

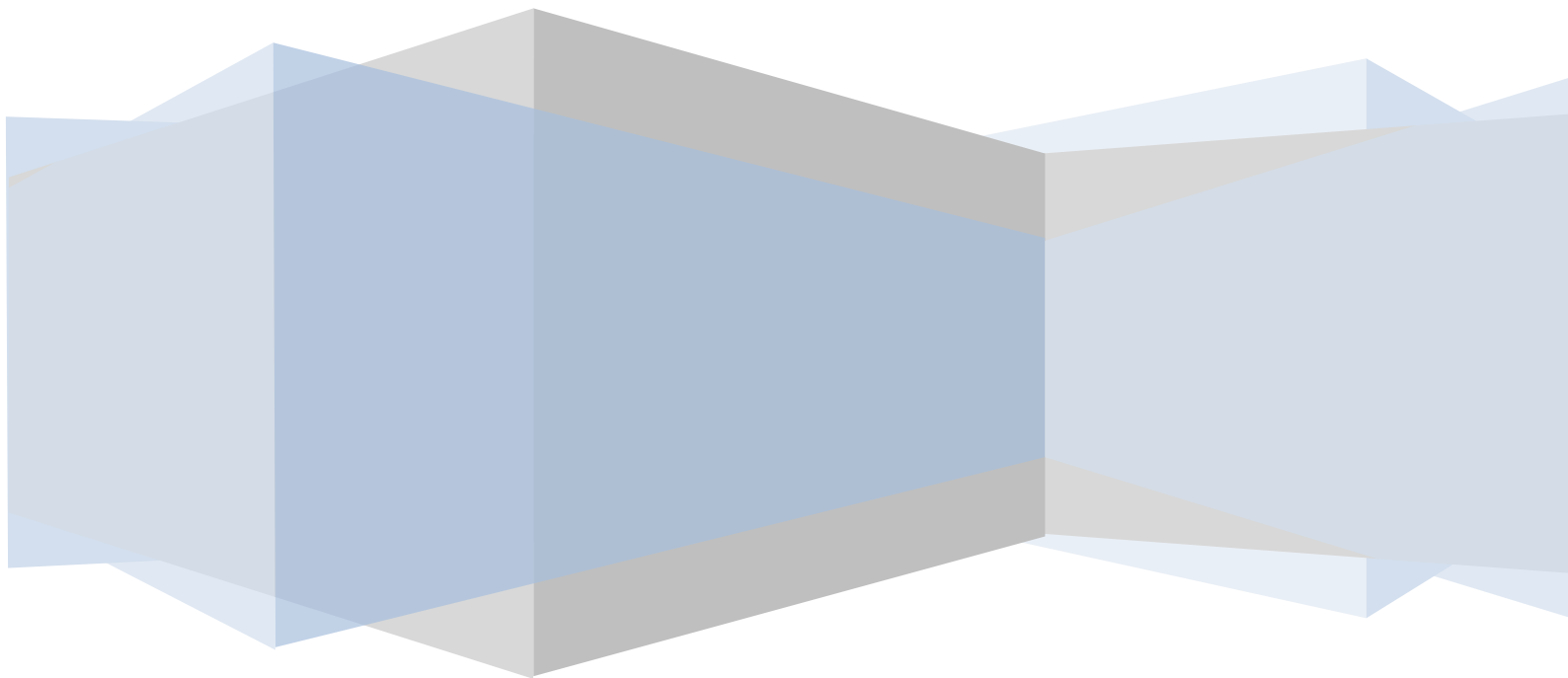
Construcció d'una extrusora

Reciclatge del plàstic

Gerard Parejo i Cortés

Maristes Girona curs 16/17

Tutor: Manel Bech



ÍNDIX

0. Introducció	7
-----------------------------	---

Capítol 1

1. Introducció al reciclatge

1.0 Situació actual.....	7
1.1 Introducció al SDDR.....	11
1.1.1 Funcionament logístic.....	13
1.1.2 Recorregut del dipòsit.....	14
1.2 Sistema integral de residus.....	15
1.2.1 Abocador.....	16
1.2.2 Incineradora.....	16
1.2.3 Conclusió.....	16
1.3 Xifres del reciclatge actual.....	18

Capítol 2

2. Plàstics

2.0 Què són?	20
2.1 Classificació dels plàstics.....	20
2.1.1 Origen.....	20
2.1.2 Estructura.....	21
2.2 Fabricació de materials plàstics.....	22
2.2.1 Extrusió.....	22
2.2.2 Emmotllament per extrusió i bufat.....	22
2.2.3 Injecció	23
2.2.4 Per buit.....	24
2.2.5 Compressió.....	24

2.2.6 Calandratge.....	25
2.3 Propietats generals dels plàstics.....	25
2.4 Propietats del plàstics més comuns.....	26
2.4.1 PVC.....	26
2.4.2 PET.....	27
2.4.3 HDPE.....	28
2.4.4 LDPE.....	28
2.4.5 PP.....	29
2.4.6 PS.....	30
2.4.7 Altres.....	31
2.5 Reciclatge del plàstic.....	32
2.5.1 Reciclatge mecànic.....	32
2.5.2 Reciclatge químic.....	34
2.5.2.1 Piròlisi.....	34
2.5.2.2 Hidrogenació.....	35
2.5.2.3 Quimiolisi.....	35
2.5.2.4 Metanolisi.....	35
2.6 Usos dels plàstics.....	36

Capítol 3

3. Introducció a l'extrusió

3.1 Introducció.....	37
3.1.1 Què és?	37
3.1.2 Per a que serveix.....	37
3.1.3 Avantatges.....	39
3.1.4 Desavantatges	39

3.2	Parts d'una màquina extrusora de plàstic.....	40
3.2.1	Zones.....	40
3.2.2	Tremuja.....	41
3.2.3	Cilindre.....	42
3.2.4	Sistema de refrigeració.....	43
3.2.5	Motor.....	43
3.2.6	Cargol sense fi.....	44
3.2.6.1	Importància disseny.....	45
3.2.7	Plat trencador.....	46
3.2.8	Boqueta.....	46
3.2.9	Sistema de refrigeració.....	47
3.2.9.1	Ruixat.....	48
3.2.9.2	Immersió.....	48
3.2.10	Unitat d'arrossegament.....	48
3.3	Funcionament.....	49
3.3.1	Transport de sòlids.....	49
3.3.2	Fusió.....	50
3.3.3	Transport de material fos.....	50
3.3.4	Mesclatge.....	50
3.3.5	Desgasificació.....	50
3.3.6	Conformatge.....	51
3.4	Productes obtinguts per extrusió.....	51
3.5	Variables.....	52
3.5.1	Temperatura.....	53
3.5.2	Velocitat motor.....	54

Capítol 4

4. Muntatge i disseny de l'extrusora

4.1 Recol·lecció d'informació.....	55
4.2 Primers dissenys.....	56
4.3 Trinxadora.....	57
4.4 Cargol sense fi.....	58
4.5 Motor.....	59
4.6 Camisa, tolva i boqueta.....	60
4.7 Sistema de refrigeració.....	61
4.8 Resistències.....	62
4.9 Termòstat.....	64

Capítol 5

5. Peces i mides

5.1 Extrusora.....	65
5.1.1 Motor.....	65
5.1.2 Cargol sense fi.....	66
5.1.3 Camisa.....	66
5.1.4 Tolva.....	67
5.1.5 Plataforma extrusora.....	67
5.1.6 Conjunt boqueta.....	67
5.2 Refrigeració.....	68
5.2.1 Piscina.....	68
5.2.2 Bomba d'aigua.....	69
5.3 Sistema elèctric.....	69
5.3.1 Transformador.....	69
5.3.2 Resistències.....	69

Capítol 6

6. Model 3D de l'extrusora

Imatges 3D.....70

Capítol 7

7. Proves amb l'extrusora

7.1 Primera prova.....73

7.2 Segona prova.....74

7.3 Tercera prova.....74

7.4 Quarta prova.....75

7.5 Cinquena prova.....76

Capítol 8

8. Funcionament de l'extrusora

8.1 Parts de l'extrusora.....77

8.2 Descripció general de la màquina.....78

8.3 Funcionament.....78

Properes línies d'investigació.....81

Conclusions.....82

Agraïments.....84

Webgrafia i bibliografia.....85

0. Introducció i objectius

Per tots és sabut que cada dia milions i milions de tones de plàstic surten al mercat per ser distribuïdes arreu del món. Però també cada dia milions de tones de plàstic són classificades com a residus perquè la seva vida útil s'ha acabat.

Doncs bé el que pocs es paren a pensar és que aquest plàstic encara té molta vida útil per endavant, ja que podria ser transformat fàcilment en un altre producte nou i això sense perdre casi cap qualitat física. La pregunta que segurament ve a la ment és, per què no es duu a terme aquest procés de reciclatge que sembla tan fàcil?.

Doncs bé, el nostre sistema de reciclatge actual no permet que aquesta activitat es desenvolupi amb normalitat. El motiu és la mala classificació que es fa a les plantes classificadores del nostre país. Si la matèria prima que arriba a les recicladores no es de bona qualitat, aquestes no podran tampoc oferir un nou producte plàstic de qualitat.

I com a conseqüència si la classificació no es bona, el material plàstic que hagués pogut tenir una segona vida útil acabarà enterrat sota terra o incinerat. Contaminant així el planeta.

I per què fabricar una extrusora? Doncs bé la extrusora de plàstic, és una de les màquines relacionades amb la indústria del plàstic més versàtils que hi ha al mercat, podent així reciclar el plàstic ja utilitzat, fabricar productes plàstics a partir d'un material verge o també per desenvolupar productes a partir del plàstic i un altre element, essent així essencial per la recerca de nous productes plàstics.

L'objectiu d'aquest treball serà investigar sobre el plàstic, podent comprendre així les seves característiques, la fabricació i el seu posterior reciclatge. També es dedicarà una part important del treball a explicar les característiques i funcionament d'una màquina extrusora per posteriorment posar a prova els coneixements adquirits durant el treball i construir el meu propi prototip d'extrusora.

1. Introducció al reciclatge

1.0 Situació actual

Un dels principals problemes que té la indústria destinada al reciclatge de plàstics és no tan la recol·lecció d'aquest material, sinó la separació dels productes segons el material que els componen. Per produir un plàstic reciclat d'una certa qualitat és necessari que tot el plàstic que es vulgui reutilitzar sigui de la mateixa naturalesa, com per exemple PET. Si no és així, alhora de fondre el material el resultat no quedarà homogeni, aquest fet és degut a que els plàstics tenen estabilitats tèrmiques diferents.

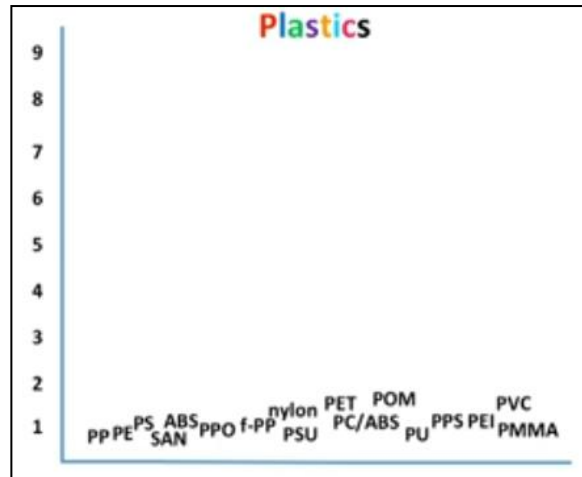
Avui dia, dur a terme el procés de separació de plàstics és difícil ja que cada cop més, els fabricants fan servir varis tipus de plàstic en un mateix producte i això fa més complexa la separació dels materials.

Separar els diferents tipus de plàstic per la seva naturalesa, és un procés molt exigent ja que demana d'avançada tecnologia.

A diferència dels metalls que tenen densitats i colors molt diferents entre ells. Els plàstics tenen unes propietats molt similars que fan molt complexa la seva bona separació segons el tipus. És per aquest motiu que actualment només estem reciclant degudament el 4% dels plàstics, en canvi dels metalls recuperem el 90%. La bona separació que reben els metalls, no és pel seu preu de mercat ja que avui en dia els plàstics estan més cotitzats que els metalls sinó que és per la facilitat alhora de separar-los.

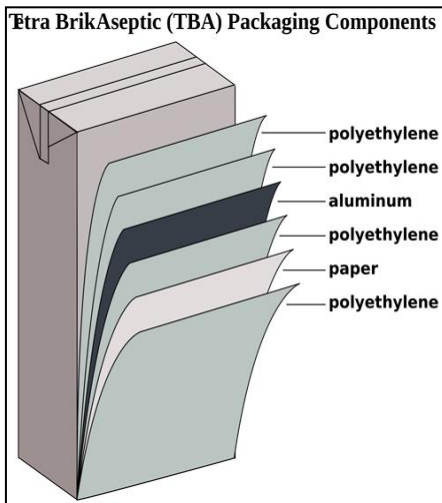


Gràfic 1.1 Densitats dels metalls



Gràfic 1.2 Densitats dels plàstics

Un clar exemple són els brics de llet, en el cas de la empresa *tetrapack*, els seus envasos estan compostats per:



Imatge 1.1
Capas d'un envàs

21g de cartró

5.8g de plàstic polietilè

1.4g d'alumini

Cada brick el formen 5 capes diferents de materials intercalats. Aquest fet comporta a les empreses haver de dissenyar un procés de separació exclusiu per envasos com aquest. Tant és la complexitat d'aquest procés, que en tot Europa només podem trobar quatre grans

fàbriques capaces de reciclar aquests tipus d'envasos, una d'elles es troba a Barcelona *Stora Enso*. Aquestes empreses especialitzades poden reciclar quasi al 100% el paper i l'alumini d'aquests envasos per fer productes nous, però el que no podran fer és dur a terme un reciclatge del material plàstic que conté l'envàs. Així doncs, del plàstic només poden treure gas natural que faran servir per alimentar les enormes necessitats energètiques de la planta.

Una de les grans dificultats a les que s'enfronten aquestes empreses alhora de la separació, és la similitud que presenten les densitats dels diferents tipus de plàstic, a més a més aquests poden adquirir qualsevol color. Per tan els mètodes de separació

físics que són els més ràpids i menys costos queden anul·lats davant les propietats esmentades.

Un altre dels principals problemes que afronta la indústria del reciclatge, és la procedència del plàstic, ja que tot i que s'hagin pogut separar els plàstics segons la seva naturalesa, encara el material a reciclar no serà del tot homogeni degut a la diferent procedència d'aquest. Així doncs, no s'haurà de tractar de la mateixa manera un plàstic que s'hagi fet servir per un ús domèstic a un que s'hagi fet servir per contenir substàncies perilloses.

Per tots aquets problemes, moltes empreses i països opten per convertir els residus plàstics en RSU¹ que es destinaran a la incineració per tal d' aconseguir energia tèrmica.

Ara mateix la indústria de la incineració és un negoci rodó, ja que a part d'estalviar molt d'espai per la supressió de grans abocadors, també capta grans quantitats monetàries, ja que té tres grans fonts d'ingressos: la seva primera font és la venda de l'energia. Per cremar una tona de brossa ingressen seixanta euros, el que suposa que anualment les deu empreses incineradores d'Espanya facturin 120 milions d'euros.

A més a més, les cendres dels residus també tenen un valor dins de la indústria de la construcció. Un altre punt fort de la incineració és que per cremar 100.000 tonelades de residus només es necessiten de dinou a quaranta-tres persones, en canvi per una fabrica de reciclatge es necessitarien 241 empleats, segons un informe de *greenpeace*.

Tot i semblar una bona opció ja que estalvies espai i obtens energia a baix cost, a la llarga acaba portant nombrosos problemes mediambientals a nivell mundial.

Per les altes xemeneies de les incineradores surten diàriament productes tan contaminants com dioxines, furans, cadmi, plom, mercuri... Aquets productes són els causants de fenòmens com la pluja àcida, reducció de la capa d'ozó o el malauradament famós canvi climàtic. A part d'aquests problemes ambientals, tampoc s'està tenint en compte que el plàstic prové d'una substància finita com és el petroli

¹ Residus sòlids urbans

i que si incinerem el plàstic que fabriquem, quan s'acabi el petroli no disposarem de més material plàstic, fet que podria portar el caos mundial ja que avui en dia no tenim un substitut real per fabricar plàstic a gran escala.

Degut a la complexitat de la separació dels plàstics després de ser abocats al contenidor corresponent, països cap davanters d' àmbit mundial estan apostant per un nou mètode de recol·lecció d'envasos que està donant molt bons resultats, aquest mètode s'anomena SDDR (Sistema de Dipòsit, Devolució i Retorn). Tot i sonar força estrany al principi, al nostre país va ser aplicat aquest mètode de recol·lecció entre els anys 1950 fins el 1985 i encara ara es manté però només dins de l'àmbit d'hostaleria per a les ampolles de vidre. El sistema funciona de la següent manera:

1.1 Introducció al SDDR

El sistema de dipòsit, devolució i retorn o conegut sota l'acrònim SDDR, és un sistema pensat per coexistir amb el sistema actual aplicat a Espanya, el sistema integrat de gestió o SIG. La seva coexistència s'explica ja que el SDDR està pensat només per captar residus d'envasos. Deixant de banda altres residus tals com: llaunes de conserva, envasos de productes làctics, vins, safates de plàstic, etc.

La principal avantatge és que els contenidors no s'emplenen tan ràpid i les plantes del SIG no tindran tantes varietats diferents de plàstic per separar i reciclar.

Productes acceptats	Aigua, cervesa, suc, refrescos, productes de neteja
Envasos	Llaunes, ampolles de plàstic, brics i vidre

Taula 1.1 Font: Prevenió de residus i consum Productes inclosos dins del SDDR

Només s'inclouen aquests envasos ja que són els que major probabilitat tenen de ser abandonats i no arribar al sistema de reciclatge. El seu abandonament s'explica per la climatologia del nostre país ja que es consumeix una gran quantitat d'envasos fora de casa, dels quals relativament pocs seran reciclats.

Els espanyols consumim la mateixa quantitat de begudes envasades que els alemanys, i la seva població és la doble que la nostra. De fet al dia es posen al mercat 51 milions d'envasos dels quals només 28 milions seran reciclats degudament.

