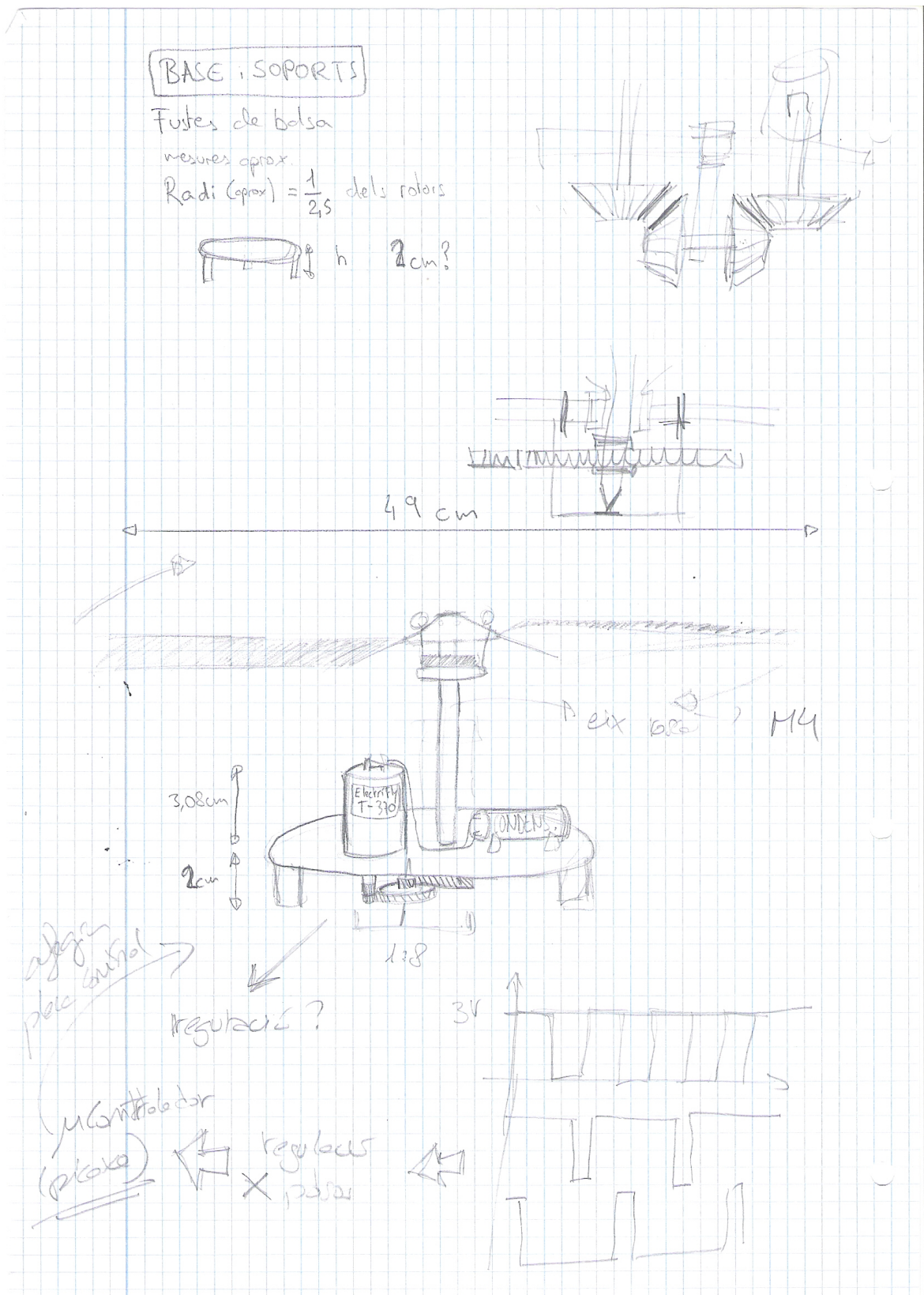
Helicòpter 1 (dissenyat el gener de 2012):

- Objectiu: aconseguir construir un helicòpter que s'aixequi per tal de poder fer la comparació.
- Hipòtesis: en aquest primer intent no aconseguirem fer-lo volar, però és necessari provar-ho per tal de poder pensar en possibles millores i coses a corregir per tal que en el proper intent ens apropem més a fer-lo volar.
- Material:
 - làmina de fullola
 - cables de filferro
 - femelles x8
 - volandera x5
 - cargols x8
 - rotors helicòpter RC
 - font d'alimentació
 - engranatge $z=59$
 - engranatge $z=12$
 - eix roscat 15 cm
 - motor
 - tubs de plàstic
 - cables de coure



• Procediment:

1 Disseny inicial per començar a veure com serà la forma final del giny:





2 construcció de "l'helicòpter":

2.1 Tallarem la làmina de fullola de forma circular amb un radi de 7,5 cm.

2.2 Dividirem el cercle en tres parts per tal de trobar on s'han de clavar els cargols que



A punt per treballar al taller de tecnologia

serviran per aguantar els tubs de plàstic, que seran els suports.

2.3 Farem el forat del mig per on farem passar l'eix roscat que serà l'eix per on giraran els rotors de l'helicòpter.

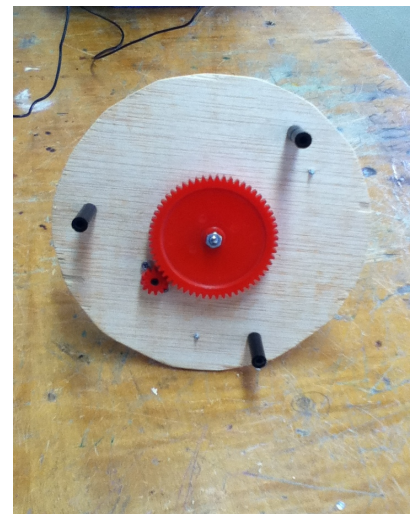
2.4 Clavarem els dos cargols a la fullola allà on anirà el motor.

2.5 Muntarem els engranatges per tal d'aconseguir un sistema reductor, fent que l'engranatge $z=12$ vagi al motor i estigui en contacte amb el $z=60$ que va a l'eix roscat.

2.6 Amb el filferro construïrem uns suports per a l'eix roscat per evitar que pugui pujar i baixar i que es bellugui horitzontalment. Clavarem 3 cargols a la fullola i enroscarem un tros de filferro a cada un dels cargols i ho fixarem amb una volandera per cada un dels cargols. L'altre extrem del tros de filferro l'enrotllarem a l'eix roscat i collarem els filferros a l'eix mitjançant sis femelles.

