

**Joan Carles Nadal Lozano**

**COMPARACIÓ DE L'ÍNDEX DE GROC DE DIFERENTS POLIETILENS I  
POLIPROPILENS EN GRANÇA I PLACA MESURATS EN DOS  
ESPECTROFOTÒMETRES *COLOR-VIEW* BYK-GARDNER**

**TREBALL DE FI DE GRAU**

**dirigit pel Sr. Jose Manuel Navarro Garcia**

**Grau de Química**



**Tarragona**

**2015**

## Índex

Abstract.....	3
1. Objectiu.....	4
2. Introducció.....	4
2.1. Empresa on s'ha desenvolupat el treball.....	4
2.2. L'índex de groc.....	5
2.3. L'espectre visible.....	5
2.4. Font de llum.....	6
2.5. Objecte.....	7
2.5.1. Materials opacs no metàl·lics.....	7
2.5.2. Metalls opacs.....	7
2.5.3. Materials transparents.....	8
2.5.4. Materials translúcids.....	8
2.6. Observador.....	8
2.7. El polietilè i el polipropilè.....	9
3. Fonaments de l'espectrofotòmetre <i>color-view</i> BYK-GARDNER.....	10
3.1. Làmpada de tungstè-halogen.....	11
3.2. Policromador .....	12
3.3. Detector.....	12
3.4. Sistema de processament de dades.....	12

4. Procediment experimental.....	13
4.1. Polímers mesurats.....	13
4.1.1. Mostres del procés previ a l'ensacat.....	13
4.1.2. Productes ensacats.....	15
4.2. Preparació de mostra.....	15
4.2.1. Placa per compressió.....	15
4.2.2. Placa per injecció.....	17
4.3. Mesura amb l'espectrofotòmetre BYK-GARDNER <i>color-view</i> .....	18
4.3.1. Mesura de grança.....	18
4.3.2. Mesura de placa per compressió i injecció.....	18
5. Resultats i discussió.....	20
5.1. Determinació de la reproductibilitat.....	20
5.2. Mostres del procés previ a l'ensacat.....	25
5.3. Productes ensacats.....	29
6. Gestió de residus.....	34
7. Conclusions.....	35
8. Bibliografia.....	36

## **Abstract**

The work is based on the comparison of the yellow index for high and low density polyethylene and polypropylene in pellets and plaque measured in two spectrophotometers color-view BYK-Gardner, called instruments 26006 and 26003. The measurements are performed both for intermediate products and final products. Two methods, compression and injection, have been used to obtain the plaques for the measurement.

When measuring the yellow index of polymers the interday reproducibility was very good, which means that the polymers are stable over time. Results show that in the intermediate products, polypropylene homopolymers (PP) have the biggest difference between measurements from spectrophotometers of all polymers measured in pellets and plaque. However, for high density polyethylene (HDPE) and polypropylene heterophasic (PB) differences are lower. For final products, injection method to obtain the plaques provides very low differences between both instruments, but has the disadvantage of a longer time to obtain the plaques.

## 1. Objectiu

L'objectiu d'aquest treball consisteix en la comparació de l'índex de groc per polietilens d'alta i baixa densitat i polipropilens en grança i en placa fet per diferents procediments (compressió i injecció) mesurats en dos espectrofotòmetres *color-view* BYK-GARDNER iguals.

Al laboratori de Repsol Química a Tarragona existeixen dos instruments BYK-GARDNER per realitzar la mesura de l'índex de groc. El problema que existeix és que els dos instruments passen les verificacions amb patró calibrat en placa, però al mesurar la grança els valors són tan diferents que en alguns casos en un espectrofotòmetre el resultat està dins d'especificació i en l'altre fora. El problema sorgeix perquè no existeix comercialment cap patró en forma de grança. Per tant es vol trobar l'origen de la diferència d'aquesta mesura entre ambdós instruments, ja que existeix una diferència entre els valors mesurats en els dos espectrofotòmetres per una mateixa mostra.

Un altre objectiu és la determinació de la reproductibilitat de l'anàlisi utilitzant dues mostres de polímer diferents. S'estudia si durant la realització del treball de fi de grau el pas dels dies afecta a la mesura de l'índex de groc, és a dir, si les mostres s'envelleixen, el resultat es veu alterat i dóna diferent a l'inicial.

## 2. Introducció

### 2.1. Àmbit on s'ha desenvolupat el treball

El treball de fi de grau s'ha desenvolupat a l'empresa Repsol dins el complex de Repsol Química, concretament al laboratori de polímers. El laboratori de polímers és un laboratori de control de processos i control de qualitat on s'analitzen polietilens de baixa i alta densitat, polipropilens i compostos que provenen tant del procés com del producte final. És molt important controlar els productes que es troben en una fase de producció intermèdia perquè així si es detecta algun problema en l'anàlisi d'aquests productes es podrà corregir a temps sense que el producte hagi de ser enviat a segona qualitat. Al laboratori hi ha 6 torns d'analistes per tal de que funcioni les 24 hores al dia.

Es controlen diferents paràmetres segons el producte i es mira que compleixin les especificacions d'aquests. Els paràmetres a analitzar depenen de la finalitat del polímer, ja que per unes aplicacions són més importants uns paràmetres que uns altres. Alguns dels

paràmetres que s'analitzen són: color, índex de groc, índex de blancor, índex de fluïdesa, granulometria, tall, additius, cendres, contingut en etilè, contaminació, volàtils...