Per entendre millor el seu funcionament és primordial conèixer l'origen del seu nom:

Dipòsit

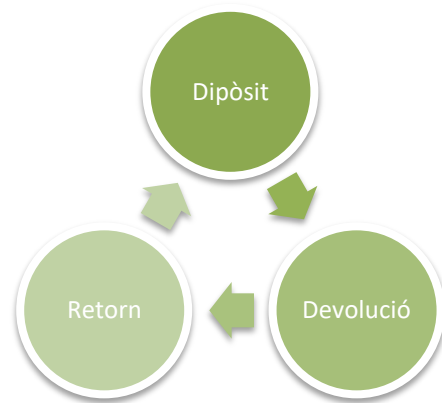
Al comprar l'envàs, pagues un dipòsit (preu envàs)

Devolució

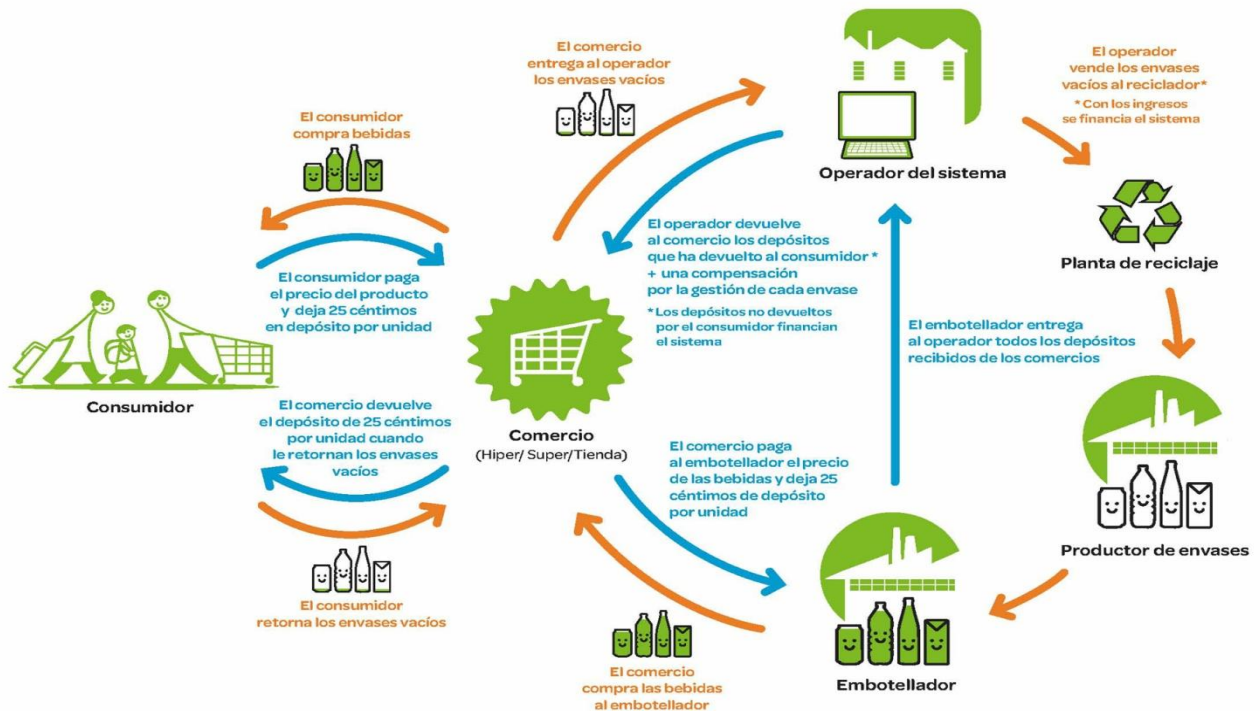
Al tornar l'envàs, recuperes el dipòsit

Retorn

L'envàs torna a la cadena de producció



1.1.1 Funcionament logístic



e
x
t
e
r
s
i
s
t
e
m
a

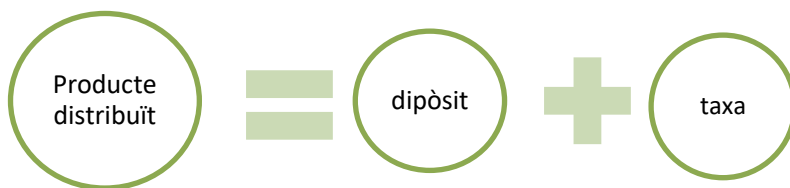
i
n
t
e
r
i
o
r

1. El comerç ven al consumidor el producte amb un sobre cost, que correspon al preu de l'envàs.
2. El consumidor torna l'envàs buit a qualsevol punt de retorn i l'establiment li retorna el cost de l'envàs.
3. El comerç dona els envàs buits al operador del sistema i ell li concedeix els diners que ha hagut de pagar al client per l'envàs retornat més una compensació per la gestió dels envàs.
4. L'operador ven els envàs a la planta de reciclatge i aquesta li dona diners a canvi del material plàstic.
5. La planta de reciclatge elabora un nou producte a partir de la matèria plàstica i la ven al fabricant d'envàs.
6. El productor d'envàs crea un nou envàs i el ven al embotellador.
7. L'embotellador envasa el seu nou producte i el ven al comerç amb un sobrecàrrec, que és el preu de l'envàs.

1.1.2 Recorregut del dipòsit dins el SDDR

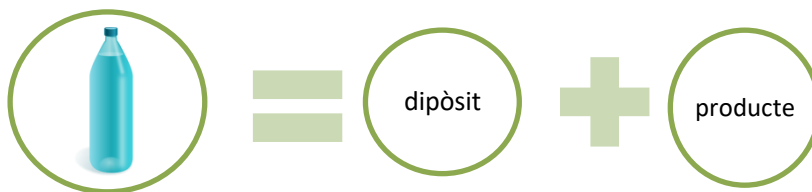
El fabricant, que produeix els envasos, informa al sistema central de la quantitat d'envasos introduïts al mercat.

Per cada envàs produït haurà de pagar un dipòsit (aquest li serà retornat posteriorment) més una taxa administrativa (no retornada) per cobrir els costos restants del sistema.

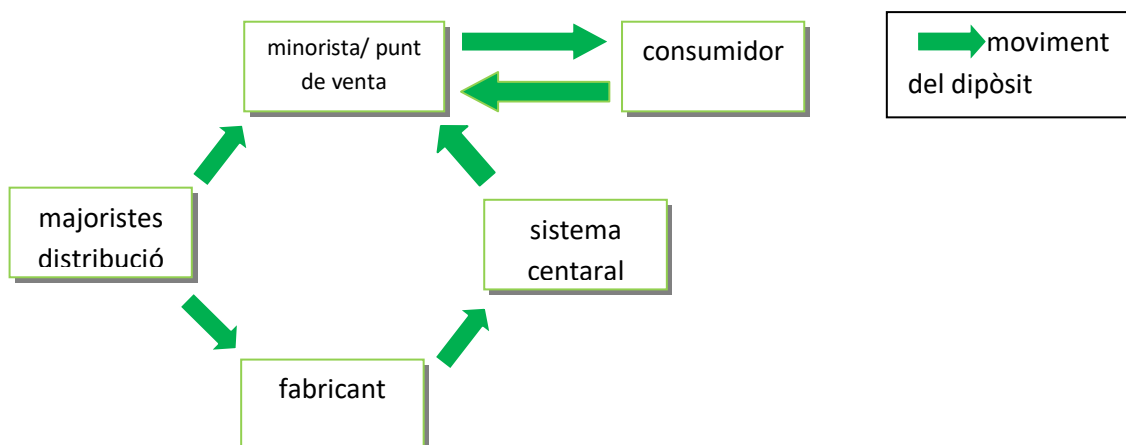


Els valors de les taxes a pagar no són fixos ja que depenen de la quota del mercat respecte el preu del material reciclat.

Els consumidors o minoristes compren el producte, aquests hauran de pagar el preu del producte més el dipòsit que se li hagi aplicat a l'envàs.



Quan el consumidor torni l'envàs a qualsevol punt de retorn, el minorista li tornarà el dipòsit que ha pagat. Llavors el minorista haurà d'enviar el número d'envasos retornats al sistema central i aquest li retorna el dipòsit, tancant així la cadena. Aquest dipòsit prové del fons de dipòsit on els fabricants han abonat els diners prèviament.



A part del dipòsit estipulat, el sistema central li paga al minorista una quota per compensar-li la pèrdua d'espai i temps.

L'èxit d'aquest sistema està fent que països com Alemanya estigui aconseguint una taxa de recuperació del 98% dels envasos de begudes posade al mercat. I és que ja son més de 40 regions les que estan posant en pràctica aquest sistema de recollida, entre elles podem trobar: Australia, Bèlgica, Canada, Japó, Dinamarca, Noruega etc. Gràcies a la captació de residus per aquest mètode és més senzill dur a terme la separació dels plàstics segons la seva tipologia, aconseguint així una major qualitat alhora de fabricar el plàstic reciclat.

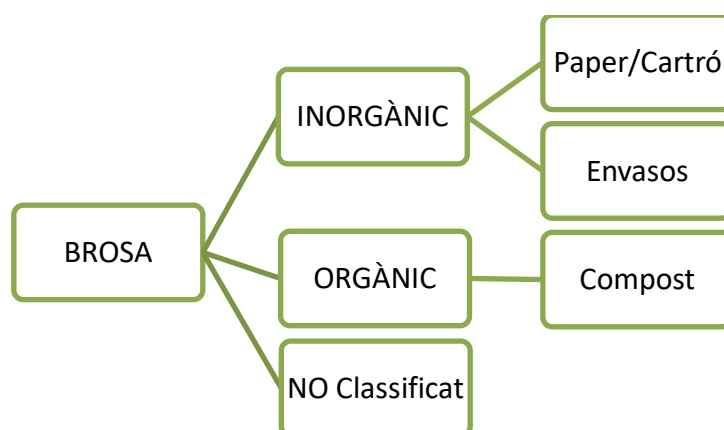
1.2 Sistema integral de gestió de residus / SIG

Actualment a Espanya el sistema integral de gestió de residus funciona de la següent manera:



Els consumidors aboquen els seus residus al contenidor adient segons el producte.

Aquests residus seran transportats fins a una planta de processament que separarà la matèria orgànica de la inorgànica.



Els residus orgànics seran destinats a la producció de compostatge, a la mateixa empresa de processament, la matèria serà mesclada amb aigua per aconseguir una massa uniforme i manipulable.

Els residus inorgànics es separaran segons si són paper/cartró o envasos. Aquests materials seran compactats en bales per després vendre'ls a les empreses recicladores.

El material que no s'ha pogut classificar serà enviat a abocadors o incineradores, allà només arribarà el residu del residu. Per tan el que ja no té un valor real dins el mercat.

1.2.1 Abocador

En els abocadors la brossa es diposita en grans forats de terra. Els residus seran compactats en capes de 3 metres per després cobrir aquesta capa amb 45 cm de terra. Aquest procés s'anirà repetint fins a emplenar la totalitat del forat.

El punt fort dels abocadors és que actualment es pot extreure energia d'ells. Els residus al estar compactats amb el temps segreguen gasos, un d'ells és el metà, que té un gran valor energètic. Per extreure aquest gas de sota terra el que s'ha fet és instal·lar una sèrie de tubs a 25 metres de fundaria que extreuen el gas per després processar-lo i obtenir energia. Les ciutats estan utilitzant aquesta energia com a combustible dels autobusos públics o de font d'energia elèctrica.

1.2.2 Incineradores

Les incineradores o plantes de revalorització energètica, s'ocupen de cremar els residus urbans o RSU per obtenir energia elèctrica mitjançant un procés tèrmic. D'aquesta manera s'aconsegueix reduir el volum de la brossa i s'obté energia d'un material que era inservible.

1.2.3 Conclusió

Malauradament res és tan bonic com sembla, aparentment llegint aquest procés sembla que tot s'aprofita i que a Espanya tenim un residu zero. El que desconexim és que durant tot aquest procés hi ha moltes mancances a les que s'hauria de posar remei urgentment.

El primer aspecte que crida l'atenció és que les bales de residus empaquetades a la planta de processament tenen un alt índex d'impureses, això vol dir que si una

empresa recicladora compra una bala de material PET² (polietilè tereftalat) haurà d'invertir temps i diners per treure totes les impureses que conté, i per tan no li acabarà sortint rendible comprar aquest producte. A més a més com la compra d'aquest material va a pes, estarà comprant kilograms de residus que no podrà reciclar, ja que no seran PET.

Andoni Uriarte president de l'associació de reciclatge PET deia "Compren la tonelada de PET per uns 300 euros, però com només ens serveix la meitat, com a conseqüència ens acaba costant 700 euros, ja que a més hem de pagar per l'abocament dels productes que no podem reciclar".

Un altre problema és que actualment les plantes de processament de residus espanyoles no estan capacitades per rebre enormes quantitats de residus diaris. Les plantes estan pensades per rebre un cert volum de residus, però actualment aquest volum estipulat és molt major ja que a les plantes acaben arribant materials que haurien d'haver estat reciclats i a causa de les mancances del sistema de selecció no han pogut ser tractats.

Els abocadors per la seva part també estan saturats pels residus, ja que com les processadores no ho poden classificar tot reben massa matèria rebutjada. A part d'això també contaminen el subsòl i els aqüífers.

Les incineradores en aquest país estan concebudes com a caixes màgiques en les quals es cremen tots els residus i queda tot net, però no és així ja que el 30% dels residus cremats han de ser gestionats com a substàncies perilloses, a més causen molts problemes sanitaris als veïnats propers per les substàncies tòxiques i males olors.

El compost que es fabrica durant el procés és de molt baixa qualitat ja que conté molts productes plàstics o residus no desitjats, per tan aquest compost no acabarà tenint un ús real. Malgrat tot es segueix fabricant a Espanya per complir amb la normativa europea.

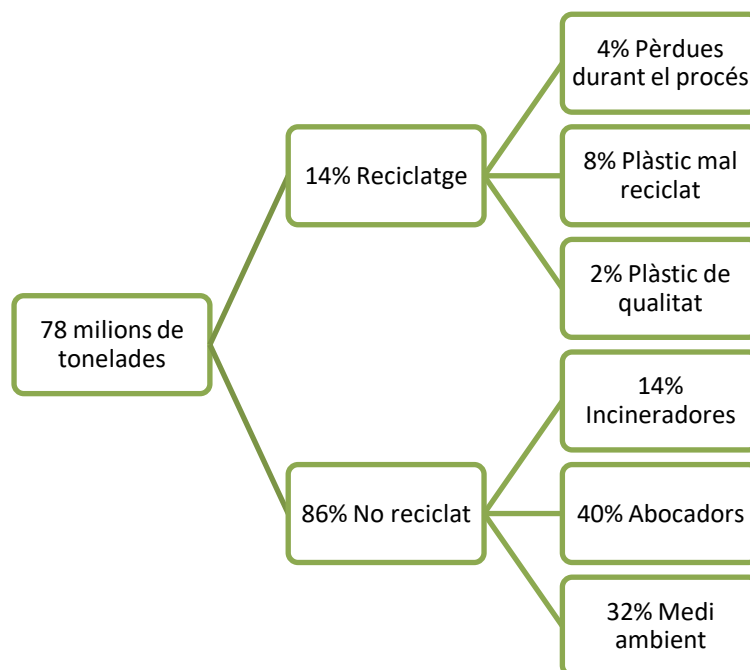
² PET són les sigles de polietilè tereftalat, una vareta de plàstic molt comuna.

1.3 Xifres reciclatge actual

Segons la Fundació Ellen MacArthur:

Durant l'any produïm globalment 78 milions de tones de plàstic. D'aquest plàstic produït el 98% és fabricat a partir de resines verges, és a dir que no provenen d'un procés de reciclatge.

Després de l'ús dels plàstics posats a la venda, s'han de processar degudament per aconseguir el seu reciclatge, el destí final dels plàstics en un àmbit global és el següent:



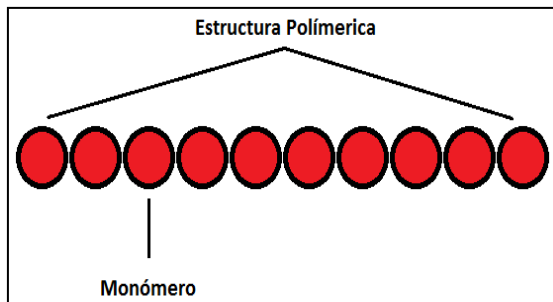
Com podem veure, només el 14% dels plàstics posats al mercat entraran dins d'un procés de reciclatge, però d'aquest percentatge només un 2% s'obtindrà un plàstic d'una qualitat semblant al plàstic d'origen. La resta de plàstic serà perdut durant el procés o no es reciclarà d'una manera adequada.

L'altre 86% dels plàstics no serà reciclat i la majoria acabarà en abocadors o exposats al medi ambient, contaminant-lo. Segons aquest estudi de la fundació, l'any 2050 hi haurà més partícules de plàstics que peixos al mar.

Això és degut a que dels 192 països que bordegen els oceans Pacífic, Índic, Atlàntic i els mars, produeixen ells sols 2.500 milions de tones mètriques de residus sòlids anuals dels quals 275 milions de tones mètriques són plàstics i d'aquests, 8 milions de tones mètriques aniran a parar al oceà. Com a conseqüència 270.000 tones de plàstics floten a l'oceà fragmentades en 5 billons de petits trossos. Amb els quals podríem emplenar 36.000 camions de brossa.

2. Plàstics

2.0 Què són?



Plàstic prové de la paraula grega *plastikos* que significa que pot ser moldejat.

Imatge 2.1
Estructura Polimèrica

Els plàstics són materials orgànics formats per llargues cadenes de polímers que contenen fonamentalment àtoms de carboni, encara que també contenen hidrogen i oxigen com també altres elements però aquests en menor mesura.

Un polímer és una molècula gegant que està formada per altres molècules més senzilles, anomenades monòmers, que es repeteixen constantment per formar el polímer.

2.1 Classificació dels plàstics

2.1.1 Segons l'origen

- **Natural:** Són plàstics que s'obtenen directament de matèries primes vegetals com la cel·lulosa o el cautxú, o de fonts animals com la caseïna. Aquests productes no necessiten d'un procés químic per la seva formació ja que s'han obtingut directament de la natura. Exemples: Resina, làtex, caseïna, cel·lulosa.
- **Artificial:** Són el resultat industrial per modificació dels plàstics naturals. Exemples: Cel·luloides, ebonita
- **Sintètics:** S'obtenen a partir dels components elementals, es a dir sintetitzant carboni amb hidrogen, oxigen...
Exemples: PET, PVC, PP

2.1.2 Segons l'estructura

- **Estructura lineal:** Comunament es coneixen amb el nom de termoplàstics. És un plàstic que quan s'escalfa suficient es converteix en un líquid homogeni i quan es refreda es transforma en un material dur. Aquest procés es pot repetir varies vegades, cada cop que es repeteix el procés, el plàstic va perdent propietats.

Exemples: PVC, metacrilat, poliestirè

- **Estructura reticular:** Comunament coneguts com termostables. Són polímers que no es podran reciclar, ja que estan formats per cadenes tridimensionals que al ser escalfades s'aniran compactant fins al punt de degradar-se.

Exemples: Poliuretà, melamina.

- **Estructura entrecreuada:** Comunament coneguts com elastòmers, són plàstic que degut a la seva estructura tenen propietats elàstiques.

Exemples: gomes de pollastre, neoprè.



Imatge 2.2
Estructures dels plàstics

2.2 Fabricació de materials plàstics

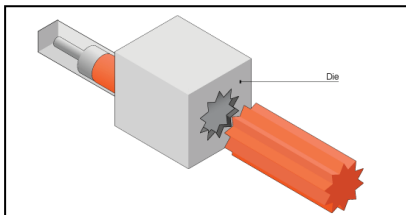
Els plàstics en el seu estat més primari es venen al fabricant en forma de pols, grànuls o resines segons convingui. Aquestes substàncies seran manipulades amb el fi d'aconseguir productes tan quotidians com la roba, les safates de plàstic, cables, mòbils etc.

Segons el producte que vulguem obtenir farem servir un mètode dels següents:

2.2.1 Extrusió

El granulat es fon en el cilindre escalfador, el sense fi pressiona el plàstic fent-lo sortir per la boqueta de l'extrusora amb la forma desitjada i just després es refreda perquè conservi les propietats.

Amb aquest mètode podem obtenir productes allargats sense una forma geomètrica complexa com ara cables, lamines, tubs...



Imatge 2.3
Model esquema d'extrusió

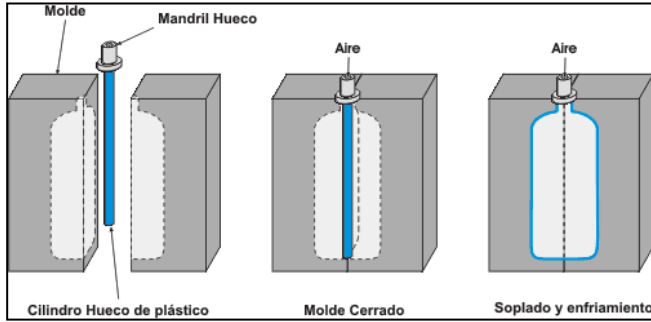


Imatge 2.4
Producte obtingut per extrusió

2.2.2 Emmotllament per extrusió i bufat

Un cop el material plàstic s'ha extruït i escalfat, s'introdueix dins d'una pre-forma per després bufar el polímer de manera que s'adhereixi a les parets del motlle prenent així la seva forma.

Aquest mètode es utilitza per obtenir productes plàstics buits d'interior com ara ampolles, pilotes, joguines...



Imatge 2.5
Model d'emmotllament per extrusió

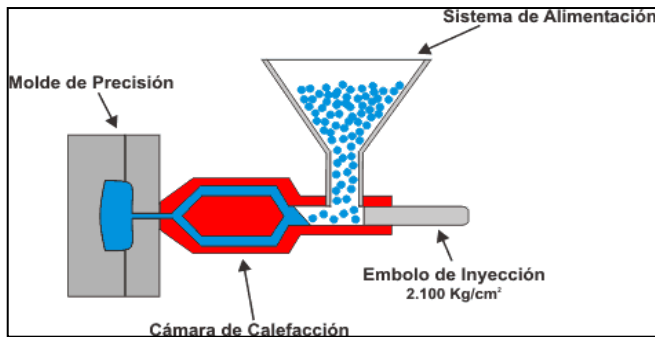


Imatge 2.6
Producte d'una extrusió per bufat

2.2.3 Injecció

Un cop el plàstic s'ha fos el cargol sense fi l'empeny cap al motlle a pressió perquè agafi la seva forma, introduït el material plàstic es deixarà refredar dins el motlle fins que el plàstic es torni sòlid.