2.7 Fixarem els dos rotors a la part més alta de l'eix roscat mitjançant les dues volanderes que queden i les dues femelles restants.

2.8 Connectarem els cables al motor i donarem tensions diferents al giny mitjançant la font d'alimentació.



Podem observar l'enginy amb el sistema de reduccions



- Conclusions

- Anàlisi dels resultats obtinguts

Com era esperat, l'helicòpter no ha volat. Després de l'estudi s'ha arribat a la conclusió que fallava el fet de que pesés massa (150 g), que el motor no tingués la potència ni velocitat adequades i el fet que el sistema d'engranatges i suports produïa massa fregament, pel qual se'n va gran part de l'energia. A més a més, amb un únic parell de rotors sense que hi hagi un rotor lateral o un altre parell que giri en sentit contrari, l'aparell no aconseguiria volar, ja que només faria que el giny i els rotors giressin en sentits contraris.



Primer projecte, l'helicòpter

Un cop realitzada aquesta primera pràctica, vam intentar trobar la manera de corregir els errors que ens havien donat els resultats, de manera que calia buscar un sistema de suports més eficient que produís menys fregament, un motor especialitzat per aeromodelisme i peces en general que tinguessin menys massa. Al cercar un motor més especialitzat per l'aeromodelisme vam parlar amb professionals⁴ que desaconsellaven completament la fabricació de l'helicòpter des de zero per culpa de la impossibilitat de dur-ho a terme a causa de la dificultat del disseny, el cost de les peces separades i la fabricació específica d'alguns components.

Això em tancava la porta de construir un helicòpter dissenyat per mi mateix, però seguia havent-hi la possibilitat de fer la comparació amb un helicòpter comprat i el mateix helicòpter amb un canvi d'ales per l'ala contínua. Per tant, una segona pràctica o projecte va ser el disseny de l'ala contínua de Leonardo da Vinci.

4 Tècnic de la botiga de modelisme JOGIBA de Manresa



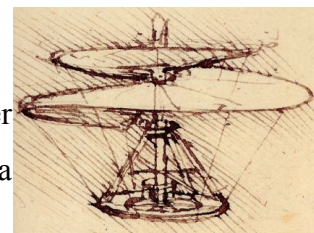
“Vis aeri” Prototip

- Objectiu: construcció de l'ala contínua que Leonardo Da Vinci va crear per al “vis aeri”, i així poder dur a terme la comparació. L'objectiu no és que voli el prototip.
- Hipòtesis: No sabem el comportament que tindrà l'aparell, però estudiant les lleis de vol, creiem que l'aparell no s'elevàrà.
- Material:
 - Llistó de fusta
 - pistola tèrmica i silicona
 - làmina de plàstic fi (extreta d'un fastener)
 - trepant de peu
 - cúter
- Procediment
 - 1 Trobar les mides:
 - 1.1 Primer busquem les dimensions reals que Leonardo va donar per a la seva ala contínua: 15 peus, que són uns 4,5m.
 - 1.2 Buscarem l'escala que té l'helicòpter RC amb un helicòpter real. Model escollit AS350 Ecureuil AStar.
 - 1.3 Un cop hem trobat l'escala, seguirem la mateixa escala per construir l'ala contínua, però com que queda una ala de 0,076 metres de diàmetre i no seria bona per a la comparació (ja que és massa petita) a part de l'ala a escala també construirem una ala de 20 cm de diàmetre.

Escala Helicòpter RC	AS350 Ecureuil AStar	Helicòpter RC
01:59,39	10,69m ø	0,18m ø

2 Disseny de la forma de l'ala

- 2.1 Com que sabem que l'ala contínua està formada per dos pisos de diferents diàmetres, cal trobar la manera d'encaixar els dos pisos.





Diàmetre pis 1 → 20cm

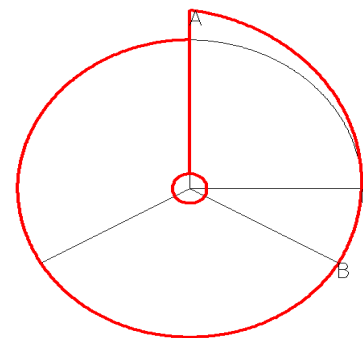
Diàmetre pis 2 → 16cm

2.1.1 Per tal de fer la tangent entre els dos pisos utilitzarem 3 punts de la circumferència. Dividirem en 3 la circumferència petita, en un d'aquests punts allargarem el radi de la circumferència fins a 10 cm i haurem trobat el punt A.

2.1.2 El punt B es trobarà a 120° del punt A tenint com a vèrtex el centre de la circumferència.

2.1.3 El punt C, que serà l'últim que necessitem, el trobarem on es creuen la perpendicular de la línia traçada entre el radi i el punt A, i la circumferència.

2.1.4 Trobarem la tangent quan unim els punts A, B i C. Per tal d'unir-los haurem de construir un triangle els vèrtex del qual siguin els punts A, B i C i haurem de trobar-ne el circumcentre, utilitzant les mediatris del triangle. Amb el circumcentre ja podem traçar la tangent.



2.2 El pis 1 no portarà tanta feina, ja que només caldrà fer la circumferència amb un forat al centre, que també farem al pis dos, d'1 centímetre de radi.

3 Construcció del prototip:

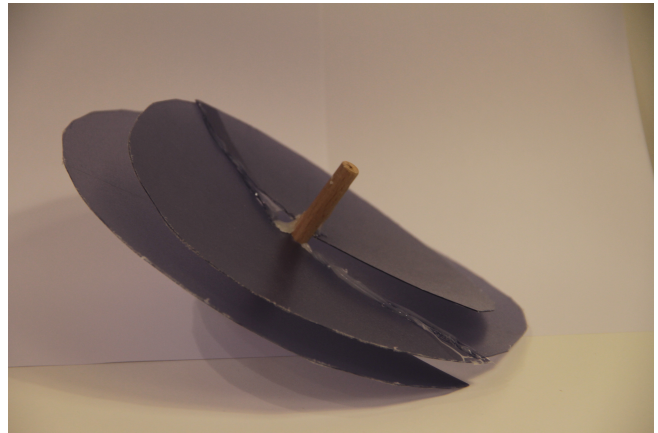
3.1 Amb una làmina prima de plàstic -per exemple un arxivador- podem construir el prototip d'ala que volem. Hem de dibuixar els dos pisos diferents a la làmina i retallar-los amb un cúter.