## 2.2. L'índex de groc

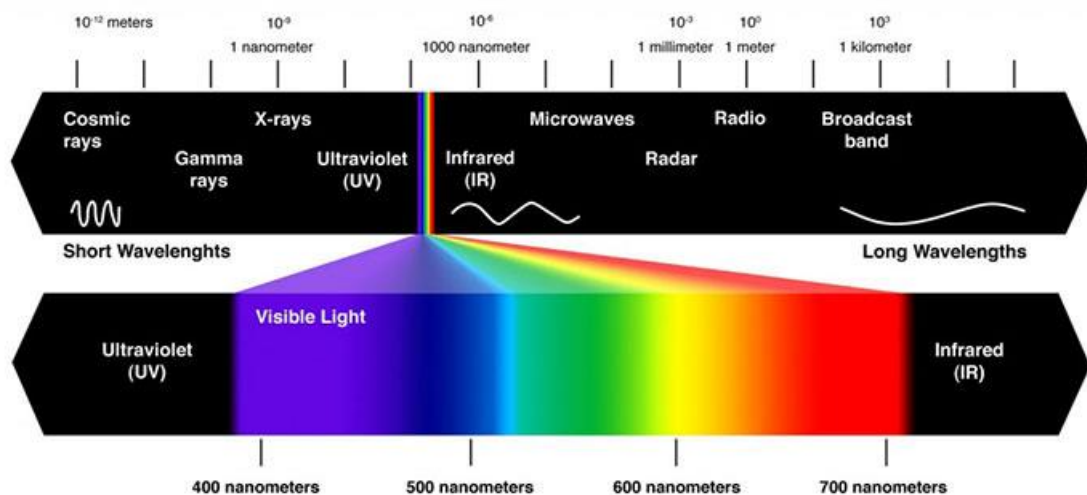
L'índex de groc és un atribut pel qual el color d'un objecte es jutja com aquell que allunyant-se del blanc de referència tendeix cap el groc. És un valor que descriu el canvi de blanc cap a groc en el color d'una mostra. Aquest paràmetre es calcula per avaluar els canvis de color en un material causats pel propi processament o per agents externs. Es mesura respecte una referència, la qual representa el blanc ideal. Les mostres es comparen amb la referència i es calculen les diferències. Valors positius en la mesura de l'índex de groc indiquen grogor en el material, en canvi els valors negatius indiquen blavor.

L'índex de groc és un paràmetre important en moltes indústries i la seva determinació ens pot informar sobre diversos factors. S'empra fonamentalment per determinar si les condicions del procés han sigut adequades o no, com pot ser un excés de temperatura, la presència de O<sub>2</sub>... També ens informa sobre el comportament dels productes en diverses circumstàncies, ja que alguns productes degraden i s'engrogeixen amb l'exposició a la llum del sol, la temperatura, agents químics o altres factors mediambientals durant el seu ús.

## 2.3. L'espectre visible

L'espectre visible és la petita regió de l'ampli espectre electromagnètic que l'ull humà és capaç de percebre. La radiació electromagnètica corresponent a aquest rang de longituds d'ona se l'anomena llum visible. Generalment, es considera que la resposta de l'ull cobreix les longituds d'ones de 400 nm a 700 nm. L'ultraviolat (UV) i l'infraroig (IR) sovint són considerats com a llum però no són visibles per a l'ull humà. La regió visible de l'espectre electromagnètic està representada a la **Figura 1**.

El color pot ser avaluat subjectivament, és a dir visualment, o objectivament, amb un espectrofotòmetre. Per percebre el color són necessaris tres elements: la font de llum, l'objecte i l'observador.



**Figura1.** Regió visible de l'espectre electromagnètic

## 2.4. Font de llum

Una font de llum emet energia radiant en forma de llum visible i aporta l'energia espectral necessària per percebre el color. El tipus de llum en el qual un objecte es percep sens dubte pot afectar la seva aparença. La il·luminació sota la qual un color és considerat és molt important, i per tant la font de llum és un dels elements que s'ha de controlar per tal de determinar amb precisió el color. Exemples de fonts de llum són: el sol, una bombeta de tungstè o un fluorescent.

El gràfic que mostra l'energia relativa de la llum a cada longitud d'ona s'anomena il·luminant. És una corba de distribució d'energia que quantifica les característiques espectrals de la font de llum. Cada font de llum en té un diferent, ja que cada il·luminant té una composició diferent de varies longituds d'ona de llum visible. El mateix objecte presenta colors diferents sota il·luminants diferents. Es poden elegir diferents tipus d'il·luminants a partir del focus de llum halogen que utilitzen els espectrofotòmetres.<sup>1</sup> Els il·luminants més comuns són:

- A: llum d'una bombeta de tungstè
- C: llum de dia mitjana
- D65: l'il·luminant més comú de llum diürna
- D50: llum d'horitzó (llum del sol al vespre o a l'alba)
- D55: llum de mig matí o mitja tarda
- D75: llum de dia ennuvolat

## **2.5. Objecte**

Els colorants presents en els objectes, ja siguin pigments o tints, absorbeixen algunes longituds d'ona de la llum i en transmeten unes altres, que dependran de si l'objecte és opac o no. Per exemple, un objecte de color vermell reflexa les longituds d'ona vermelles de la llum i n'absorbeix tota la resta. És la llum vermella reflectida la que ens permet veure l'objecte de color vermell. Aquesta radiació reflectida es pot quantificar per mitjà de la corba espectral de característiques de l'objecte, on es representa la longitud d'ona respecte el % de reflectància relativa.