Podem obtenir productes amb formes geomètriques complexes i amb una estructura resistent.



Imatge2.7
Model d'injecció

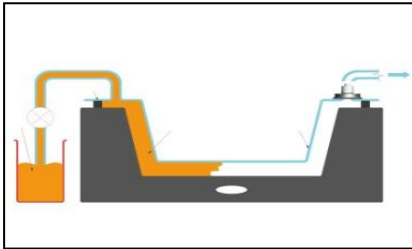


Imatge 2.8
Producte d'una injecció

2.2.4 Per buit

Una làmina de plàstic és escalfada i introduïda dins un motlle, un cop dins, es provoca el buit a la part inferior del motlle i per conseqüència el plàstic s'adhereix a les parets i pren la forma del motlle.

Obtindrem productes poc profunds o de gran mida com palanganes o safates.



Imatge 2.9
Modelatge per buit

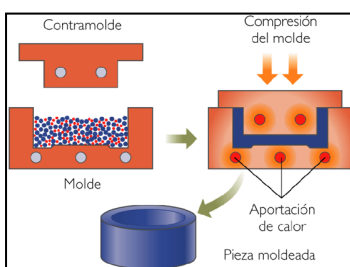


Imatge 2.10
Producte obtingut per buit

2.2.5 Compressió

El motlle en aquest procés està dividit en dues parts, de manera que quan el motlle s'omple amb la suficient quantitat de plàstic, les dos parts del motlle s'ajunten comprimint el plàstic aplicant pressió i temperatura.

Aquest procés s'utilitza per la fabricació de productes termostables.



Imatge 2.11
Modelatge per compressió

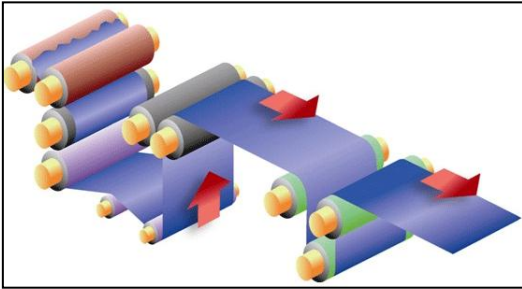


Imatge 2.12
Producte obtingut per compressió

2.2.6 Calandratge

Després d'escalfar i extruir el plàstic, es fa passar per uns corrns que l'estiraran i eixamplaran convertint-lo en un producte molt fi.

Aquest mètode és utilitzat per obtenir productes poc gruixuts com ara films o pel·lícules de plàstic.



Imatge 2.13
Model de calandratge



Imatge 2.14
Productes obtinguts per calandratge

2.3 Propietats dels plàstics

Avui dia els plàstic ens envolten durant la nostra vida diària, la seva gran expansió en tan poc temps ha estat gràcies a les seves propietats que l'han fet un dels materials referents en quasi tots els àmbits. Molts dels productes que en temps passats estaven fabricats a partir de metalls, estan sent substituïts per components plàstics molt més lleugers que els anteriors.

Les propietats que tot plàstic té són:

- **Facilitat per conformar peces:** Gràcies a aquest fet les indústries són capaces de fabricar un gran nombre de peces en molt poc temps.
- **Resistència mecànica elevada**
- **Resistència als agents atmosfèrics i químics**

- **Lleugeresa:** És un dels principals motius de l'evolució dels plàstics ja que avui en dia els vehicles gasten molta menys gasolina perquè són més lleugers, gràcies a que gran part de la carrosseria està composta de plàstics.
- **Abaratiment del procés:** Les temperatures per a la transformació del plàstic oscil·len entre els 150 i els 300 graus, mentre que les temperatures de transformació pels metalls van de 800 a 3000 graus. Per tan necessitem menys energia.

Tot i les seves grans propietats avui en dia es continua investigant com millorar-les encara més, és un àmbit anomenat plàstics avançats. Alguns d'aquests plàstics ja s'estan utilitzant en l'automoció. Encara que molts d'aquests materials són encara massa cars si els comparem amb els tradicionals.

2.4 Propietats del plàstics més comuns

2.4.1 PVC/ Clorur de polivinil



El PVC s'obté a partir de sal comuna i gas.

Per obtenir un plàstic més versàtil se li afegixen productes per aconseguir un polímer flexible o rígid, transparent, translúcid o opac, fràgil o tenaç, compacte o escumat.

Característiques

- És un plàstic amb un baix cost capaç d'acceptar molt bé els additius, característiques que el fan ser un dels més atractius i utilitzats.
- Ignífug
- Resistent als agents atmosfèrics, no tòxic i impermeable
- Bon aïllant
- De fàcil manipulació

Productes

- Envasos
- Tubs
- Perfils de finestres
- Embolcall per menjars

2.4.2 PET/ Polietilè tereftalat



Es sintetitza a partir d'àcid tereftalàtic i etilengicol per policondensació³.
Existeixen dos tipus de PET, el de grau tèxtil i el de grau ampolla.

Característiques

- Barrera dels gasos
- Transparent
- Molt difícil de trencar
- No tòxic

Productes

- Envasos per ampolles
- Fibres tèxtils
- Teles per a pavimentació

³ La policondensació consisteix en relacionar diferents substàncies per crear un o més monòmers, que s'ajuntaran amb altres monòmers formats per crear un polímer.

2.4.3 HDPE/ Polietilè d'alta densitat



És un termoplàstic fabricat a partir de l'etilè a temperatures inferiors a 70 graus

Característiques

- Resistent a baixes temperatures
- Impermeable
- No tòxic
- Díficil de trencar
- Pot ser compatible amb moltes de les màquines moldejadores

Productes

- Bosses
- Cascs
- Tubs
- Joguines
- Envasos alimentaris (gràcies a la seva resistència tèrmica)
- Cordes i xarxes (per la seva estructura lineal)

2.4.4 LDPE/ Polietilè de baixa densitat



Plàstic fabricat a partir d'etilè, aquest es processa a 170 graus de temperatura i 1400 atmosferes per acabar obtenint un polímer amb aspecte de polivinil blanc ramificat.

Característiques

- Gran flexibilitat
- Gran resistència contra els agents químics i elèctrica
- Resistent a les baixes temperatures

- Impermeable
- No tòxic
- Versàtil, barat i fàcil de fabricar
- Es pot transformar per bufat, extrusió i injecció

Productes

- Bosses flexibles
- Sostre hivernacles
- Recobriment cablejat
- Embalatges industrials

2.4.5 PP/ Polipropilè



Termoplàstic obtingut a partir de la polimerització del polipropilè

Característiques

- Plàstic rígid d'alta cristalinitat
- Punt de fusió elevat
- Densitat més baixa de tots els plàstics
- Bart
- De fàcil manipulació
- Sensible al fred i la llum ultraviolada (necessita additius per millorar les propietats)

Productes

- Tubs per a fluids calents
- Peces de cotxe (para-xocs)
- Xeringues
- Envasos
- Cordes i tot tipus de filament

2.4.6 PS/ Poliestirè



Compost per una llarga cadena hidrocarbonada a on cada dos àtoms de carboni hi trobem un grup fenil. Les seves matèries primes són el benzè i l'etil.

Hi ha tres tipus de poliestirè:

- Poliestirè expandit (És una escuma)
- Poliestirè d'alt impacte (Alta resistència mecànica)
- Poliestirè Cristall (Cristal·lí i amb brillantor)

Característiques

- Ignífug
- Transparent
- No és tòxic
- De fàcil manipulació
- Fàcil de netejar

Productes

- Aïllant tèrmic i acústic
- Envasos, coberts plàstics
- Neveres portàtils
- Maquinetes d'afaitar d'un sol ús

2.4.7 Altres



En aquest grup podem trobar plàstics molt diferents, majoritàriament tots ells són de difícil reciclatge.

Entre aquests plàstics podem trobar:

- **PA/ Poliamides** (Peces sotmeses a molt de fregament, engranatges, coixinets...)
- **ABS/ Acrilnitril butadiè estirè** (Plàstic molt resistent als impactes, utilitzat en els cotxes o cascs)
- **Resines Epoxi** (Utilitzat per la conglomeració de materials)
- **PC/ Policarbonat** (Gran substitut del vidre i amb millors propietats mecàniques)
- **SI/ Silicones** (Lubricant, impermeable i aïllant de calor)

2.5 Reciclatge del plàstic

El plàstic és una matèria que majoritàriament s'obté a partir del petroli, font de recursos no renovable, el que vol dir que té una data límit, un dia o altre ens quedarem sense ell i haurèm de buscar-li un substitut per emplenar el seu buit. És important reciclar el plàstic ja que així no obliguem a fabricar material nou. A més a més hi ha un problema més important que aquest, el mediambiental, els plàstics estan compostos d'un material de difícil degradació, i si no es reciclen adequadament poden perdurar en el nostre ecosistema uns 300 anys.

Per reciclar el plàstic hi ha dos mètodes, el mètode mecànic i el mètode químic. El mètode mecànic, és el més econòmic i consisteix en trinxar el plàstic per després netejar-lo i processar-lo degudament. El segon mètode, avui en dia està poc estès per el seu cost, consisteix en degradar el plàstic mitjançant calor i catalitzadors per tornar-lo a convertir en monòmers i a partir d'aquest fer productes plàstics totalment nous.

2.5.1 Mètode mecànic

Quan a les empreses recicladores els arriba la bala de material plàstic, hauran de trinxar, separar i netejar el material per poder-li treure un nou valor econòmic i fer-lo útil. Aquest procés es divideix en varies etapes:

1. Desempaquetament

Les recicladores compren el material plàstic a les processadores i el reben en forma de bales de residu.

Com que les bales solen tenir impureses els recicladors les hauran de desempaquetar, i trinxar tot el material que continguin, per així fer més fàcil la futura separació del material no desitjat.

2. Reducció del material

Aquest procés consisteix, tal i com indica el nom, en trinxar el material per poder-lo fer més fàcil de transportar i de classificar.

3. Separació

La seva finalitat és aïllar el material que ens interessa d'altres materials com podrien ser polímers de diferent naturalesa, vidres o metalls.

Per fer la separació disposem de varis mètodes: raigs X, dissolució amb dissolvents, flotabilitat del material etc. És molt important el bon funcionament d'aquests mètodes ja que si no el material final seria defectuós.

4. Neteja

Un cop tinguem el material que ens interessa aïllat de la resta de materials, podem procedir a netejar-lo d'impureses ja que acostuma a venir acompanyat amb restes de menjar, cola adhesiva, oli etc.

Per la seva neteja es sol fer servir sosa càustica diluïda perquè es pot tornar a fer servir diverses vegades.

5. Secat

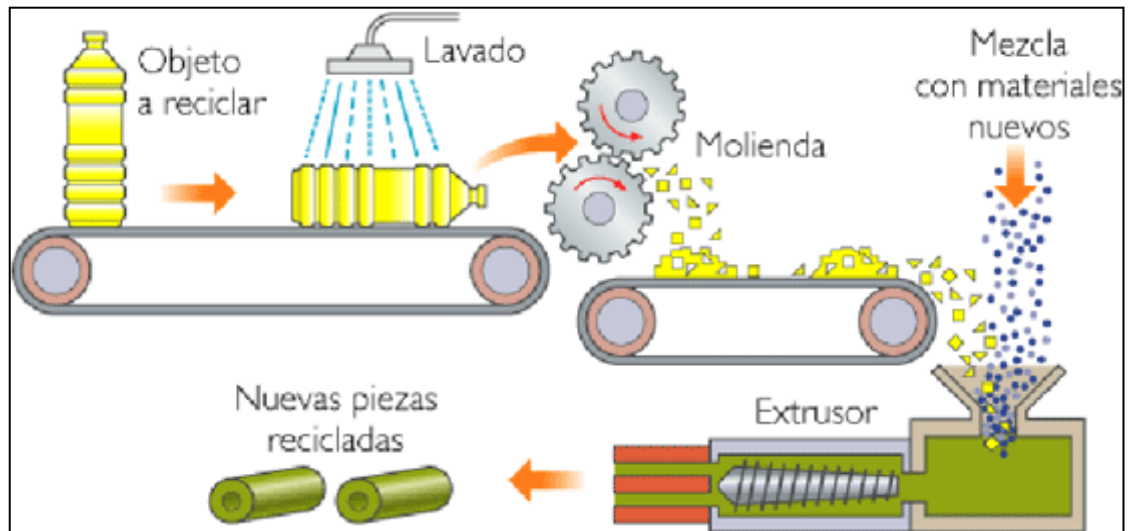
Un cop el material ha estat completament netejat d'impureses s'ha d'assecar amb la finalitat de que pugui ser processat i posteriorment posat al mercat.

Per aquest procés existeixen molts possibles mètodes, els més comuns són l'ús de centrifugadores o ventiladors.

6. Pel·letització

Aquest és l'últim procés del reciclatge mecànic, tot i que el producte després del secat ja és comercialitzable, es recomana que es converteixi en pelets ja que hi ha processos que no accepten un material que no sigui pelet, per tan alhora d'introduir al mercat tindrà més valor i abarcarà una major part de mercat.

Per a fer la pel·letització haurem de processar el material per una extrusora, que el fondrà i el transformarà en pelets de la mida necessària.



Imatge 2.15
Esquema del procés mecànic

2.5.2 Mètode químic

El reciclatge químic es basa en una reacció química, i per tan no necessita el procediment de separació segons el tipus de plàstic, que necessita el mètode mecànic, és a dir durant el procés podem reciclar conjuntament tot tipus de plàstic. Però la seva principal avantatge és que el material que s'obté, conserva quasi les mateixes característiques que un plàstic verge, a més a partir d'aquesta matèria prima podem obtenir materials d'altres característiques.

Per dur a terme un reciclatge químic existeixen diferents mètodes:

2.5.2.1 Piròlisi

La paraula piròlisi ve del mot grec piro "foc" i lisis "ruptura".

Per tan la piròlisi consisteix en el trencament de les molècules plàstiques mitjançant altes temperatures al buit. Amb aquest procés obtindrem hidrocarburs líquids o sòlids que podran ser tractats en refineries.

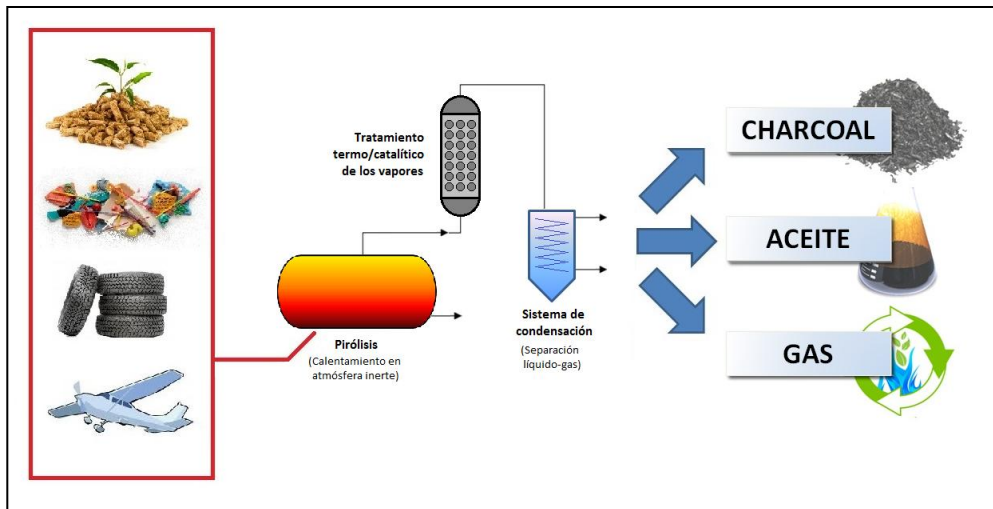


Image 2.16
Procés piròlisi

2.5.2.2 Hidrogenació

La hidrogenació consisteix a tractar el plàstic amb calor i hidrogen per tal d'obtenir un tipus de petroli sintètic que es podrà tractar en refineries i plantes químiques.

Amb paraules més tècniques consisteix en l'adició d'hidrogen en compostos orgànics insaturats, com alquens per formar alcans o en aldehids per formar alcohols.

2.5.2.3 Quimiolisis

Aquest procés serveix per reciclar polièsters, poliuretans i poliamides. Per convertir aquets productes en monòmers se'ls hi ha d'aplicar processos com:

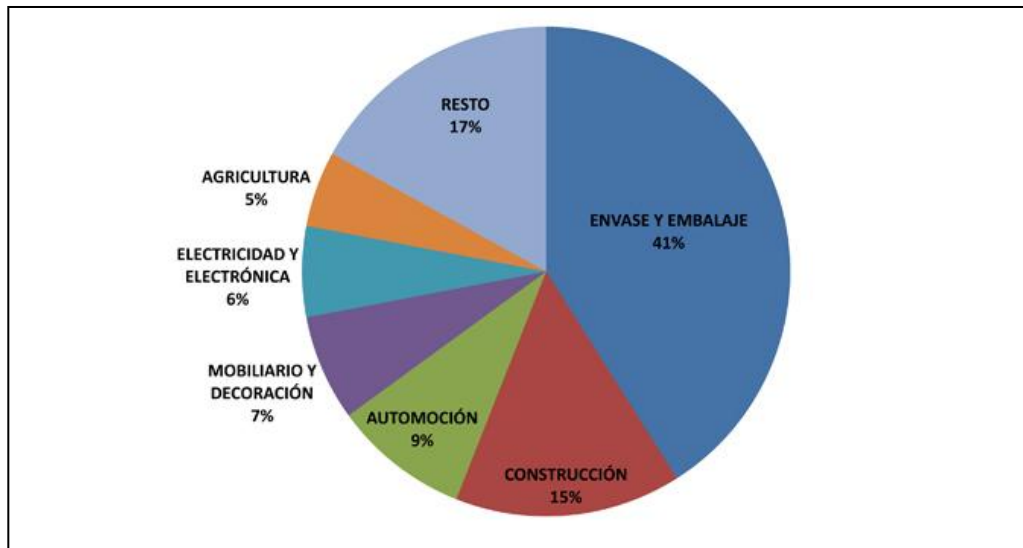
- **Hidròlisis:** Mètode de descomposició de productes orgànics per acció de l'aigua.
- **Alcohòlisis:** Degradació d'una molècula orgànica mitjançant l'acció de l'alcohol

2.5.2.4 Metanolisis

Aquest procés requereix d'una separació segons el tipus de plàstic ja que només es pot aplicar amb residus PET. És un dels processos més eficients ja que la resina que s'aconsegueix és pràcticament igual que una resina plàstica verge.

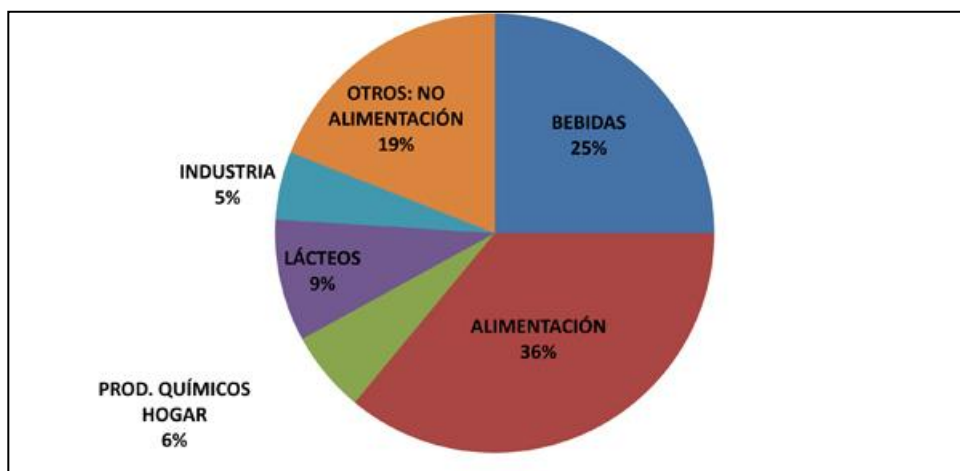
Per dur a terme aquest procés el metanol s'introdueix en el PET per fragmentar-lo en els seus monòmers d'origen, que són el dimetil tereftalat i el glicol d'etilè. Amb els quals podem tornar a obtenir una resina purificada.