3.2 Tallarem 10 centímetres del llistó de fusta i en un dels extrems amb el trepant hi farem un forat de poc més d'un mil·límetre de diàmetre, que sigui suficientment petit com per poder-hi encaixar un eix d'un mil·límetre sense que balli.

3.3 Amb la pistola tèrmica unirem el primer pis a l'eix que haurem fet amb el llistó, però en lloc de ser un pis recte, pujarà a través de l'eix cap amunt. Un cop enganxat el primer pis, el segon també l'enganxarem amb la pistola tèrmica i farem que acabi de pujar. És molt important que unim els dos pisos amb la pistola tèrmica, també.



- Conclusions:
 - Veient l'eficàcia del disseny del “vis aeri” i la semblança entre el resultat obtingut i la “vite aerea” que Leonardo va dissenyar, decideixo construir el projecte final amb un disseny força semblant, introduint canvis en el material i en el procediment, que explicarem en la construcció del projecte final.



Prototip "Vis aeri"

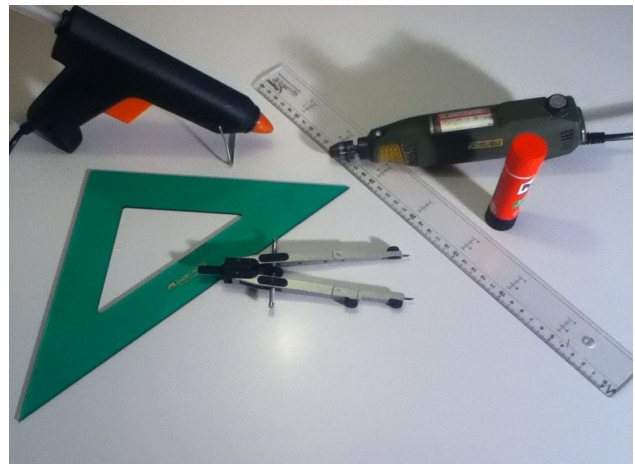


Ala contínua de Leonardo (projecte final):

- Objectiu: construcció de l'ala contínua de Leonardo que utilitzarem per al treball, i fer la comparació entre l'helicòpter de Ràdio Control amb els rotors pertinents i l'helicòpter de Ràdio Control amb el vis aeri.
- Hipòtesis: veient que teòricament el “vis aeri” no hauria de volar i l'helicòpter sí, crec que podem demostrar que malgrat els paràmetres -pes, rpm (dels rotors, o ala contínua), i forçaran molt semblants la clau del vol es troba en la forma i disposició de l'ala o rotor.
- Materials:
 - Llistó de fusta de 8mm \varnothing
 - pistola tèrmica i silicona
 - 2 fulls DIN A4 de paper vegetal
 - Filferro de 1,2 mm \varnothing
 - trepant amb broques d'1 i 1,5 mm \varnothing
 - escaire, cartabó i compàs



Materials utilitzats en vis aeri

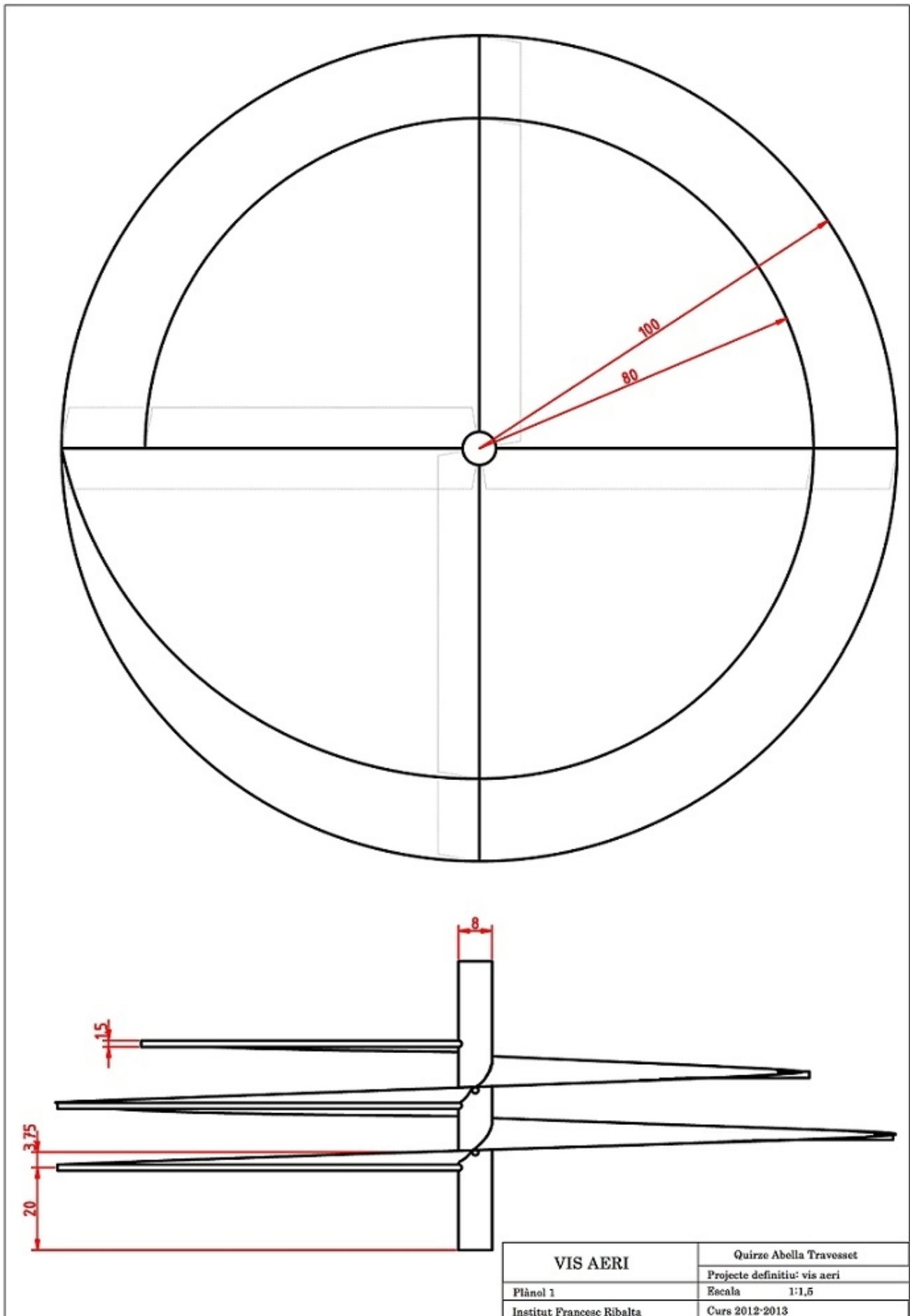


Eines utilitzades en la construcció del vis aeri

- Procediment:



- Disseny i plànols:





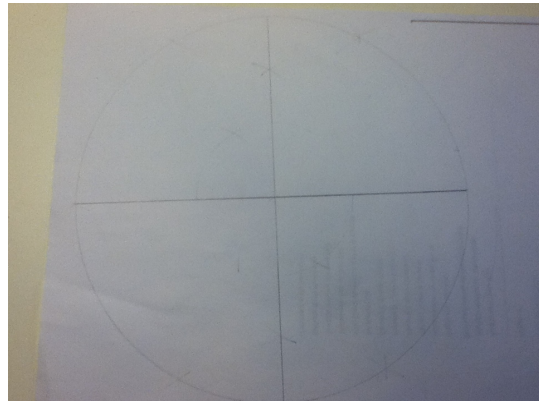
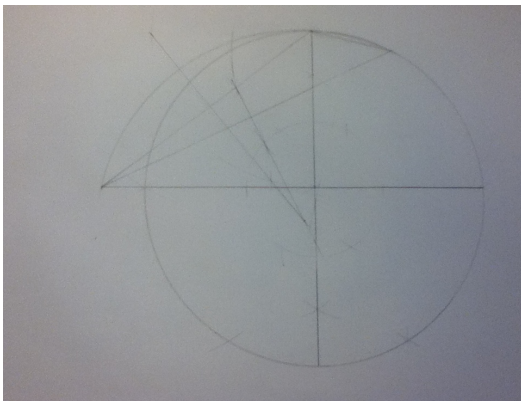
- Construcció:

1. Utilitzarem les mides del projecte anterior: una ala contínua de dos pisos (l'inferior amb un diàmetre de 20 cm i el superior amb un diàmetre de 16 cm). Hem triat les mides grans en lloc de les que estan a escala, ja que ens servien més per la comparació degut a la semblança entre aquestes mides i les dels rotors.
2. Utilitzarem el mateix disseny de l'ala, ja que vàrem comprovar que el disseny anterior era un disseny satisfactori per la semblança amb l'ala que Leonardo va dissenyar, però hi afegirem un petit canvi: com que en lloc d'utilitzar peces de plàstic que eren més o menys rígides utilitzarem paper vegetal (que és molt més lleuger, però també menys rígid) i no podrem fer amb dues peces per pis, utilitzarem un sistema de nervis, fets amb filferro, i col·locarem 4 peces de paper vegetal per pis.

La línia de tangència entre el pis 1 i el 2 serà igual que en el primer disseny.

3. Construcció del prototip:

1. Dibuirem els dos pisos en dues làmies DIN-A4 i amb escaire, cartabó i compàs les dividirem en 4 parts iguals cada una de la manera que es mostra a la imatge:



Amb el paper vegetal, copiarem les 8 parts separades les unes de les altres i deixarem un espai on aniran els eixos per tenir més paper per poder-los enganxar, i retallarem les 8 peces.

2. Tallarem un fragment de 7 cm de llarg del llistó de fusta, amb el trepant de peu farem un forat d'un mil·límetre a un dels extrems del llistó, que serà on tindrem la base, i farem nou forats d'1,5 mm al llarg del llistó tal com es



mostra al disseny: el primer a 2 centímetres d'alçada i a partir de llavors pujar 3,75 mm (aproximadament) per a cada forat i rotar el llistó 90° per tal d'aconseguir una espiral que tindrà 3 cm de llarg. El forat més elevat si està ben fet estarà a dos centímetres de l'extrem superior del llistó.

3. Tallarem 9 trossos de filferro, 5 de 10 centímetres de llarg i 4 de 8 centímetres de llarg. Col·locarem els filferros a cada un dels forats, menys al forat de la base, i a mesura que posem cada un dels filferros hi posarem silicona per tal que quedin ben fermats els filferros que ens faran de nervis. Els 5 filferros de 10 centímetres seran els que aniran a baix, els quatre de 8 centímetres aniran a la part alta de l'ala. A mesura que anem col·locant i enganxant els filferros a l'eix també serà important anar cosint les peces de paper vegetal (les unes amb les altres) que prèviament haurem construït, ja que serà més fàcil de maniobrar abans que hi hagi tots els filferros col·locats. Cal tenir en compte que les peces de paper vegetal hauran de seguir un ordre, les més grans al pis de baix i la que fa de tangència serà la següent, i a partir de llavors vénen les peces més petites.

- Conclusions:

La forma i l'acabat de l'aparell és el satisfactori, ja que a més de ser més estètic que l'anterior i el fet de cosir-lo en lloc d'encolar les parts de paper vegetal també hi dona un aire més antic i adequat amb el propòsit d'assemblar-se tant com sigui possible al prototip dissenyat per Leonardo Da Vinci.



"Vis aeri" acabat

Això pel que fa a la part més estètica i acabats de l'aparell. Pel que fa a la part tècnica, el resultat és l'esperat, ja que l'aparell s'acobla si no perfectament, sí correctament amb l'helicòpter RC amb el qual es realitza la comparació. El fet que l'aparell sigui més lleuger també millora el fet que la comparació serà més acurada (malgrat que el pes és encara força superior al dels rotors que fan elevar l'helicòpter RC).



També se'ns presenta el problema que, al estar fet de paper vegetal, l'ala contínua de l'helicòpter és més fràgil, per tant, és precís afegir un element de seguretat que permeti realitzar la comparació i que alhora eviti que l'aparell es trenqui.

Un cop realitzada l'experimentació amb l'helicòpter hem observat que l'helicòpter ha respost tal com havia previst: el vis aeri girava en un sentit mentre que la resta de l'helicòpter girava en sentit contrari. A més a més, al realitzar l'experiment sobre una bàscula (cedida pel departament de ciències de l'institut) hem pogut observar que no hi ha una disminució evident del pes de l'aparell quan funciona, fet que demostra del tot que no intervé cap força de sustentació.