Els objectes es poden classificar en quatre categories segons el mode d'interaccionar amb la font de llum. Les categories són:

### **2.5.1. Materials opacs no metàl·lics**

Els no metalls opacs són objectes no metàl·lics que no permeten que la llum passi a través seu. En aquests objectes dos tipus de reflexió tenen un paper important en la seva aparença. Els dos tipus de reflexió són: la reflexió especular i la difusa. La reflexió especular és la reflexió directa del feix de llum en el mateix sentit però en direcció oposada. La reflexió especular constitueix al voltant d'un 4 % de la reflexió total d'un material no metàl·lic opac llis. El 96 % restant de la reflexió és l'anomenada reflexió difusa, la qual és la dispersió de la font de llum en totes les direccions a l'interaccionar amb l'objecte. En aquest tipus de materials el color d'un objecte s'observa gràcies a la reflexió difusa, i per mesurar el seu color necessitarem mesurar aquesta reflexió. Per saber l'aparença total de l'objecte s'haurà de mesurar tant la reflexió difusa com l'especular.<sup>1</sup>

### **2.5.2. Metalls opacs**

Els metalls opacs són objectes metàl·lics que no permeten el pas de la llum a través seu. Per aquest tipus de materials, igual que els no metalls opacs, la reflexió especular i la reflexió difusa són clau. A diferència dels opacs no metàl·lics, el color i la brillantor es poden apreciar per mitjà de la reflexió especular.<sup>1</sup>



### **2.5.3. Materials transparents**

Els materials transparents deixen passar la llum a través seu. És possible veure a través d'ells, és a dir, permeten que les imatges nítides passin. En aquests objectes una part de la llum és reflectida especularment, la qual es mostra com a brillantor a la superfície de l'objecte, i la resta de llum es transmet a través de l'objecte. Dins la transmissió total podem diferenciar dos grups diferents de reflexió: transmissió regular i transmissió difusa, segons com interacciona la font de llum amb el material. La transmissió regular és la transmissió de la llum directament a través de l'objecte; en canvi la transmissió difusa és la dispersió de la llum quan passa a través de l'objecte. En un material transparent el color està relacionat amb la transmissió regular, i per tant per mesurar-lo s'haurà de tenir en compte la transmissió regular o la transmissió total. Per mesurar la brillantor s'ha de mirar la reflexió especular.<sup>1</sup>

### **2.5.4. Materials translúcids**

Els materials translúcids permeten que part de la llum passi a través del material, la qual cosa fa que deixin veure llum a través seu però les imatges no es poden apreciar clarament. Aquests objectes són òpticament complexos i combinen les propietats i característiques dels materials opacs no metàl·lics i els transparents. També presenten la reflexió difusa i la especular. La brillantor està present en la reflexió especular i el color en la reflexió difusa quan la font de llum està situada davant de l'objecte. Quan la font de llum es col·loca darrere l'objecte llavors el color es mostra gràcies a la transmissió difusa. Petites variacions en el seu gruix poden afectar notablement a la mesura del seu color.

Les plaques emprades per determinar l'índex de groc formen part dels materials translúcids.

Per tal de mesurar color o aparença d'un objecte sempre és fonamental classificar-lo dins d'un d'aquests quatre grups i d'aquesta manera es pot saber quina reflexió s'ha de tenir en compte per mesurar el color i com s'ha de mesurar.<sup>1</sup>

## **2.6. Observador**

El tercer component necessari és l'observador, el qual el seu ull rep la llum i el cervell ens permet percebre el color i l'aparença. A l'ull humà, concretament a la retina, tenim dos famílies de receptors: els bastons i els cons. Els bastons són els responsables de la visió

nocturna. El nostre cervell distingeix els colors a través de receptors anomenats cons. Els cons són els responsables del color i la visió diürna. Es distingeixen tres tipus de cons: els cons sensibles al color vermell, els cons sensibles al color blau i els cons sensibles al color verd.

Com que les persones percebem subjectivament el color i aparença de maneres diferents s'ha hagut d'estandarditzar l'observador humà. Wright i Guild van realitzar experiments utilitzant voluntaris humans per avaluar i quantificar l'habilitat de l'ull humà per percebre el color i desenvolupar un observador mitjà estàndard. Al 1931 es va establir l'espai de color estàndard CIE 2° basat en la seva recerca. L'espai de color es va anomenar 2° perquè els seus experiments consistien en sotmetre els voluntaris amb un camp de visió de 2° per avaluar el color.

Al 1931 es va creure que tots els cons que hi ha a l'ull humà sensibles al color eren presents en un arc de 2° de visió. Posteriorment, el 1964 es va descobrir que els cons actuen en un àrea major del que es creia, desenvolupant l'actual espai de color CIE 10°. <sup>1,2</sup>

## **2.7. El polietilè i el polipropilè**

El polietilè (PE) s'obté de la polimerització de l'etilè i es representa amb la seva unitat repetitiva  $(CH_2-CH_2)_n$ . És un polímer de cadena lineal no ramificada i forma part del grup dels termoplàstics.

El polietilè de baixa densitat (PEBD) és un polímer que pertany a la família dels polímers olefínics i deriva de la polimerització de les olefines. És un polímer amb una estructura de cadenes molt ramificades. Aquesta característica fa que la seva densitat sigui més baixa en comparació amb el polietilè d'alta densitat. Com la resta dels termoplàstics, el PEBD pot reciclar-se. El polietilè de baixa densitat és un polímer que es caracteritza per una bona resistència tèrmica i química, bona resistència a l'impacte i molt bona processabilitat, és a dir, es pot processar pels mètodes de conformat utilitzats per als termoplàstics, com la injecció i extrusió. <sup>3</sup>

El polietilè d'alta densitat (PEAD) és un polímer de cadena lineal no ramificada. És més dur, fort i una mica més pesat que el de baixa densitat, però és menys dúctil. Es pot processar pels mètodes de conformat utilitzats per als termoplàstics, com són emmotllament per injecció, extrusió i compressió. En el procés de polimerització s'empren catalitzadors tipus Ziegler-Natta i l'etilè és polimeritzat a baixes pressions mitjançant radicals lliures. El polietilè d'alta densitat

és un polímer que es caracteritza per la seva flexibilitat a baixes temperatures, presenta dificultats per imprimir, pintar o enganxar sobre ell i és resistent a la majoria dels dissolvents.<sup>4</sup>

El polipropilè (PP) és un polímer termoplàstic, semicristal·lí, que s'obté de la polimerització del propilè. Es poden diferenciar tres tipus de polipropilens segons la quantitat d'etilè que contenen. Aquests són el polipropilè homopolímer (PP), el *random* (PR) i l'heterofàsic (PB). El polipropilè anomenat PP és el polipropilè homopolímer i no conté etilè. En el grup dels copolímers hi ha el polipropilè *random* (PR) que conté entre un 3 i un 7 % d'etilè i el polipropilè heterofàsic (PB) que conté més quantitat d'etilè que el *random*, entre un 7 i un 24 % d'etilè.