2.6 Usos del plàstic a Espanya i Europa



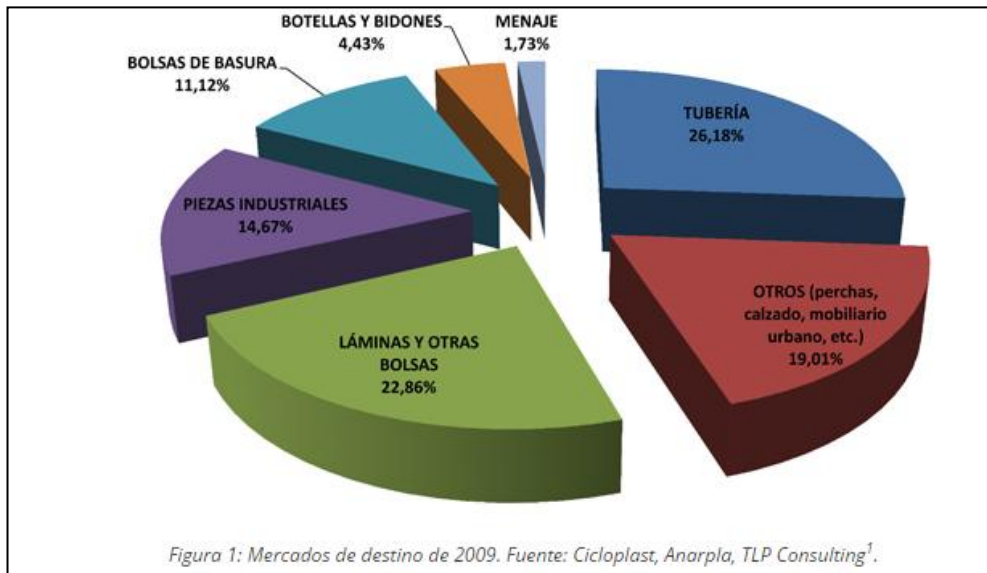
Gràfic 2.1
Producció de plàstic per sectors

En aquest gràfic podem comprovar que el sector d'envasos i embalatge és el clar dominant dintre del mercat dels plàstics, seguit molt de lluny pel sector de la construcció. La principal avantatge dels plàstics destinats als envasos és que el 70% provenen del sector alimentari.



Gràfic 2.2
Aplicació final de plàstic d'envàs a Europa

El gràfic mostra l'ús final del plàstic que es destina a la producció d'envasos. L'avantatge d'aquest fet és que gran part del reciclatge està a les nostres mans ja que la major part de producció de plàstics passa per nosaltres, el que vol dir que si recicléssim tots els envasos que consumim, el 41% dels plàstics tindria una nova vida i podrien passar a formar part d'un altre objecte.



Gràfic 2.3
Usos del plàstic reciclat

Tot el plàstic que finalment s'ha pogut reciclar, després de ser processat serà convertit majoritàriament en la sèrie de productes que mostra el gràfic adjuntat.

3. Introducció a l'extrusió

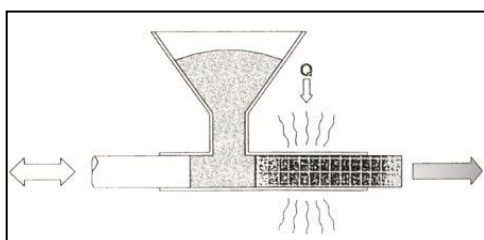
3. Introducció

3.1 Que és?

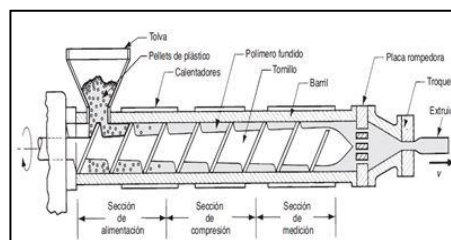
La paraula extrusió prové de la paraula llatina "extrudere" que significa expulsar.

Extrusió és la transformació d'una matèria prima en un producte continu amb una secció transversal definida i amb una forma fixa. Per aconseguir-ho es fa passar la matèria a pressió i temperatura constants a través d'un orifici de sortida que li dona la forma.

Amb paraules més tècniques, podríem definir l'extrusió com aquell procés de premsat, modelatge i conformat d'una matèria prima per crear objectes amb talls transversals definits, per mitja d'un flux continu de pressió, tensió o força.



Imatge 3.1
Extrusió per pistó



Imatge 3.2
Extrusió per sense fi

3.1.1 Per què una extrusora?

Un cop em vaig decantar per enfocar el meu treball de recerca en l'àmbit del reciclatge del plàstic i termes relacionats. Trobava adient fer una part pràctica que s'enfoqués en un àmbit que m'apassiona, la tecnologia.

Dins de la indústria del plàstic, les extrusores són utilitzades en quasi tots els processos ja que es fan servir per: pigmentar el plàstic, combinar productes plàstics entre ells, recerca de nous productes, reciclatge mecànic dels plàstics, producció de materials nous per extrusió, producció de grànuls com a matèria prima etc.

Veient el potencial de recerca que hem donava aquesta màquina hem vaig decantar per la seva construcció. Ja que la majoria de processos que era capaç de fer els podria elaborar a nivell domèstic.

3.1.2 Per a que es fa servir?

L'extrusió és molt versàtil i pot processar diferents tipus de materials ara com:

- **Ceràmiques**
Totxanes
- **Metalls:** Alumini, coure, plom, estany, Magnesi, Zinc, Ferro, Titani,
Canonades, barres, components per l'aeronàutica, bigues per la construcció d'edificis etc.
- **Plàstics**
Recobriments per cablejat, perfils de fulles de persiana, canals d'aigua, cinta adhesiva, pel·lícules per embalatge, filaments, fabricació de compostos etc.
- **Cautxús**
Recobriments per cablejat
- **Alimentació**
Cereals, pasta, carn, laminadures

Cal esmentar que les màquines extrusores no solament es fan servir per fabricar aquests productes, sinó que també al llarg dels anys s'han anat desenvolupant màquines a menor escala utilitzades en laboratoris per la recerca de la compatibilitat dels materials. Ja que alhora de l'extrusió el sense fi mesclarà els dos materials entre ells i resultarà un únic producte de la unió dels dos materials anteriors.

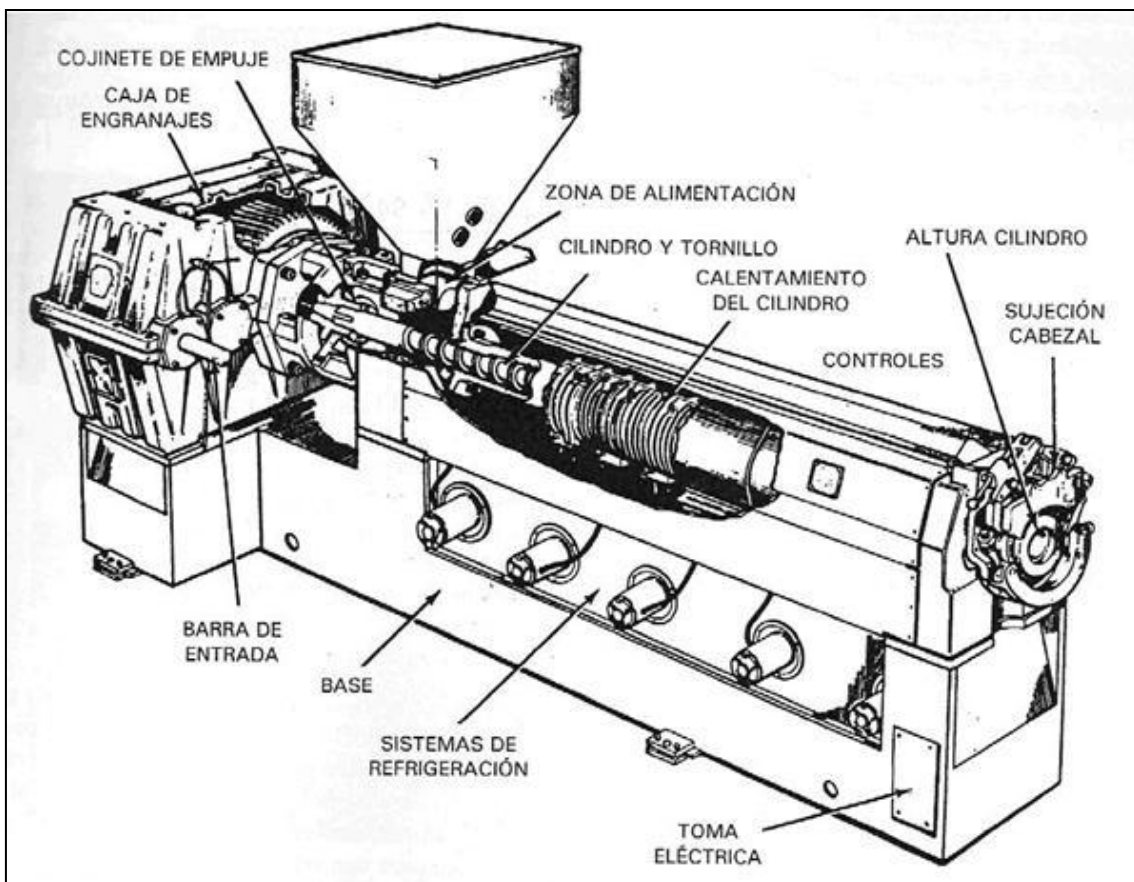
3.1.3 Avantatges de l'extrusió

- És un procés eficient ja que alhora de fer un producte quasi no es perd matèria prima i per tan el 100% de la matèria es convertirà en material útil.
- Un cop a començat el procés pot estar funcionant les 24 hores, ja que necessita molt poca supervisió, al ser un procés automatitzat.
- Es poden fabricar materials amb molt poc gruix.

3.1.4 Desavantatges

- La geometria del producte ha de ser sempre la mateixa.
- El diàmetre del material és irregular ja que quan el producte surt a l'exterior tendeix a expandir-se. Per tant, calcular el grau d'expansió amb exactitud resulta molt complicat.

3.2 Parts d'una maquina extrusora de plàstic



Una màquina extrusora esta dissenyada per efectuar quatre funcions bàsiques: escalfar, fondre, mesclar i pressuritzar. Aquestes funcions es duen a terme en tres zones de la màquina:

3.2.1 Zones

Zona d'alimentació

Els grans dipositats a la tremuja es col·lecten i són transportats fins al cargol sense fi ⁴

Zona de compressió

Es comprimeixen els grànuls de plàstic per extreure l'aire contingut

Zona de dosificació

La massa plàstica es fon fins aconseguir la viscositat òptima per l'extrusió⁵ del material

3.2.2 Tremuja o tolva

La tremuja o tolva és un element molt fàcil de reconèixer en una màquina d'extrusió. Té forma d'embut i sol estar situada a la part superior de la màquina, pot tenir forma rectangular o circular. És on es col·loquen els pelets de material plàstic per l'alimentació continua de l'extrusora.

Emmagatzema temporalment la gransa de plàstic (normalment es dissenyen amb un volum que pugui emmagatzemar dues hores de matèria prima) perquè després es precipiti a l'interior del tub sense fi.



Imatge 3.3
Tremuja industrial (fàbrica Baexmo)

Les màquines d'extrusió industrial fan arribar la matèria prima dins la tremuja gràcies a un sistema d'aspiració.

Aquest, aspira paulatinament gransa de plàstic d'uns grans dipòsits i la va abocant a la tremuja.

Si no disposessin d'aquest sistema, la tremuja hauria de tenir unes grans dimensions per poder-hi abocar tot el material plàstic que processen les màquines en un dia.

⁴ Cargol sense fi també anomenat cargol d'Arquímedes. Es basa en un cargol que es fa girar per dins d'un cilindre buit amb l'objectiu de transportar matèria.

⁵ Extrusió, procés realitzat per obtenir productes amb una secció transversal definida i fixa.

Un altre manera de fer arribar la matèria prima dins la tremuja és mitjançant un cargol d'Arquímedes. Aquest mètode no està molt estès per dues raons: pel seu cost i perquè requereix més espai.

En el disseny d'una tremuja s'ha de tenir en compte l'angle de les seves parets, ja que si es fabriqués amb un angle inadequat el material es quedaria estancat i es pararia la producció. Per assegurar que aquest fet no s'ocasioni, les màquines solen incorporar sistemes vibratoris o cargols sense fi per ajudar a la precipitació dels grànuls.

És molt important mantenir en tot moment el flux de matèria prima que s'aboca a la màquina i assegurar sempre que la màquina no es quedi sense plàstic per processar. Per assolir-ho les indústries incorporen a les seves màquines sistemes d'alarma que avisen d'un baix nivell de matèria al dipòsit. De tal manera que si en algun moment a la màquina li manqués plàstic per processar, el producte sortiria defectuós a causa de l'entrada d'aire al dipòsit.

3.2.3 Camisa o cilindre

La camisa o cilindre és un tub que conté el cargol sense fi en el seu interior. Aquest tub és una de les parts més resistents de tota la màquina ja que està sotmès a elevades temperatures i la fricció provocada pel cargol sense fi.

Les mesures del tub venen condicionades a partir del cargol, donat que el tub s'haurà de fabricar amb unes mesures molt precises per tal que quan introduïm el cargol quedi el mínim espai possible entre aquests dos cossos. Si no fos així el sense fi no podria fer avançar eficientment el plàstic per l'interior del tub.

La camisa consta de dues parts: la boca d'alimentació i la zona d'escalfament. La boca d'alimentació forma la primera part del tub, aquesta ha de tenir una temperatura inferior a la resta del cilindre, ja que sinó el material s'adheriria a les parets de l'extrusora a causa de la calor i dificultaria el pas de la gransa.

La zona d'escalfament és on el plàstic agafarà temperatura per passar a estat viscos. Al final del cilindre és on la temperatura serà més elevada. Per mantenir una temperatura regular durant tot el recorregut del plàstic dins el tub. Aquest es sol aïllar amb fibra de vidre o feltre.

El material del tub ens ha de garantir tres propietats bàsiques:

- Màxima durabilitat
- Alta transferència de calor
- Mínima dilatació amb la calor



Imatge 3.4
Camisa i sense fi



Imatge 3.5
Extrusora

3.2.4 Sistema de refrigeració

En una màquina d'extrusió podem trobar el sistema de refrigeració al voltant del cilindre. La funció d'aquest és tal com el seu nom indica refrigerar el tub per tal que la temperatura no augmenti fins al punt de cremar el plàstic.

Tot i que aquestes màquines disposen d'un termòstat⁶ que controla en tot moment la temperatura de la resistència, el material polímer que hi passa per dins el cargol sense fi al escalfar-se tendeix a fer augmentar la temperatura del cilindre. Per aquest motiu, és necessari el sistema de refrigeració.

Aquest sistema funciona per mitjà d'un fluid, un gas o senzillament aire.

3.2.5 Motor



El motor és qui donarà l'energia al sistema per produir el transport del polímer i la seva extrusió a través de la boqueta.

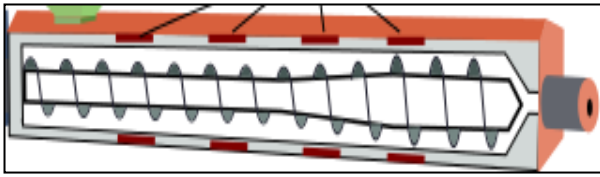
Els motors que trobarem a les màquines d'extrusió són motors reductors, és a dir giren

⁶ Termoestat, és un sistema de control simple que obre o tanca un circuit en funció de la temperatura.

lentament però alhora tenen una gran força de gir. Els motors moderns utilitzats són de corrent continu, aquests permeten modificar fàcilment les velocitats de gir i a més són poc sorollosos.

3.2.6 Cargol sense fi

La part bàsica d'una extrusora és el cargol sense fi, ja que les altres característiques de la màquina giren al voltant d'aquest. Consisteix en un tub allargat rodejat per un filet helicoidal.



Imatge 3.6
Cargol sense fi dins de la camisa

Està situat dins de la camisa o cilindre, i la seva funció és bombejar el material plàstic cap a la sortida del tub amb una velocitat i condicions precises. Mentre el cargol va

empenyent el plàstic cap a la sortida del tub, aquest es va fonent fins a quedar en estat líquid degut a la temperatura que generen les resistències (col·locades fora el cilindre).

Un dels principals objectius del cargol, a més d'arrossegar el material fins la sortida del tub, és fer augmentar la pressió del plàstic que es troba dins el tub, per tal d'extreure tot l'aire que pugui contenir. Això ho han aconseguit creant el mínim espai possible entre el cilindre i el cargol. Però el principal augment de pressió l'aconsegueixen fabricant un sense fi a on el diàmetre d'aquest vagi de menys a més. És a dir, comenci amb un diàmetre X i aquest vagi augmentant a mesura que avancem pel sense fi.

Les principals característiques a tenir en compte alhora de fabricar o comprar un cargol sense fi són: el seu diàmetre, la longitud, l'angle del filet i el pas de rosca⁷. Degut a les diferents propietats que presenta cada plàstic com la viscositat, l'elasticitat, la calor específica, la temperatura de fusió o el coeficient de fricció, és molt habitual que les empreses tinguin diferents cargols sense fi per treballar un tipus de plàstic o un altre. Perquè no tots els plàstics necessiten ser processats de la mateixa manera.

⁷ Pas de rosca és la distància entre dos punts homòlegs del filet d'un cargol o d'una femella, mesurat paral·lelament al seu eix.

3.2.6.1 Importància del disseny

Alhora de comprar un cargol sense fi per una màquina extrusora, és molt important informar-se de les mides d'aquest, ja que serà un factor que afectarà directament a la producció de la nostra màquina. Haurem de tenir present que, en un cargol sense fi d'extrusió, les mides més rellevants són la longitud i el diàmetre.

Longitud: Quan s'escull la longitud s'ha de tenir en compte que a mesura que l'incrementem, també estarem incrementant el preu de la màquina. Però aquest increment de cost llavors es veurà traduït en un augment de producció, ja que al disposar de més longitud, podrem processar més material simultàniament. A més amb una longitud major, ens assegurem que el material arribi plastificat al final de la camisa i a part d'això, també aconseguirem un major mesclat del producte plàstic ja que haurà disposat de més recorregut per barrejar-se.

Per aquest motiu, quan es vol pigmentar un plàstic amb el mètode d'extrusió es sol fer servir un sense fi amb una longitud considerable per assegurar la total pigmentació del material.

Diàmetre: El diàmetre és la variable que influeix més directament alhora de definir la capacitat de treball de la màquina. És a dir quants Kg/h de plàstic pot processar. Essent el diàmetre directament proporcional a la productivitat.

Un augment d'aquest valor, ha d'anar sempre de la mà d'un augment de la longitud del sense fi, ja que si es vol aconseguir una major productivitat, haurem de garantir una bona plastificació. Per l'estreta relació que comparteixen aquests dos valors, alhora de comprar un sense fi sempre s'acostuma a especificar la relació longitud/diàmetre.



Imatge 3.7
Models de cargol sense fi

3.2.7 Plat trencador



Imatge 3.8
Plat trencador

Aquest suposa el punt de transició entre la extrusora i la boqueta. Consisteix en un disc amb diversos forats per on hi passarà el plàstic fos.

La funció d'aquest plat és de vital importància dins el procés, ja que encarà que tingui una estructura molt bàsica, s'ocupa de trencar el patró de flux

d'espiral que tenia el plàstic i el converteix en un longitudinal, a més és l'encarregat de fer augmentar la pressió dins la camisa, perquè només deixa passar una part del plàstic cap a la boca de sortida, fent que l'altre extrem del material exerceixi pressió sobre el plat.

També serveix de filtre, ja que només pot passar pels seus forats el plàstic que està en estat viscos, ajudant així a retenir el plàstic encara sòlid fins que adopti la viscositat suficient per passar pels orificis del plat.

Per tal d'aportar més eficiència al filtratge del plàstic, les màquines extrusores solen incorporar uns filtres de malla just davant del plat trencador. A mesura que ens anem acostant al plat, els forats dels filtres es van fent més estrets, de manera que, només deixen passar el plàstic amb una certa viscositat i atrapen les impureses. Haurem de tenir present que, aquests filtres s'han de canviar amb una certa regularitat ja que pateixen desgast.