	“Vis aeri”	Helicòpter sol
Massa (g)	25,2	32,7

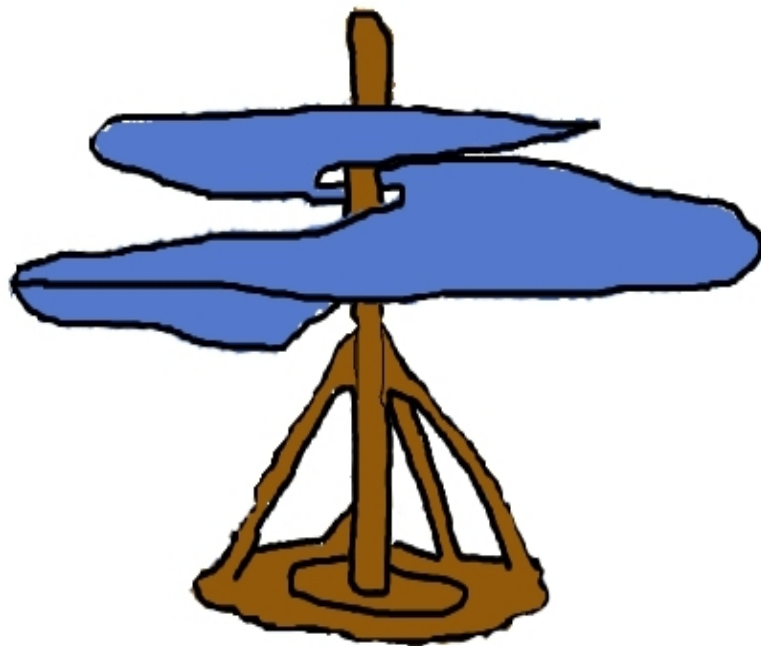


**Pressupost:**

	<i>unitats</i>	<i>Import (€)</i>
FULLOLA 24x40x4 Contraxapat	1	1,4
Filferro galv. N ^a 12 50g	1	2
Llistó faig 8mm rodó	1	1,3
Paper vegetal	2	0,15
TOTAL	5	4,85



CONCLUSIONS



"Tot va bé si acaba bé"

WILLIAM SHAKESPEARE



Com que l'objectiu d'aquest treball s'estudiava des de diferents punts de vista o de maneres diferents, crec que seria bo arribar a la conclusió final també per camins diferents i seguint l'estructura del treball en si.

Si recuperem la hipòtesi inicial **“El vis aeri que va dissenyar Leonardo Da Vinci no pot enlairar-se independentment del pes i força amb què giri, ja que la forma de l'ala impossibilita el vol”** i observem el treball amb deteniment, gràcies a l'últim projecte “vis aeri” i mitjançant els coneixements adquirits podem arribar a la conclusió que la hipòtesi inicial era certa, ja que la teoria de l'apartat “entendre el vol” amb el reforç empíric del 3r projecte “vis aeri” demostren que la forma és determinant a l'hora de saber si un cos pot o no pot volar.

Ara, si analitzem el treball per apartats podrem observar si s'han acomplert o no els diferents objectius que m'havia proposat. Pel que fa a l'apartat històric del treball, encara que no hagi profunditzat molt en els aspectes més concrets de la vida de Leonardo, l'objectiu s'ha complert, ja que si llegim aquest primer apartat que consta de tres subapartats més podrem contextualitzar suficientment bé la vida de l'artista com per poder entendre la transcendència de tot el que feia, com vivia i així entendre també el per què de les seves màquines, com resolva les necessitats de l'època i intentar copsar la grandesa de Leonardo Da Vinci. Probablement, en un estudi totalment científic o tecnològic de la “vite aerea” no s'hauria destinat tant o no hauria donat tanta importància a contextualitzar la màquina i potser més a fer proves científiques a la màquina, però com es pot observar trobo que contextualitzar-ho tot una mica és una part important del treball. A grans trets trobo que l'objectiu d'aquest apartat era fer una breu introducció per tal d'ajudar a la comprensió de la resta del treball, i crec que s'ha complert. També cal esmentar que tota la recerca històrica del treball no ha resultat ser una feina gaire feixuga, més aviat el contrari, a casa meva Leonardo sempre ha estat un personatge important, i en molts dels viatges que hem fet hem visitat llocs relacionats amb l'artista italià, des de museus fins al castell on va morir, a Amboise, França. I de llibres sobre Leonardo en tenim a carretades, per tant, el que ha resultat difícil ha estat seleccionar quina informació era rellevant i quina no.

Pel que fa a la recerca científica i l'apartat de comprensió del vol, cal dir que he tingut algunes dificultats, ja que en un principi costava força trobar informació contrastada i coherent sobre aquest tema. Per Internet moltes fonts d'informació es contradieien les unes a les altres o elles mateixes. Per sort, vaig tenir l'ajuda del Dani Callejas (que està cursant un grau en enginyeria



d'aeronavegació a la UPC de Castelldefels) que em va passar el llibre “Understanding Flight” amb el qual em va resultar força més fàcil entendre el concepte i poder-lo adequar al treball. S'ha d'esmentar que el llibre és totalment en anglès, com es pot deduir pel títol, i que per tant també va suposar una dificultat (necessària, com l'idioma mateix) afegida a la dificultat que representa entendre tots els conceptes de vol, ja que mai fins ara havia estudiat res relacionat amb el tema, i per tant era començar des de zero un tema nou, que per apassionant que fos, també era complicat. Per tant, en aquest apartat l'objectiu era entendre com funciona, quines són les lleis que regeixen el vol i a partir d'aquí resumir-ho i explicar-ho de la manera més didàctica possible i des de zero, per tal que algun dia, un estudiant com jo mateix era fa un any que tingués interès pel vol i que no hagués estudiat res relacionat amb el tema pogués començar des del principi i anar-ho entenent tot sense gaire complicació. Aquest objectiu crec que també s'ha vist acomplert.

Finalment, l'apartat dels projectes segurament és el que necessita unes conclusions més extenses, ja que ha estat aquest apartat al qual he dedicat més temps. En aquest apartat ha estat on he redescobert la dita popular que diu que cada porta que es tanca n'obra una altra, ja que de dificultats n'he trobat al llarg de tots els 3 projectes, però a cada dificultat que trobava pel camí calia que m'espremés el cervell i trobar-hi una solució, i en més d'un cas trobava una solució que possiblement era millor que el que hauria estat en un primer moment el projecte.