Els dos copolímers no tan sols es diferencien pel contingut d'etilè, sinó que també presenten diferències en el procés de producció. En el cas del PB primer es fabrica el polipropilè i posteriorment en un altre reactor s'addiciona l'etilè on es mesclen juntament amb additius, i en canvi pel que fa al PR s'injecta l'etilè a mesura que es va produint l'homopolímer polipropilè.

### **3. Fonaments de l'espectrofotòmetre *color-view* BYK-GARDNER**

Per realitzar les mesures de l'índex de groc i el color s'utilitzen dos espectrofotòmetres *color-view* BYK-GARDNER, amb il·luminació circumferencial i rang espectral entre 380 nm i 720 nm, corresponent a la zona visible. Estan connectats a un equip informàtic amb software d'anàlisi adequat, el qual actua com a sistema de processament de dades. El programa que mostra els resultats s'anomena auto-QC. Els dos espectrofotòmetres són els instruments 26006 i 26003.

L'espectrofotòmetre consta de les següents parts:

- Làmpada de tungstè-halogen, com a font de llum per il·luminar la mostra a mesurar
- Policromador
- Detector
- Sistema de processament de dades

Cada instrument conté els següents complements:

- Recipient cilíndric de vidre òptic de 60 mm de diàmetre i 40 mm d'altura.
- Placa de vidre òptic de 60 mm de diàmetre i 1,8 mm de gruix.
- Cubeta de color negre.
- Teules de calibratge blanca i negra.
- Patró en placa.

### **3.1. Làmpada de tungstè-halogen**

Una làmpada de tungstè-halogen s'usa com a font lluminosa per proporcionar radiació a la mostra. És una làmpada formada per un filament de tungstè contingut en un gas inert. El vidre es substitueix per un compost de quars, el qual suporta molt millor la calor. L'interior de la làmpada conté una petita quantitat de gas halogen en fase vapor, generalment iode o brom.

Al tenir el filament de tungstè contingut en un gas inert i una petita quantitat d'halogen, fa que la combinació dels gasos halògens i el filament de tungstè generi una reacció química coneguda com a cicle d'halogen. En el cicle d'halogen partícules de tungstè evaporades del filament incandescent són transportades per corrents de convecció cap a la paret més freda de l'embolcall de vidre, dipositant-s'hi i formant un dipòsit negre. A elevades temperatures els àtoms de tungstè i de vapor de brom es combinen per crear bromur de tungstè. El bromur de tungstè format serà portat per corrents de convecció de tornada al filament. L'alta temperatura del filament, que supera els 250°C, redueix el bromur de tungstè a tungstè, alliberant els vapors de bromur. El tungstè es diposita novament en el filament mentre el bromur circula una altra vegada per continuar el seu cicle regeneratiu.<sup>5,6</sup> Aquest tipus de làmpada s'utilitza degut a la seva estabilitat i a la seva potencia contínua al llarg de l'espectre visible.

Per determinar l'índex de groc i el color d'un objecte a través d'un espectrofotòmetre es necessita fixar, a més de la font de llum i l'objecte, l'angle d'observació, la geometria del detector i l'escala utilitzada en els càlculs.

### 3.2. Policromador

Gràcies al policromador un espectrofotòmetre és capaç de reportar el % de llum reflectida a cada  $\lambda$ . La llum reflectida passa a través d'una xarxa de difracció on es trenca la llum proporcionant l'espectre. Després a partir de l'espectre la matriu de díodes mesura la llum en relació a la seva longitud d'ona. El policromador porta una reixeta òptica que reflexa la llum de la mostra cap a una formació de detectors.<sup>2</sup>

### 3.3. Detector

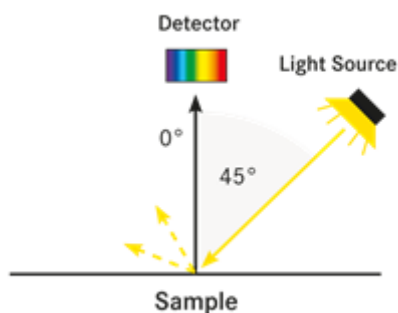
Detecta la quantitat de llum reflectida, la mesura i la converteix en senyals elèctriques analògiques. Aquestes senyals es mostren com valors X,Y i Z. El convertidor analògic/digital (A/D) converteix les senyals analògiques captades directament de la formació de detectors en senyals digitals per al seu posterior processament pel microprocessador.

El microprocessador processa les senyals digitals transferint els resultats al sistema informàtic a través de la interfície d'entrada/sortida (E/S). El microprocessador també rep senyals operatives del sistema ordinador a través de la interfície E/S.

### 3.4. Sistema de processament de dades

Finalment trobem el processador de dades on les dades espectrals es multipliquen amb els valors de la taula de dades de l'il·luminant CIE i el patró observador, obtenint els valors X, Y i Z.