3.2.8 Boqueta

La boqueta es troba a l'extrem de la màquina, i la seva funció principal és donar la forma desitjada al nostre producte, perquè després surti a l'exterior amb una forma geomètrica definida.

Existeixen boquetes de totes les mides i formes per tal d'obtenir un producte final amb una o altre geometria. Alhora de dissenyar una boqueta el principal objectiu és que quan el material surti pateixi el mínim esforç possible, ja que el punt de sortida és la part més crítica de tot el procés. De manera que una sola variable pot fer que el producte no surti amb les mides desitjades.

Tot i l'avançada tecnologia que han incorporat al llarg dels anys les boquetes, resulta molt difícil que el material surti amb les mides exactes de la boqueta ja que els polímers tenen memòria. El que vol dir això, és que recorden els esforços que han patit i l'orientació dels fluxos que han tingut durant el procés d'extrusió. A part d'això quan surten de la boqueta tendeixen a contraure's fent així que el producte final quedi més estret que la forma originària.

Degut a aquests factors, l'extrusió no seria una bona opció per fabricar productes amb una forma geomètrica complexa sinó que, està més enfocada a la producció de productes amb angles suaus o formes parabòliques o hiperbòliques.

Alhora de fabricar o comprar una boqueta, els paràmetres més importants són el seu diàmetre i l'obertura de sortida. Excepte en el cas de les boquetes circulars que es poden fer servir per varis productes i diferents condicions. Quan es dissenya una boqueta s'ha de tenir en compte que i hagi radis amplis en totes les cantonades, evitar canals estrets o petits i parts profundes, per tal d'aconseguir que el plàstic no es quedi atrapat i solidifiqui obstruint així la sortida.



Imatge 3.9
Models de boqueta

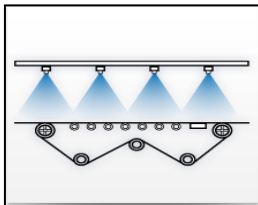
3.2.9 Sistema de refrigeració del producte

El sistema de refrigeració el trobarem ja no com una part de la màquina, sinó com un sistema extern. Sol estar ubicat poc després de la boqueta i la seva funció és refrigerar el producte un cop surt de la màquina. Aquest procés és important, ja que si no el plàstic podria patir malformacions en la seva sortida, d'aquesta manera ens assegurem que tot quedi com una superfície sòlida.

Per dur a terme aquest procés les dues tècniques més esteses són:

- Refredament per ruixat
- Refredament per immersió

3.2.9.1 Refredament per ruixat



Imatge 3.10
Sistema de ruixat

El plàstic passa per dins d'una càmera plena de boquetes que ruixen aigua sobre el producte. Aquest sistema de refrigeració es fa servir per productes de gran diàmetre on les velocitats de producció són baixes, perquè aquest sistema requereix d'un valor més alt de temps per disminuir la temperatura.

3.2.9.2 Refredament per immersió



Imatge 3.11
Sistema d'immersió

El plàstic es fa passar per una tina plena d'aigua en constant bombeig per provocar així un intercanvi de calor entre el producte i l'aigua. Aquest mètode es fa servir quan la velocitat de producció és alta i necessitem refredar el producte ràpidament, no es sol fer servir amb productes de gran diàmetre.

3.2.10 Unitat d'arrossegament



Imatge 3.12
sistema d'arrossegament

És una part complementaria a la màquina d'extrusió i és l'encarregada tal i com el seu nom indica, d'arrossegant el plàstic un cop ha sortit de la màquina per així fer-lo passar per l'unitat de refredament. La velocitat del motor d'arrossegament s'ha de regular en funció de la velocitat de producció de la màquina, d'altra manera el material es podria trencar per les tensions que aquest fet podria provocar.

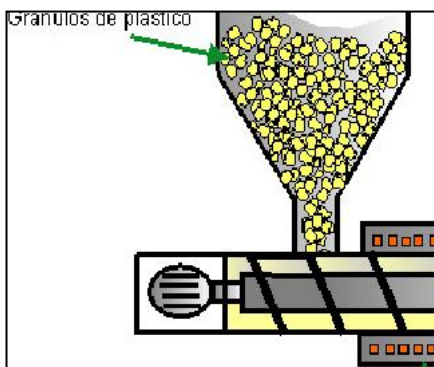
3.3 Funcionament

Una extrusora està dissenyada per tal d'efectuar sis funcions principals:

1. Transport de sòlids
2. Fusió
3. Transport del material fos
4. Mesclatge
5. Desgasificació
6. Conformatge

Aquestes funcions seran realitzades a mesura que el plàstic avanci per l'extrusora.

3.3.1 Transport de sòlids



Imatge 3.13
Entrada de la materia prima sòlida

El transport de sòlids és la primera etapa de l'extrusió. Aquesta funció es duu a terme a la tremuja i a l'interior del cilindre on el moviment és provocat pel sense fi. L'objectiu d'aquesta primera fase és transportar el polímer sòlid.

En una primera instància, el material polímer es troba a l'interior de la tremuja. Aquesta té la funció d'anar dosificant el plàstic que caurà cap al

sense fi.

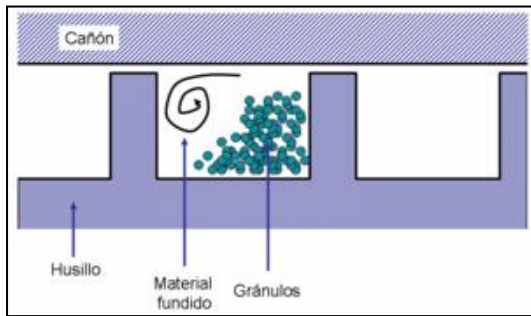
Per garantir que caigui el material necessari de plàstic i no col·lapsi la màquina, algunes tremuges tenen sistemes de comportes que deixen passar paulatinament el plàstic.

Un cop la gravetat no pot intervenir en el procés del transport, llavors l'encarregat d'aquesta funció serà el cargol sense fi, que anirà arrossegant el plàstic sòlid.

L'etapa de transport de sòlids finalitza quan es comença a formar una fina capa de polímer fos.

3.3.2 Fusió

La fusió comença quan el material plàstic comença a fondre's. Aquesta etapa es duu a terme a l'interior del cilindre. La fusió del material és provocada per l'escalfament del cilindre, gràcies a les resistències que l'envolten. En menor mesura, l'escalfament del material també és provocat per la fricció entre el material plàstic i el cilindre.



Quan el material entra al cilindre és transportat per mitjà del cargol sense fi. Durant el seu transcurs serà escalfat fins que la totalitat del material quedi com una substància viscosa.

Imatge 3.14
Esquema moviment dels grànuls

Les partícules que es trobin més a prop del cilindre seran les primeres que aconseguiran suficient energia per passar a estat viscos. En aconseguir aquesta massa viscosa podran avançar per l'espai que hi ha entre el sense fi i el cilindre.

3.3.3 Transport del material fos

Un cop el material plàstic s'hagi fos, l'encarregat de transportar-lo fins la boqueta del cilindre serà el sense fi.

3.3.4 Mesclatge

El mesclatge es produeix quan el sense fi està transportant el material fos fins a la boqueta. El mateix sense fi és l'encarregat d'anar mesclant tota la substància fosa. La seva funció és homogeneïtzar la totalitat del material perquè el resultat sigui el més uniforme possible fent que tot el producte final tingui les mateixes propietats físiques.

3.3.5 Desgasificació

El procés de desgasificació també es produeix quan el sense fi transporta el material fos fins a la boqueta.

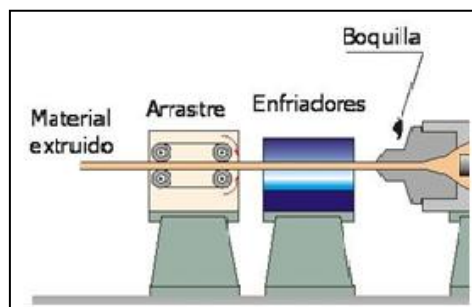
Quan dins el cilindre la pressió va augmentant, l'aire que ha pogut quedar retingut dins del plàstic fos va sent extret mitjançant un mecanisme.

Aquesta funció és de vital importància ja que si no el producte final tindria bombolles d'aire en el seu interior i no garantiria les perspectives de qualitat.

3.3.6 Conformatge

És la part final de l'extrusió. Es produeix a la boqueta de sortida i és quan se li dona la forma desitjada al polímer fos, segons la forma de la boqueta.

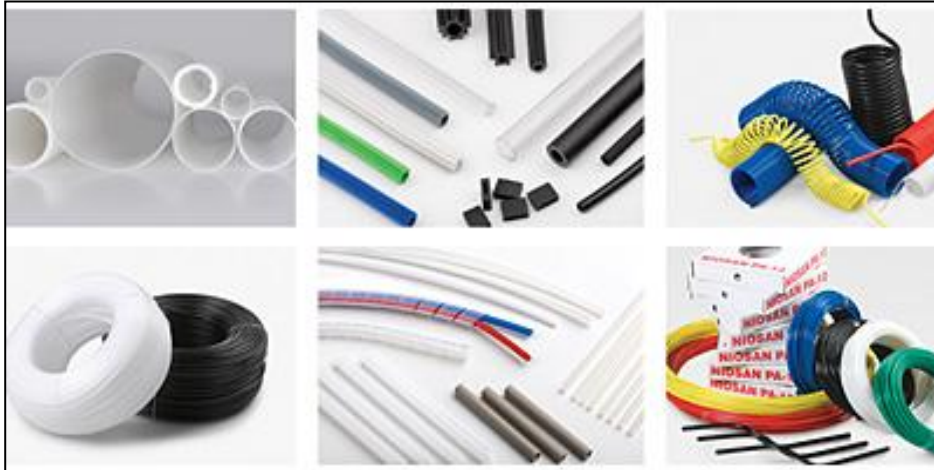
Justament després de sortir a l'exterior és primordial refredar el plàstic ràpidament per així obtenir una qualitat òptima.



Imatge 3.15
Conformatge producte

3.4 Productes obtinguts a partir de l'extrusió

- **Pel·lícules tubulars:** bosses, pel·lícules plàstiques
- **Tubs:** Transport d'aigua i drenatge
- **Recobriments:** Cables d'us elèctric i telefònic
- **Perfils:** Fulles per persianes, Canals d'aigua
- **Làmines i pel·lícules planes:** Mantells per taules, cinta adhesiva
- **Monofilament:** Filaments, filaments per moquetes
- **Pel·letització i fabricació de compostos**



Imatge 3.16
Productes d'una extrusió

3.5 Variables

Dins del procés d'extrusió, existeixen moltes variables que poden modificar de forma notable el resultat final del producte. És per això que abans de l'elaboració d'un producte a gran escala és necessari estudiar molt bé les propietats del plàstic i fer moltes proves abans de començar a produir el producte.

Així doncs, és convenient tenir clares les variables més importants que afectaran aquest procés.

Durant el procés d'extrusió, l'operari de la màquina pot realitzar certes modificacions en els paràmetres del procés segons convingui com ara:

- La temperatura del cilindre de calefacció
- La pressió de la injecció
- La temperatura del motlle

Totes aquestes variables citades, estan íntimament relacionades entre elles i és difícil fer un senzill retoc només a una d'elles, ja que quan es canvia un valor d'una variable s'ocasiona un efecte domino que farà canviar alguns valors de les altres variables.

Com que la qualitat de la peça ve bàsicament determinada per la pressió dins el tub i la temperatura del cilindre. Podem considerar les variables que afecten directament a la pressió i temperatura com a variables principals, i com a variables secundaries aquelles que no venen determinades per les primàries, i que no afecten a la pressió i

temperatura del procés. Seguint aquest criteri podem classificar-les de la següent manera:

Variables principal

- Pressió d'injecció
- Velocitat motor
- Temperatura

Es poden considerar com a variables secundàries totes les altres entre les que cal destacar les següents:

- Quantitat de matèria prima que entra al sense fi
- Característiques del refredament
- Utilització d'assecadors

3.5.1 Temperatura d'injecció

La importància d'aquest paràmetre s'explica entenent que els materials polimèrics necessiten assolir una certa temperatura per obtenir unes condicions idònies de viscositat i fluïdesa per poder ser injectats. Però alhora la temperatura ha de ser suficientment baixa per no alterar les propietats químiques del polímer fent-li perdre així les propietats desitjades o cremar-lo.

Un cop fiquem la gransa en el tub sense fi aquesta per mitjà de la fricció provocada pel tub sense fi i les bandes calefactores s'anirà escalfant.

Normalment, la unitat d'injecció consta de tres a cinc zones amb diferents temperatures. Per tant, depenent de la zona i haurà més o menys temperatura. La temperatura de les zones dependrà de: la geometria del cargol sense fi, la viscositat del material, la longitud del tub etc. Habitualment la temperatura sol anar de menys a més a mesura que el plàstic avança pel tub.

El punt més crític de tot el procés el trobem a la boqueta, allà la temperatura ha de mantenir-se uniforme pels següents motius:

- Evitar que es formi un tap per la sinterització⁸ del material
- Afavorir l'arrossegament del material
- Prevenir temperatures massa altes que puguin afectar els mecanismes
- No causar la degradació del material a causa de l'estrenyiment d'aquella zona

També s'ha de tenir en compte que la zona d'alimentació de la màquina, s'ha de mantenir a baixa temperatura per no fondre el material abans d'entrar al cargol.

Com definir la temperatura de les resistències

- La temperatura òptima d'extrusió és aquella que transforma el plàstic en un estat viscos en el que el motor no ha de fer grans esforços per fer avançar el polímer a través del cilindre.
- Cada tipologia de polímer requereix d'una temperatura diferent durant el procés ja que tots ells tenen diferent pes molecular i per tan un índex de fluïdesa diferent.
- Per saber si la temperatura és l'adient ens haurem de fixar en el producte final, ja que les conseqüències de l'elecció de la temperatura es veuran reflectides sobre la superfície del material extruït juntament amb el seu grau de cristal·lització⁹.

3.5.2 Velocitat motor

L'objectiu principal de tota fàbrica d'extrusió és aconseguir el màxim material extruït per hora, i per tant el motor ha d'anar tan ràpid com sigui possible.

Alhora de fixar la velocitat s'ha de tenir en compte que el material polímer necessita estar un cert temps dins del cilindre per fondre's i per tan no es pot forçar la velocitat del motor perquè això ocasionaria defectes de fabricació.

⁸ Tractament tèrmic d'una pols, ceràmica o metall a una temperatura inferior a la de fusió amb l'objectiu d'augmentar la resistència mecànica del producte.

⁹ El grau de cristal·lització indica l'ordre estructural d'un sòlid, és a dir si les seves molècules es troben disposades amb ordre i periodicitat.

4. Muntatge i disseny de l'extrusora

4.1 Recol·lecció d'informació

Quan vaig decidir dur a terme la construcció d'una màquina extrusora tenia clar que el més primordial abans de començar a dissenyar-la i posteriorment construir-la, era recopilar informació sobre el funcionament d'aquestes. També vaig pensar que seria de gran utilitat pel meu treball poder accedir a una fabrica industrial d'extrusió per tal de poder veure el seu funcionament en directe, ja que només estudiant les extrusores sobre paper no en feia prou.

La part teòrica que vaig estudiar i posteriorment vaig plasmar en el treball, consisteix en tres temes: les parts, el funcionament i els productes que pot fabricar.



Imatge 4.1
Logo Baexmo

Per altre banda alhora de visitar les fàbriques, vaig tenir la sort de poder accedir a dos fàbriques d'extrusió, la primera s'anomena *Sternich* aquesta es dedicava a l'extrusió de plàstics amb la finalitat de fabricar cortines.

La segona s'anomena *Baexmo* i està situada a Martorell, aquesta extrudia el plàstic per tal de fabricar vies hospitalàries de PVC.

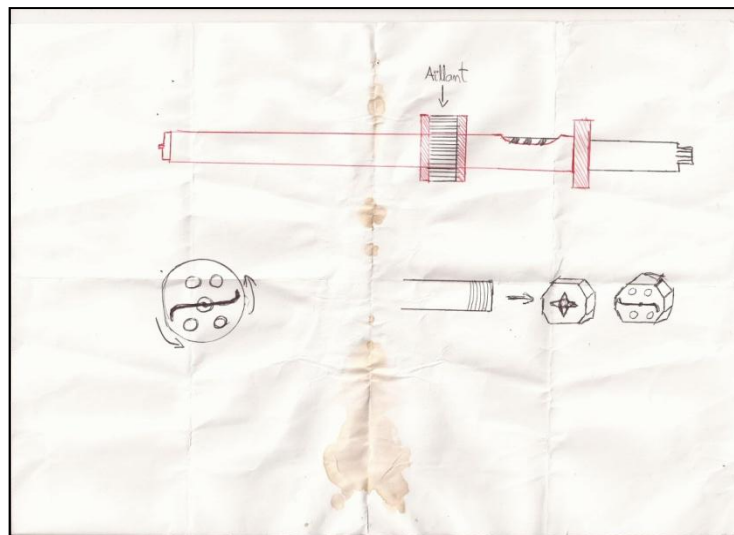
En aquestes fàbriques vaig poder aprendre com funcionava la industria en la qual centraria el meu treball i a més vaig establir molt bon contacte amb la segona empresa, fet que m'ha ajudat alhora de solucionar dubtes sobre el muntatge i per aconseguir peces i matèria prima per a la màquina.

4.2 Primers dissenys

Alhora de dissenyar la màquina el meu plantejament inicial era aconseguir que el seu funcionament fos el més semblant possible a les màquines d'extrusió que havia observat a les fàbriques. Sempre tenint en compte les meves limitacions de pressupost i temps.

Per agafar idees vaig buscar per Internet gent que hagués dut a terme el mateix projecte que jo. Trobar aquesta informació hem va permetre inspirar-me en els seus treballs i pensar vies de millora que podria aplicar a la meva màquina.

El primer disseny va ser només del cos de l'extrusora deixant de banda així elements més secundaris com el motor o el sistema de refrigeració. El motiu de prioritzar aquesta part era que no sabia com podria fabricar-la ja que necessitava de maquinaria industrial per confeccionar-la.



Imatge 4.2
Dibuix esquema del primer disseny

Aquest és un esbós dels primers dissenys que vaig plantejar. Originàriament volia que el producte que sortís de la extrusora fos tallat per unes fulles que girarien gràcies a un acoblament d'arbre amb el sense fi, aprofitant així la seva energia de gir i estalviant-me un motor secundari per fer girar les fulles. Malauradament per motius de construcció no ho vaig poder incorporar a la màquina.

Un altre diferència que dista del disseny final és l'aïllant que separa dos zones del tub, el seu objectiu era evitar que la temperatura afectes la boca d'alimentació de la màquina i desfés el plàstic abans de temps. Però finalment no va ser necessari.

Construcció de la màquina

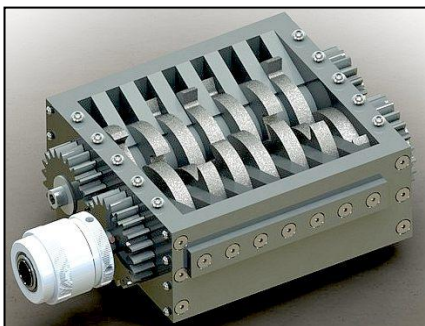
Després d'haver dut a terme una recollida exhaustiva d'informació sobre el funcionament del procés i la màquina que volia desenvolupar, el meu següent objectiu va ser aconseguir obtenir les parts i peces necessàries, citades a continuació, per tal de poder començar a construir la meua pròpia extrusora.

4.3 Trinxadora

Volia que la meua màquina fos capaç d'extrudir els residus plàstics que tenia per casa. Per això necessitava trinxar aquests productes per tal d'aconseguir una mida òptima de material plàstic perquè la meua màquina el pogués extrudir.

Per trinxar aquests productes vaig estar plantejant-me durant un temps construir la meua pròpia trinxadora. Tot i la funcionalitat que li hagués pogut treure, la seva construcció no va ser viable, no per la dificultat del muntatge d'aquesta si no per l'elevat cost que hem suposava produir les peces.