Per començar, el projecte de l'helicòpter propi: era el principi d'aquest treball, quan encara no tenia gaire clar com arribar a aquest final ni tampoc quin havia de ser, per tant va ser un principi una mica a cegues, ja que volia fer la comparació i per tant havia d'aconseguir que el meu “invent” volés. Vaig estar força sessions de divendres a la tarda amb el meu tutor, el Pep Porredon, treballant al taller de tecnologia, fent esbossos, pensant com podríem construir un helicòpter i construint un prototip. Però veient que per aquella via no avançàvem gens i amb una mica més d'investigació, el tècnic de la botiga JOGIBA va explicar-nos que seria impossible construir un helicòpter RC, ja que no disposàvem del material ni les eines adequades (totes les peces d'aeromodelisme són molt exclusives, concretes i diferents de la resta, per la qual cosa resulta molt difícil dissenyar-ne i construir-ne per un mateix si no es disposa d'unes eines molt precises). Però com he esmentat al principi, en aquest apartat va ser on vaig aprendre que cada porta tancada n'obre una altra, i per tant vam canviar lleugerament la direcció del treball.

Amb l'ajuda del Pep vaig decidir que seria una bona direcció la d'aprofitar un helicòpter RC que ja tenia per casa i construir una ala continua el màxim de semblant al vis aeri que es pogués



acoblar a l'helicòpter. Així, igualant-ne (o igualar-les al màxim possible) les magnituds de pes, potència, velocitat... podria realitzar l'estudi comparatiu igualment. Per tant, d'aquí en va sortir el segon projecte, el prototip de vis aeri. No va resultar ser molt difícil ni la construcció ni el plantejament d'aquest prototip, val a dir que en aquest apartat em van resultar força útils els coneixements adquirits a Dibuix tècnic de 1r de Batxillerat. Un cop construït aquest prototip, la feina va ser dissenyar el següent, que seria el que es presentaria i el definitiu.

En aquest últim projecte també vaig haver d'aplicar els coneixements de dibuix tècnic per al disseny i per a la creació dels plànols amb Qcad. També en el vis aeri definitiu, com s'ha pogut comprovar he hagut de cosir les diferents peces de paper vegetal, per tant he hagut d'aprendre-ho i cal dir que al final del projecte he adquirit certa traça, tot i que no crec que mai pugui dedicarme professionalment a la sastreria.

En general, per als tres projectes he hagut d'aprendre coses noves i totes i cada una d'elles crec que em seran útils tard o d'hora, i per tant estic content d'haver triat un treball on la part pràctica tingué certa importància ja que és on m'he hagut d'esmerçar més i m'ha ajudat molt a millorar diversos aspectes tècnics i a dominar més fàcilment les eines de taller.

Si hagués de fer un resum de com he vist el treball, com l'he viscut i què en penso, sens dubte en sortiria un balanç positiu, ja que a l'acabar-lo, en ser un treball tan extens pel que fa a disciplines diferents, he pogut fer el que a mi m'agrada, que és treballar-ho tot una mica i a partir d'aquí centrarme en l'objectiu principal. Si mirem com vaig escollir quin treball volia fer podem observar que el que a mi em preocupava era poder fer un treball on història i tecnologia es sintetitzessin a la meua manera. I crec que s'ha fet evident que quan es treballa de gust, la feina resulta menys feixuga, i el fet de gaudir-la en certa manera fa que s'obtinguin més bons resultats.



FONTS D'INFORMACIÓ

PÀGINES WEB:

- http://invention.psychology.msstate.edu/i/Chanute/library/Prog_Screws_May1892.html
- http://it.wikipedia.org/wiki/Codici_di_Leonardo_da_Vinci
- <http://rinconinvisible.blogspot.com.es/2009/06/tornillo-aereo-de-leonardo-da-vinci.html>
- <http://www.heliworks.co.cl/volar.htm>
- http://www.thaitechnics.com/helicopter/heli_intro.html

REFERÈNCIES FOTOGRÀFIQUES:

- <http://capitalesdelmundo.net/wp-content/uploads/2012/03/galleria-degli-uffizi-florence.jpg>
- http://en.wikipedia.org/wiki/File:Skaters_showing_newtons_third_law.svg
- <http://www.leonardo.net/p17.jpg>
- [http://www.google.es/imgres?
imgurl=http://www.curatedobject.us/photos/uncategorized/2008/04/28/35_leonardo_notebooks.jpg&imgrefurl=http://www.curatedobject.us/the_curated_object_/2008/04/exhibitions-n-5.html&h=483&w=800&sz=70&tbnid=oWADxgYYxHxhwM:&tbnh=65&tbnw=108&zoom=1&usg=__UkhYBAaLQDg-pbsgwSY2rDDph38=&docid=0ljkApNS6pNOmM&hl=es&sa=X&ei=0H95UJnfHYewhAfI xIGwCA&ved=0CCwQ9QEwAg&dur=1337](http://www.google.es/imgres?imgurl=http://www.curatedobject.us/photos/uncategorized/2008/04/28/35_leonardo_notebooks.jpg&imgrefurl=http://www.curatedobject.us/the_curated_object_/2008/04/exhibitions-n-5.html&h=483&w=800&sz=70&tbnid=oWADxgYYxHxhwM:&tbnh=65&tbnw=108&zoom=1&usg=__UkhYBAaLQDg-pbsgwSY2rDDph38=&docid=0ljkApNS6pNOmM&hl=es&sa=X&ei=0H95UJnfHYewhAfI xIGwCA&ved=0CCwQ9QEwAg&dur=1337)
- [http://www.google.es/imgres?
q=espingarda+Leonardo+Da+vinci&um=1&hl=es&sa=N&biw=1366&bih=667&tbn=isch&tbnid=H2aA-iA3ZQ7bpM:&imgrefurl=http://www.municipion.org/iphp/responder.php%3Findice%3D11828&docid=nSbIYbLVN1bRxM&imgurl=http://www.municipion.org/imatges/11541161171.jpg&w=450&h=493&ei=qBfjT-_GI4GIhQeLmbHDAw&zoom=1&iact=hc&vpx=177&vpy=109&dur=171&hovh=235&hovw=214&tx=119&ty=142&sig=116336606344314786327&page=3&tbnh=139&tbnw=127](http://www.google.es/imgres?q=espingarda+Leonardo+Da+vinci&um=1&hl=es&sa=N&biw=1366&bih=667&tbn=isch&tbnid=H2aA-iA3ZQ7bpM:&imgrefurl=http://www.municipion.org/iphp/responder.php%3Findice%3D11828&docid=nSbIYbLVN1bRxM&imgurl=http://www.municipion.org/imatges/11541161171.jpg&w=450&h=493&ei=qBfjT-_GI4GIhQeLmbHDAw&zoom=1&iact=hc&vpx=177&vpy=109&dur=171&hovh=235&hovw=214&tx=119&ty=142&sig=116336606344314786327&page=3&tbnh=139&tbnw=127)