En aquest cas els espectrofotòmetres treballen amb una geometria 45/0 per realitzar totes les mesures,. S'entén com geometria de mesura la que comprèn l'angle d'incidència i l'angle de mesura dels raigs lluminosos. La mesura de la reflectància consisteix en fer incidir un feix de llum sobre la superfície de la mostra i mesurar la intensitat del feix reflectit a un angle especificat. El feix lluminós es projecta a través d'un cable de fibra òptica i s'aplica en forma de circumferència formant un angle de  $45^\circ$  respecte al pla de la mostra, com es pot observar a la **Figura 2**. Una part de la llum reflexada es capta amb un angle de  $0^\circ$ , perpendicular al material, i es transmet al policromador. Aquesta part de llum captada es denomina factor de reflectància difusa. L'espectrofotòmetre utilitza l'il·luminant D65, que correspon amb la llum diürna a 6500 K que imita a la llum del migdia.



**Figura 2.** Geometria 45/0 de l'espectrofotòmetre *color-view* BYK-GARDNER

## 4. Procediment experimental

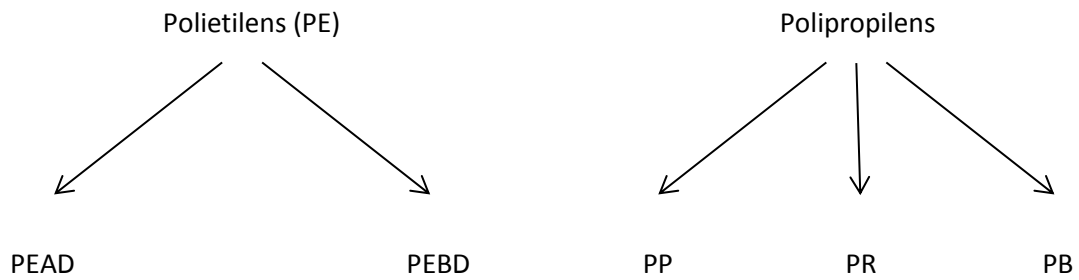
Tal com s'ha explicat a l'objectiu del treball el que es pretén és comparar l'índex de groc dels productes que s'analitzen al laboratori mesurat en dos espectrofotòmetres. Aquests productes són polietilens d'alta i baixa densitat i polipropilens en grança i placa. Les mesures s'han realitzat sobre els mateixos productes en diferents etapes del procés de producció:

- Mostres del procés previ a l'ensacat, es mesuren en:
  - Grança
  - Placa per compressió
- Ensacats (producte comercial), es mesuren en:
  - Grança
  - Placa per compressió
  - Placa d'injecció

### 4.1. Polímers mesurats

#### 4.1.1. Mostres del procés previ a l'ensacat

Els polímers mesurats, tal com s'ha explicat anteriorment, són polietilens i polipropilens. En els polietilens es mesuren polietilens de baixa densitat i d'alta densitat, i la mesura de l'índex de groc dels polipropilens es realitza en els tres tipus PP, PR i PB.



Els polietilens de baixa densitat se'ls anomena amb les lletres PEBD, pels polietilens d'alta densitat s'empren les lletres PEAD i pels polipropilens s'usen els noms PP, PR i PB.

**Taula 1.** Tipus de polímers mesurats

PEAD	PEBD	PP	PR	PB
PEAD 49070	PEBD 033	PP050/1	PR210/1	PB170
PEAD 5503	PEBD 003	PP070	PR210/2	PB176
PEAD 5502	PEBD 034	PP099	PR295	PB190
PEAD 6006	PEBD 046	PP086/1	PR599	PB196
PEAD 5502	PEBD 021	PP040	PR264	PB195
PEAD 5703	PEBD 015	PP086/2		PB300
PEAD 5505	PEBD 063	PP089		PB199
	PEBD 014	PP094		PB171
	PEBD 004	PP064		PB182
	PEBD CP104	PP050/2		PB140

#### 4.1.2. Productes ensacats

Els polímers ensacats, és a dir, productes finals, els quals s'han mesurat en grança, placa per compressió i placa d'injecció es mostren a la **Taula 2**:

**Taula 2.** Productes ensacats mesurats

PR	PP
PR210/1	PP086
PR210/2	PP089
	PP080
	PP099
	PP040
	PP094

#### 4.2. Preparació de mostra

##### 4.2.1 Placa per compressió

Primer es mesura la grança i les plaques per compressió dels productes que arriben al laboratori, els quals provenen del procés previ a l'ensacat, i que per tant estan menys homogeneïtzats que els ensacats. Abans de res per mesurar les plaques per compressió s'han d'obtenir prèviament les plaques mitjançant la premsa.

Per preparar el motlle amb mostra de polímer que s'ha d'introduir dins la premsa per fer la placa, primer es col·loca una placa metàl·lica en un lloc pla, després es posa al damunt una làmina enlluernadora i a sobre es situa el motlle. El motlle s'omple amb 7 grams de mostra cobrint tota la zona interior. Un cop s'ha introduït la mostra dins el motlle es torna a posar al damunt una altra làmina enlluernadora i finalment es col·loca una placa metàl·lica a sobre. Un cop tenim el motlle ple de mostra dins les dues plaques metàl·liques s'agafa i s'introdueix dins la premsa.

El motlle que s'utilitza per fer les plaques per compressió ha de ser el mateix durant tot l'estudi, ja que es tracta d'una comparativa entre dos instruments i les plaques que s'obtenen han de ser del mateix gruix i grandària. Per aquest motiu el gruix i la grandària del motlle són



molt importants. Les plaques preparades per compressió es fan amb un motlle de 1.5 mm de gruix, i per tant les plaques obtingudes presentaran aquest mateix gruix.

La premsa conté dues plataformes, situades una per sota i l'altra per dalt el motlle, que s'encarreguen d'aplicar calor i pressió a la mostra. Les plataformes, es van tancat a poc a poc fins que pressionen el motlle, i la mostra es comprimeix i es reparteix ocupant totes les parts del motlle. Les condicions de temperatura i pressió es mantenen durant un temps, després la temperatura de les plataformes disminueix i la pressió es manté constant fins que el material es refreda i es queda sòlid. S'extreu la placa totalment sòlida, la qual només aconseguix la seva rigidesa definitiva quan s'ha refredat totalment.