En segona instància vaig optar per comprar un producte ja fabricat, una màquina trinxadora de paper, de les que s'utilitzen per destruir documents. Després de mirar preus per Internet, vaig comprendre que el millor seria anar a una botiga de segona mà per comprar-ne una. Al principi no estava segur de si tindria suficient potència per trinxar plàstics, però a les especificacions del producte s'anunciava que podia trinxar targetes de crèdit per tan vaig creure que podria trinxar com a mínim un plàstic fi.



imatge 4.3
Primera opció de trinxadora



imatge 4.4
Trinxadora paper

4.4 Cargol sense fi

El cargol sense fi, és la peça bàsica de la màquina, ja que totes les altres peces giren entorn les mides d'aquest.

Al principi no tenia coneixements sobre que podria utilitzar per fer la funció de cargol sense fi dins de la meva màquina extrusora. Primer de tot hem vaig plantejar fer-me construir un cargol sense fi en un torner, encara que ho vaig acabar descartant per l'elevat cost que suposava.

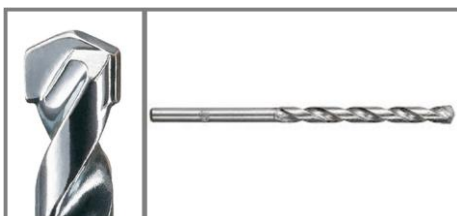
Llavors vaig tenir la idea de fer servir una broca de trepant com a cargol sense fi, ja que els dos tenen la mateixa forma, encara que fan funcions diferents. Per provar si la meva idea seria viable vaig provar-ho a petita escala amb una broca que tenia per casa. Al veure que funcionava vaig anar a buscar una broca adient per la meva màquina.

La primera broca que vaig comprar, servia per perforar fusta. Les broques de fusta es caracteritzen per acabar amb punta i per tenir un canal molt ample i profund. Finalment va resultar que aquella broca no aniria bé ja que al tenir un canal profund, l'eix era massa prim i es podria deformar amb les elevades temperatures a les quals seria exposat durant el procés d'extrusió. A més el canal al ser tan profund arrossegava massa plàstic i podria haver obstruït la màquina.



Imatge 4.5
Broca per fusta

La segona broca que vaig comprar estava pensada per perforar pedra, les característiques bàsiques d'aquestes són que tenen un canal moderadament profund i la punta de la broca és arrodonida. Aquesta complia amb les necessitats ja que tenia un eix gruixut i acceptaria una quantitat òptima de material.



Imatge 4.6
Broca per pedra

4.5 Motor

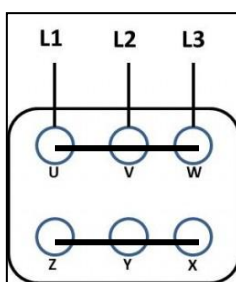
El motor és el cor de la màquina extrusora, sense ell res funciona, és per aquest motiu que necessitava assegurar-me de tenir el millor motor que pogués aconseguir per tal de que a la màquina no li faltés potència a causa d'aquest.

El motor que necessitava havia de complir els següents paràmetres:

- **Constar de mecanisme reductor:** Baixa velocitat però molta força.
- **Sistema monofàsic:** Aspecte primordial per poder fer-lo funcionar amb la xarxa domèstica 220V.
- **Baix cost**

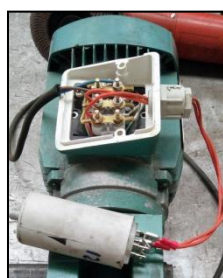
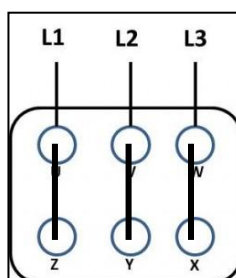
Després d'estar comparant varies possibilitats, per aconseguir que els motors tinguessin els requisits que necessitava, com ara adaptar un regulador de freqüència per reduir la velocitat. Vaig tenir la sort de visitar el taller industrial Geis, on després de parla'ls-hi del meu treball, i de les peces que hem mancaven van decidir deixar-me un motor que encaixava perfectament amb les meves necessitats.

Hem van dir que l'havien utilitzat com a motor d'ascensor per pujar els productes de la fàbrica. Per tan, segur que tindria la suficient potència per alimentar una extrusora. L'únic que vaig haver de retocar del motor va ser la caixa de borns, que estava configurada per treballar en una xarxa trifàsica 380V.



Per canviar de trifàsic a monofàsic s'han de seguir uns passos molt senzills:

En aquest dibuix, els borns estan connectats en una posició que s'anomena d'estrella. En aquesta posició el motor funcionarà amb 380V.



Si canviem les plaques que uneixen els borns, i les disposem en l'anomenada connexió triangle aconseguirem fer funcionar el motor en una xarxa de 220V. Però per garantir la posada en marxa del motor haurem de substituir una fase per un condensador.

4.6 Camisa, tolva i boqueta

Aquesta part és el cos de la màquina. Per ella passa gairebé tot el procés d'extrusió, ja que el material durant el seu pas per la camisa serà escalfat, barrejat i comprimit fins aconseguir una massa viscosa i uniforme de plàstic.

Per tan aquest punt de la màquina havia de ser molt resistent, és per això que des de el primer moment vaig decidir que la fabricaria a partir de materials fèrrics, perquè són resistents a les temperatures a les quals els exposaria i podrien suportar les altes pressions i el fregament amb el sense fi.

Sota els requisits que hem vaig marcar per fabricar-la, era conscient que a casa no tenia els medis suficients per dur-la a terme. Així que aprofitant la ben entesa que havia tingut amb el taller industrial Geis, vaig anar a preguntar juntament amb el disseny que tenia en ment plasmat en un paper, si es prendrien la molèstia d'ajudar-me en la seva construcció. Molt amablement van dir que sí i al cap d'una setmana ja havien pogut fabricar i soldar les peces.

Parts

- **Camisa:** havia de ser un tub de ferro amb un diàmetre molt semblant al del cargol sense fi, de manera que el sense fi encaixes gairebé a la perfecció dins del tub, per així optimitzar l'arrossegament del material.

Un altre requisit important que havia de complir era constar d'un gruix de paret considerable per evitar possibles deformacions per culpa de la calor

- **Tolva:** no requeria de cap especificació important, així que vaig decidir que el millor seria tallar un tub i xafar un extrem del tub amb un martell de manera que adoptes forma d'embut.
- **Boqueta:** és un cargol que s'acobla al final del tub. Per aconseguir que s'adaptés, amb un torn vam haver de donar-li forma de rosca a l'extrem del tub. La boqueta està pensada per poder-hi adaptar diferents boquetes per així poder obtenir més d'una forma diferent de producte final.



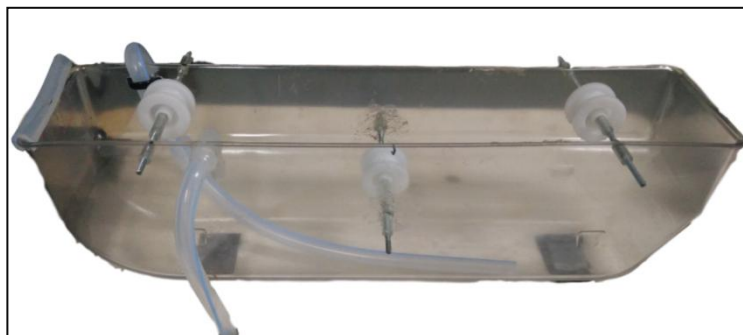
Imatge 4.7
Tolva, camisa i boqueta

4.7 Sistema de refrigeració

El sistema de refrigeració és l'encarregat de refredar el fil plàstic un cop surt per la boqueta. Alhora de construir-lo tenia dues opcions, decantar-me per la refrigeració mitjançant ruixat o per immersió. Finalment vaig decidir utilitzar la segona ja que no requeria de tan de temps i vaig considerar que aquesta era una part secundària de la màquina.

Per construir aquesta part vaig utilitzar un recipient de PVC, que serviria de piscina, i allà es produiria l'intercanvi de calor entre el fil i l'aigua.

Si l'aigua del recipient estigues estancada, s'escalfaria massa ràpid i al cap de poc temps ja no compliria la seva funció de refrigerar. Per evitar el fet vaig adaptar al sistema una bomba d'aigua que mantindria el fluid en constant moviment. L'aigua del circuit es transporta de la bomba d'aigua fins la piscina a través d'uns tubs de PVC.



Imatge 4.8
Sistema de refrigeració

4.8 Resistències

La funció de les resistències és escalfar el material plàstic perquè es torni una massa viscosa.

Al inici de la cerca de les resistències, no estava segur de quin tipus de resistència utilitzar ja que al mercat hi ha moltes de diferent forma i potència. Després de buscar i comparar vaig creure que el millor pel funcionament de la màquina seria utilitzar una resistència circular.

La principal avantatge d'aquesta resistència era que si l'adaptava al diàmetre del tub, la calor dissipada seria mínima, i per tan optimitzaria molt l'energia. També val a dir que no eren molt cares fet que m'ajudava molt a costejar-les.



Imatge 4.9
Logo Femach

Un cop vaig decidir quina resistència volia, feia falta comprar-la. La primera intuïció que vaig tenir va ser buscar per alguna botiga *online*, malauradament al ser un producte industrial, no va ser fàcil trobar-ne una.

Així doncs vaig decidir buscar alguna fabrica industrial que produís aquest tipus de resistències, per sort va resultar que hi havia una a Banyoles de nom *Femach*.

Quan vaig anar a visitar la fàbrica els i vaig portar la camisa de la màquina perquè així veiessin el que volia fer. De seguida es van involucrar molt en el meu treball i hem van ajudar a pensar propostes i possibles problemes que podrien sorgir segons la resistència que escollis.

Com que estàvem treballant a cegues, ja que ningú sabia del tot quina seria la millor opció o el que podria passar, vam decidir enviar-li un correu al distribuïdor de les resistències perquè ell òbviament tenia més experiència en aquest camp.

Finalment ens va recomanar comparar unes resistències flexibles de fibra de vidre. La principal avantatge respecte les altres era que amb aquestes podria escalfar de manera uniforme tota la camisa, a més a més eren econòmiques.



Imatge 4.10
Resistència opció 1



Imatge 4.11
Resistència opció final

4.9 Termòstat

El termòstat és l'aparell o transductor que regula la temperatura que produeixen les resistències, quan s'ha assolit la temperatura adient desenvolupa la funció d'interruptor i fa que les resistències no emetin més calor.

Al principi desconeixia quin termòstat seria el més indicat per les meves resistències, és per això que hem vaig començar a informar sobre el tema. Després de la busca vaig deduir que el termòstat que m'aniria millor seria un de digital, ja que era més interactiu i disposava de nombroses funcions, el problema era el preu ja que el seu preu era de 400€. Ja que no m'ho podia permetre, l'altre opció era comparar un termòstat manual, que també satisfesia les meves necessitats.

Podia escollir entre un termòstat commutador, que controlava la temperatura entre dos paràmetres o un termòstat bàsic que només controlava un paràmetre.

Abans d'escollir un dels anteriors se'm va acudir que podia trucar a la fàbrica *Baexmo* per veure si tenien algun termòstat que no utilitzessin, i si es dones el cas preguntar si estarien disposats a cedir-me'l. Afortunadament la seva resposta va ser positiva i hem van deixar un termòstat digital molt bo.

Desgraciadament al provar el termòstat digital amb un tester, vaig veure que no funcionava. Com a conseqüència finalment la màquina porta un termòstat manual, sense tanta precisió com l'anterior, però fa la funció



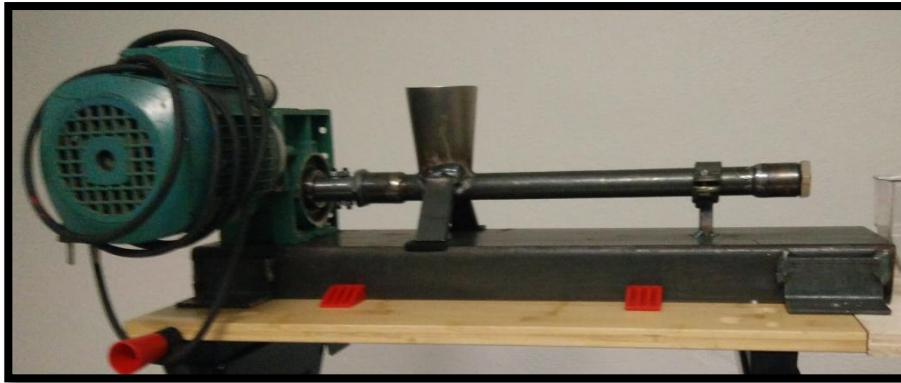
Imatge 4.12
Termòstat manual



Imatge 4.13
Termòstat digital

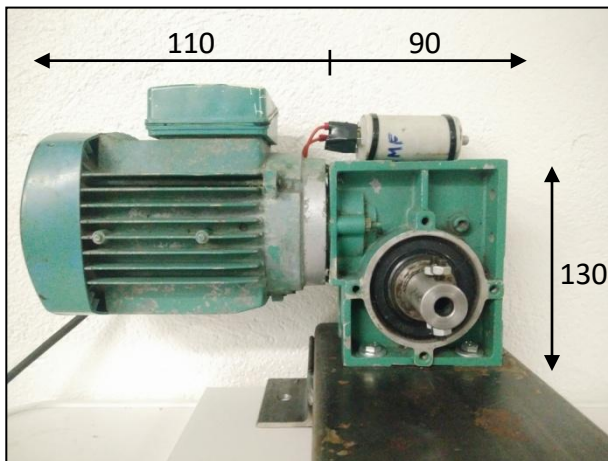
5. Peces i mides

5.1 Extrusora



Imatge 5.1
Extrusora

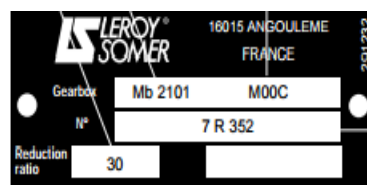
5.1.1 Motor



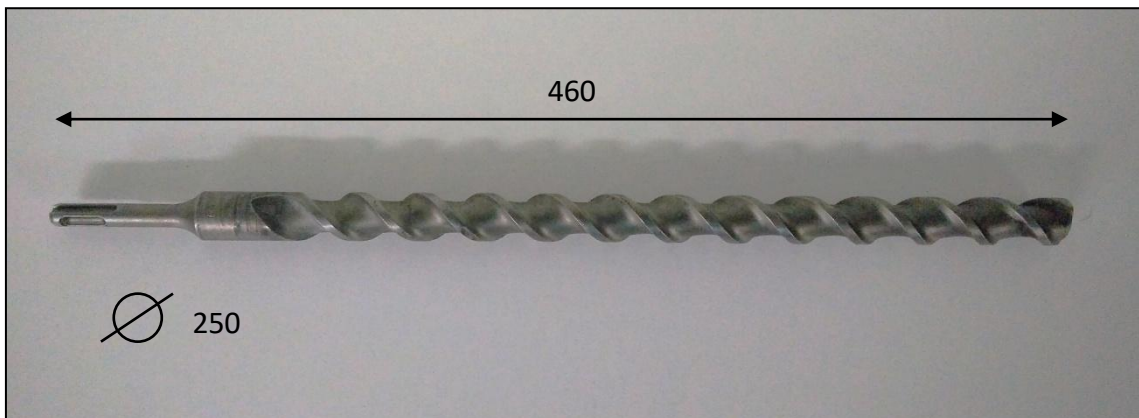
Imatge 5.2
Motor

Motor reductor trifàsic

Originàriament era un motor d'ascensor. Aprofitant la seva baixa velocitat de rotació i la seva força l'he fet servir com a motor de l'extrusora.



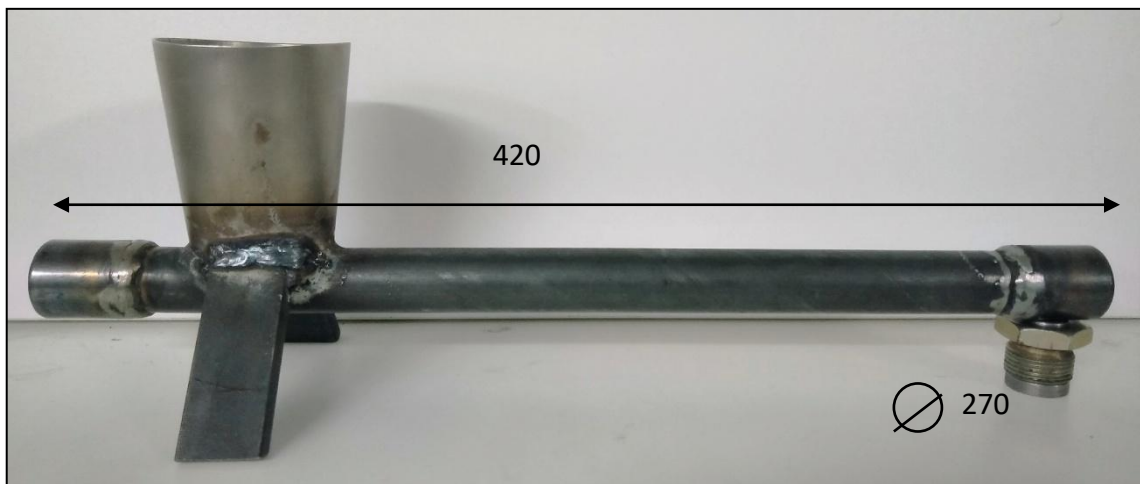
5.1.2 Cargol sense fi



Imatge 5.3
Broca SDS-PLUS 25X46mm

La seva verdadera funció és de broca per perforar pedra. Debut a la seva geometria de cargol sense fi, l'he aprofitat per fer-la servir com a tal.

5.1.3 Cilindre o camisa

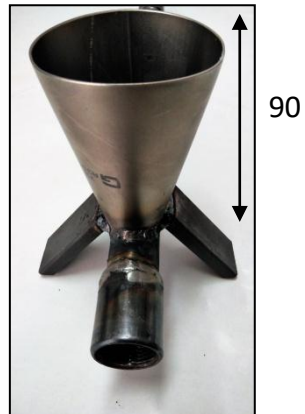
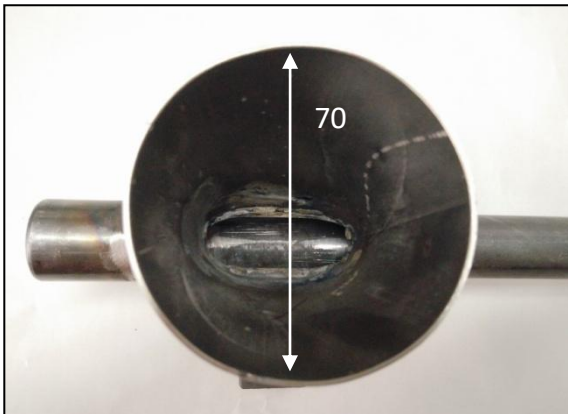


Imatge 5.4
Tub de ferro 270x420mm

Serveix per recobrir el cargol sense fi.

El diàmetre del tub i de la broca només es diferencien per 2mm per poder arrossegar el material per dins el tub amb eficiència

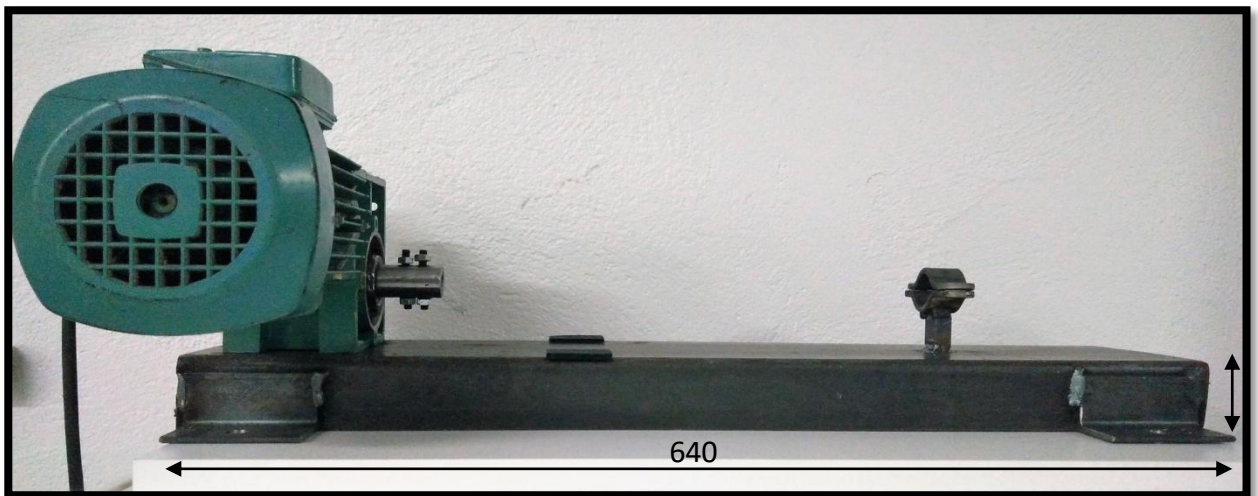
5.1.4 Tolva



Imatge 5.5
Cilindre 70x9mm

Originàriament era un cilindre, per fer-lo servir com a tolva es va haver de tallar i xafar amb un martell un extrem per tal d'imitar la forma d'un embut.