[&start=43&ndsp=26&ved=1t:429,r:20,s:43,i:273](#)

- [http://www.google.com/imgres?
q=helicopter&um=1&hl=en&sa=X&prmdo=1&biw=1366&bih=631&tbs=isz:m&tbm=isch&tbnid=AqfD8Gl_BUKsaM:&imgrefurl=http://www.flugzeuginfo.net/acdata_php/acdata_206ab_en.php&docid=iFHl34YvqGZCxM&imgurl=http://www.flugzeuginfo.net/acimages/206b3_kp.jpg&w=950&h=713&ei=ZqMsULWtK4qFhQeW24DwAg&zoom=1&iact=hc&vpx=486&vpy=362&dur=1040&hovh=194&hovw=259&tx=156&ty=148&sig=115645616472885081809&page=2&tbnh=135&tbnw=175&start=21&ndsp=24&ved=1t:429,r:8,s:21,i:225](http://www.google.com/imgres?q=helicopter&um=1&hl=en&sa=X&prmdo=1&biw=1366&bih=631&tbs=isz:m&tbm=isch&tbnid=AqfD8Gl_BUKsaM:&imgrefurl=http://www.flugzeuginfo.net/acdata_php/acdata_206ab_en.php&docid=iFHl34YvqGZCxM&imgurl=http://www.flugzeuginfo.net/acimages/206b3_kp.jpg&w=950&h=713&ei=ZqMsULWtK4qFhQeW24DwAg&zoom=1&iact=hc&vpx=486&vpy=362&dur=1040&hovh=194&hovw=259&tx=156&ty=148&sig=115645616472885081809&page=2&tbnh=135&tbnw=175&start=21&ndsp=24&ved=1t:429,r:8,s:21,i:225)
- [http://www.google.es/imgres?
q=igor+sikorsky+first+helicopter&um=1&hl=es&sa=N&biw=1366&bih=667&tbm=isch&tbnid=1j8c6mBtmvYxTM:&imgrefurl=http://www.centennialofflight.gov/essay/Rotary/Sikorsky_VS300/HE8G2.htm&docid=Tv3nBG0ZVyOSwM&imgurl=http://www.centennialofflight.gov/essay/Rotary/Sikorsky_VS300/HE8G2.jpg&w=617&h=391&ei=t1eQT-uGLcy6hAfV-tz9Aw&zoom=1&iact=hc&vpx=175&vpy=162&dur=6106&hovh=179&hovw=282&tx=186&ty=121&sig=104617910502764286539&page=1&tbnh=122&tbnw=192&start=0&ndsp=18&ved=1t:429,r:0,s:0,i:66](http://www.google.es/imgres?q=igor+sikorsky+first+helicopter&um=1&hl=es&sa=N&biw=1366&bih=667&tbm=isch&tbnid=1j8c6mBtmvYxTM:&imgrefurl=http://www.centennialofflight.gov/essay/Rotary/Sikorsky_VS300/HE8G2.htm&docid=Tv3nBG0ZVyOSwM&imgurl=http://www.centennialofflight.gov/essay/Rotary/Sikorsky_VS300/HE8G2.jpg&w=617&h=391&ei=t1eQT-uGLcy6hAfV-tz9Aw&zoom=1&iact=hc&vpx=175&vpy=162&dur=6106&hovh=179&hovw=282&tx=186&ty=121&sig=104617910502764286539&page=1&tbnh=122&tbnw=192&start=0&ndsp=18&ved=1t:429,r:0,s:0,i:66)
- [http://www.google.es/imgres?
q=vite+aerea&um=1&hl=es&sa=N&biw=1366&bih=667&tbm=isch&tbnid=4YeGxrpxtKcZM:&imgrefurl=http://www.fraziermuseum.org/exhibitions/upcoming-2/da-vinci-the-genius/&docid=Fbiig78qGjMTIM&imgurl=http://www.fraziermuseum.org/wp-content/gallery/da-vinci/vite-aerea.jpg&w=448&h=318&ei=ctbuT5GOKaaW0QWkg4HvDQ&zoom=1&iact=hc&vpx=916&vpy=167&dur=328&hovh=149&hovw=189&tx=130&ty=101&sig=117823078081654879183&page=1&tbnh=149&tbnw=189&start=0&ndsp=17&ved=1t:429,r:4,s:0,i:84](http://www.google.es/imgres?q=vite+aerea&um=1&hl=es&sa=N&biw=1366&bih=667&tbm=isch&tbnid=4YeGxrpxtKcZM:&imgrefurl=http://www.fraziermuseum.org/exhibitions/upcoming-2/da-vinci-the-genius/&docid=Fbiig78qGjMTIM&imgurl=http://www.fraziermuseum.org/wp-content/gallery/da-vinci/vite-aerea.jpg&w=448&h=318&ei=ctbuT5GOKaaW0QWkg4HvDQ&zoom=1&iact=hc&vpx=916&vpy=167&dur=328&hovh=149&hovw=189&tx=130&ty=101&sig=117823078081654879183&page=1&tbnh=149&tbnw=189&start=0&ndsp=17&ved=1t:429,r:4,s:0,i:84)
- [http://www.google.es/imgres?
q=wright+brothers+fist+flight&um=1&hl=es&sa=N&biw=1366&bih=667&tbm=isch&tbnid=hcFemrAr_6SV1M:&imgrefurl=http://www.thaiflyingclub.com/linkfirstflightbehindscenes.html&docid=5q3PJKk9UxbSoM&imgurl=http://www.thaiflyingclub.com/images/linkmissiamfirstflight/picFFWrightFirstFlight.jpg&w=600&h=436&ei=94KQT8riOYjK0QWgvuneAQ&zoom=1&iact=hc&vpx=375&vpy=195&dur=275&hovh=191&hovw=263&tx=167&t](http://www.google.es/imgres?q=wright+brothers+fist+flight&um=1&hl=es&sa=N&biw=1366&bih=667&tbm=isch&tbnid=hcFemrAr_6SV1M:&imgrefurl=http://www.thaiflyingclub.com/linkfirstflightbehindscenes.html&docid=5q3PJKk9UxbSoM&imgurl=http://www.thaiflyingclub.com/images/linkmissiamfirstflight/picFFWrightFirstFlight.jpg&w=600&h=436&ei=94KQT8riOYjK0QWgvuneAQ&zoom=1&iact=hc&vpx=375&vpy=195&dur=275&hovh=191&hovw=263&tx=167&t)



