

ÍNDEX

INTRODUCCIÓ	4
1. La Massa i la seva mesura al llarg del temps.....	5
1.1. Història.....	5
1.2. Unitats de massa (les seves equivalències en grams)	8
1.2.1. Masses antigues	8
1.2.2. El sistema anglosaxò.....	8
1.2.3. Pesos comercials	9
1.3. Sistema mètric	11
1.3.1. Sistemes d'unitats.....	11
1.3.2. Prefixos i abreviatures del Sistema Internacional d'Unitats.....	13
1.4. Tipus de balances respecte l'evolució històrica.....	13
1.4.1. La balança Romana	13
1.4.2. La balança de Torsió.....	15
1.4.3. La balança de Cavendish	16
1.4.4. La balança de Cotton	18
1.4.5. Dinamòmetre de tracció de palanca	18
1.4.6. Balança magnètica	19
1.4.7. Balança hidrostàtica.....	19
1.4.8. Bàscula per camions.....	20
2. Fenòmens mecànics. Esforços i deformacions	21
2.1. Conceptes bàsics (esforç, deformació, ...).	21
2.2. Tracció i compressió.....	22

2.3.	Flexió	22
2.4.	Llei de Hooke	23
2.5.	Coefficient de Poisson	24
3.	Galgues. Sensor de deformació mecànica	26
3.1.	Galgues extensomètriques.....	26
3.1.1.	Efecte piezorresistiu	26
3.1.2.	El factor de galga.....	26
3.1.3.	Parts de les galgues.....	27
3.1.4.	Geometria de les galgues.....	28
3.1.5.	Efectes de la temperatura.....	29
3.1.6.	Problemes en l'aplicació de les galgues.....	30
3.2.	Selecció i aplicació de les galgues.....	31
3.2.1.	Elecció del tipus de galga	31
3.2.2.	Elecció del tipus de cola	32
3.2.3.	Encolat de les galgues.....	32
3.2.4.	Protecció de les galgues	33
4.	Condicionament de senyal: la cadena de mesura	34
4.1.	Pont de Wheatstone. Sensor	34
4.1.1.	Descripció	34
4.1.2.	Propietats.....	34
4.1.3.	Diferents muntatges	35
4.1.4.	Tensions d'alimentació.....	36
4.2.	Amplificador d'instrumentació. Condicionament	36

4.3.	Tèster. Visualització	37
5.	La nostra balança	38
5.1.	Descripció de la nostra balança	38
5.1.1.	Part mecànica	38
5.1.2.	Part electrònica.....	39
5.1.3.	Part informàtica	42
5.1.4.	Objectiu	42
5.1.5.	Materials.....	42
5.1.6.	Procediment.....	45
5.2.	Anàlisi de resultats	46
5.3.	Conclusions	48
6.	Annexos.....	49
6.1.	Definicions.....	49
6.2.	Bibliografia.....	52
6.3.	Esquemes	53
6.4.	Pressupost.....	56
6.5.	Hi havia una vegada... ..	56
6.6.	Agraïments	63

Introducció

Hem intentat resumir en aquestes línies totes les hores de treball, de recerca, aprenentatge, satisfacció, paciència, i un llarg etcètera.

No va ser fàcil començar, la indecisió sobre el tema ens feia perdre hores de treball. Això ens va fer buscar a diferents fonts de consulta per orientar-nos cap a un tema definit. Amb alguns projectes en ment l'Albert Navarro ens va suggerir un tema sobre el qual vam estar reflexionant si era apte per a nosaltres. Finalment el vam acceptar. La proposta era l'estudi teòric de l'evolució històrica del concepte de massa i la seva mesura i en la construcció pràctica d'una balança electrònica fent servir galgues extensomètriques.

Un cop decidit el tema només calia estructurar-lo i donar-li cos amb la informació que hauríem de buscar. També vam haver de documentar-nos i adquirir els coneixements electrònics i mecànics necessaris per a la construcció del projecte pràctic. Això va fer augmentar el nostre interès i les hores dedicades, plenes d'aïllament social, riures, esmorzars, dinars, berenars, sopars, cansament, moments de relax ...

Poc a poc les paraules van anar donant forma al treball, que s'estructurava i s'actualitzava sobre la marxa, i paral·lelament el projecte pràctic es feia realitat a base d'esforços, suor, perills, concentració, proves, errors, rectificacions, etc.

Un cop finalitzat el treball ens vam adonar que havíem superat barreres com la realització d'un treball d'aquestes característiques. Havíem après moltes coses: conceptes nous, curiositats,

Gràcies a aquest treball hem adquirit uns coneixements que mai haguéssim pensat obtenir.

1. La Massa i la seva mesura al llarg del temps

1.1. Història

Les societats primitives tenien poca necessitat de pesar objectes. Si una persona necessitava alguna cosa de l'altra, probablement efectuava un canvi. No obstant, l'or es va considerar valuós des del començament, i els egipcis van inventar la balança precisament per a pesar-lo. La trobada d'una balança en una tomba egípcia, en Neqada, data del 3500 aC. A Babilònia, en el 2600 aC s'utilitzaven peses normalitzades.

Les balances egípcies estan representades en nombroses pintures, murals i papirs. En el llibre dels morts, per exemple que data del 3r mil·lenni aC, apareix un plateret penjat d'una corda a l'extrem d'un braç de balança suspès d'un suport central; les peses estan en un plateret a l'altre extrem. A Roma es va popularitzar la balança denominada romana. Els seus dos braços tenien longitud diferent i l'objecte que es volia pesar es penjava del més curt. Al llarg del braç llarg es desplaçava un pes, o piló, fins que els braços quedaven en equilibri. La distància recorreguda pel piló indicava el pes de l'objecte.

La balança era rudimentària però no resultava molt diferent de les que podem observar actualment en algun mercat de poble, i és la avantpassada de l'actual balança analítica de laboratori.

L'element que totes les balances tenen en comú és una columna central en la que hi ha un jou horitzontal subjectat en el centre amb un pern, i amb un plat de pesada suspès en cada extrem del jou. De totes formes, l'objectiu comú de tota balança és comparar un pes conegut, col·locat en un dels platerets, amb un altre que volem determinar, situat a l'altre plateret. La massa de comparació es varia fins que s'equilibra amb una altra, indicant així el valor d'aquesta última. El nom de l'instrument ve del llatí *Lanz.*, que era el nom del plat sobre el que es disposava pes i cos; l'instrument amb dos plats es deia, per tant, *bi-lanz*.

La definició més senzilla de pes és: *força de gravetat que opera sobre un objecte.* Cal no confondre'l amb la seva massa, encara que el pes d'un objecte sigui directament proporcional a la seva massa, la massa, en la seva definició més senzilla, és una mida de quantitat de matèria present en un cos, prescindint del seu volum o de qualsevol força (com, per exemple, la gravetat) que pugui operar sobre ell. Un exemple: els

astronautes en òrbita extragravitacional no tenen pes, encara que les seves masses no varien en relació a les que tindrien sobre la Terra.

Les modernes balances de precisió, del tipus de les que s'utilitzen en els laboratoris científics, són el resultat de molts segles de treball i recerca. Per exigències d'argenteres i canvistes, que cada dia treballen amb metalls preciosos i gemmes, es van desenvolupar ràpidament balances molt sensibles. I després de la publicació, en 1687, dels "Principis d'Isaac Newton", obra fonamental que exposava les bases de la Física moderna, els científics idearen nous instruments, cada cop més precisos, per poder investigar de forma més rigorosa.

Un dels instruments que es pot considerar antecessor directe de la balança de precisió va ser descrit ja en la famosa *Encyclopédie* francesa, del segle XVIII. En aquest instrument els fils als que estaven subjectes els platerets havien sigut allargats per obtenir un centre de gravetat més baix, cosa que permetia una major estabilitat i, en conseqüència, una major precisió. Algunes peces d'aquesta balança eren de llautó per eliminar la influència de la humitat, i, per primera vegada, es va col·locar un índex al centre del jou horitzontal per poder observar millor quan els platerets estaven en perfecte equilibri. Es va introduir també un dispositiu per immobilitzar els platerets mentre es carregaven, així com la idea de protegir tot el mecanisme amb una campana de vidre.

Probablement, la primera balança de precisió va ser construïda l'any 1.770 pel rellotger anglès Jonh Harrison, per a Henry Cavendish, un pioner de la Química i la Física modernes. Per augmentar la rigidesa del jou, Harrison va idear una estructura triangular formada per barres a base de fils, de forma que els petits panys col·locats a cada extrem poguessin ser moguts per regular el centre de gravetat del sistema. Harrison va ser també el primer constructor de balances que col·locà el jou amb un pern sobre una fulla triangular, és a dir, una secció de barra triangular que es recolza sobre un triangle de la contrasecció, també triangular. Des d'aleshores, aquests fulls han entrat a formar part de l'equip convencional. L'instrument de Harrison posseïa també un mecanisme per aixecar el jou del delicat full quan la balança no estava sent utilitzada.

Les balances de precisió del tipus de les emprades habitualment en els laboratoris escolars de Física i Química tenen un jou lleuger i rígid que es recolza en un punt central sobre una versió moderna del full o ganiveta de Harrison, de forma que quan s'acciona

l'instrument, es fa baixar la ganiveta, que es recolza sobre un pal d'àgata (una varietat de quars, mineral dur i dens, resistent als canvis normals de temperatura i humitat). Els platerets es recolzen sobre estreps penjats de dos ganivetes cap per ball, una a cada costat del jou. Normalment, el plateret de l'esquerra s'utilitza pel material que volem pesar, i el de la dreta, pels pesos-mostra, extremadament precisos. Al llarg de la columna de sosteniment es prolonga un índex la punta del qual es mou, amb la oscil·lació del jou, sobre una escala situada a prop de la base de la columna. La plataforma sobre la que està la columna té dos suports, un a sota de cada plateret. L'angle superior del jou està estudiat perquè funcioni mitjançant un petit estrep anomenat "cavaller", és a dir, un tros de fil de metall inoxidable en forma de U invertida, controlat a distància mitjançant una barra d'acer des de l'exterior de la campana de vidre que protegeix la balança de l'ambient atmosfèric que la circumda. Una balança d'aquest tipus és capaç de suportar pesos de fins 200 grams, y la seva sensibilitat registra una precisió de l'ordre de la dècima de mil·ligram.

Una microbalança és un instrument molt sensible que pot suportar una càrrega màxima de 0'1 grams i la seva precisió és de l'ordre d'un micrògram (la milionèsima part d'un gram). Fins fa uns anys la lectura es feia en una mena de finestreta amb desplaçament mecànic de les xifres. Actualment, i cada cop més, s'utilitza un *display* amb díodes lluminosos, de lectura similar a la dels rellotges anomenats "digitals".

Pesar grans masses fa necessari l'ús d'instruments especials. Quan tenim prou amb una precisió de l'u per mil a la pesada, es podrien utilitzar cel·les de càrrega, és a dir, dispositius electrònics en estat sòlid que produeixen una tensió (o varien la resistència) depenent de la quantitat de càrrega. És molt important que el pes sigui el mateix, sigui quina sigui la posició a la que es col·loca la càrrega. En el cas d'un gran vehicle, les quatre rodes es col·loquen a prop dels quatre vèrtexs del rectangle de recolzament. Però un vehicle més petit podria col·locar-se fora del centre exacte. S'ha d'utilitzar un potent sistema que sigui capaç de sostenir el rectangle de recolzament mentre el vehicle puja, per evitar que l'esforç produït per ell no forci les ganivetes de sosteniment. El principi en el que es basa la pesada és el de carregar una asta amb el pes del cos i equilibrar-lo amb un contrapès mòbil (romana) que és desplaçat sobre una asta graduada.

1.2. Unitats de massa (les seves equivalències en grams)

Aquest apartat recull un llistat d'unitats de massa, gran part de les quals han quedat en desús a causa de la progressiva unificació.

1.2.1. Masses antigues

Babilònia :

Talent	30030 g
Mina	505 g
Decadracma	84'166 g
Sicle.....	16'83 g
Dracma	8'417 g
Òbol.....	1'403 g
Gra.....	0'468 g

Egipte:

Deben.....	10-14'2 g
Kite	1-1'42 g
Sep.....	100-142 g

Judea:

Talent (kitkar)	30000 g
Mina (minah).....	500 g
Sicle (shekel).....	8'3 g
Bekah.....	4'2 g
Rebah.....	2'1 g
Gra (gerah)	0'42 g

Grècia:

Òbol.....	0'71 g
Diòbol.....	1'43 g
Dracma.....	4'3 g
Tetradracma	16 g
Mina.....	430 g
Talent	25800 g

Roma:

Libra (lliura).....	327'45 g
Única (unça).....	27'28 g
Duella.....	9'096 g
Sicilicu	6'822 g
Sextula.....	4'548 g
Dracma.....	3'411 g
Scripulum	1'132 g
Obolus	0'568 g
Siliqua	0'189 g

1.2.2. El sistema anglosaxó

Masses comercials

Lliura (pound).....	453'59 g
Unça (ounce) = 1/16 lliura.....	28'349 g
Dracma (dram) = 1/16 unça	1'7718 g
Gra (grain) = 1/7000 lliura.....	0'0647 g
Tona (ton) anglesa = 2240 lliures	1016040 g
Tona (ton) americana = 2000 lliures.....	907180 g

Masses metalls i pedres precioses

Lliura (pound).....	373'24 g
Unça (ounce) = ½ lliura	31'1035 g
Gra (grain) = 1/480 lliura.....	0'0647 g

Masses farmacèutics

Lliura (pound).....	373'24 g
Unça (ounce) = 1/12 lliura.....	31'1035 g
Dracma (dram) = 1/8 unça	3'8879 g
Escrúpol (scruple) = 1/3 dracma.....	1'2959 g
Gra (grain) = 1/20 escrúpol.....	0'0647 g

1.2.3 Masses comercials a Espanya

La unitat comuna a tots els Països Catalans era la lliura, en general de 12 unces.

El valor de la lliura era, però, variable segons els llocs.

El sistema de pesos utilitzats a Catalunya, Catalunya Nord i les Illes era el següent:

- A Mallorca s'usaven també els pesos dits berberics, amb la arrova de 25 lliures i el quintar de 100 lliures o ròtols.

- Al País Valencià el sistema de pesos utilitzat era bàsicament l'anterior però amb alguna variant. Així, l'arrova té diversos valors; en general, una arrova equival a 432 unces però el valor de l'arrova en lliures és variable: hi ha l'arrova de 36 lliures (anomenada de pes gros a València i a Castelló, i de pes subtil a Alacant), la de 24 lliures (arrova de pes gros a Alacant), i també les de 30 o 32 lliures, segons el producte.

També eren utilitzades a tots els Països Catalans lliures especials, d'un nombre d'unces diferent segons els tipus de queviures. Les més remarcables són les següents:

- Lliura carnissera (3 terces).....	36 unces
- Lliura de peix fresc	30 unces
- Lliura de xocolata	12 unces
- Lliura valenciana de peix salat	18 unces
- Lliura valenciana (cafè, sucre, pa, etc).....	12 unces
- Lliura valenciana fruitera	16 unces

Càrrega	3 quintars	124800 g
Quintar	4 arroves (o roves)	41600 g
Arrova (o rova)	4 quarterons	10400 g
Quarteró.....	6 ½ lliures	2600 g
Lliura.....	12 unces	400 g
Unça	4 quarts	33'33 g
Quart.....	4 argenços	8'33 g
Argenç (o adaran)	36 grans	2'083 g
Gra.....		0'0579 g

1.2.3.1. Masses de farmàcia i medicina

En farmàcia i medicina s'utilitzava a Catalunya un sistema de pes peculiar basat en la lliura medicinal, que valia $\frac{3}{4}$ de lliura comercial:

Lliura (12 unces).....	300 g
Unça (9 dracmes).....	25 g
Dracma (3 escrúpols).....	2'777 g
Escrúpol (20 grans).....	0'925 g
Gra	0'0462 g

Aquest sistema de pesos era el tradicional català, ja esmentat en les Concòrdies de Barcelona del segle XVI, però a partir del segle XVIII per decret de Felip V s'intentà imposar el sistema de pesos basat en la lliura medicinal castellana, de 12 unces o 6912 grans (345'07 grams).