Es selecciona el programa que desitgem, el qual va en funció del producte i de les condicions de temperatura i pressió que necessita perquè fongui i s'obtingui una placa homogènia. Aquestes condicions es mostren a la **Taula 3**:

**Taula 3.** Condicions de temperatura i pressió de la premsa segons el producte

Condicions	Polietilè	Polipropilè
Temperatura inicial (°C)	177	210
Temperatura final (°C)	30	30
Pressió inicial (bar)	0	0
Pressió final (bar)	50	20

Existeixen dos programes diferents, els quals difereixen només en la temperatura a la qual fondrà el polímer i la pressió que exercirà la premsa. Com que el polipropilè necessita més temperatura per fondre's s'utilitza una temperatura més alta que pel polietilè, i per això usem un programa amb una temperatura de 210°C pel polipropilè i de 170°C pel polietilè. La temperatura no pot ser massa alta perquè sinó el producte es degradaria.

#### 4.2.2. Placa per injecció

La mesura en grança i en plaques per compressió dels productes ensacats, així com l'obtenció de les plaques per compressió, es realitza de la mateixa manera que per les mostres del procés previ a l'ensacat. En aquest cas però, també s'utilitza una màquina d'injecció per obtenir plaques i mesurar-les.

L'emmotllament per injecció és una tècnica que consisteix en fondre un material plàstic i introduir-lo a pressió en les cavitats d'un motlle on el material és refredat per poder extreure la peça resultants sense deformació. És un procés que requereix condicions de pressió i temperatura elevades.

Per començar s'introdueix la grança a la tolva d'alimentació i aquesta passa a la unitat d'injecció, que conte un cargol. El cargol rep el polímer i mitjançant el seu gir i l'alta temperatura el fon, el mescla, l'homogeneïtza i el condueix cap a la part davantera fins que hi ha la quantitat de producte fos suficient per després injectar-lo a l'interior del motlle. El producte dins el motlle va ocupant totes les cavitats d'aquest i es va refredant fins que és sòlid i no es deforma. Finalment es produeix l'expulsió a temperatura ambient de la placa per mitjà de l'obertura del motlle. Un cop s'ha obtingut la primera placa el motlle es tanca i es reinicia el mateix procés.

Segons el grau del polímer que s'introdueix s'han d'aplicar unes condicions determinades de temperatura, perquè depenent de la viscositat del polímer costarà més o menys fondre'l i mesclar-lo. Les condicions de temperatura es mostren a la **Taula 4**. Cada condició es divideix en tres temperatures, les quals cadascuna ve determinada per la regió en que es divideix la secció longitudinal de la màquina injecció: unitat d'injecció, cargol i unitat porta motlles.

**Taula 4.** Condicions de temperatura segons el grau del polímer

Grau del polímer	Temperatura de fusió (°C)
PR210/1 i PR210/2	255/245/235
PP040	230/220/210
PP080, PP086, PP089, PP094 i PP099	200/190/180

La premsa i la màquina d'injecció presenten moltes diferències però les més importants són la temperatura i la homogeneïtzació que realitza cadascuna. Es diferencien en la temperatura a la qual treballen perquè la premsa utilitza temperatures d'entre 170°C i 210°C, en canvi la màquina d'injecció necessita temperatures més elevades, d'entre 200°C i 240°C. Un altre factor destacat en el que es diferencien és la homogeneïtzació que fan al polímer mentre és fos. La màquina d'injecció homogeneïtza més el producte gràcies al cargol que conté, ja que la premsa no presenta cap element per mesclar la mostra.

Lògicament també existeixen diferències entre les plaques obtingudes per compressió i les obtingudes per injecció. Les plaques obtingudes per compressió mitjançant la premsa són més senzilles i poden contenir més imperfeccions, en canvi les plaques d'injecció són més grans, més gruixudes, estan millor acabades i entre elles presenten menys diferències.

### **4.3. Mesura amb l'espectrofotòmetre BYK-GARDNER *color-view***

#### **4.3.1. Mesura de grança**

En el cas de mostres en forma de grança, per realitzar una mesura de l'índex de groc amb l'espectrofotòmetre BYK-GARDNER *color-view* primer es col·loca la grança dins el recipient cilíndric de vidre òptic sense omplir-lo al complet, deixant lliure 1 cm des de l'extrem superior. Es col·loca el recipient amb mostra sobre la finestra de mesura, també anomenada finestra portamostres, amb la cara que s'ha de mesurar en contacte, cobrint tota la superfície de la finestra de mesura i es tapa completament amb la cubeta negra. La cubeta negra s'usa per evitar que part de la llum que incideix sobre la mostra la travessi i es perdi, és a dir, que la llum reflecti. D'aquesta manera col·locant la cubeta negra, ens assegurem que la llum reflecteix completament.