[y=111&sig=104617910502764286539&page=1&tbnh=137&tbnw=183&start=0&ndsp=18&ved=1t:429,r:1,s:0,i:70](http://www.google.com/imgres?um=1&hl=en&biw=1366&bih=631&tbm=isch&tbnid=p0n0H7Av-_IZiM:&imgrefurl=http://commons.wikimedia.org/wiki/File:US_Navy_100105-N-2600H-086_An_SH-60B_Sea_Hawk_helicopter_hovers_above_a_life_jacket_in_the_Gulf_of_Aden.jpg&docid=O_qJiZPTSYppKM&imgurl=http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d2/US_Navy_100105-N-2600H-086_An_SH-60B_Sea_Hawk_helicopter_hovers_above_a_life_jacket_in_the_Gulf_of_Aden.jpg&w=2843&h=1903&ei=jHojULTBEIjAhAfWwIGoBQ&zoom=1&iact=hc&vpx=303&vpy=154&dur=1034&hovh=184&hovw=275&tx=182&ty=125&sig=115645616472885081809&page=1&tbnh=134&tbnw=179&start=0&ndsp=18&ved=1t:429,r:1,s:0,i:70)

- http://www.google.com/imgres?um=1&hl=en&biw=1366&bih=631&tbm=isch&tbnid=p0n0H7Av-_IZiM:&imgrefurl=http://commons.wikimedia.org/wiki/File:US_Navy_100105-N-2600H-086_An_SH-60B_Sea_Hawk_helicopter_hovers_above_a_life_jacket_in_the_Gulf_of_Aden.jpg&docid=O_qJiZPTSYppKM&imgurl=http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d2/US_Navy_100105-N-2600H-086_An_SH-60B_Sea_Hawk_helicopter_hovers_above_a_life_jacket_in_the_Gulf_of_Aden.jpg&w=2843&h=1903&ei=jHojULTBEIjAhAfWwIGoBQ&zoom=1&iact=hc&vpx=303&vpy=154&dur=1034&hovh=184&hovw=275&tx=182&ty=125&sig=115645616472885081809&page=1&tbnh=134&tbnw=179&start=0&ndsp=18&ved=1t:429,r:1,s:0,i:70
- http://www.wired.com/science/discoveries/multimedia/2007/11/gallery_helicopter?slide=2&slideView=2
- http://www.123rf.com/photo_6153405_leonardo-da-vinci-in-the-niches-of-the-uffizi-colonnade.html

BIBLIOGRAFIA

MARAGALL, Pasqual; DALMAU, Antoni; de ASÚA, Fernando; FERRATÉ, Gabriel; MARINONI, Augusto; CERIZZA, Angelo [et al.] (1983) *Laboratori de Leonardo*. Barcelona: IBM
CIANCHI, Marco *Le Macchine di Lenoardo da Vinci*. Milà: BECOCCI EDITORE.

ANTOCCOA, Luca; CHASTEL, André; CIANCHI, Marco; GALLUZI, Paolo; LAURENZA, Domenico; PAPA, Rodolfo [et al.] (2003) *Leonardo, arte e scienza; Leonardo, le macchine*. Madrid: SUSAETA.

TADDEI, Mario i ZANON, Edorado *LAS MÁQUINAS de LEONARDO*. Madrid: TIKAL

LLIBRES ELECTRÒNICS:

F. ANDERSON, David i EBERHARDT, Scott (2010) *UNDERSTANDING FLIGHT*. Obtingut de l'estudiant d'Enginyeria d'Aeronavegació de la UPC Dani Callejas.



VIDEOTECA:

Leonardo Da Vinci: the man who wanted to know everything, BBC

Il segreto dell'elicottero di Leonardo da Vinci, LEONARDO3



AGRAÏMENTS

Per poder donar per acabat un treball com aquest és necessari agrair a totes les persones que l'han fet possible que m'hagin ajudat en el transcurs d'aquest.

Primer de tot, no em semblaria correcte no donar les gràcies a la família pel suport i pel paper individual que ha tingut cadascú en aquest treball -Dolors, Martí i Arnau- que m'han inculcat l'estimació pel personatge de Leonardo Da Vinci, m'han pogut proporcionar llibres i informacions de tot tipus sobre el florentí i les seves màquines i em van portar a Madrid a veure l'exposició que hi va haver sobre Leonardo. A més a més, han estat sempre la millor crítica constructiva. A més a més, l'Arnau ha sigut una gran ajuda per tot el tema estètic, m'ha ajudat a fer diverses fotos i també m'ha ajudat a dissenyar la portada. L'Iris Badia també m'ha ajudat a l'hora de resoldre dubtes sobre l'ortografia.

El tutor, Pep Porredon, ha estat de gran ajuda des del principi i m'ha pogut dedicar una estona cada setmana per anar fent el Treball pas a pas i m'ha ensenyat a solucionar-me els problemes que m'anaven sorgint d'una manera més personal.

També cal agrair al meu cosí Gerard Puig que em va deixar el trepant durant l'estiu, que no he pogut treballar al taller de l'institut Francesc Ribalta.

El Dani Callejas, que de seguida que va saber el tema del Treball es va oferir a ajudar-me i em va enviar un llibre (“Understanding Flight”) que ha estat vital per a la realització d'aquest treball i que m'ha ajudat en els aspectes tècnics, que d'altra manera m'hauria costat més copsar.

I en general a tothom qui d'alguna manera o d'una altra ha fet possible aquest treball.

Gràcies a tots.