Al País Valencià s'utilitzava durant el segle XV l'unça de 10 dracmes i l'òbol de $\frac{1}{2}$ escrúpol o 12 grans.

1.2.3.2 Masses de joieria

Per a pesar l'or i l'argent per a joieria eren emprades unes balances sensibles als petits pesos i un sistema d'unitats especial que tenia com a unitat bàsica el marc. El sistema utilitzat a Catalunya es basava en el marc com a pes bàsic, igual a $\frac{2}{3}$ de la lliura de Barcelona (1891).

Marc (8 unces)	268'34 g	Argenç (9 quirats)	2'096 g
Unça (4 quarts)	33'54 g	Quirat (4 grans).....	0'232 g
Quart (4 argenços).....	8'384 g	Gra.....	0'058 g

Al País Valencià s'utilitzava el marc “de taula” igual a 2/3 de la lliura valenciana:

Marc (8 unces)	237'49 g
Unça (24 diners).....	29'686 g
Diner (24 grans).....	1'236 g
Gra	0'0515 g

A Mallorca el marc equivalia a 271'33 grams, i a Montpeller a 239 grams. A Perpinyà s'utilitzava el marc valencià. També s'ha utilitzat als Països Catalans el sistema de pesos basat en el marc castellà de 230'046 grams.

En aquella època les comunicacions no eren bones, en conseqüència les masses dels diferents països del món no eren iguals. Això comportava una gran dificultat als mercaders en quant a la importació i exportació del producte, donat que es venia normalment a granel. Per solucionar aquest problema es va haver d'arribar a un acord comú per unificar les unitats de massa: es va crear el sistema mètric internacional.

1.3. Sistema mètric

Sistema mètric: conjunt d'unitats de mesura definides amb precisió i de valor universal. França va ser el primer país en el qual va instituir-se aquest sistema per la llei del 7 d'abril del 1795. El 22 de juny de 1799, Étienne Lenoir diposita a l'arxiu estatal de París una barra de platí iridiat d'un metre de longitud, i una massa normalitzada, també de platí iridiat, d'un quilogram. La llei del 10 de desembre de 1799 va donar valor als patrons del metre i del quilogram dipositats als arxius nacionals. El 1837 (llei del 4 de juliol) el sistema mètric va ser declarat obligatori a França a partir de l'1 de gener de 1840 (els tres anys que separaven la llei de la seva aplicació estaven destinats a permetre als usuaris acostumar-se a les noves unitats i transformar els seus instruments).

1.3.1. Els sistemes d'unitats

Fins aleshores el sistema mètric només definia un nombre limitat d'unitats. La llei del 2 d'abril del 1919 ampliava el sistema mètric a les unitats de resistència elèctrica, d'intensitat, etc., però la llei del 26 de juliol del 1919 establia a més les unitats secundàries

(superfície, volum, potència, etc.). Paral·lelament a aquesta evolució dels sistemes de mesura a França, altres països adoptaven el sistema mètric francès (del 1820 al 1860 Holanda, Luxemburg, Suïssa i Espanya; després, abans del 1900 Alemanya, Portugal, Àustria, Noruega, Iugoslàvia, Romania, Suècia i Bulgària). El 1875 va ser fundada una Oficina internacional de pesos i mesures per una convenció internacional, anomenada *Convenció del Metre*, la seu de la qual es va instal·lar a Sèvres, al pavelló Breteuil. La seva missió era construir i conservar els patrons de mesura i comparar-los amb els patrons nacionals dels diferents Estats que s'havien adherit a la Convenció del Metre. El 1889, els patrons definitius del metre i del quilogram van ser dipositats a la volta del pavelló de Breteuil. Fins al 1960 uns quaranta Estats s'havien adherit a aquesta convenció.

El 1948 la Conferència General de Pesos i Mesures era responsable de les unitats i patrons de longitud, massa, electricitat, fotometria, temperatura i radiació ionitzant. En aquesta època, la següent gran fase evolutiva del sistema mètric havia començat. Va ser iniciada per la Unió Internacional de Física Pura i Aplicada “tendint a adoptar per ús internacional un sistema d'unitats pràctic internacional”. Per això la 9a CGPM va decidir definir una llista completa d'unitats derivades. Aquestes unitats derivades no havien sigut prèviament considerades perquè requerien patrons independents. També, la CGPM va supervisar la unitat de temps, que havia sigut prerrogativa dels astrònoms.

El treball va començar a la 10a CGPM el 1954 i va ser completat per la 11a CGPM el 1960. Durant aquest període va haver una revisió extensiva i una simplificació de les definicions d'unitats mètriques, símbols i terminologia. El Kelvin i la candela van ser afegits com unitats base per a temperatura termodinàmica i intensitat lluminosa, i el 1971 el mol va ser afegit com una setena unitat base per a quantitat de substància.

El 5 de Juliol de 1970 inicia la seva vigència a la República Federal d'Alemanya una nova llei referida a les unitats utilitzades en metrologia, i a les unitats complementàries. La llei obliga la utilització, al comerç i a la documentació oficial, de les magnituds i unitats (i les seves derivades) establertes per ella. Les magnituds fonamentals d'utilització obligatòria són: per a la longitud el metre (m), per a la massa el quilogram (kg)...

El modern sistema mètric és conegut com el Sistema Internacional d'Unitats, amb la abreviatura internacional SI. Està basat en las set unitats base, que per convenció són contemplades com dimensionalment independents. Totes les altres unitats són unitats derivades, coherentment formades multiplicant i dividint unitats pertanyents al sistema sense la utilització de factors numèrics. Per exemple, la unitat de força és el Newton, que és igual a 1 quilogram multiplicat per 1 metre per segon al quadrat, i la unitat d'energia és el Joule, igual a un newton multiplicat per un metre. La expressió de múltiples i submúltiples de les unitats SI es facilita amb la utilització de prefixos.

1.3.2. Prefixos i abreviatures del Sistema Internacional d'Unitats

El sistema més utilitzat durant molt de temps tenia tres unitats bàsiques. Per aquesta raó va rebre el nom de sistema *Cm – G – S*, abreviat CGS. A diversos països, el sistema *Metre – Tona – Segon* (sistema MTS) va ser el sistema legal durant un llarg període de temps. El 1935 una comissió internacional, que va considerar els problemes que plantejaven les mesures elèctriques, va adoptar un sistema d'unitats basades en les unitats fonamentals següents: el metre, el quilogram, el segon i l'amper (unitat d'intensitat elèctrica). El 1950, es va definir aquest sistema MKSA de quatre unitats bàsiques. Aquest sistema MKSA, augmentat amb dues unitats fonamentals (la candela i el grau Kelvin), adoptat per la Conferència de Pesos i Mesures a l'octubre de 1954 com a sistema pràctic d'unitats, ha sigut definit com *Sistema Internacional d'Unitats* (SI) per la XXI Conferència de Pesos i Mesures el 1860.

1.4. Tipus de balances respecte l'evolució històrica

1.4.1. La balança romana

Arquímedes de Siracusa (282-212 a C) va ser un dels més grans enginyers de la història de la humanitat, i el primer que va provar d'explicar de forma científica el funcionament de moltes màquines simples. Entre elles, les que funcionaven a base de palanques i politges.

Amb el rei Hiero II va succeir una anècdota que serveix per il·lustrar la seva habilitat mecànica, a més del seu sentit polític. Hiero, enamorat del mar, havia fet construir una nau enorme, que va batejar com “Syrakosia” i era la més gran de la seva època. Quan van voler provar-la va encallar i no van poder fer res per solucionar-ho. Arquímedes va assumir el repte i, basant-se en palanques situades en punts estratègics per sota de l’aigua i en politges compostes, va dissenyar un dispositiu que acabava en una sola corda que hauria de ser estirada per una sola persona. Amb tot preparat, i com a demostració de les seves habilitats com a enginyer, Arquímedes va dir al rei Hiero que estirés la corda. El rei, atònit, va observar com, amb una sola mà, era capaç d’aixecar el vaixell.

La seva cèlebre frase “doneu-me un punt de recolzament i mouré el món” tenia fonaments sòlids.

La balança romana, que s’ha utilitzat fins el segle XX i que encara es pot veure en alguns pobles europeus per pesar productes agraris, és una modesta però útil aplicació de les lleis de la palanca que va explicar Arquímedes, i que va servir als romans per racionalitzar l’intercanvi comercial i la justícia dels preus.

Consta d’una barra horitzontal, d’un plat per posar la mercaderia, un punt de recolzament del que s’ha de penjar, i d’un altre del que es penja un pes.

Evidentment, el pes és més lleuger que la mercaderia, però l’avantatge mecànic és més elevat, és a dir, el braç sobre el que exerceix la seva acció i que ve determinat per la distància del pes al punt de penjament.

Amb pesos lleugers, doncs, podríem pesar quantitats molt superiors amb bastant exactitud.

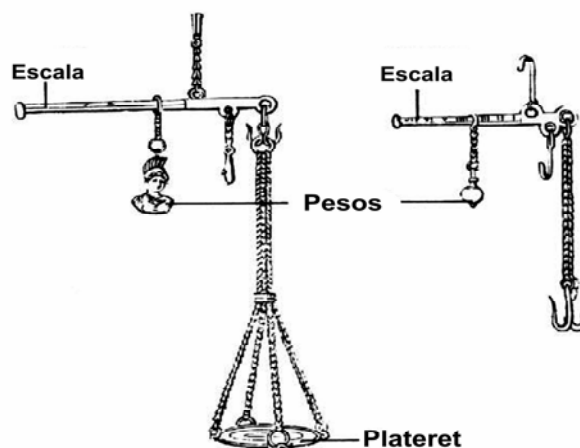


Figura 1. Dues balances Romanes

1.4.2. La balança de torsió

Charles Coulomb, enginyer militar francès, va inventar la balança de torsió l'any 1.777, i va posar aquest delicat instrument al servei de l'electricitat. Coulomb buscava millorar la brúixola dels marins i, per això, experimentava amb càrregues elèctriques. Va col·locar una petita esfera carregada a la barra de la balança i, després, a diferents distàncies, una altra esfera igualment carregada. Llavors va mesurar la força entre elles, fixant-se en l'angle en el qual la barra girava. Així va trobar, l'any 1.785, la llei que regeix la força entre dues càrregues elèctriques, llei que anomenem de Coulomb en el seu honor, i que afirma que la força és proporcional al producte de les càrregues i disminueix amb el quadrat de la distància entre elles. Com a la natura existeixen dos tipus de càrregues, que anomenem positives i negatives, la llei de Coulomb ens diu també que les càrregues iguals es repel·leixen i les de signe contrari s'atrauen. A més, la força elèctrica és, com totes les forces, un vector que té direcció. Aquesta direcció apunta en la mateixa direcció que la línia que uneix les dues càrregues.

La balança de torsió és un aparell molt simple. Consisteix en una barra que penja d'un fil que es pot torçar. Si la barra gira, el fil tendeix a retornar-la a la seva posició original. Quan arribem a conèixer la força de torsió que el fil exerceix sobre la barra, tenim un mecanisme molt sensible per mesurar forces. Podem, per exemple, col·locar una partícula carregada en un dels extrems de la barra i apropar-hi un imant o una altra càrrega. Amb aquest dispositiu tan senzill s'han realitzat tres experiments de gran importància a la història de la física.

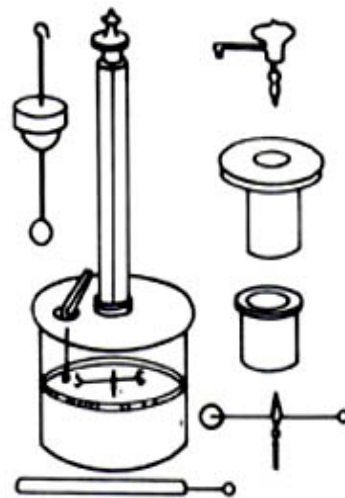


Figura 2. Balança de torsió que va utilitzar Coulomb

1.4.3. La balança de Cavendish

El primer científic que va mesurar amb precisió la constant de gravitació G va ser Henry Cavendish fa 200 anys. Va fer-ho amb un tipus de balança que actualment es coneix amb el seu nom: balança de Cavendish.

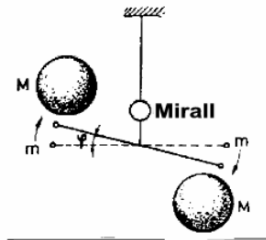


Figura 3.1. Balança de Cavendish

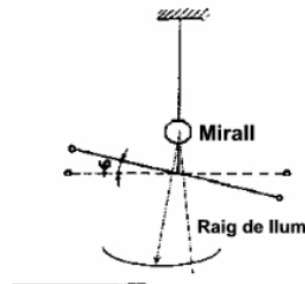


Figura 3.2. Balança de Cavendish

Aquesta balança consta, principalment (fig. 3.1.), d'una vareta horitzontal, lleugera. Als seus extrems té dues petites esferes de massa “ m ”, d'una substància molt densa i poc alterable com l'or o el platí. Aquesta vareta està suspesa pel seu centre amb un fil molt prim, normalment de quars. Es col·loquen, al costat de les masses “ m ”, als dos costats de la vareta, unes esferes grans de plom de massa “ M ”. Les forces d'atracció entre les masses “ m ” i “ M ” originen un parell de forces que tendeix a girar la vareta i a apropar les masses entre si. Aquest moviment de la vareta fa cargolar el fil sobre sí mateix i, com a conseqüència, apareix un parell de forces elàstiques que s'oposa al parell d'atracció. El gir acaba quan els dos parells de forces tenen el mateix mòdul. Quan estiguin en equilibri tindrem:

$$\left| \vec{M}_{grav} \right| = \left| \vec{M}_{elas} \right|$$

és a dir,

$$\left| \vec{L} \times \vec{F} \right| = |K\varphi|$$

on:

L = longitud de la barra. F = la força d'atracció entre “ m ” i “ M ”. φ = l'angle girat.

k = la constant elàstica, que pot ser determinada fàcilment.

Substituint a la igualtat anterior F per la seva expressió donada per la llei de la Gravitació, tenim:

$$LG \frac{Mm}{r^2} = K\phi$$

D'on podem aïllar G :

$$G = \frac{k\phi r^2}{MmL}$$

Per obtenir una comoditat i precisió més elevades, l'angle (que és molt petit) es mesura projectant sobre una escala graduada un raig de llum que es reflexa sobre un mirall unit al fil de suspensió i que segueix el seu gir (fig. 3.2.).

Després de Cavendish, nombrosos científics han realitzat l'experiment amb balances cada cop més grans i precises obtenint el valor acceptat com correcte l'any 1.998, amb un marge d'error del 0'15%:

$$G = 6'6726 \cdot 10^{-11} \text{ [N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^2]$$

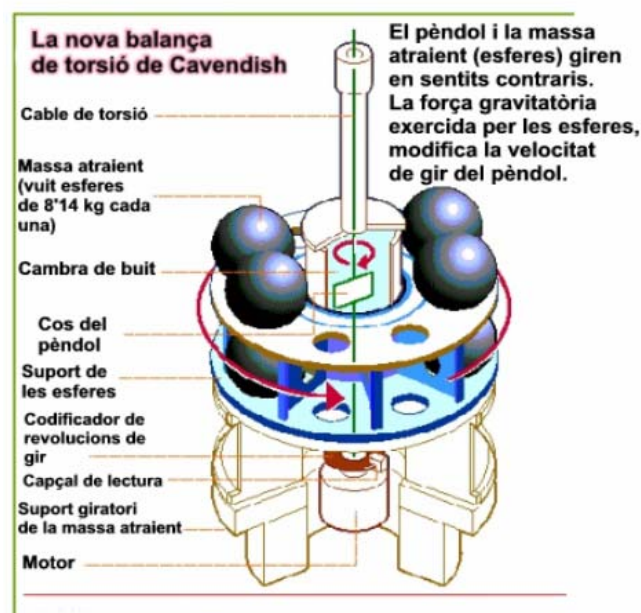


Figura 4. Nova balança de torsió de Cavendish

1.4.4. La balança de Cotton (1.913)



Instrument que serveix per determinar la intensitat d'un camp magnètic mesurant la força que exerceix sobre un fil conductor fix al braç d'una balança i travessat per una corrent elèctrica d'intensitat coneguda.