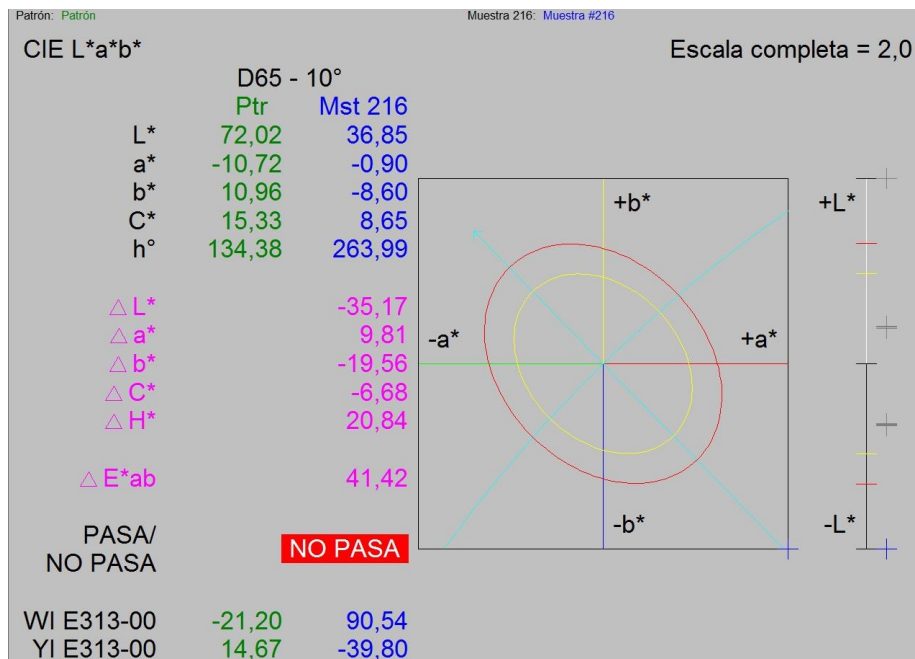
#### **4.3.2. Mesura de placa per compressió i injecció**

Per les mostres en forma de placa, les plaques per compressió i injecció, es fa la mesura de l'índex de groc i el color col·locant directament la placa sobre la finestra portamostres. La placa es col·loca de manera que la finestra de mesura quedi totalment tapada i procurant que la part de la placa que tapa la finestra de mesura sigui aquella en què la superfície presenti menys defectes. Hem de cobrir la placa sobre la que realitzem la mesura amb la cubeta de color

negre. La placa mostra queda directament sobre la font de llum i la cubeta queda per darrere actuant de suport a la placa, sense que incideixi la llum sobre ella.

En aquest punt i un cop s'ha situat correctament la placa sobre la trajectòria del feix de llum, seleccionem l'opció mesurar dins el menú del programa auto-QC de l'equip informàtic i l'aparell realitzarà directament la mesura espectrofotomètrica, obtenint immediatament els resultats de l'índex de groc i el color per pantalla. Per realitzar aquesta operació cal que l'aparell estigui prèviament calibrat. En aquest cas com que realitzem 5 repeticions de cada mostra, tant en grança com en placa, nombrarem cada repetició amb un nombre de l'1 al 5.

Obtenim la pantalla amb els resultats de la primera mesura, tal com es pot observar en la **Figura 3**. El programa auto-QC mostra tant els resultats de l'índex de groc com del color. A la columna de l'esquerra, les dades en verd, són les corresponents al patró. A la columna de la dreta, les dades en blau, són les referents a la mostra que estem mesurant. Els valors que corresponen a la comparació entre patró i mostra apareixen sota els resultats en color rosa.



**Figura 3.** Pantalla de resultats del programa auto-QC

## 5. Resultats i discussió

### 5.1. Determinació de la reproductibilitat

Inicialment es determina la reproductibilitat de l'anàlisi emprant dues mostres de polímer diferents. Es mesura l'índex de groc i el color de les mostres en grança i placa per compressió en els dos espectrofotòmetres un cop al dia durant 16 dies sense variar res per observar si els polímers es veuen afectats al llarg del temps i perden les seves propietats. Un polietilè d'alta densitat, el PEAD 49070, i un polipropilè, el PP040 són les mostres seleccionades per a l'estudi de la reproductibilitat.

Els resultats obtinguts per les mostres de polietilè i polipropilè en grança i placa per compressió s'han col·locat en forma de taules (**Taules 5, 6, 7 i 8**) calculant la mitjana i la desviació estàndard entre repeticions. Les primeres quatre columnes mostren els resultats dels diferents paràmetres relacionats amb el color, l'índex de groc està representat a la columna YI i a l'última columna anomenada WI es representa l'índex de blancor. A mode d'exemple es mostren els valors obtinguts el dia 13 de maig de 2015 pel PEAD 49070 en grança:

**Taula 5.** Resultats dels diferents paràmetres de color pel PEAD 49070 en grança mesurats per l'instrument 26006

Repetició	L*	a*	b*	C*	YI	WI
1	84,21	-1,25	-1,99	2,35	-5,37	74,41
2	84,21	-1,26	-1,99	2,35	-5,38	74,42
3	84,22	-1,25	-1,98	2,34	-5,36	74,38
4	84,21	-1,24	-1,99	2,34	-5,37	74,42
5	84,21	-1,25	-1,99	2,35	-5,37	74,40
Mitjana	84,21	-1,25	-1,99	2,35	-5,37	74,41
Desv. Est.	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02

**Taula 6.** Resultats dels diferents paràmetres de color pel PEAD 49070 en grança mesurats per l'instrument 26003

Repetició	L*	a*	b*	C*	YI	WI
1	84,64	-1,38	-2,65	2,99	-6,92	78,54
2	84,65	-1,41	-2,63	2,99	-6,90	78,45
3	84,65	-1,40	-2,63	2,98	-6,88	78,42
4	84,65	-1,40	-2,65	2,99	-6,92	78,52
5	84,64	-1,38	-2,66	2,99	-6,93	78,56
Mitjana	84,65	-1,39	-2,64	2,99	-6,91	78,50
Desv. Est.	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,06

Els resultats en els dos instruments són correctes ja que el límit màxim permès en les especificacions per l'índex de groc mesurat en grança normalment es troba al voltant de 1, i no hi ha límit mínim. Com més pròxim a zero es trobi l'índex de groc millor perquè voldrà dir que el polímer és més blanc i no ha patit cap procés d'engroguiment durant el seu processament. La diferència en valor absolut de l'índex de groc en grança entre els dos instruments és de 1.54 per aquest polímer.