5.1.5 Plataforma de la extrusora



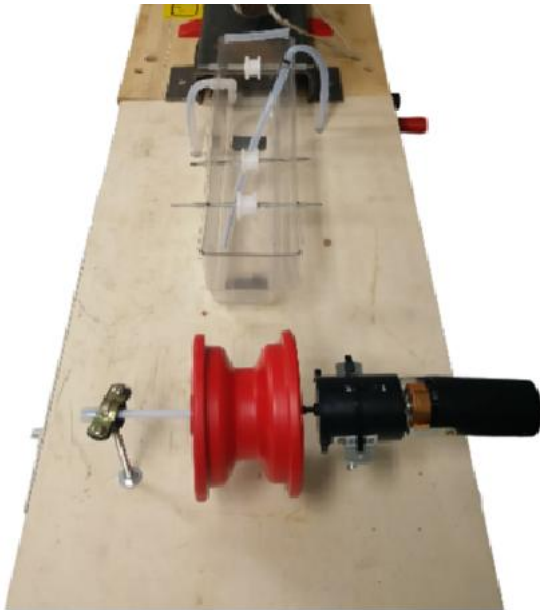
5.1.6 Conjunt boqueta



Imatge 5.6
Cilindres

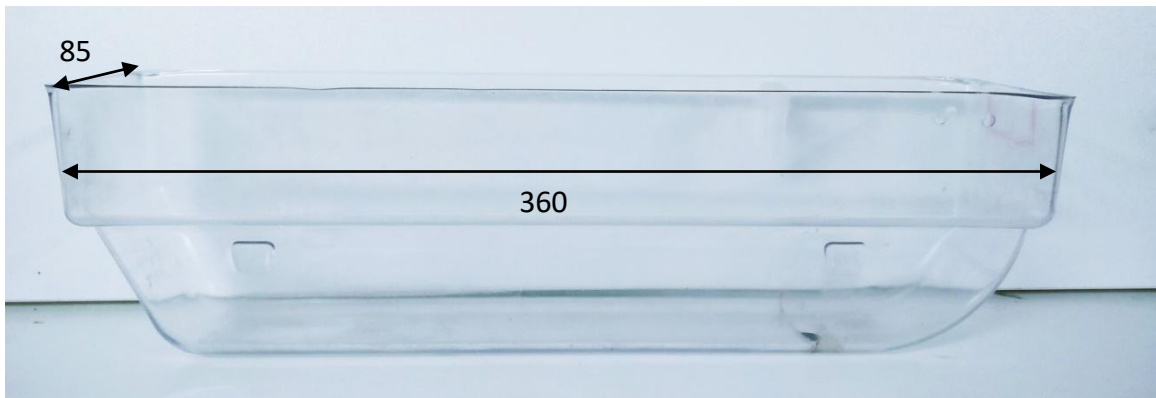
Aquest cargol serveix d'adaptador per fixar el cilindre, que donarà forma al producte, amb la camisa de l'extrusora. Disposa d'un segon cilindre amb un major diàmetre per obtenir un producte amb més gruix.

5.2 Refrigeració i tracció



Imatge 5.7
Refrigeració i tracció

5.2.1 Piscina de refrigeració



Imatge 5.8
Piscina PVC

Es tracta d'un recipient PVC, originàriament fet servir com a calaix de nevera. La seva aplicació dins de la màquina és de piscina, ja que el fil haurà de passar per el seu interior, aconseguint així la seva refrigeració per mitjà de l'aigua.

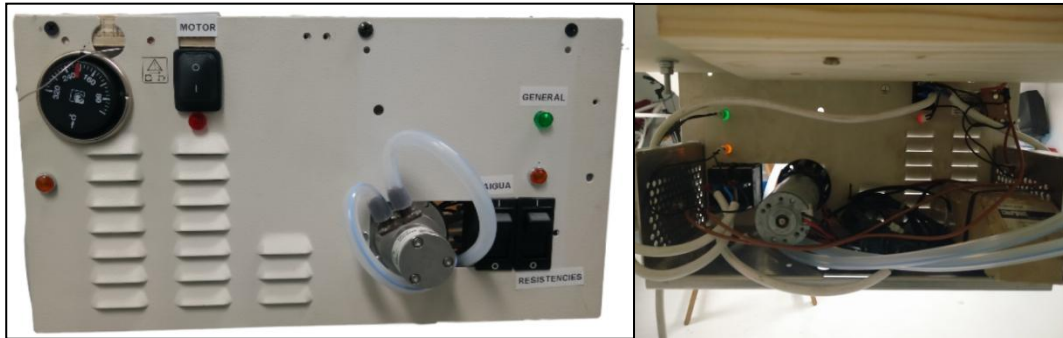
5.2.2 Bomba d'aigua



La seva funció consisteix en mantenir l'aigua de la piscina en constant moviment per tal d'evitar que l'aigua, que intercanvia calor amb el fil de plàstic per refrigerar-lo, s'escalfi amb rapidesa.

Imatge 5.9
Bomba d'aigua

5.3 Quadre elèctric



Imatge 5.10
Quadre elèctric

Darrere aquest quadre elèctric s'amaga un transformador per fer funcionar la bomba d'aigua i tots els altres elements elèctrics, com ara: LEDs, interruptors, cablejat, bomba d'aigua etc.

5.3.1 Transformador

Per tal d'adaptar la motobomba d'aigua amb els 230V de la xarxa he hagut d'instal·lar un transformador que redueix el voltatge fins a 12V.

5.3.2 Resistències

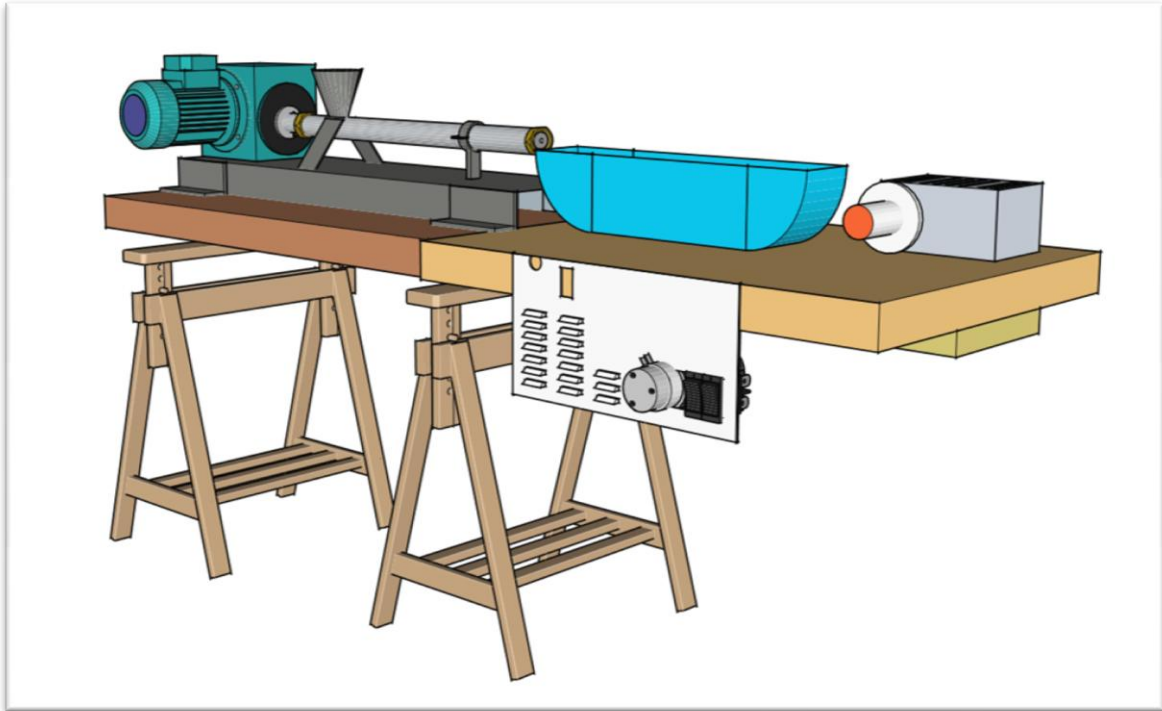
La resistència utilitzada és un fil flexible recobert de fibra de vidre.

230 Volts

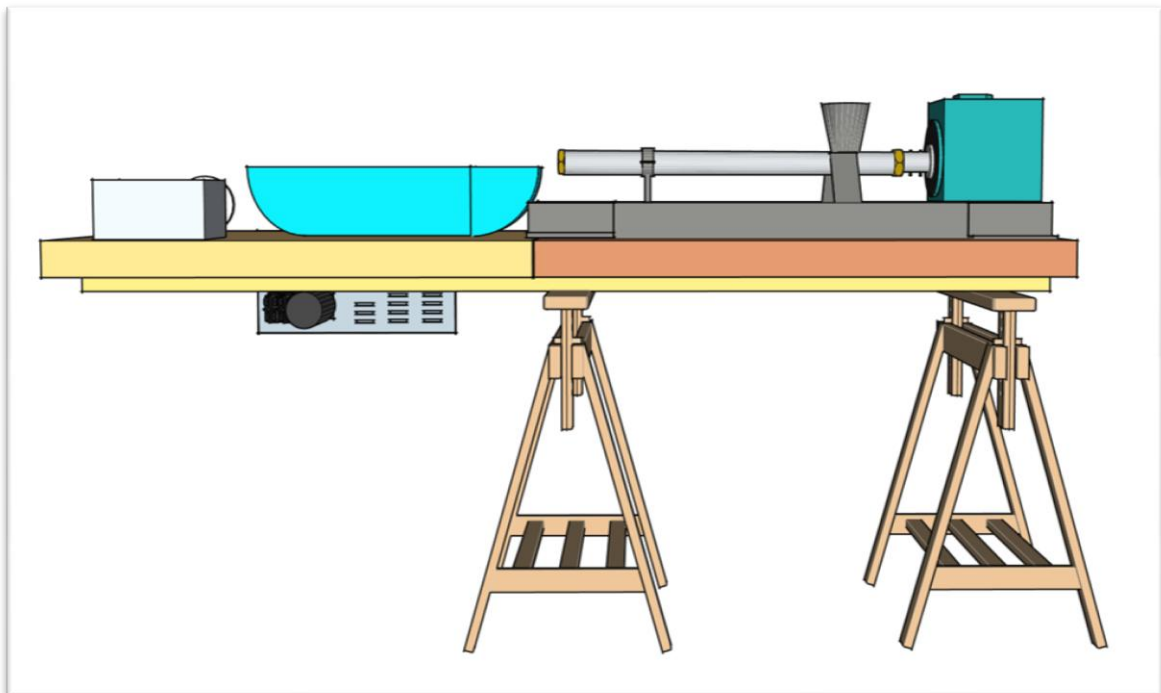
360 Watts

6. Model 3D de l'extrusora

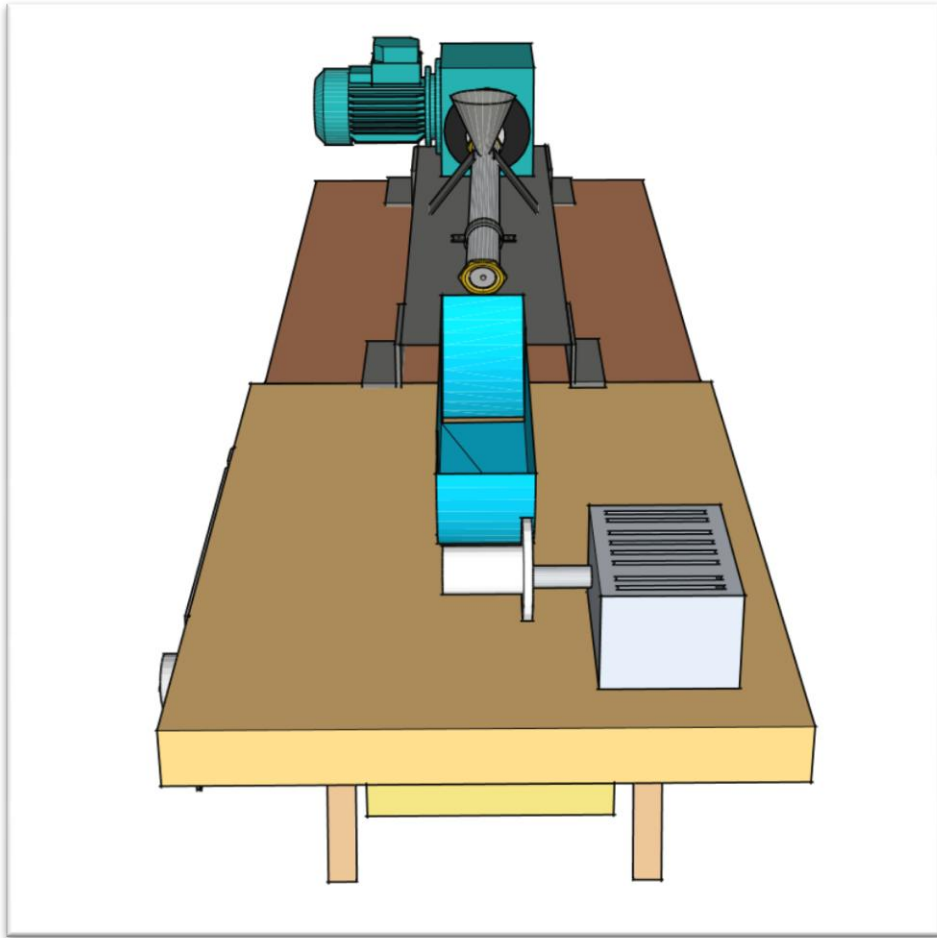
Les següents imatges les he creat a partir d'un software anomenat *SketchUp* . Consisteix en un programa pensat per dissenyar a nivell 3D. Les següents imatges il·lustren l'estructura de la meua màquina extrusora.



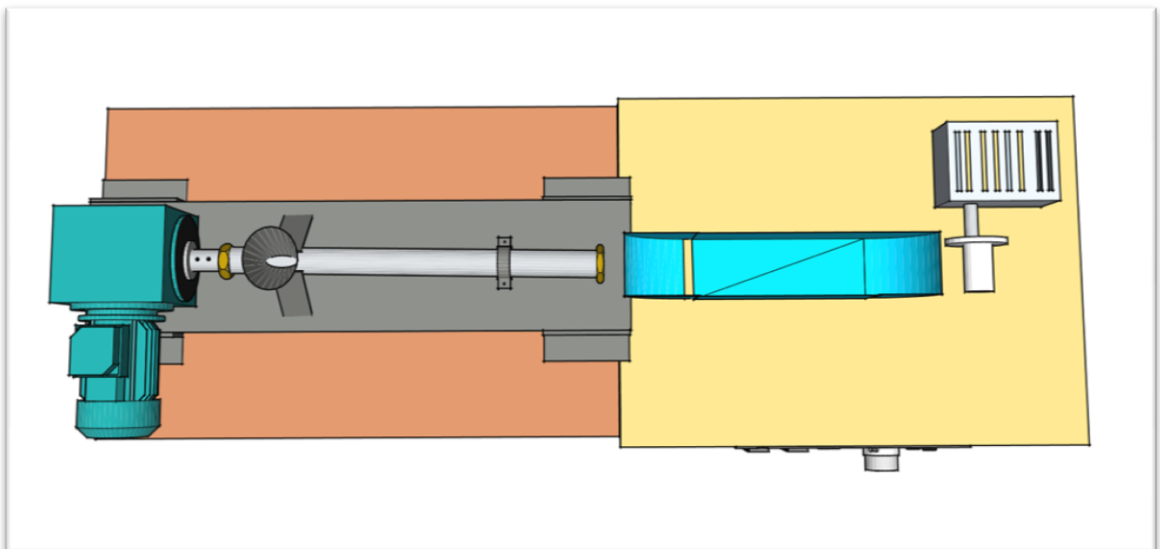
Imatge 6.1



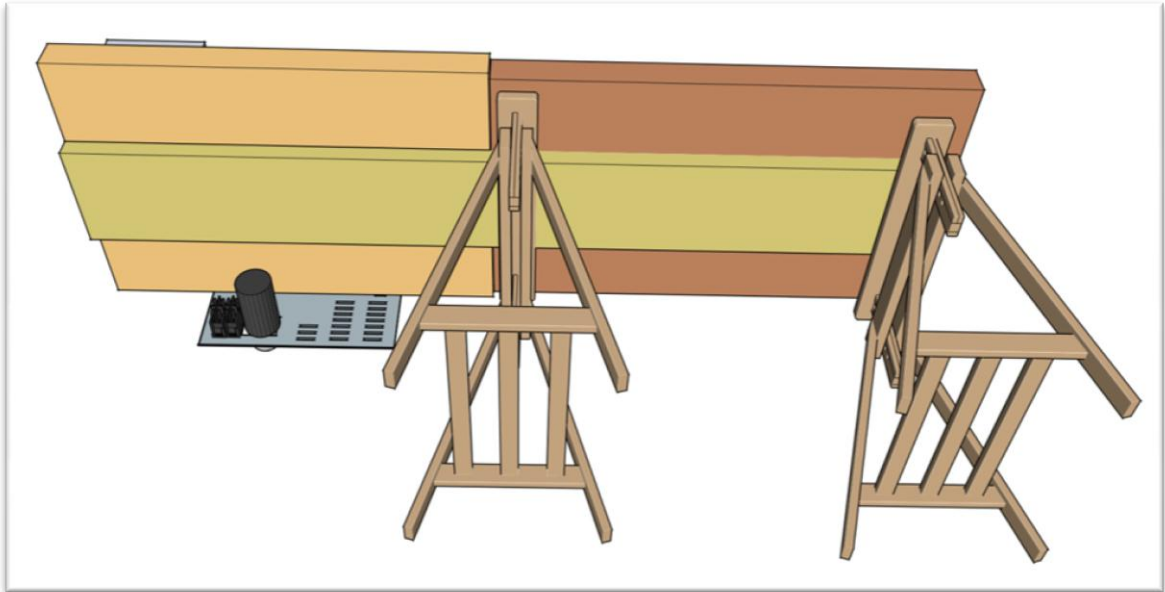
Imatge 6.2



Imatge 6.3



Imatge 6.4



Imatge 6.5



Imatge 6.6
Extrusora real

7. Proves amb l'extrusora

En aquest apartat s'especifiquen les diferents proves i assaigs que vaig haver de fer per tal de calibrar la màquina. En aquestes proves em vaig basar en mètodes experimentals per tal de perfeccionar el funcionament de la meva màquina. Mitjançant el mètode de prova-error i observant que succeïa en cada prova vaig aconseguir vèncer els diferents problemes que varen sorgir durant els primers assaigs amb la màquina.

7.1 Primera prova

Temperatura: Sense especificar (no disposava d'un termòstat)

Temps d'espera: 5 minuts

Resultat:



Massa sòlida poc definida i amb deformitats. Es pot observar que a l'extrem d'aquesta massa, el plàstic no ha arribat a la temperatura adient. El cos d'aquest producte té la viscositat adient però no la forma.

Imatge7.1

Resultat primera prova

Observacions:

- No s'ha utilitzat un regulador de temperatura.
- La part de la camisa no té aïllant tèrmic, fet que provoca una dissipació de la temperatura i representa un perill per l'operari davant el risc d'ocasionar lesions per cremada.
- La part de la boqueta no a arribat a la temperatura adient, fet que ha ocasionat l'obstrucció del plàstic a l'interior de la màquina.

Solucions:

- Incorporar un termòstat per tal de controlar la temperatura.

- Recobrir la camisa amb un aïllant tèrmic. (llana de roca)
- Redistribuir les resistències per tal d'augmentar la temperatura al extrem de la camisa.