Figura 5. Aimé Cotton (1.869 – 1.951), físic francès

1.4.5. El dinamòmetre de tracció de palanca

L'esforç de tracció "P", aplicat als grillons, es transmet, mitjançant la palanca de dos braços, al ressort de mesura. L'altre extrem del ressort es recolza al bastidor de l'instrument.

La palanca, amb el seu sortint "b", fa girar el sector i la roda dentada amb l'agulla "a" que indica la magnitud de l'esforç de tracció "P".

1 i 2: grillons.

3: palanca de dos braços.

4: ressort de mesura.

5: bastidor.

6: roda dentada.

7: sector.

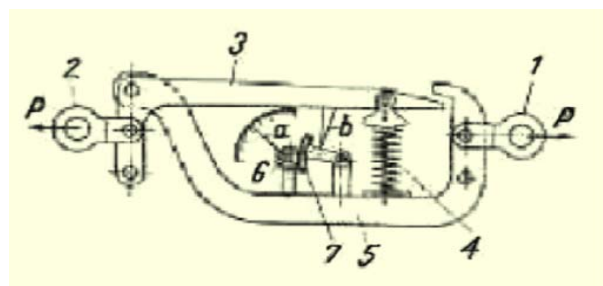


Figura 6. Dinamòmetre de tracció de palanca

1.4.6. La balança magnètica

La balança magnètica serveix per mesurar directament les susceptibilitats magnètiques i per calcular, posteriorment, el moment magnètic d'una mostra. Aquest valor permetrà confirmar el comportament paramagnètic del compost que analitzem i obtenir informació estructural difícil d'obtenir amb la resta de les tècniques disponibles.

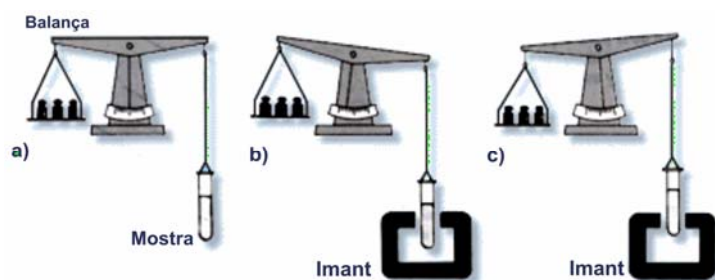


Figura 7. Balança magnètica

1.4.7. La balança hidrostàtica

La balança hidrostàtica és una balança que pot servir tant per comprovar experimentalment el principi d'Arquímedes per als cossos submergits en un líquid, com per determinar experimentalment la densitat de cossos sòlids.



Figura 8. Balança hidrostàtica

La balança hidrostàtica és una balança de precisió. La seva creu pot ser elevada mitjançant una forqueta i una cremallera guiada per un cargol. Els seus platets acaben inferiorment en un ganxo. En un dels platets (el de l'esquerra, a la figura 8.) pot suspendre's un cilindre metàl·lic buit i, a continuació d'aquest, un altre cilindre massís amb el mateix volum que la capacitat del primer.

Un altre aparell d'aquesta col·lecció, el baroscopi, permet la comprovació qualitativa del principi d'Arquímedes per als cossos submergits en gasos.

Una de les seves aplicacions didàctiques és la comprovació experimental del principi d'Arquímedes, que afirma que "tot cos, parcial o totalment submergit en un fluid, experi-

menta una empenta ascensional igual al pes del fluid desplaçat”. Amb la configuració mostrada a la fotografia, s’eleva la creu accionant el cargol i s’afegeixen pesos al plateret dret fins que la balança s’equilibri. A continuació, s’apropa un recipient amb aigua al plateret de l’esquerra fins que el cilindre massís quedi totalment submergit en el líquid. En aquest moment s’aprecia que el plateret esquerre s’eleva, indicant clarament que ha aparegut una força ascensional que actua sobre el cilindre. Finalment, s’afegeix aigua, amb una pipeta, al cilindre buit fins omplir-lo totalment. Llavors es pot comprovar que es restableix l’equilibri a la balança, demostrat de manera inequívoca que l’empenta ascensional és igual al pes d’una quantitat de fluid (aigua) amb el mateix volum que el cilindre massís submergit.

1.4.8. La bàscula per camions

Les bàscules per camions poden pesar estàtica o dinàmicament. Consisteixen bàsicament en una llosa de formigó o acer i un kit electrònic. La plataforma està dipositada en un fossat de formigó o sobre nivell, al qual se li addicionen els components metàl·lics per suportar i instal·lar les cel·les de càrrega.



Figura 9.1. Balança per a pesar camions

També existeix la bàscula de camions construïda per mòduls metàl·lics d’acer, la estructura modular permet unir diferents seccions i d’aquesta manera aconseguir la longitud requerida. Cada secció està construïda robustament per perfils UPN. La seva construcció permet que es desmunti i es transporti fàcilment si és necessari.

El kit electrònic anàleg consisteix bàsicament en cel·les de càrrega amb els seus respectius sistemes d’ancoratge, una caixa sumadora de senyals de cel·la i l’indicador de pes adient per les condicions existents en planta, existint la possibilitat (opcional) d’un sistema computacional i software per pesar, pel registre i administració de les operacions de la bàscula i/o la seva connexió a perifèrics.



Figura 9.2. Camió sobre una balança per a camions

2. Fenòmens mecànics. Esforços i deformacions

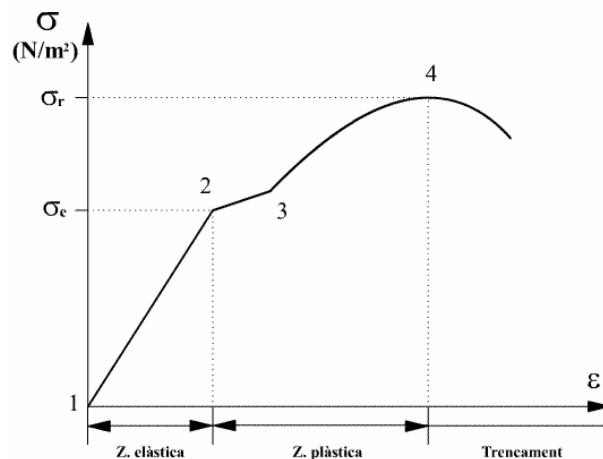
Parlarem tot seguit de les propietats físiques i esforços que patiran alguns dels materials de la nostra balança.

2.1. Conceptes bàsics

Abans de començar, aclarirem alguns conceptes bàsics per a la comprensió d'aquest apartat:

Esforç (σ): és la força que actua sobre una secció determinada.

$$\sigma = F/S \quad [\text{Pa}]$$



Gràfica 1. Diagrama assaig de tracció

Un cos elàstic és el que pot variar les seves dimensions sense trencar-se i, en deixar d'actuar la força, tornar a les dimensions inicials (zona elàstica de la gràfica 1.). Tot material, però, té un límit elàstic (punt 2 de la gràfica 1.), que quan és superat no recupera la seva situació inicial un cop hem deixat d'aplicar-hi l'esforç (zona plàstica de la gràfica 1.).

La homogeneïtat vol dir que les propietats físiques del material es mantenen constants en tota la seva estructura.

Quan diem que un cos és continu volem indicar que el material no té zones buides.

Una peça és isòtropa quan les seves propietats no depenen de la direcció en què estan mesurades.

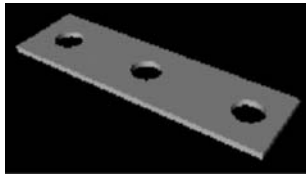


Figura 10.1. Làmina no contínua

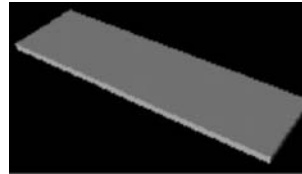


Figura 11.2. Làmina contínua

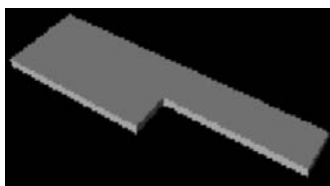


Figura 13.3. Làmina no isòtropa

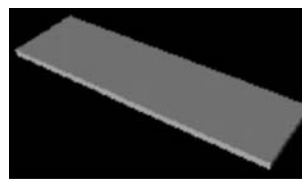


Figura 12.4. Làmina Isòtropa

2.2. Tracció i compressió

Tracció: Diem que un cos està sotmès a un esforç de tracció quan actuen sobre ell dues forces de mateixa direcció però de sentits oposats, creant una tendència a la separació dels punts d'aplicació de les forces.

Compressió: Diem que un cos està sotmès a un esforç de compressió quan actuen sobre ell dues forces de mateixa direcció però de sentits oposats, creant una tendència a l'apropament dels punts d'aplicació de les forces.

2.3. Flexió

Quan una barra o un altre cos és sotmès a l'acció de forces puntuals i/o repartides que actuen sobre el seu eix longitudinal i tenen tendència a corbar-la, diem que està sotmesa a un esforç de flexió.

En un esforç de flexió, el cos en sí pateix la suma de dos esforços: les fibres situades per sota de l'eix de corbatura s'estiren (tracció), mentre que les situades per damunt es comprimeixen (compressió).

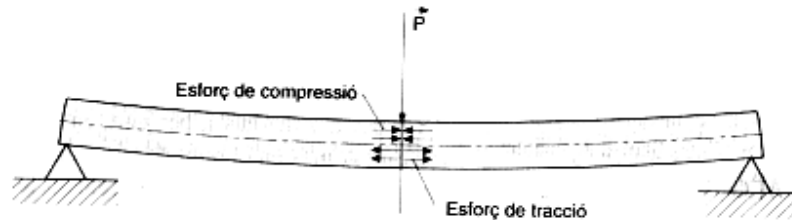


Figura 11. Fenomen de flexió (tracció – compressió)

Depenent de la posició i el tipus de punt de recolzament, i de la col·locació de les càrregues, podem tenir diferents configuracions. Nosaltres, però, només ens basarem en una: biga encastada amb càrrega puntual com la de la figura 12.

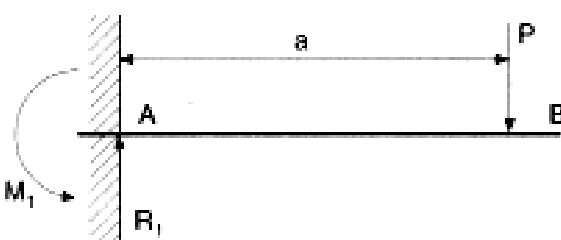


Figura 12. Biga encastada amb càrrega puntual

A l'extrem A la barra es troba encastada. Aquest encastament impedeix el moviment de rotació que aquest extrem tendeix a fer. L'extrem B queda totalment lliure.

Si tenim en compte la suma de forces i la suma de moments, en una situació d'equilibri, obtenim les següents equacions:

$$\begin{aligned}\Sigma F = 0 & \Rightarrow R_1 = P \\ \Sigma M_1 = 0 & \Rightarrow P \cdot a = M_1\end{aligned}$$

2.4. Llei de Hooke

La llei de Hooke ens diu que les deformacions d'un cos són proporcionals als esforços a que és sotmès, com veiem a la figura 13.

Sempre hem de tenir en compte el mòdul de Young o mòdul elàstic (**Y**), que és una constant característica de cada material. Les seves unitats en el Sistema Internacional són $[N/m^2]$.

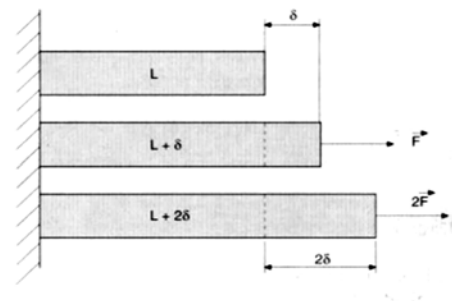


Figura 13. Deformació d'una barra segons la llei de Hooke

Material	Y [N/m ²] · 10 ¹¹
Acer	2.058
Fosa grisa	1.029
Fundició mal·leable	1.715
Llautó	1.029
Bronze	0.8232
Alumini	0.7056

Taula 1. Mòdul de Young de diversos materials

Un altre terme a definir és la deformació unitària (ϵ), que és la relació que hi ha entre una variació de longitud i la longitud inicial. Per tant, obtenim les següents igualtats:

$$\epsilon = \delta/L_0 = \Delta L/L_0 = (L_f - L_0)/L_0 \quad [\text{adimensional}]$$

Tenint definits aquests conceptes, podem arribar a la fórmula següent, només aplicable si el material es troba dins de la seva zona elàstica:

$$\sigma = Y \cdot \epsilon \quad [\text{Pa}]$$

2.5. Coeficient de Poisson

Quan un cos és sotmès a un esforç en el seu eix longitudinal varia les seves dimensions en aquest eix, però també es veu afectat en les dimensions dels eixos transversals. Així, si

Material	μ
Acer	0.292
Fundició grisa	0.211
Bronze	0.349
Alumini	0.334

Taula 2. Coeficient de Poisson de diversos materials

tenim un esforç de compressió, la seva longitud disminueix, mentre que les dimensions transversals augmentaran. Obtenim els resultats contraris si l'esforç és de tracció. La relació entre la deformació unitària a l'eix lateral respecte la deformació unitària a l'eix longitudinal s'anomena coeficient de Poisson (μ).

$$\mu = \varepsilon_{\text{lat}} / \varepsilon_{\text{long}} \quad [\text{adimensional}]$$

“L”, “b” i “h” són les dimensions inicials del cos, en els eixos corresponents.

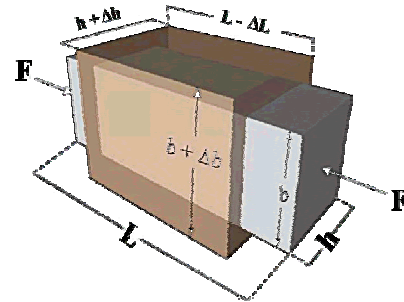


Figura 14. Deformació d'una barra segons el coeficient de Poisson

3. Galgues. Sensor de deformació mecànica

3.1. Galgues extensomètriques

3.1.1. Efecte piezorresistiu

Les galgues es basen en la variació de resistència d'un conductor o semiconductor quan és sotmesa a un esforç mecànic. Si tenim en compte els factors que intervenen a l'hora de variar la resistència, obtenim aquesta fórmula:

$$R = \rho \cdot l/A \quad [\Omega]$$

on:

R és la resistència total ρ és la resistivitat, característica de cada material $[\Omega \cdot m]$

l és la longitud $[m]$ A és la secció $[m^2]$

Si la galga és sotmesa a un esforç longitudinal, la longitud experimenta un canvi i, per tant, la seva secció també, d'acord amb el coeficient de Poisson. Com a resultat del canvi de les variables de la fórmula, també es produeix un canvi de la resistència.

3.1.2. El factor de galga

A cadascun dels fils conductors de la galga es produeix una deformació, la seva longitud passa de ser l a ser $l + \Delta l$, i per tant la seva resistència R es converteix en $R + \Delta R$.

$$\Delta R/R = K \cdot \Delta l/l = K \cdot \varepsilon$$

En aquesta fórmula apareix un factor de proporcionalitat en relació a la variació de resistència respecte de la de longitud. Aquest factor s'anomena factor de galga.

També hem de donar a conèixer la deformació transversal que pateix la galga, que podem menysprear gràcies a l'augment del gruix als canvis de direcció del conductor, com veiem a la figura 15., que permet reduir aquest error.

Aliatge	Composició	Factor de galga K
Constantan	45% Ni + 55% Cu	2.1
Isoelàstic	52% Fe + 36% Ni + 8% Cr + 4% (Mn, Mo)	3.5
Karma	74% Ni + 20% Cr + 3% Cu + 3% Fe	2.1
Nicrom V	80% Ni + 20% Cr	2.5
Platí-Tungstè	92% Pt + 8% W	4.1

Taula 3. Factor de galga de diversos materials

3.1.3. Parts de les galgues

El fil conductor

És necessari que el factor de galga es mantingui constant, per això s'utilitzen materials que permeten que aquest fenomen es produeixi. Els materials més adients són, per exemple el constantan (Cu-Ni), alguns aliatges de Ni-Cr i l'Elinvar (Fe-Cr-Mo). Si les galgues han de ser utilitzades a grans temperatures, fins a 850°C, s'utilitzen aliatges de platí-tungstè.

Gràcies a que el gruix del filet és major als extrems de la corba es minimitzen els errors de tracció i compressió laterals.

El suport

És la superfície on és col·loca el delicat filament per donar-li cos a la galga. Ha de transmetre al fil conductor amb molta precisió les deformacions que pateix el material en estudi. També l'aïlla elèctricament. Els materials més comuns són la cel·lulosa, el poliester, poliamida, epòxid i resines fenòliques amb vidre.

Encapsulació

És possible trobar galgues amb protecció plàstica sobre el fil conductor. Aquesta làmina evita que el fil es vegi afectat per la humitat, les ratllades, ...

Sortides

També trobem galgues amb uns terminals als

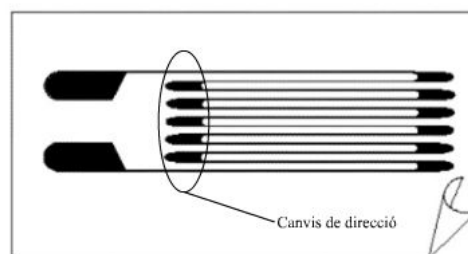


Figura 15. Filet d'una galga

extrems que permeten soldar-hi uns fils conductors per poder-les connectar a un circuit. D'altres galgues ja són fabricades amb els fils soldats als terminals. Normalment aquests fils conductors són petites cintes de coure niquelat o de bronze al beril·li.

Per evitar estrebades, les galgues es connecten als aparells mitjançant un connector que es fixa al costat de la galga.

3.1.4. Geometria de les galgues

Podem distingir entre dos grans grups de galgues: les de fil i les impreses per foto-gravat.

Si seguim el criteri de la forma de la reixeta i el suport, podem identificar els grups següents:

a) Galgues estàndard

Aquest tipus de galga està format, principalment, per les galgues de forma rectangular, i tenen els fils de connexió a un extrem de la reixeta. Aquesta sol mesurar entre 3 i 10 mm, però les més comunes són les de 10.

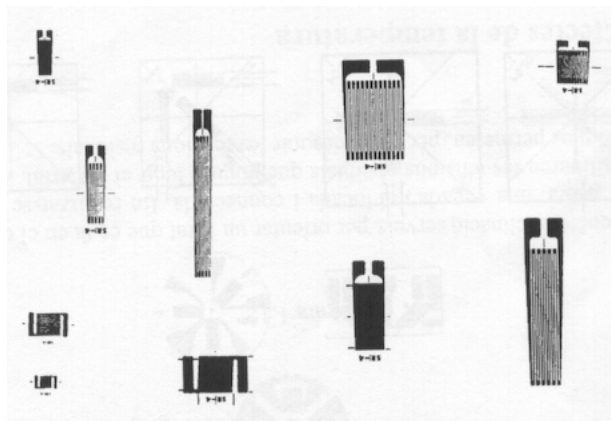


Figura 16. Diferents formes de galgues estàndard

b) Galgues de gran longitud

Realitzen una mitjana de la deformació total al llarg de la reixeta. S'utilitzen per mesurar deformacions en materials heterogenis.

c) Galgues sense suport

Són galgues en que la reixeta està suportada sobre una cinta adhesiva provisional. S'enganxa a la zona que ha de mesurar mitjançant ciments ceràmics, i pot treballar a temperatures de fins a 800°C.

d) Rosetes

Consten de dues, tres o quatre galgues sobre un mateix suport.

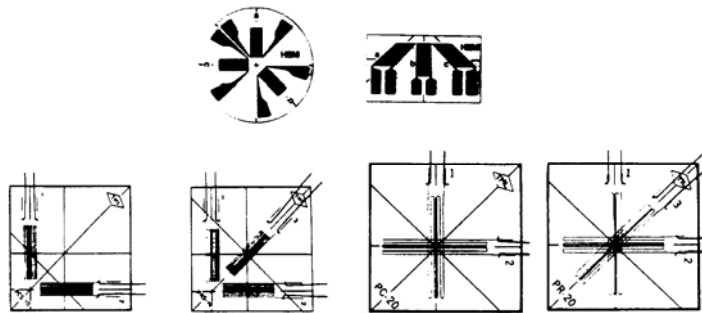


Figura 17. Diferents formes de rosetes

e) Galgues miniatura

La seva reixeta pot arribar a ser de 0.2 mm de llargària. Solen utilitzar-se per a concentració de tensions molt fortes o per mesurar fenòmens molt ràpids.

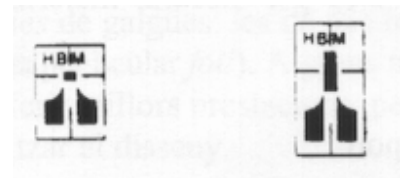


Figura 18. Diferents formes de galgues miniatura

f) Galgues per mesurar tensions residuals

Estan formades per una roseta de tres direccions muntades sobre un suport circular amb una inclinació concreta del centre.



Figura 19. Galga per mesurar tensions residuals

3.1.5. Efectes de la temperatura

Efectes de la variació de resistència

Els efectes tèrmics causen dilatacions del material sobre el qual la galga es troba encolada, i sobre la mateixa galga. Per evitar les variacions de resistència causades per les dilatacions és aconsellable col·locar una altra galga oposada per contrarestar aquestes deformacions.

Efecte dels corrents d'aire

Els corrents d'aire fan variar la temperatura de la galga, i això fa que la seva resistència variï. Per evitar aquest efecte es cobreix la galga amb un material aïllant, com ara la silicona.

Efectes transitoris d'escalfament

Quan pel fil conductor de la galga passa un corrent elèctric, es produeix un escalfament, i això dóna lloc a una petita variació de la lectura de la galga en el moment de connectar-la.

3.1.6. Problemes en l'aplicació de les galgues

Derives

Amb el temps, la galga també pot veure afectada la seva resistència. Aquest fenomen pot ser ignorat fins a temperatures de 200°C. Per solucionar aquest problema només podem utilitzar una galga de compensació.

Relaxació

Aquest fenomen consisteix en la disminució de tensió mentre la deformació es manté constant. Això provoca que el valor de lectura decreixi encara que la càrrega es mantingui constant. Aquest efecte és produït, principalment, a causa de la cola. Els errors produïts per aquest fenomen poden ser desestimables, excepte si es desitja gran precisió o es treballa a altes temperatures.

Histèresi

En donar corrent a la galga per primer cop, aquesta s'escalfa. Aquest augment de temperatura pot fer que la cola variï les seves propietats, i que es produeixi una nova situació en la que no es retornaria a zero. Per solucionar aquest problema hauríem d'augmentar la temperatura de les peces uns 30°C per sobre de la que es preveu a l'assaig, en cas que treballem amb peces petites. En el cas que utilitzem elements de grans dimensions, podem alimentar prèviament les galgues, fins i tot amb un voltatge una mica superior al que es preveu a l'assaig.

Fatiga

La resistència a la fatiga és el valor de l'esforç necessari per trencar el material en un determinat nombre de cicles.

La fatiga afecta als materials de la reixeta i es produeixen petites esquerdes que poden arribar a variar la resistència de la galga. El millor material de reixeta per suportar la fatiga és l'elinvar (Fe – Cr – Mo), malgrat això, el més utilitzat és el que menys resistència ofereix a la fatiga, el constantan.

3.2. Selecció i aplicació de les galgues

3.2.1. Elecció del tipus de galgues

A l'hora de triar un tipus de galga determinat, hem de tenir en compte certs factors que hi influeixen:

- Tipus d'informació que es vol obtenir en les mesures:

Tenint en compte aquest factor escollirem la forma de la galga.

- Material que es vol mesurar:

És important que la galga i el material on s'encolarà es dilatin de forma semblant o igual a causa de la temperatura.

- Lloc de col·locació:

Depenent del lloc on vulguem col·locar la galga, variaran els següents paràmetres: dimensions de la reixeta i del suport, disposició i forma dels terminals, resistència elèctrica de la galga i tipus de suport.

- Condicions i tipus d'assaig:

La galga que escollirem haurà de resistir les condicions en les que la farem treballar: temperatura, deformació màxima, nombre de cicles, duració, ...

- Sensibilitat:

El grau de sensibilitat d'una galga ve determinat, principalment, pels seus materials. Podem trobar galgues metàl·liques (constantan, nicrom, ...), que tenen un factor de galga d'aproximadament 2, i les galgues semiconductores, el factor de les quals oscil·la entre 45 i 200. Com més elevat és el factor, més sensibilitat té la galga.

3.2.2. Elecció del tipus de cola

L'elecció de la cola és important per aconseguir bons resultats, ja que és un dels elements que influeix més en la precisió.

Normalment, per a casos d'anàlisis de tensions normals s'utilitzen coles ràpides d'un sol component del tipus cianocrilat. Per als casos en que necessitem una major precisió o treballem a temperatures elevades, utilitzarem coles de dos components d'enduriment en calent.

3.2.3. Encolat de les galgues

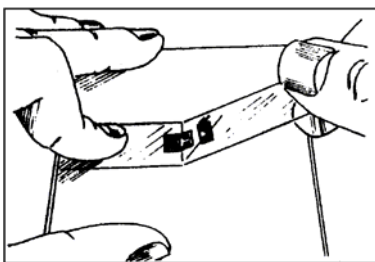
Tot seguit mencionarem els passos necessaris per encolar de forma adequada la galga a la superfície on ha d'anar fixada.

a) Preparació de la superfície: per aconseguir un encolat òptim cal netejar i desengreixar la superfície amb acetona o similars. Seguidament, passarem a polir-la per fer desaparèixer qualsevol imperfecció. Un cop fet això, netejarem les restes que hagin pogut quedar del procés anterior. Per acabar, utilitzem un producte neutralitzador per eliminar els àcids que podrien evitar el posterior enduriment de la cola. Un cop neutralitzada la superfície, la netejarem amb dissolvent.

b) Marcatge de referències: per evitar errors de mesura de tensió a causa de la alineació i de la posició de la galga, es marquen les direccions en què volem prendre les mesures.

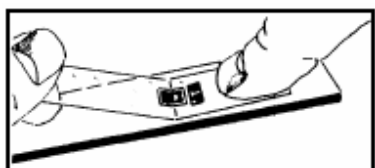
c) Encolat de la galga: és aconsellable col·locar un suport de terminals imprès per evitar estrebades a la galga.

Aquests són els passos que cal seguir per enganxar les galgues amb una cola d'un sol component:



Pas 1.

Col·loquem la galga i el suport de terminals en un vidre net i els agafem amb cinta adhesiva, procurant no doblegar la galga.



Pas 2.

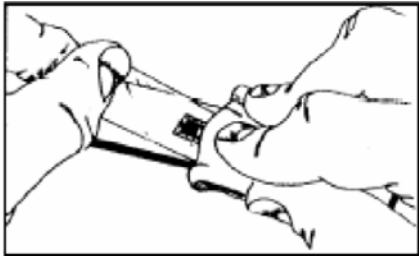
Situem la galga al punt de mesura i la alineem. Tot seguit, enganxem la cinta i des-



Pas 3.

després la aixequem per un extrem mantenint l'altre fix.

Encolem la base de la galga, procurant no embrutar la cola amb l'adhesiu de la cinta.



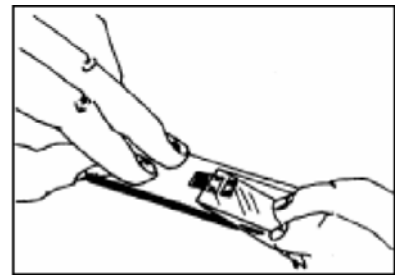
Pas 4.

Quan ha passat el temps necessari per que la cola s'hagi endurit, aixequem la cinta a 45° en la direcció en què prendrem les mesures.



Figura 20. Procés d'encolat finalitzat

S'abaixa la cinta fent pressió amb una gasa, o similar, per evitar que es formin bombolles d'aire sota la cinta. Després d'això, fem una pressió amb el dit durant un minut.



Pas 5.

3.2.4. Protecció de les galgues

Per evitar que la galga vegi afectades les seves propietats, es protegeix tenint en compte els següents factors:

- Temperatura d'assaig
- Duració de l'assaig
- Condicions ambientals

S'acostumen a utilitzar protectors com la silicona o la resina aïllant per a circuit imprès.

4. Condicionament de senyal: la cadena de mesura

4.1. Pont de Wheatstone. Sensor

4.1.1. Descripció

El pont de Wheatstone permet convertir petitíssimes variacions de resistència en variacions de tensió diferencial V_s que podrem condicionar electrònicament. Si una o varies de les resistències són galgues extensomètriques, els esforços mecànics que aquestes puguin patir es veuen transformats en variacions de tensió mitjançant el pont de Wheatstone.

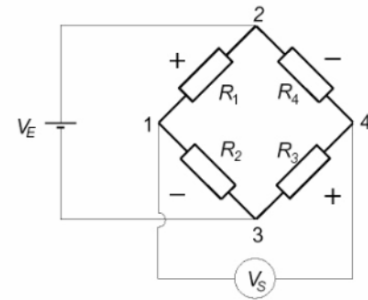


Figura 21. Pont de Wheatstone

Hem d'alimentar el pont amb una tensió entre 2 i 3, anomenada V_E , així podrem mesurar la diferència de tensió entre els punts 1 i 4, obtenint una tensió de sortida V_s . Aquesta tensió de sortida és nul·la en el cas que $R_1/R_2 = R_3/R_4$ ó $R_1=R_2=R_3=R_4$.

Quan les resistències varien fan variar la tensió de sortida, i s'obté que:

$$\Delta V_s = V_E/4 \cdot (\Delta R_1/R_1 - \Delta R_2/R_2 + \Delta R_3/R_3 - \Delta R_4/R_4) \quad [V]$$

Si només varia la resistència R_1 , es té que:

$$\Delta V_s = V_E/4 \cdot \Delta R_1/R_1$$

La tensió de sortida és proporcional a $\Delta R_1/R_1$, i si igualem la fórmula amb la del factor de la galga $\Delta R_1/R_1 = K \cdot \epsilon$, tenim:

$$\Delta V_s = (V_E \cdot K/4) \epsilon_1$$

Es demostra així que la variació de tensió de sortida és proporcional a la variació de resistència.

4.1.2. Propietats

Si les quatre galgues pateixen una deformació, la fórmula anterior es converteix en:

$$\Delta V_s = (V_E \cdot K/4) (\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4)$$

Aquesta diferència entre els signes és deguda a la posició en que es troben en el pont de Wheatstone: si una galga té ϵ positiu i s'allarga, es produeix un ΔV_s positiu; si la galga té un ϵ positiu i és sotmesa al mateix allargament es produeix un ΔV_s negatiu (disminució).

Una utilitat per aplicar aquest fenomen és la compensació de la temperatura, aplicant la galga de deformació ϵ contrària a un element lliure d'esforços i que rebi les mateixes variacions de temperatura. Si anomenem ϵ_t a la deformació causada per la temperatura i ϵ_m la

produïda per la tensió, R1 pateix una deformació $\varepsilon_1 = \varepsilon_t + \varepsilon_m$, i R2, $\varepsilon_2 = \varepsilon_t$, ε_3 i ε_4 són zero. Aplicant la fórmula tenim que:

$$\Delta V_S = (V_E \cdot K/4) \cdot (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) = (V_E \cdot K/4) \cdot (\varepsilon_t + \varepsilon_m - \varepsilon_t) = (V_E \cdot K/4) \cdot \varepsilon_m$$

de forma que ara ΔV_S no depèn de la temperatura, i diem així que el pont està autocompensant els errors deguts a possibles efectes tèrmics.