7.2 Segona prova

Temperatura: 320 °C

Temps d'espera: 15 minuts

Resultat: No hi ha mostres del resultat ja que es val calcinar tot el producte.

Observacions:

- He excedit el límit de temperatura i s'ha cremat tot el plàstic.
- Després de recobrir la camisa amb aïllant tèrmic he fet augmentar el seu diàmetre, ocasionant així que quan el conjunt és recolzat sobre la peça de contenció, provoqui una certa inclinació al cargol sense fi. Aquest fet fa que el motor no treballi adequadament ja que durant el seu funcionament ha de vèncer la fricció que provoca el sense fi amb la camisa i com a conseqüència el motor es queda clavat en certs instants.

Solucions:

- Disminuir la temperatura.
- Pujar el motor d'altura.

7.3 Tercera prova

Temperatura: 160°C

Temps d'espera: 10 minuts

Resultat: El plàstic no ha arribat a la temperatura adient i no s'ha fos.

Observacions:

- El plàstic no s'ha fos.

Solucions:

- Augmentar temperatura i temps.

7.4 Quarta prova

Temperatura: 230°C

Temps d'espera: 12 minuts

Resultat:



Imatge7.2
Resultat quarta prova

He obtingut un fil mitjanament uniforme d'un color groguenc i amb algunes impureses en el seu interior. No s'observen bombolles d'aire al seu interior.

Observacions:

- El producte presenta impureses en el seu interior, probablement són fruit de l'anterior prova en la que es va cremar el material.
- El seu color groguenc també pot ser fruit del mateix motiu.
- Per aconseguir un acabat més uniforme serà necessari incorporar una unitat d'arrossegament.

Solucions:

- Netejar les impureses de dins la camisa de l'extrusora.
- Aconseguir una unitat d'arrossegament.

7.5 Cinquena prova

Temperatura: 230°C

Temps d'espera: 12 minuts

Resultat:



Finalment he aconseguit obtenir una qualitat de fil òptima, ja que és transparent, resistent, flexible i uniforme.

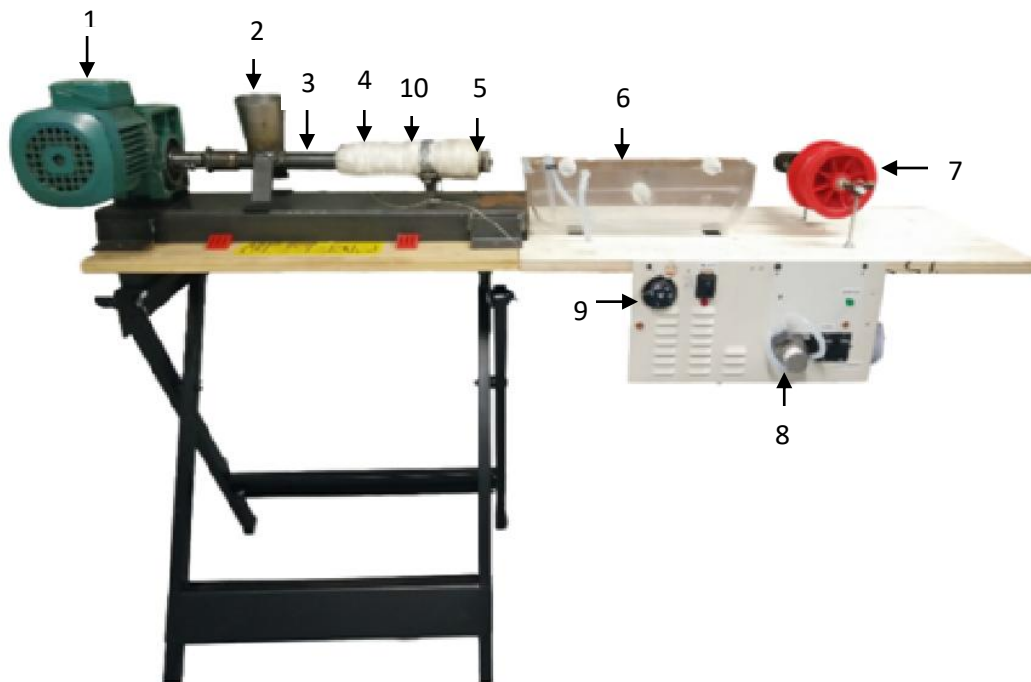
Imatge7.3

Resultat cinquena prova

Observacions:

- Gràcies al sistema d'arrossegament incorporat, un cop iniciat el procés de la màquina de forma manual, el sistema pot funcionar sense la necessitat de cap intervenció humana. És a dir que podrà anar fabricant metres de fil mentre tingui plàstic a la tolva.
- És convenient netejar la camisa després de cada prova, ja que acostumen a quedar residus plàstics adherits.

8. Funcionament de l'extrusora



8.1 Parts de l'extrusora:

- | | |
|----------------|------------------------------------|
| 1. Motor | 6. Piscina de refrigeració |
| 2. Tolva | 7. Unitat de tracció |
| 3. Camisa | 8. Bomba d'aigua |
| 4. Resistència | 9. Regulador de temperatura |
| 5. Boqueta | 10. Llana de roca (aïllant tèrmic) |

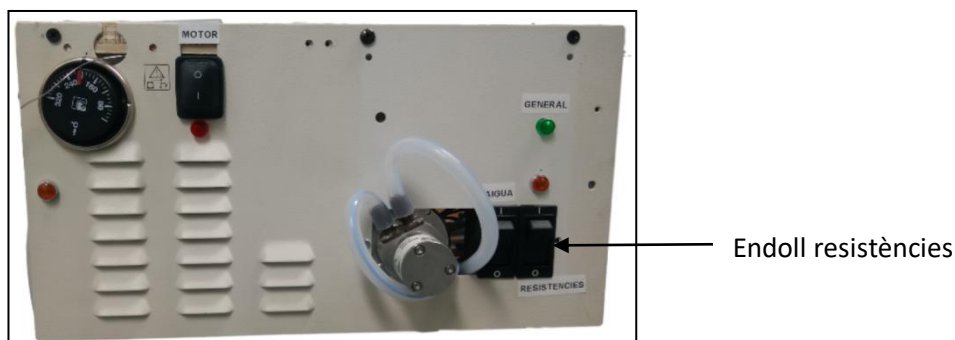
8.2 Descripció general de la màquina

La màquina ha estat dissenyada per tal de conformar pelets de plàstic en un fil homogeni i transparent de diàmetre circular, mitjançant un sistema capaç de produir el producte de forma semiautomàtica, sense la necessitat d'un operari un cop començat el procés de conformatge.

L'extrusora és capaç d'utilitzar plàstics reciclats combinats amb plàstics verges per tal de dur a terme un reciclatge mecànic dels plàstics. I optimitzar així l'ús de matèries verges reduint així el cost del producte final.

8.3 Funcionament:

1. Posar en funcionament les resistències.



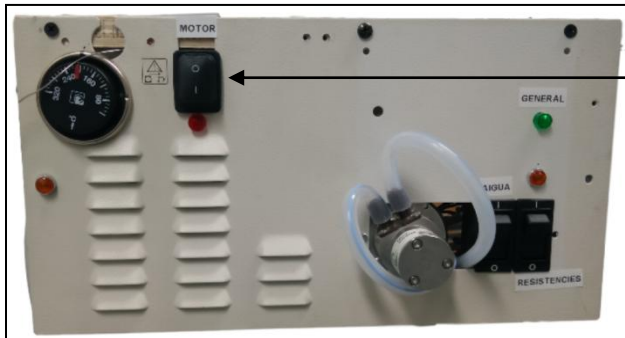
Imatge 8.1
Quadre elèctric

1. Configurar la temperatura desitjada mitjançant la rodeta de temperatures del termòstat. Esperar 12 minuts per assegurar que la temperatura sigui uniforme al llarg de tota la camisa.
Quan s'arribi a la temperatura seleccionada, en aquest cas 230° (temperatura establerta per fondre PVC), el Led que es troba sota la rodeta s'encendrà.



Imatge 8.2
Quadre elèctric

2. Un cop passats els 12 minuts, s'haurà d'encendre el motor que acciona el sense fi i seguidament abocar la quantitat de material plàstic desitjat a l'interior de la tolva.



Endoll resistències

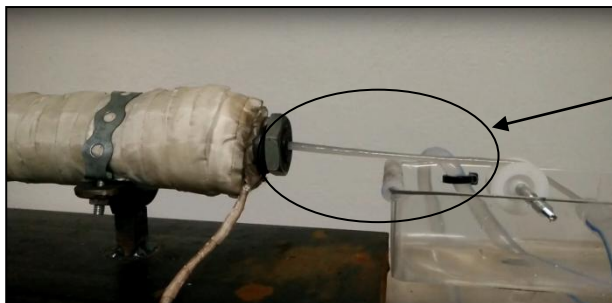
Imatge 8.3
Quadre elèctric



Material plàstic granulat

Imatge 8.4
Tolva amb material plàstic

3. Passats uns 30 segons el material plàstic, ara en forma de fil, començarà a sortir per la boqueta.



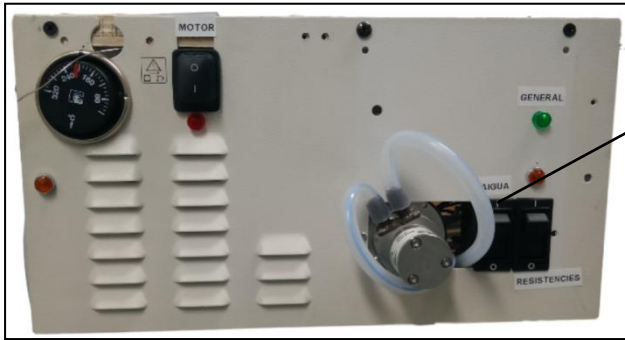
Fil plàstic resultant

Imatge 8.5
Boqueta de l'extrusora

4. Amb molta cura, s'ha d'agafar el fil plàstic encara calent i fer-lo passar a través de les politges de la piscina de refrigeració. És necessari posar en funcionament la bomba d'aigua per fer circular l'aigua de la piscina, evitant així un augment exponencial de la temperatura de l'aigua.



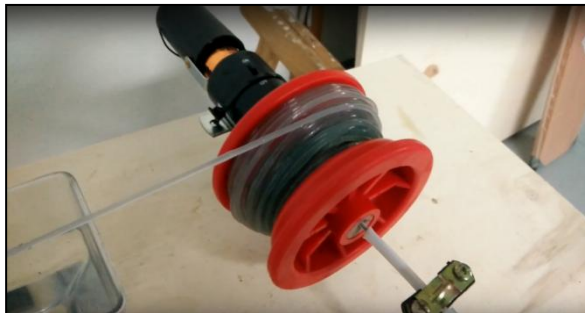
Imatge 8.6
Politges de la piscina de refrigeració



Endoll bomba d'aigua

Imatge 8.7
Quadre elèctric

5. Per últim haurem d'enganxar el fil amb el tambor del motor de tracció per tal de que aquest emmagatzemi el producte resultant del procés.



Imatge 8.8
Quadre elèctric

6. Quan es desitgi acabar el procés, ens haurem d'assegurar de que no quedi material plàstic per processar a l'interior de la camisa, si no és així es convenient esperar a que l'extrusora expulsi tot el material del seu interior



Imatge 8.9
Extrusora

Properes línies d'investigació

Un cop acabat aquest projecte, observo que els camps d'investigació que s'obren un cop acabada la màquina són molt amplis.

Tot i que m'hagués agradat poder profunditzar més sobre el seu funcionament i la seva possible optimització, deixo reflectides aquí algunes de les idees que m'hagués agradat dur a terme amb la meva extrusora i que malauradament a falta de temps no he pogut elaborar.

Camps d'investigació

- **Optimització de la temperatura:** Si es tractes d'una indústria d'extrusió a gran escala, es buscaria reduir al mínim la temperatura per així estalviar costos. Per tan es podria elaborar un estudi que trobes la temperatura adient pels interessos econòmics de l'empresa.
- **Estructura del sense fi:** Actualment les empreses d'extrusió disposen de diferents sense fi, ja que cada un serveix per processar un plàstic diferent. Seria una bona idea investigar i trobar diferents sense fi per la meva màquina per així optimitzar el seu rendiment alhora de processar plàstics.
- **Velocitat del motor:** En una indústria com aquesta es busca produir el màxim material en el mínim temps possible. Per assolir aquest objectiu, es podria variar la velocitat del motor per així aconseguir que el rendiment de la màquina fos major, però sempre sense perjudicar el producte.
- **Boqueta:** Durant aquest treball, només he treballat amb un sol tipus de boqueta. Fora interessant profunditzar en aquest afer, trobant així altres estructures de boqueta amb les quals treballar per així poder fabricar productes amb diferents geometries.
- **Varietat de polímers:** Crec que seria interessant fer un estudi exhaustiu, de quin és el plàstic que millor s'adapta a la meva extrusora. Donant peu a poder elaborar una gran varietat de probes físiques i químiques del producte obtingut a partir de l'extrusora.

Conclusions

En el transcurs del treball m'he trobat amb notables entrebancs que m'han fet difícil arribar fins aquí. Però si no fos per aquestes dificultats no hagués pogut aprendre tot el que he après confeccionant aquest projecte.

Al començament d'aquesta aventura tenia les expectatives molt altes i hem veia capaç de tot, però a mesura que investigues i aprens, veus que hauràs de reduir el teu llistó ja que no estaves essent realista. No considero com un fracàs no haver pogut assolir el meu primer objectiu, si no com una evolució natural del treball que de mica en mica, va trobant el seu camí per enfocar-se finalment en un tema més realista.

La construcció de la màquina ha estat la part d'aquest projecte que m'ha suposat més entrebancs i mals de cap, ja que no és cosa fàcil projectar a la realitat el que has dissenyat sobre paper. He hagut de picar a moltes portes. Moltes s'han tancat, però encara moltes més, s'han obert i s'han interessat pel meu treball.

Un cop assolit aquest punt, em crec capacitats per sintetitzar els coneixements adquirits durant la realització del treball en les següents línies:

Pel que correspon al reciclatge dels plàstics a Espanya, crec que encara hi ha molta feina per endavant. Avui dia, no estem capacitats per a reciclar el que produïm. Doncs, trobo que no és tan sols un dèficit del sistema si no quelcom més enllà; Més aviat un dèficit conceptual de la societat espanyola que conseqüència del nostre afany consumista i despreocupat no s'atura a pensar que el plàstic, és un producte tant o més reciclable com el vidre o els metalls. De fet, l'únic que fa falta per reciclar-lo és la participació de la societat.

Pel que fa al sistema de dipòsit, devolució i retorn, SDDR, tret de sortida d'un projecte de reciclatge, en funcionament plenament a altres països europeus, com Alemanya o Noruega, crec que podria ser la solució adient, a aquest afer. Assolint-se mitjançant un dipòsit monetari que estimuli al comprador del producte a reciclar-lo. Reflectint així, una de les màximes més importants " Qui contamina paga".

Malgrat trobo difícil la implantació d'aquest mètode a Espanya, donat que, actualment el monopoli del reciclatge pertany al grup Ecoembes i la seva implantació no aniria a favor dels seus interessos econòmics.

Per altra banda, trobo necessari tractar sobre la construcció de la màquina extrusora, ja que ha estat un gruix important del meu treball.

Per arribar a construir-la he hagut d'indagar molt sobre aquest tipus de maquinaria, ja que el meu principal objectiu era conèixer els principals problemes que poguessin sorgir durant la fabricació d'aquesta, per així anticipar-me a aquests i posar-hi remei abans de trobar-m'hi. Mitjançant aquest mètode de fabricació plantejat crec que he esquivat molts de problemes. Tot i així, sempre en trobes d'altres que hauràs de superar i que malauradament no havies previst, fet però, que alhora fa néixer el repte de seguir treballant per trobar solucions als entrebancs.

El repte més gran que se m'ha plantejat, no ha sigut tan la construcció d'aquesta si no la recol·lecció de les peces que la formen, ja que per trobar-les he hagut de visitar establiments de tot tipus i parlar amb molta gent. Molt sovint no trobava el que buscava però sempre sortia amb més coneixements i idees per aplicar. Resultat d'això ha sorgit la meva màquina, una màquina que es pot comparar amb un calaix de sastre, ja que incorpora peces de tot tipus, que han estat adaptades per fer la funció adient dins del context de l'extrusora, en ella podem trobar des de una broca de trepant fent de sense fi, o un motor ideat per a fer girar boles de discoteca com a motor d'arrossegament del fil. Aconseguint així, crear avantatges dels inconvenients que s'aconteixien.

Finalment, sobretot el que més valoro d'aquest projecte és que m'ha servit i hem servirà per introduir-me al món laboral al qual hem vull incorporar, la enginyeria, ja que mitjançant aquest treball he pogut parlar amb molts professionals del camp, entre aquests: enginyers, i veure el seu dia a dia i parlar amb ells de l'ofici. Comprenent així, que és una feina que requereix de molta precisió, exactitud i pulcritud.

Agraïments

Primerament m'agradaria mencionar a les persones que hem varen ajudar a buscar la idea que al cap de nou mesos es veuria reflectida en aquest document: aquests són la **Pilar Cortés**, en **Jordi Parejo** i en **Víctor Parejo**. Gràcies a ells he aconseguit els ànims i el recolzament necessari per seguir endavant durant tot el transcurs d'aquest projecte.

Quan vaig començar aquest projecte, no era conscient dels problemes que tocaria vèncer, ja que quan encara estàs a les beceroles del projecte no pots veure'l amb la perspectiva adient per enfocar-lo degudament. Finalment després de molts de dies de treball, és quan comences a veure que l'objectiu que de bon principi t'havies marcat, cada cop a base d'esforç i de constància, està més a prop.

Alhora de construir l'extrusora he necessitat de molta ajuda ja que és una màquina complexa. M'agradaria agrair a en **Narcís Caula** que ha estat en disposició sempre que l'he necessitat per preguntar qualsevol dubte i m'ha ajudat molt en aspectes tècnics. Dins d'aquest apartat també és primordial citar al **taller industrial Geis** alhora d'ajudar-me a fer realitat la construcció de la meva extrusora. I per últim i no menys important mostrar el meu agraïment envers a la fàbrica **Femach** i en **Gerard** que es varen involucrar des de bon principi en el meu projecte com si fos seu.

Durant aquest treball he necessitat accedir a instal·lacions que normalment no estan obertes al públic. Les fàbriques d'extrusió visitades tan com **Baexmo** com **Sternich** han estat molt amables en obrir-me les portes de les seves indústries i mostrar-me el funcionament d'una planta d'extrusió industrial .

Finalment mostrar la meva gratitud envers qui ha estat el meu tutor de recerca, **Manel Bech**, per el seu seguiment del treball i per exigir-me donar el meu màxim i a mirar més enllà per superar així amb escriure la meva meta.

Bibliografía i webgrafia

1. Llibres

- *Modelo por inyección.* RAMN ANGUITA DELGADO
- *Extrusión de plásticos, gomas y metales.* HERBERT R. SIMONDS
- *Transformación de plásticos.* V.K SAVGORODNY

2. Pàgines Web

- <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es>
Juny 2016
- <http://www.plastictroubleshooter.com>
Juny 2016
- <http://www.inforeciclaje.com>
Juny 2016
- <http://www.yorokobu.es>
Juny 2016
- <http://www.slideshare.net>
Juliol 2016
- <http://iq.ua.es>
Agost 2016
- <https://es.wikipedia.org>
Juny 2016
- <http://www.retorna.org>
Maig 2016
- <http://ocw.usal.es>
Juliol 2016
- <http://www.areatecnologia.com>
Agost 2016
- <http://www.notas.com.es>
Agost 2016
- <http://catarina.udlap.mx>
Agost 2016
- <http://vivirsinplastico.com>
Setembre 2016
- <https://www.ellenmacarthurfoundation.org>
Setembre 2016

- <https://www.filastruder.com>
Agost 2016
- <https://preciousplastic.com>
Agost 2016
- <https://www.ecoembes.com>
Juny 2016

3. Audiovisuals

- **El escarabajo verde**, El viaje de la basura
RTVE
- **Making stuff**, Filament extruder
Youtube
- **Hugh Lyman**, Lyman filament extruder
Youtube
- **Rwg42985**, Russ's Filament Extruder
Youtube