4.1.3. Diferents muntatges

Depenent de la precisió que desitgem, utilitzarem un tipus de pont o un altre, segons el nombre de galgues. Tot seguit n'explicarem de tres tipus:

De quart de pont: S'utilitza només una galga i la resta d'elements del pont són resistències. Les mesures solen veure's molt afectades per fenòmens no desitjats, com les variacions de temperatura, que fan que siguin molt inestables.

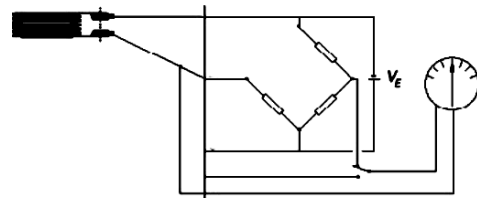


Figura 22. Pont de Wheatstone - quart de pont

De mig pont: Es fan servir dues galgues de les quals mesurem només la diferència. La galga de mesura es col·loca on es volen prendre les mesures i l'altra de forma que es vegi influenciada pels efectes paràsits de la mateixa manera que la de mesura.

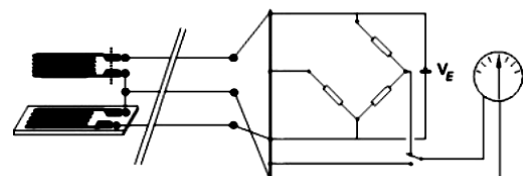


Figura 23. Pont de Wheatstone - mig pont

De pont complet: S'empren les quatre galgues, aconseguint eliminar en un grau molt elevat els efectes paràsits.

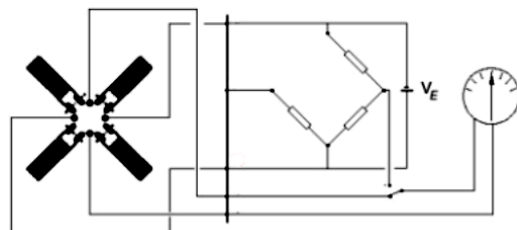


Figura 24. Pont de Wheatstone - pont complet

4.1.4. Tensions d'alimentació

Incrementant la tensió d'alimentació el pont es torna més sensible, però disminueix la seva precisió a causa de la calor provocada pel corrent que travessa la reixeta. Aquesta elevació de temperatura té els efectes següents:

- Influeix en l'efecte d'autocompensació, que només funciona amb corrents dèbils.
- Amplifica els fenòmens d'histeresi i fluència.
- Altera l'estabilitat del zero, donat que la galga activa i la de compensació poden dissipar la calor de forma diferent depenent del lloc on estiguin col·locades.

A l'hora de decidir el voltatge d'excitació cal tenir en compte:

- La resistència nominal de la galga.
- La dissipació tèrmica a la peça que s'ha de mesurar.
- Condicions d'ús (mesures dinàmiques o estàtiques...).

Els materials on es col·loquen les galgues, tenen unes potències recomanades. Sabent la fórmula de la potència, podrem obtenir el valor del voltatge.

$$P = V^2 / R \Rightarrow V = \sqrt{P \cdot R}$$

on,

R és la resistència de la galga. V és el voltatge aplicat a la galga. P és la potència

4.2. Amplificador d'instrumentació. Condicionament

Algunes de les múltiples funcions que pots realitzar gràcies a l'amplificador operacional són addició, subtracció, diferenciació, integració, amplificació, comparació, generació de senyal, control de circuits, etc.

Explicarem tot seguit l'amplificador d'instrumentació, que està basat en l'ús d'amplificadors operacionals amb unes característiques específiques per a realitzar la funció que ens interessa. En aquest cas l'amplificador és un multiplicador de la diferència de tensió entre les seves entrades + i -.

Quan utilitzem un amplificador d'instrumentació com a multiplicador el que estem fent és multiplicar una diferència de tensió

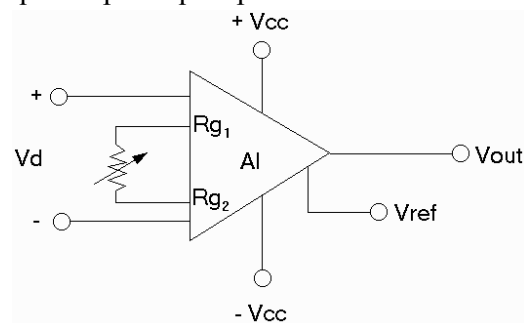


Figura 25. Amplificador d'instrumentació

per una constant, que podem regular aplicant una resistència variable, que anomenarem guany A_d .

Aquest component bàsicament té 8 potes o més, com es pot observar a la imatge. Hi ha dues potes, $+V_d$ i $-V_d$, per on connectarem la diferència de voltatge que volem multiplicar. La diferència resultant la obtindrem entre la pota V_{out} i massa. Si col·loquem una tensió en la pota V_{ref} , podem variar el valor de zero (*offset*). Cal alimentar el component amb una tensió determinada, connectada a les potes $+V_{cc}$ i $-V_{cc}$. Per poder variar el valor de la constant de multiplicació podem col·locar un potenciòmetre entre les potes R_{G1} i R_{G2} .

$$V_{out} = A_d \cdot V_d + V_{ref} \text{ [V]}$$

4.3 Téster. Visualització

El tèster és un aparell electrònic que ens permet mesurar diferents magnituds (resistència, intensitat, voltatge, ...). Per a cada magnitud podem escollir una escala de mesura per obtenir una lectura més precisa.

Una característica pròpia dels tésters és que quan l'apliquem al circuit no afecta el valor de les seves magnituds. Per exemple, quan el connectem en paral·lel per mesurar el voltatge la seva resistència és tan gran que gairebé no permet el pas del corrent. En canvi, al mesurar la intensitat, connectant-lo en sèrie, la seva resistència és gairebé nul·la.

5. La nostra balança

5.1. Descripció de la nostra balança

La nostra balança està pensada per pesar càrregues que no excedeixin els dos quilograms, amb un error no superior a l'1%. Les mesures les realitzem amb uns sensors, anomenats "galgues extensomètriques", que, enganxats en una làmina d'alumini, encastada en un extrem, mesuren la seva flexió, que és causada pel pes a mesurar, col·locat a la punta lliure de la làmina.

La base de la nostra balança és una caixa metàl·lica que disposa de quatre potes regulables, ja que és important que la base estigui completament anivellada. En el seu interior hem posat els elements electrònics necessaris per convertir la variació de resistència experimentada per les galgues en informació numèrica (massa intel·ligible). Aquests elements són: una cadena de mesura i condicionament, diverses fonts d'alimentació, un voltímetre i un convertidor analògic/digital, que permet la connexió de la nostra màquina a un PC mitjançant el seu port paral·lel.

5.1.1. Part mecànica

-Base: la base de la nostra balança és una caixa d'acer on hem fixat una placa d'alumini d'un gruix considerable sobre el qual tenim ubicada la resta de la balança. Al seu interior trobem la part electrònica, i als seus laterals trobem l'interruptor i els connectors d'alimentació a la xarxa i del port paral·lel LPT (el de la impressora). Aquesta base disposa de quatre potes regulables en alçada per poder anivellar la balança.

-Màstil: peça allargada d'alumini de perfil en forma de "H", subjectat a la base amb unes eles que ajuden a mantenir ferma la perpendicularitat del màstil respecte de la base. A una certa alçada, hi trobem l'encastament per a la làmina d'alumini.

-Làmina: peça allargada d'alumini de perfil rectangular subjectada al màstil per dues eles que fan la funció d'encastament. Aquesta làmina és la que flexionarà al penjar-li el pes en un dels seus extrems.

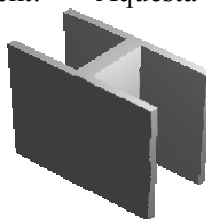


Figura 26. Màstil en forma de "H"

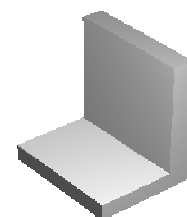


Figura 27. Escaira

Un cop escollit el material de la làmina (alumini) i la màxima massa que hi volíem penjar (2 kg), era necessari determinar les mides de la làmina i la distància de la galga al punt del que penjaríem el pes. Prenent un coeficient de seguretat 2 per la làmina, i tenint en compte que per l'alumini la $\sigma_e = 235\text{MPa}$, fixem el valor de la $\epsilon_{\max}$ en $1678,6 \mu$ strains.

$$\sigma_t = \frac{1}{2} \sigma_e \Rightarrow \sigma_t = Y \epsilon_{\max} \Rightarrow \epsilon_{\max} = \sigma_t / Y = 1678,6 \mu s$$

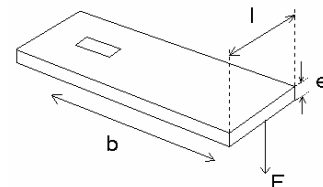


Figura 28. Làmina de flexió

La deformació que admeten les galgues és, segons el fabricant, del 2% al 4% com a màxim. Això vol dir que:

$$\Delta R / R_{\max} = 0,04 \text{ (en tant per 1)}$$

com que

$$\Delta R / R_{\max} = K \epsilon_{\max, \text{galga}} \Rightarrow \epsilon_{\max, \text{galga}} = (\Delta R / R_{\max}) / K = 20.000 \mu s$$

que en relació a la deformació que patirà en penjar una massa de 2kg, $\epsilon_{\max} = 1678,6 \mu s$, és molt més gran, i per tant podem assegurar que les nostres galgues treballaran correctament.

Coneixent el valor de la deformació màxima de la làmina vam poder determinar les seves mesures, mitjançant la fórmula següent que relaciona la deformació amb la massa i les dimensions:

$$\epsilon = 6 \cdot F \cdot b / Y \cdot l \cdot e^2 \text{ [strains]} \quad \text{on } Y = 70 \text{ GPa.}$$

Com que F és m·g, podem calcular-la per a dos quilograms, que és el que havíem decidit. Dues de les tres incògnites restants, l i e, ens quedaven força limitades per la disponibilitat del mercat, ja que els valors adoptats han estat forçats degut a que són mesures estàndard. Per tant, només calia aïllar la b:

$$b = \epsilon \cdot Y \cdot l \cdot e^2 / 6 \cdot F \text{ [m]}$$

I ens queda: $l = 15 \text{ mm}$; $e = 3 \text{ mm}$ i $b = 134,9 \text{ mm}$

5.1.2. Part electrònica

La part electrònica de la nostra balança comença en la transformació dels 220V (AC) de la xarxa en 12V (també en altern) per a l'alimentació dels diferents components i aparells.

Aquesta transformació la realitza un transformador. Un pont de díodes rectificador passa a continu el corrent altern que ve del transformador. Un cop tenim aquests 12V en continu, utilitzem un estabilitzador de tensió (MC78L08ACP) i uns condensadors per obtenir un senyal de 8V amb menys variacions, sacrificant 4V. Amb això obtenim l'alimentació pel tèster.

Paral·lelament a aquesta transformació, se'n produeix una altra de 220V a +12V/-12V (també estabilitzat amb els MC78L12ACP i MC79L12ACP), que alhora és transformat en un senyal de 5V (MC78L05ACP). El senyal de +12V/-12V l'utilitzem per alimentar l'amplificador d'instrumentació, que explicarem més endavant, i el de 5V, que passa per un altre estabilitzador de més precisió (LT1460CGZ), alimenta el pont de Wheatstone a una tensió molt estable V_{cc} de 2'5V. El pont de

Wheatstone està format per les dues galgues extensomètriques i per dues resistències de precisió. La distribució d'aquests components segons la figura 39. de l'annex, ens permet mesurar les diferències de voltatge, entre dos punts, causades per la variació de resistència de les

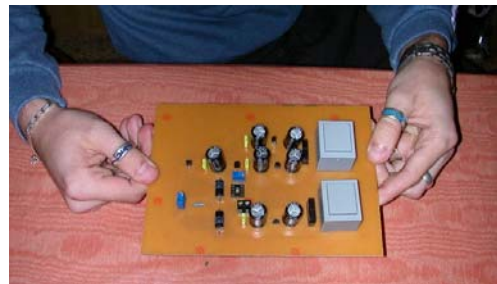


Figura 29. Placa electrònica principal

Aquestes petites diferències de voltatge, són multiplicades per l'amplificador d'instrumentació (AD622) per obtenir un senyal elèctric apte pel tèster o per l'ordinador, mitjançant els elements convertidors analògic/digital.

Ens agradaria incidir una mica més en el pont de Wheatstone perquè és una part important del treball: La resistència de les galgues varia en funció de la seva deformació. Així, si la galga R1 és col·locada a la part superior del pont i R2 a la part inferior de la mateixa branca tindrem que:

$$R1 = R_0 (1 + x) \text{ i } R2 = R_0 (1 - x) \text{ } [\Omega]$$

on $x = \Delta R/R$ i R_0 és la resistència en repòs.

La diferència de voltatge V_d varia en funció de l'alimentació i de la x :

$$V_d = V_{cc} \cdot x / 2 \text{ } [V]$$

També sabem que $\varepsilon = x/k \Rightarrow x = k \cdot \varepsilon$. Les nostres galgues tenen un factor de galga de 2, aproximadament, donat que són metàl·liques. Si substituïm la x a la fórmula anterior, obtindrem la següent igualtat:

$$V_d = V_{cc} \cdot \varepsilon = 2'5 \cdot \varepsilon \text{ [V]}$$

Tant les resistències com les galgues tenen el mateix valor inicial, 120 Ω . Però, per errors deguts a la tolerància o a efectes paràsits (temperatura, ...), podrien no tenir exactament una resistència equivalent, i desequilibrarien el pont. Això vol dir que quan estigués en repòs la diferència de voltatge V_d no seria zero. Per evitar-ho, col·loquem un potenciòmetre en paral·lel, com mostra la figura 30., per poder desequilibrar el pont intencionadament i, així, compensar l'error de zero.

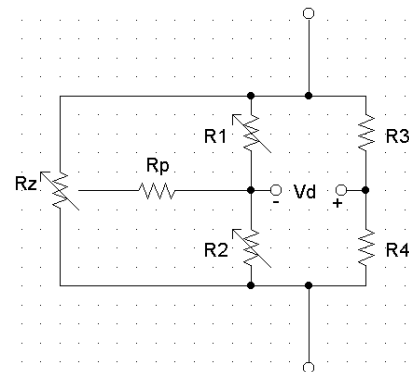


Figura 30. Pont de Wheatstone

A la figura 30. trobem els següents components: R1 i R2 són les galgues, de 120 Ω de resistència nominal; R3 i R4 són les resistències de precisió, de 120 Ω de resistència nominal, 0'5 W i 0'1% de tolerància; Rp és una resistència de 70 K Ω ; RZ és un potenciòmetre de 10 K Ω .

Pel que fa a l'amplificador d'instrumentació (AD622), podem trobar el guany a partir de la fórmula $V_{out} = A \cdot V_d$. Per agilitar la interpretació de la lectura, hem fet coincidir V_{out} per que quan pengem 2 kg valgui 2V, així cada milivolt representa un gram. Aïllant el guany podem esbrinar el seu valor, que en aquest cas serà $A = 476'6$. Al full d'especificacions propi del component, trobem la fórmula específica per trobar el valor de la resistència (R_g) que caldrà aplicar a l'amplificador per determinar la constant de multiplicació. Per a aquest component la fórmula és:

$$R_g = 50500 / A - 1 \text{ } [\Omega]$$

per tant $R_g = 106 \Omega$.

5.1.3. Part informàtica

Aquesta part del projecte no és imprescindible, ja que no influeix en la mesura del pes, només serveix per visualitzar les dades a l'ordinador i fer-ne anàlisis. Per poder inter-

pretar les variacions de tensió amb l'ordinador, hem fet ús d'una placa conversora que converteix els senyals elèctrics en informació intel·ligible per l'ordinador. La placa conversora consta, bàsicament, d'un conversor analògic/digital i d'un comparador. El conversor transforma els senyals elèctrics analògics que provenen de l'amplificador (diferència de potencial) en informació digital en codi binari (zeros i uns). Aquest valor digital arriba fins a un comparador. Paral·lelament, l'ordinador està enviant progressivament, des del software i mitjançant el port paral·lel, totes les combinacions possibles en frases de 8 bits fins al comparador. Aquest, quan detecta que les dues entrades de dades són iguals, ho comunica a l'ordinador, el qual emmagatzema aquest valor. Un cop obtingut el valor, el programa el mostra a l'usuari en unitats de massa i realitza altres funcions opcionals (gràfiques, informes, ...) depenent del software utilitzat.

5.1.4. Objectiu

- Construcció d'una balança electrònica amb galgues extensomètriques.

5.1.5. Materials

Part mecànica:

- Làmina d'alumini (la que flexiona, on anirà la galga enganxada), de 200x15x3.
- Planxa d'alumini (per posar sobre la base).
- Dos angles de costats iguals (eles) de 40x40x4x10 per fer l'encastament.
- Dos angles de costats iguals (eles) de 40x40x4x
- Biga de perfil IPN (màstil) 30x20x17x300
- Caixa metàl·lica (base).
- Quatre potes regulables en alçada.
- Cargols, femelles, arandeles i arandeles glover.

Part electrònica:

Placa central

- Cables de connexió.



Figura 31. Material - part mecànica



Figura 32. Components electrònics

- Tèster.
- Galgues extensomètriques (R1 i R2).
- Dues resistències de precisió 0.1% de 120Ω (R3 i R4).
- Una resistència de 154Ω (R5) i una altra de $70k\Omega$ (Rp).
- Dos potenciòmetres: un de 10000Ω (Ro) i l'altre de 200Ω (Rg).
- Set condensadors polaritzats de $1000\mu F$ (C1, C2, C4, C5, C7, C9 i C10).
- Quatre condensadors no-polaritzats de $100nF$ (C3, C6 i C11).
- Dos ponts de díodes (D1BR-1A i D2BR-1A).
- Un transformador de dues sortides de 220/12 (T1).
- Un transformador de tres sortides de 220/12-0-12 (T2).
- Quatre estabilitzadors de tensió: un de 5V (U3), un de 8V (U1) i dos de 12V (U2 i U4).
- Un estabilitzador de precisió de 2.5V (U6).
- Un amplificador de senyal (U5).

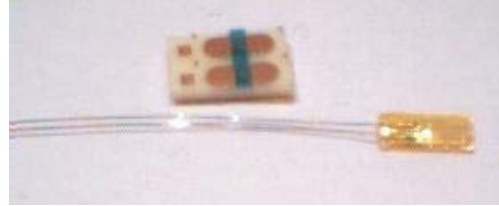


Figura 33. Galga extensomètrica

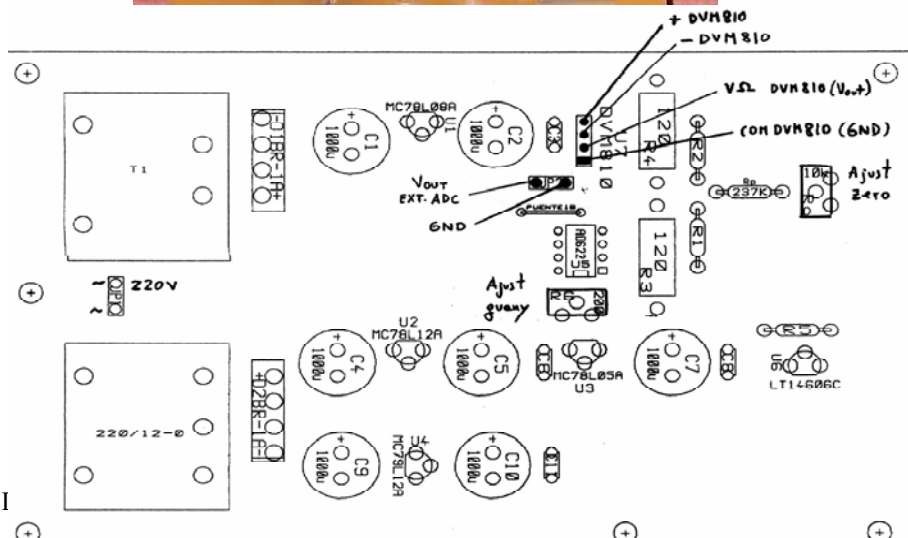


Figura 35. Esquema de la placa amb components reals

Placa conversora:

- Conversor a/d de 8 bits ADC0804 (U1).
- Comparador de 8 bits 74LS684 (U2).
- 3 resistències de carbó 5%, dues de 2000 Ω (R2 i R3) i una de 10000 Ω (R1).
- 2 condensadors de polièster de 100 nF (C1 i C2).
- 1 condensador estyroxflex de 150 pF (C4).
- 1 condensador electrolític de 100 μ F (C3).
- 1 connector de port paral·lel (P1).

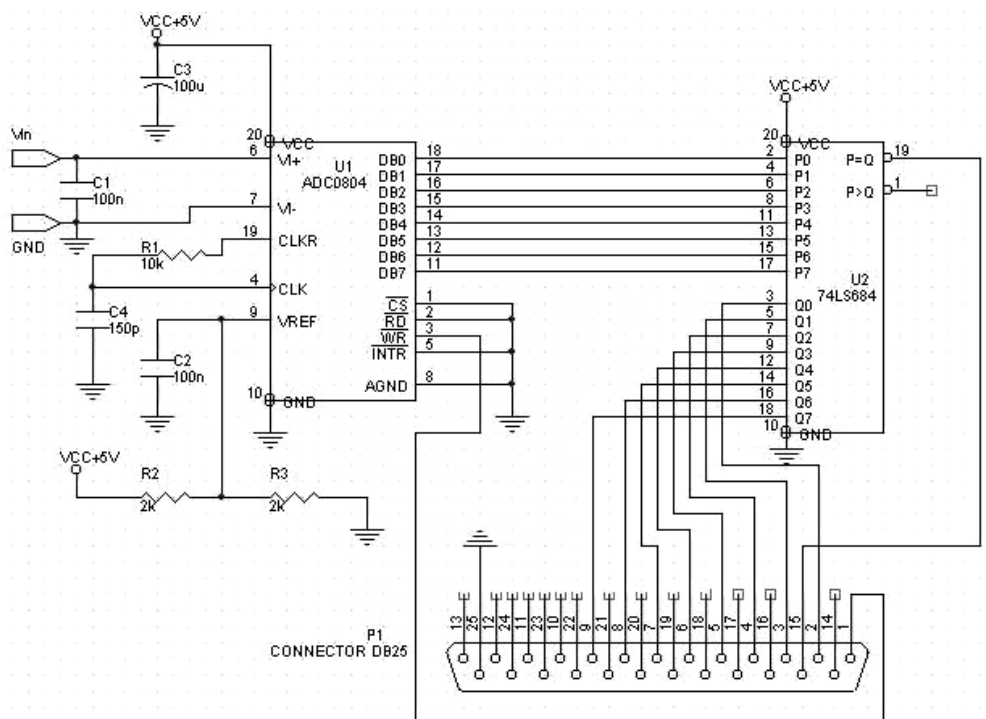


Figura 37. Esquema de la placa conversora

5.1.6. Procediment

Hem utilitzat com a base de l'estructura de la balança una caixa metàl·lica, en la qual hem fixat una planxa d'alumini per donar-li un cert grau de rigidesa. Hem col·locat quatre potes regulables en alçada a la part inferior de la base, d'aquesta forma podem anivellar tota la balança. A la part superior i als laterals de la caixa hem fet unes petites finestres



Figura 38. Galga extensomètrica fixada a la làmina

per col·locar els connectors, l'interruptor i per visualitzar el tèster. El màstil l'hem ubicat verticalment a la base amb les escaires adequades. Per realitzar l'encastament de la làmina de flexió que es troba col·locada horitzontalment a uns 30 centímetres per sobre de la caixa, hem utilitzat dues escaires més. Abans de fixar la làmina, li hem enganxat les galgues extensomètriques seguint el procés esmentat a l'apartat 3.2.3. Encolat de les galgues. Pel que fa a la part electrònica hem construït la placa de circuit imprès, dissenyada per Albert Navarro Bosque, i l'hem fixat a l'interior de la caixa juntament amb la placa conversora.

5.2. Anàlisi de resultats

Hem calibrat la nostra balança amb els mitjans que teníem disponibles a l'institut: amb una balança electrònica de 150 grams de capacitat, i precisió de l'1%, hem mesurat un nombre de pesos determinat, fins arribar a un pes total de 1349'6 grams, i hem ajustat la nostra balança de forma que marqui 1350 grams (donat que la precisió és d'un gram) quan li pengem el pes esmentat.

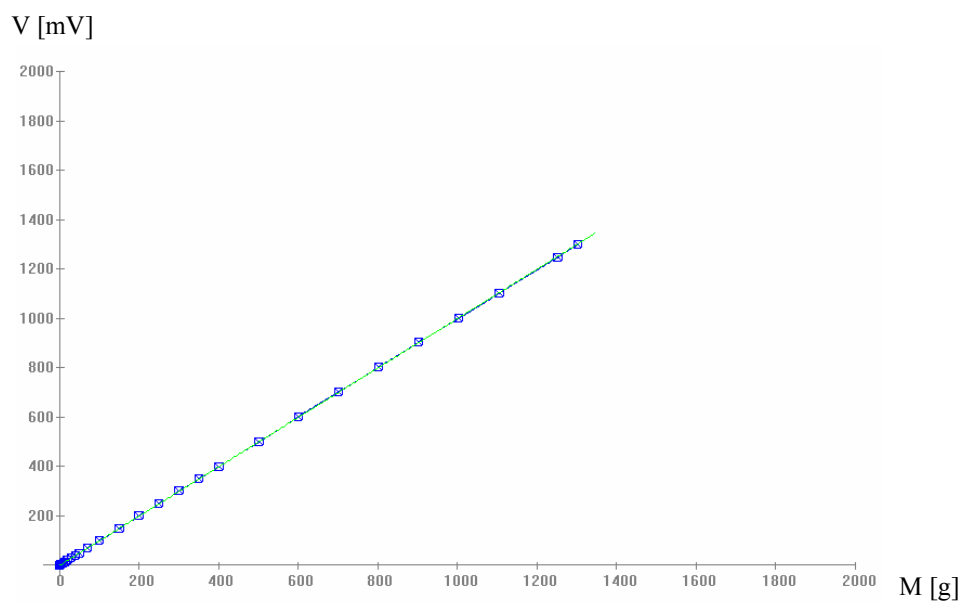
Un cop calibrada, hem realitzat un estudi sobre la linealitat de mesura de la nostra balança. Ho hem fet augmentant progressivament el pes mesurat i anotant els valors que es mostren a la taula 4. Quan hem arribat al pes màxim del qual podíem garantir la fiabilitat, 1302'1 grams, l'hem anotat i, en treure'l, el zero de la nostra balança havia canviat a dos grams. Aquest canvi inevitable és degut, en part, a les propietats elàstiques de la cola, la qual no retorna a la seva forma original amb la mateixa velocitat que l'alumini. Per rectificar aquest error hem col·locat a l'exterior de la caixa el potenciòmetre Rz per poder ajustar el zero amb més facilitat.

Massa [g]	Mesura de la balança [mV]
0.0	0
1.1	1
2.0	2
3.0	3
5.0	5
10.0	10
15.0	15
20.0	20
30.0	30
40.0	40
50.0	50
70.0	70
100.0	99

150.0	149
200.0	200
250.0	250
300.0	301
350.0	350
400.0	400
500.6	499
600.6	603
701.2	703
801.8	803
902.4	904
1003.6	1001
1105.2	1103
1252.1	1249
1302.1	1302

Taula 4. Comparació entre la massa experimental i la nominal

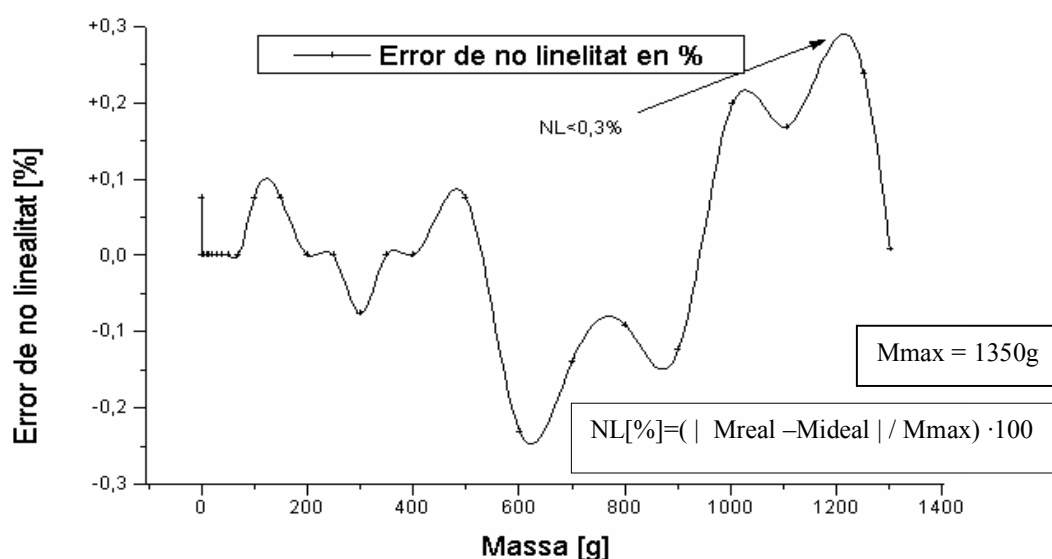
A la taula 4. es recullen les mesures experimentals realitzades en un procés de calibratge de la nostra balança.



Gràfica 2. Comparació de la recta experimental amb la ideal

La gràfica 2. mostra la recta ideal massa-voltatge (verda) i la recta obtinguda experimentalment (blava). La recta ideal està feta amb dos punts (el zero i el de calibratge, 1350) mostrant així l'equivalència entre la massa en grams i el voltatge en volts. Els punts de la recta experimental mostren les dades d'unes mesures de masses conegudes.

La gràfica 3. mostra l'error de no linealitat per la nostra balança. Com es pot veure, aquest no és superior en cap cas al 0,3%



Gràfica 3. Error de no linealitat

5.3. Conclusions

Veient els resultats de totes les hores de treball passades i l'evolució de la balança a partir d'un projecte en ment de tres persones, només ens queda restar satisfets. Hem construït una balança amb una sensibilitat d'un gram i un fons d'escala de 2000 grams; el màxim error de no linealitat és del 0'3%, i la màxima desviació de zero, de 0'4 grams (decimal despreciable donada la sensibilitat de la balança $\Rightarrow$ mínima diferència detectable = 1 gram), xifres sorprenents, ja que, sincerament, cap dels tres implicats no esperava veure uns resultats tan gratificants.

Pel que fa al projecte teòric, també n'hem tret profit. Hem millorat en quant a presentació, estructuració, treball en equip i organització. També hem après a documentar-nos d'una forma adient per a un treball d'aquestes característiques.

En definitiva, el que queda és l'experiència adquirida durant aquests mesos (gairebé un any) de treball constant, que ens ha ajudat a madurar acadèmicament i que ens ajudarà a superar amb èxit projectes futurs.

6. Annex

6.1. Definicions

Massa: És la quantitat de matèria que té una substància o un cos, i és invariable.

Gram (1795): és el pes absolut d'un volum d'aigua pura igual a un cub d'una centèsima part de metre per costat a la temperatura del gel fundent.

Pes: És la mesura de la força que la gravetat terrestre exerceix sobre un cos determinat. La força de la gravetat varia amb l'alçada i la latitud terrestre, per la qual cosa el pes d'un objecte pot variar depenent de la seva posició al planeta.

La massa d'un objecte es mesura per la comparació del seu pes amb el d'una massa coneguda. Per a un valor constant de la força de gravetat, les masses són proporcionals als pesos. La balança analítica determina massa perquè la gravetat exerceix la mateixa força sobre l'objecte i els pesos. Moltes vegades s'utilitza el terme "pes" com a sinònim exacte de "massa" malgrat no ser correcte. Això es pot expressar mitjançant la següent relació de Newton:

$$F = m \cdot g \quad [N]$$

on:

F = força que la gravetat exerceix sobre l'objecte. **m** = massa de l'objecte.

g = acceleració deguda a la gravetat.

per a la balança analítica la anterior expressió pot escriure's:

$$P = m \cdot g \quad [N]$$

on:

P = pes de l'objecte. **m** = massa de l'objecte. **g** = acceleració deguda a la gravetat.

Comparar: Mirar dues o més coses per veure en què s'assemblen o es diferencien.

Dades: Informació, com, per exemple, la reunida durant un experiment.

Experiment: Procediment que es duu a terme per investigar una qüestió científica.

Prova imparcial: Prova que compara dues o més coses mantenint tot igual excepte el que s'està comparant. Una carrera, per exemple, és una prova imparcial: tots comencen al mateix lloc i al mateix temps, i acaben al mateix lloc. La única cosa diferent és la velocitat del corredors.

Fulcre: Suport en el que la balança de braç descansa; el recolzament en que l'anivellador gira.

Gràfica: Diagrama utilitzat per mostrar la relació entre les coses.

Longitud: Distància d'un extrem d'una cosa a l'altre.

Mesurar: Trobar la longitud, la mida, el pes, ... d'alguna cosa.

Observar: Realitzar un estudi d'algun fet o fenomen.

Marcar: Localitzar un punt o punts en una gràfica.

Sensibilitat: Pes mínim que enregistra una balança quan es diposita una substància o objecte sobre el plateret. En general, les balances analítiques tenen una sensibilitat de 0'0001g.

Capacitat: La capacitat d'una balança és la càrrega màxima que pot mesurar-se en ella amb exactitud. Les balances analítiques de substitució tenen una capacitat entre 160 i 200g.

ELEMENTS ELECTRÒNICS DE LA NOSTRA BALANÇA:

Transformador: Component electrònic que transforma el voltatge de corrent alterna que ve de la xarxa (220V) en un voltatge desitjat (en el nostre cas +12V/-12V), també en alterna.

Pont de díodes i condensadors: rectifiquen la ona de corrent alterna (+12V, -12V) a contínua (+12V).

Estabilitzadors de tensió (a la nostra balança són els models MC78L05ACP, MC78L08ACP, MC78L12ACP i MC79L12ACP): serveixen per reduir el voltatge del corrent continu a un voltatge determinat.

Tèster: Aparell de mesura que utilitzem només per conèixer la variació de voltatge en el pont de Wheatstone i visualitzar-la.

Estabilitzador de precisió (LT1460CGZ): evita que hi hagi variacions de voltatge perceptibles en l'alimentació del pont.

Pont de Wheatstone: crea un situació d'equilibri, entre dos punts, de resistències variables i invariables quan tenen el mateix valor. Quan les resistències variables (galgues) canvien de valor, es perd aquest equilibri i ens permet mesurar la diferència de voltatge entre els dos punts.

Amplificador d'instrumentació (AD622): multiplica les diferències de voltatge, que en el nostre cas són molt petites, per obtenir un senyal apte per a ésser visualitzat o portat a un ADC.

Convertidor analògic/digital (ADC0804): transforma les variacions de voltatge entre 0-5V, en informació digital de 8 bits, en zeros i uns.

Comparador de 8 bits (74LS684): compara dues frases de vuit bits i una de les seves potes passa de zero a u quan les dues frases coincideixen exactament.

Galgues extensomètriques: sensors que quan és sotmès a una tensió veu afectada la seva resistència. En el nostre cas, les hem situat a la làmina per que detectin la seva flexió.

Potenciòmetre: resistència de la que podem variar manualment el valor.

Ohm: Es defineix com la unitat de mesura de la resistència elèctrica. Un ohm equival a la resistència d'un material pel qual circula un flux de corrent d'un amper, quan és sotmès a una diferència de potencial d'un volt.

Resistència elèctrica: Es defineix com la oposició que ofereix un cos a un flux de corrent que intenti passar a través d'ell, segons la relació coneguda com la llei d'Ohm:

$$V = I \cdot R \quad [V]$$

on:

V = voltatge. I = intensitat. R = resistència.

Per aquesta característica els materials es classifiquen en conductors, semiconductors i aïllants.

Voltímetre: És un instrument utilitzat per mesurar la diferència de voltatge de dos punts diferents. La seva connexió dins un circuit és en paral·lel.

6.2. Bibliografia

Pàgines Web:

<http://iteso.mx/~danny/web/ruben/depesas.htm>
<http://www.ctv.es/USERS/pmc/curios-5.htm>
<http://www.terra.es/personal6/gcasado/si.htm>
<http://www.molinstec.cl/productos.htm#baja>
<http://www.ingenierolatorre.com/productos.htm>
<http://www.bipm.fr>
<http://physics.nist.gov/cuu>
<http://www.questlink.com>

Llibres:

- INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA (2ª edición); Mc Graw Hill
- DICCIONARIO DE FÍSICA; Akal diccionarios -> Elie Lévy
- VOCABULARIO CIENTÍFICO Y TÉCNICO; Espasa Calpe -> Real academia de ciencias exactas, físicas y naturales
- SENSORES Y ACONDICIONADORES DE SEÑAL (3ª edición); Marcombo -> Ramón Pallás Arenya
- Tecnología industrial I; McGraw Hill -> Joan Joseph, Roger Hoyos, Jaume Garravé i Francesc Vila
- Mecànica; McGraw Hill -> Joan Joseph, Francesc Garófano, Joan Carol, Joaquim Reyes
- Electrònica; McGraw Hill -> Miquel Guasch, Marina Borrego
- Galgues extensomètriques. Disseny d'una cadena de mesura de pes utilitzant una làmina de flexió; UPC -> Albert Navarro, Jordi Prat, Xavier Roset
- Extensometria. Volum I; ETSEIB - UPC -> Mateu Martín i Batlle, Francesc Roure i Fernández, Jesús Sanz i Rubies
- Ciencia y técnica. Libro II arco biología; SALVAT
- Vocabulario científico y técnico; ESPASA CALPE -> Real academia de ciencias exactas, físicas y naturales.

6.3. Esquemes

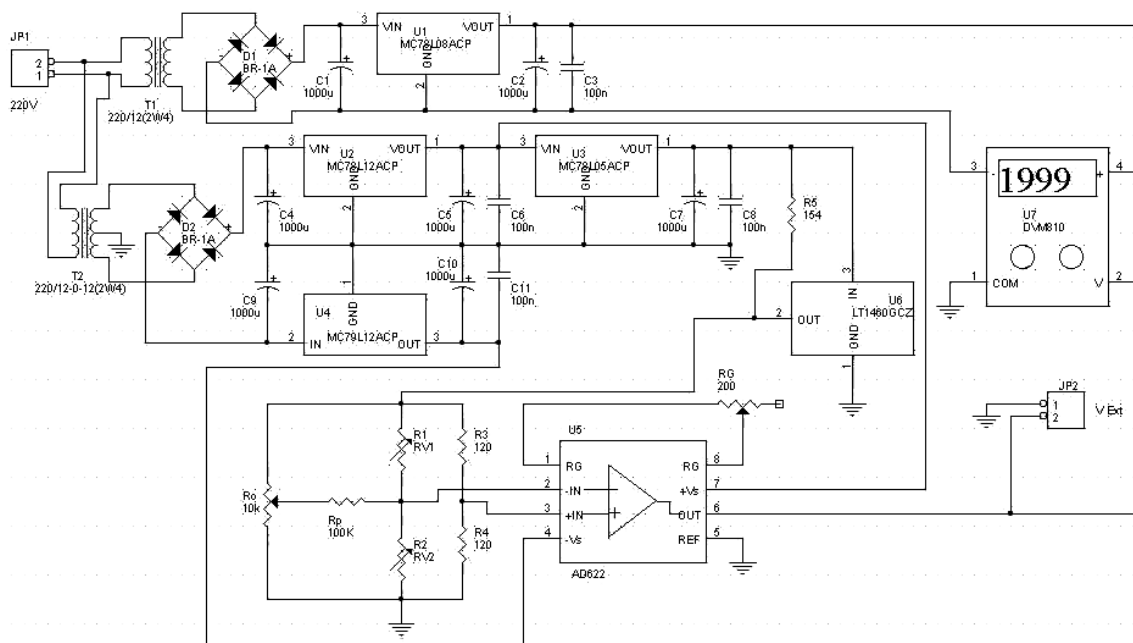


Figura 39. Esquema de la placa principal

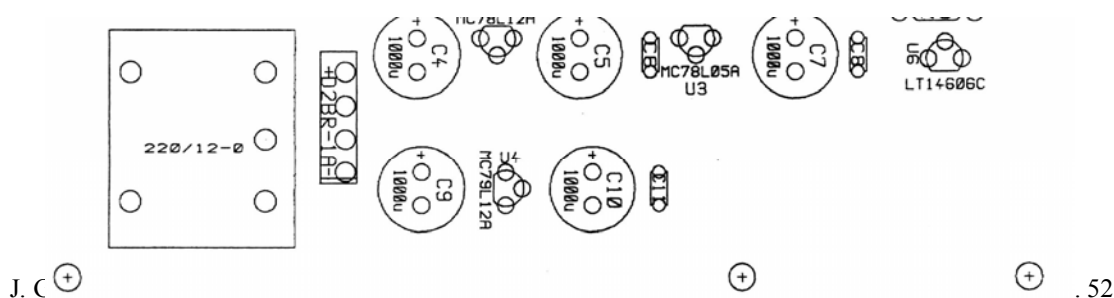


Figura 40. Esquema de la placa amb components reals

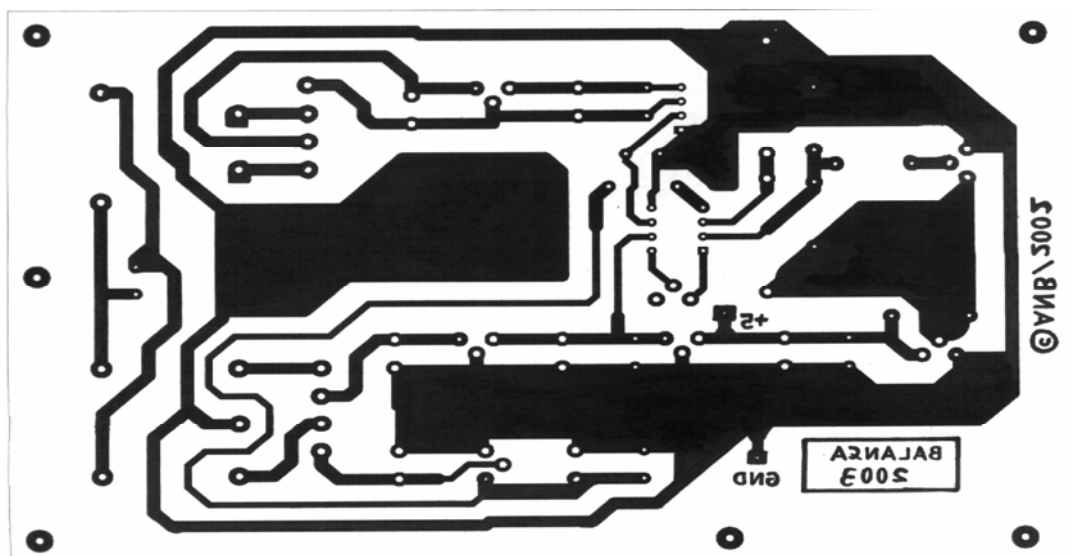


Figura 41. Disseny de la placa electrònica principal

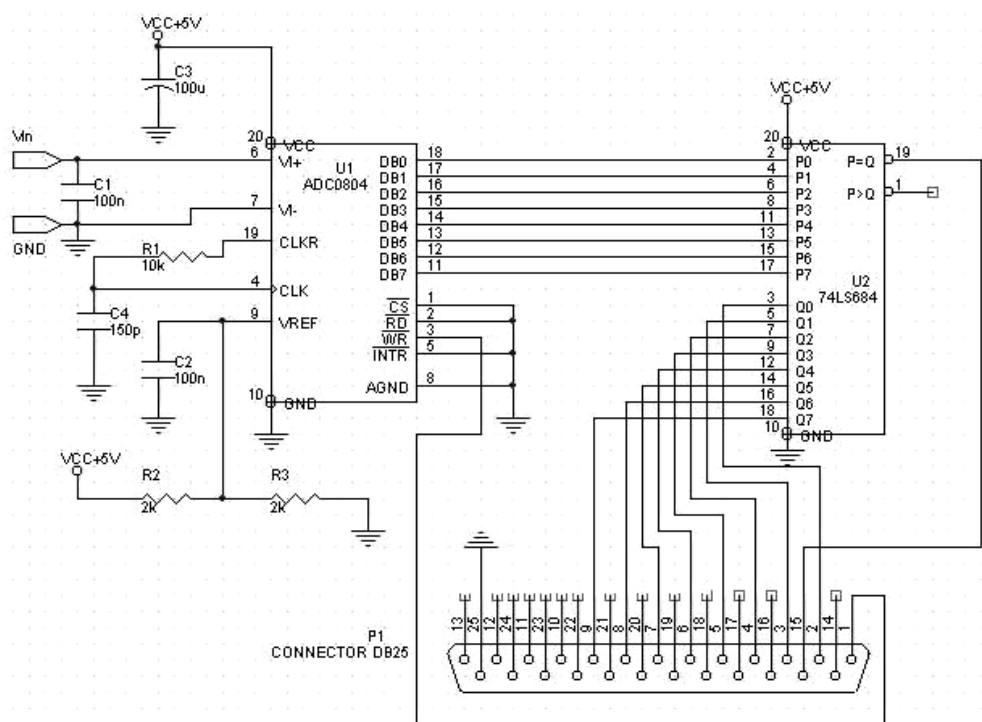


Figura 42. Esquema de la placa conversora

Codi font del programa de Visual Basic (programat per F. del Molino)

*** Declaración de variables para canales IN/OUT de los puertos

```
Dim PuertoIN8 As Integer
Dim PuertoIN5 As Integer
Dim PuertoOUT8 As Integer
Dim PuertoOUT4 As Integer
```

```
Dim SetIN5 As Integer
Dim Conversion As Integer
Dim Peso As Long
Dim Tara As Integer
Dim ValorTara As Long
```

Private Sub Form_Load()

```
PuertoIN8 = &H37B
PuertoIN5 = &H379
PuertoOUT8 = &H378
PuertoOUT4 = &H37A
```

Out PuertoOUT4, Salida4 'Nivel alto en pin entrada analógica

SetIN5 = Inp(&H37B) 'Entrada IN8 para que BIT1 de IN5 Se active a "1"

Timer1.Enabled = False

```
Tara = 0
Pantalla = 0
```

End Sub

Private Sub Inicio_Click()

```
Timer1.Enabled = True 'desactivacion del proceso de pesad
Proceso = "BÁSCULA ACTIVADA"
```

End Sub

Private Sub Fin_Click()

```
Timer1.Enabled = False 'activacion del proceso de pesada
Tara = 0
Comentarios = " "
Proceso = "BÁSCULA DESACTIVADA"
```

End Sub

Private Sub Tarar_Click()

```
Tara = 1
ValorTara = Pantalla
Pantalla = 0
Barra = 1
Proceso = "TARA"
```

End Sub

Private Sub Timer1_Timer()

```
Out PuertoOUT4, 4 'en PIN1 "1" conversión parada
Out PuertoOUT4, 11 'en PIN1 "0" Inicio conversión
Out PuertoOUT4, 4 'en PIN1 "1" Fin conversión
```

```

For Conversion = 0 To 102
  Out PuertoOUT8, Conversion
  If Inp(PuertoIN5) < 127 Then GoTo Fin
Next Conversion

```

Fin:

```

If Conversion = 255 Then Pantalla = "ERROR 1": Comentarios = "No detección de
igualdad"
If Conversion > 90 Then Comentarios = " LIMITE DE PESO"
If Conversion > 102 Then Comentarios = " SOBREPESO "
Pantalla = " "
If Tara = 1 Then Pantalla = ((2 / 102) * Conversion) - ValorTara: Pantalla = 0

Pantalla = (2 / 102) * Conversion
If Pantalla > 2 Then Barra = 200
If Barra < 2 Then Barra = Int(Pantalla * 100)

```

End Sub

6.4. Pressupost

El pressupost invertit en la realització total del treball és el següent:

✓ En materials (peces d'alumini)	14'11 €
✓ En components electrònics (resistències, condensadors, ...)	41'07 €
✓ En material documentatiu (llibre).....	39'60 €
➤ TOTAL.....	94'78 €

6.5. Hi havia una vegada...

Durant el període de realització d'aquest treball de recerca hem anat elaborant una agenda (en format FBI) on consten dia, hora, situació i objectiu de totes les nostres trobades en relació al treball. *Nota: a la agenda no consta el treball repartit que hem realitzat individualment.*

Maig 23, Dijous

15:30 – 17:00

- Situació: IES Sant Martí de Provençals.
- Objectiu: Buscar informació a Internet.

17:15 – 18:00

- Situació: "Biblioteca Sant Martí" (centre cívica de Sant Martí).
- Objectiu: Definir el tema del treball.

18:14 – 21:15

- Situació: Josep Pla 181 15è 4a, Residència David.
- Objectiu: Continuar la recerca en Internet, amb un equip més competent.

Maig 28, Dimarts

15:30 – 16:45

- Situació: "Biblioteca Sant Martí" (centre cívica de Sant Martí).
- Objectiu: Documentació sobre el tema definit.

17:15 – 18:30

- Situació: Biblioteca Ramon Berenguer (Bogatell/Icària).
- Objectiu: Recopilació d'informació.

19:00 – 19:45

- Situació: Puigcerdà 236 10è 2a (Residència Javier).
- Objectiu: Transferència de dades (llibres → ordinador).

19:55 – 20:00

- Situació: Biblioteca Ramon Berenguer (Bogatell/Icària).
- Objectiu: Devolució dels llibres.

TREBALL DE RECERCA

Juny 7, Divendres

11:00 – 12:00

- Situació: IES Sant Martí de Provençals, aula 4.
- Objectiu: Reunió preliminar amb el tutor.

Juny 12, Dimecres

13:00 – 14:00

- Situació: IES Sant Martí de Provençals, aula 13.
- Objectiu: Reunió introductòria amb el tutor.

Juny 13, Dijous

16:00 – 20:30

- Situació:
 - UPC, Campus nord, Enginyeria (Biblioteca).
 - UPC, Campus sud, Física i Química (Biblioteca).
 - UPC, Campus sud, Industrials (Biblioteca).
 - UPC, Campus sud, Arquitectura (Biblioteca).
- Objectiu: Aprofundir en el tema.

Juny 17, Dilluns

11:00 – 13:00

- Situació: IES Sant Martí de Provençals, aula 3.
- Objectiu: Ampliació de coneixements relacionats amb el tema.

14:30 – 16:30

- Situació: Puigcerdà 236 10è 2a (Residència Javier).
- Objectiu: Organitzar la informació recopilada.

17:00 – 18:00

- Situació: Aragó/Passeig de Gràcia (Servei estació).
- Objectiu: Primer contacte amb possibles materials.

18:31 – 19:00

- Situació: Zona Sants.
- Objectiu: Recerca de material.

19:30 – 22:00

- Situació: Puigcerdà 236 10è 2a (Residència Javier).
- Objectiu: Realitzar un previ guió i perfilar petits detalls.

Juny 20, Dijous

9:30 – 12:00

- Situació: IES Sant Martí de Provençals, Departament de ciències.
- Objectiu: Ampliació dels continguts relacionats amb el projecte.

Juny 21, Divendres (dia de les notes)

11:30 – 12:00

- Situació: Passadís de l'IES Sant Martí de Provençals.
- Objectiu: Establir dia i hora de trobada tutor/alumnat.

Juny 26, Dimecres

10:30 - ...

- Situació: Indefinida.
- Objectiu: Impossibilització de la trobada.

Juny 27, Dijous

11:30 - ...

- Situació: IES Sant Martí de Provençals.
- Objectiu: Reunió amb el tutor cancel·lada per causes alienes a la nostra voluntat.

Juny 28, Divendres

9:30 – 12:00

- Situació: IES Sant Martí de Provençals, taller de tecnologia.
- Objectiu: Aclarir dubtes i establir les mesures aproximades del projecte.

15:30 – 21:30

- Situació: Puigcerdà 236 10è 2a (Residència Javier).
- Objectiu:
 - Concretar els paràmetres de la pràctica.
 - Recerca d'informació a Internet.

Juliol 1, Dilluns

16:00 – 21:30

- Situació: Puigcerdà 236 10è 2a (Residència Javier).
- Objectiu: Assimilació de la informació recercada.

TREBALL DE RECERCA

Juliol 2, Dimarts

18:00 – 22:00

- Situació: Puigcerdà 236 10è 2a (Residència Javier).
- Objectiu: Correcció tipogràfica causada per la conversió a format text d'una de les fonts.

Juliol 4, Dijous

16:30 – 20:45

- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
- Objectiu: Recopilació de dades a gran escala a la xarxa.

Juliol 6, Dissabte

16:00 – 21:00

- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
- Objectiu: Digitalització de dades.

Juliol 8, Dilluns

17:00 – 21:00

- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
- Objectiu:
 - Adequació de la informació als nostres propòsits.
 - Transcripció del document al català.

Juliol 12, Divendres

9:30 – 13:30

- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
- Objectiu: Processar, organitzar i actualitzar dades.

Setembre 18, Dimecres

15:30 – 22:00

- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
- Objectiu:
 - Recomençar el treball.
 - Comunicació de noves idees entre els membres del grup (Javier i David).
 - Reestructuració preliminar del guió del treball.
 - Comparació, posada en comú de les dades assimilades durant el període estiuenc.

Cada setmana a partir de: Setembre 19, Dijous

15:30 – 16:30

- Situació: IES Sant Martí de Provençals, departament de ciències.
- Objectiu: Reunió setmanal amb el tutor.

Setembre 28, Dissabte

10:00 – 11:30

- Situació: Carrer Còrsega 561 "Hiper aluminió".
- Objectiu (fallat): Ampliar coneixements sobre els preus dels materials concretats.

Setembre 29, Diumenge

17:00 – 20:30

- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
- Objectiu:
 - Rectificació de la informació visual digital.
 - Redactar aspectes bàsics de la nostra balança.

Setembre 30, Dilluns

17:30 – 19:00

- Situació: Carrer Còrsega 561 "Hiper aluminió".
- Objectiu: Ampliar coneixements sobre els preus dels materials concretats.

Octubre 3, Dijous

15:30 – 17:30

- Situació: Carrer Còrsega 561 "Hiper aluminió".
- Objectiu: Adquirir primers materials.

17:30 – 21:00

- Situació: Carrer Camèlies 76-80 "Biblioteca Mercè Rodoreda".
- Objectiu: Aprofundir en la història de la unificació de pesos i mesures.

Octubre 9, Dimecres

16:30 – 20:00

- Situació: Carrer Camèlies 76-80 "Biblioteca Mercè Rodoreda".
- Objectiu: Adquirir informació audiovisual.

TREBALL DE RECERCA



Octubre 11, Divendres

16:00 – 17:00

- Situació: Carrer Còrsega 561 “Hiper aluminió”.
- Objectiu: Obtenció de material més adient.

Octubre 16, Dimecres

16:00 – 18:00

- Situació: Carrer Camèlies 76-80 “Biblioteca Mercè Rodoreda”.
- Objectiu: Actualització de la data de préstec del material audiovisual.

Octubre 20, Diumenge

11:30 – 14:00

- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
- Objectiu: Recopilació i depuració de les dades sobre la història de la unificació dels pesos i mesures.

Octubre 27, Diumenge

9:00 – 14:00

- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
- Objectiu: Adaptació de la informació prèviament depurada.

Octubre 29, Dimarts

9:00 – 18:40 (amb pausa per dinar)

- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
- Objectiu: Organització, adequació i millora de continguts i presentació de la primera part teòrica del treball.

Octubre 30, Dimecres

15:30 – 17:30

- Situació: IES Sant Martí de Provençals, taller de tecnologia.
- Objectiu: - Familiarització amb les eines (manuals i automàtiques) del taller.
- Primera manipulació física dels materials del projecte.

Novembre 3, Diumenge

15:00 – 20:00

- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
- Objectiu: Últims retocs del contingut i presentació de la primera part.

Novembre 6, Dimecres

15:30 – 17:30

- Situació: IES Sant Martí de Provençals, taller de tecnologia.
 - Objectiu: Continuar la construcció pràctica del projecte.
- 17:45 – 20:30
- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
 - Objectiu (gairebé aconseguit): Finalitzar la primera part teòrica del projecte.

Desembre 1, Diumenge

9:00 – 14:00

- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
- Objectiu: Inici de la part teòrica de la segona part del treball.

Desembre 5, Dijous

15:00 – 20:00

- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
- Objectiu: - Perforació del circuit imprès i ubicació dels components.
- Optimització teòrica.

Desembre 10, Dimarts

17:45 – 20:00

- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
- Objectiu: Ampliació teòrica de la segona part.

Desembre 15, Diumenge

15:00 – 21:05

- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
- Objectiu: Organització i ampliació de la segona part.

TREBALL DE RECERCA

Desembre 17, Dimarts
13:00 – 16:30
- Situació: IES Sant Martí de Provençals, taller de tecnologia.
- Objectiu: Continuar el procés de construcció pràctic.

Desembre 23, Dilluns
9:30 – 14:00
- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
- Objectiu: Ampliació de la segona part.

Desembre 24, Dimarts
9:30 – 14:00
- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
- Objectiu: Ampliació de la segona part.

Desembre 26, Dijous
9:30 – 13:00
- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
- Objectiu: Ampliació de la segona part.

Desembre 30, Dilluns
9:30 – 14:00
- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
- Objectiu: Ampliació de la segona part.

Gener 2, Dijous
9:30 – 14:00
- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
- Objectiu: Ampliació de la segona part.

Gener 3, Divendres
9:30 – 13:00
- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
- Objectiu: Ampliació de la segona part.

Gener 7, Dimarts
9:30 – 14:00
- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
- Objectiu: Ampliació de la segona part.

Gener 9, Dijous
15:30 – 21:00
- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
- Objectiu: Ampliació de la segona part.

Gener 12, Diumenge
9:30 – 13:00
- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
- Objectiu: Ampliació de la segona part.

Gener 15, Dimecres
16:00 – 22:00
- Situació: Puigcerdà 236 10è 2a (Residència Javier).
- Objectiu: Ampliació de la segona part.

Gener 16, Dijous
15:30 – 17:00
- Situació: IES Sant Martí de Provençals, taller de tecnologia.
- Objectiu: Avançar el projecte pràctic.
17:10 – 22:00
- Situació: Puigcerdà 236 10è 2a (Residència Javier).
- Objectiu: Ampliació de la segona part.

Gener 17, Divendres
17:00 – 21:30
- Situació: Puigcerdà 236 10è 2a (Residència Javier).
- Objectiu: Ampliació de la segona part.

Gener 19, Diumenge
9:30 – 14:00

TREBALL DE RECERCA



- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
- Objectiu: Ampliació de la segona part.

Gener 20, Dilluns

17:30 – 22:30

- Situació: Puigcerdà 236 10è 2a (Residència Javier).
- Objectiu: Ampliació de la segona part.

Gener 22, Dimecres

15:30 – 18:00

- Situació: IES Sant Martí de Provençals, taller de tecnologia.
- Objectiu: Avançar el projecte pràctic.

21:00 – 23:00

- Situació: Josep Pla 181 15è 4a (Residència David).
- Objectiu: Ampliació pràctica.

Gener 23, Dijous

15:30 – 18:15

- Situació: IES Sant Martí de Provençals, taller de tecnologia.
- Objectiu: Avançar el projecte pràctic.

Gener 24, Divendres

15:30 – 00:00

- Situació: Puigcerdà 236 10è 2a (Residència Javier).
- Objectiu: Ampliació de la segona part.

Gener 25, Dissabte

9:00 – 13:00

- Situació: Puigcerdà 236 10è 2a (Residència Javier).
- Objectiu: Ampliació de la segona part.

Gener 26, Diumenge

9:30 – 14:00

- Situació: Puigcerdà 236 10è 2a (Residència Javier).
- Objectiu: Ampliació de la segona part.

Gener 27, Dilluns

17:30 – 22:00

- Situació: Puigcerdà 236 10è 2a (Residència Javier).
- Objectiu: Ampliació de la segona part.

Gener 28, Dimarts

17:30 – 22:05

- Situació: Puigcerdà 236 10è 2a (Residència Javier).
- Objectiu: Ampliació de la segona part.

Gener 29, Dimecres

15:30 – 19:30

- Situació: IES Sant Martí de Provençals, taller de tecnologia.
- Objectiu: Ampliació del projecte pràctic.

Gener 30, Dijous

15:30 – 19:30

- Situació: IES Sant Martí de Provençals, taller de tecnologia.
- Objectiu: Ampliació del projecte pràctic.

Gener 31, Divendres

15:30 – 23:00

- Situació: Puigcerdà 236 10è 2a (Residència Javier).
- Objectiu: Ampliació del projecte teòric.

Febrer 2, Diumenge

9:30 – 23:00

- Situació: Puigcerdà 236 10è 2a (Residència Javier).
- Objectiu: Ampliació del projecte teòric.

Febrer 4, Dimarts

17:45 – 23:00

- Situació: Puigcerdà 236 10è 2a (Residència Javier).
- Objectiu: Ampliació del projecte teòric.

TREBALL DE RECERCA

Febrer 5, Dimecres

15:30 – 23:00

- Situació: Puigcerdà 236 10è 2a (Residència Javier).
- Objectiu: Ampliació del projecte teòric.

Febrer 7, Divendres

16:30 – 23:00

- Situació: Puigcerdà 236 10è 2a (Residència Javier).
- Objectiu: Ampliació del projecte teòric.

Febrer 9, Diumenge

9:30 – 23:15

- Situació: Puigcerdà 236 10è 2a (Residència Javier).
- Objectiu: Ampliació del projecte teòric.

Febrer 10, Dilluns

17:45 – 0:00

- Situació: Puigcerdà 236 10è 2a (Residència Javier).
- Objectiu: Ampliació del projecte teòric.

Febrer 11, Dimarts

17:45 – 0:00

- Situació: Puigcerdà 236 10è 2a (Residència Javier).
- Objectiu: Ampliació del projecte teòric.

Febrer 12, Dimecres

6:00 – 8:15

- Situació: Puigcerdà 236 10è 2a (Residència Javier).
- Objectiu: Ampliació del projecte teòric.

16:30 – 0:00

- Situació: Puigcerdà 236 10è 2a (Residència Javier).
- Objectiu: Ampliació del projecte teòric.



6.6 Agraïments

Aquest apartat l'hem volgut introduir per fer saber a tothom que llegeixi el nostre treball, que sense aquestes persones no haguéssim pogut realitzar aquesta obra.

Albert Navarro et donem gràcies per les teves idees i pel teu saber, l'interès que has posat en aquest treball, les ganes, la voluntat, a totes les hores de son sacrificades pel bé del nostre treball. Tiu ets molt gran, que sàpigues que vals molt com a persona. Continua així que arribaràs molt lluny. (¡Que no se te olvide!).

Millán per subjectar el celo en moments decisius a l'hora de tallar-lo. També per subjectar el connector del port paral·lel arriscant els seus dits mentre una tremolosa mà soldava uns cables.

Rosa Maria i Pilar per haver mostrat tant interès en l'evolució de la feina.

Francisco pel suport tècnic.

Emilio per la col·laboració incommensurable.

Virginia per suggerir una nota suculent, refrescar-nos la memòria i crear una atmosfera de pressió constant en les estones de treball.

Mauricio per haver-nos donat suport en aquells moments difícils.

Isabel Huertas (professora de català) per oferir-te a corregir-nos el treball.

Als treballadors de les biblioteques visitades, per ajudar-nos servicialment a trobar el que buscàvem.

Dolors París per l'ajut a l'hora de documentar-nos.

Volem donar les gràcies especialment a aquells de qui no ens hem recordat.