S'observa en les dues taules com la desviació entre repeticions és menor en l'instrument 26006 que en l'instrument 26003, i per tant l'instrument 26006 és més precís que l'instrument 26003.

Pel PEAD 49070 els resultats obtinguts el mateix dia en placa per compressió són:

**Taula 7.** Resultats dels diferents paràmetres de color pel PEAD 49070 en placa mesurats per l'instrument 26006

Repetició	L*	a*	b*	C*	YI	WI
1	68,69	-1,98	-5,87	6,20	-17,48	73,73
2	68,69	-1,98	-5,87	6,19	-17,48	73,72
3	68,69	-1,97	-5,88	6,20	-17,51	73,79
4	68,69	-1,98	-5,87	6,19	-17,47	73,71
5	68,69	-1,98	-5,87	6,19	-17,48	73,72
Mitjana	68,69	-1,98	-5,87	6,19	-17,48	73,73
Desv. Est.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03

**Taula 8.** Resultats dels diferents paràmetres de color pel PEAD 49070 en placa mesurats per l'instrument 26003

Repetició	L*	a*	b*	C*	YI	WI
1	68,94	-1,95	-5,86	6,17	-17,36	73,88
2	68,94	-1,97	-5,85	6,17	-17,37	73,85
3	68,94	-1,96	-5,87	6,18	-17,40	73,95
4	68,93	-1,94	-5,86	6,17	-17,36	73,88
5	68,94	-1,96	-5,85	6,17	-17,34	73,83
Mitjana	68,94	-1,96	-5,86	6,17	-17,37	73,88
Desv. Est.	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,05

En aquest cas pel polímer mesurat en placa per compressió la diferència és de 0.11. S'observa, comparant els resultats en grança i placa, que la diferència de l'índex de groc en grança és major que la diferència en placa.

Per tal de mostrar dues maneres diferents de comparar els resultats obtinguts de l'índex de groc es realitza un test F, i posteriorment un test t, per veure si les variàncies són comparables.

A l'empresa amb l'observació a simple vista de les mitjanes i la seva desviació estàndard es pot veure si els resultats són molt diferents i no es poden comparar. Sobretot és molt important que els valors estiguin dins especificacions. Realitzem el test F calculant la  $F_{cal}$  i tenint en compte que n és el nombre de repeticions, en aquest cas són 5:

$$F_{cal} = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{0.02^2}{0.02^2} = 1$$

$$F_{tab}(\alpha=0.05, 2 \text{ cues}, n_1-1, n_2-1,) = 9.60$$

Com  $F_{cal} < F_{tab}$  les desviacions  $S_1^2$  i  $S_2^2$  no difereixen estadísticament per a un nivell de significació  $\alpha$ . No rebutgem la hipòtesi nul·la i les dues variàncies són comparables. Ara realitzem El test t, calculant la  $t_{cal}$  i comparant-la amb la  $t_{tab}$ :

$$t_{cal} = \frac{|x_1 - x_2|}{\sqrt{S_p \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} = \frac{|-17.48 + 17.37|}{\sqrt{0.0004 \cdot \left(\frac{1}{5} + \frac{1}{5}\right)}} = \frac{0.11}{0.0126} = 8.696$$

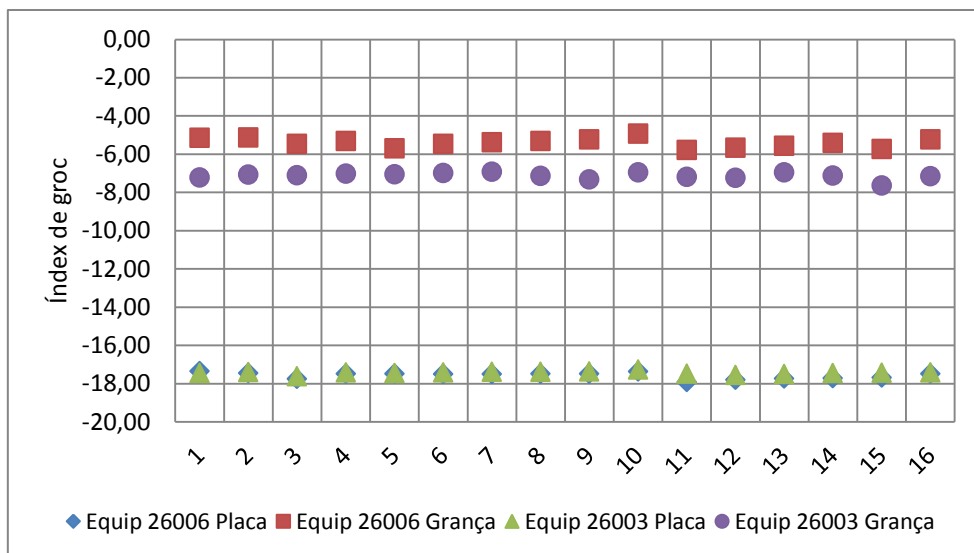
$$S_p = \frac{(n_1 - 1) \cdot S_1^2 + (n_2 - 1) \cdot S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} = \frac{4 \cdot 0.02^2 + 4 \cdot 0.02^2}{10 - 2} = \frac{0.0032}{8} = 0.0004$$

$$t_{tab}(\alpha=0.05, n_1+n_2-2) = 2.306$$

Com la  $t_{cal} > t_{tab}$  significa que hi ha diferències significatives entre les dues mitjanes i per tant rebutgem la hipòtesi nul·la. Segons el test realitzat no es poden comparar les dues mitjanes, degut a que les desviacions estàndard de les repeticions són molt petites.

Tal com s'observa a la **Figura 4** s'han representat tots el resultats obtinguts en grança i placa per compressió pel PEAD 49070 durant els 16 dies:

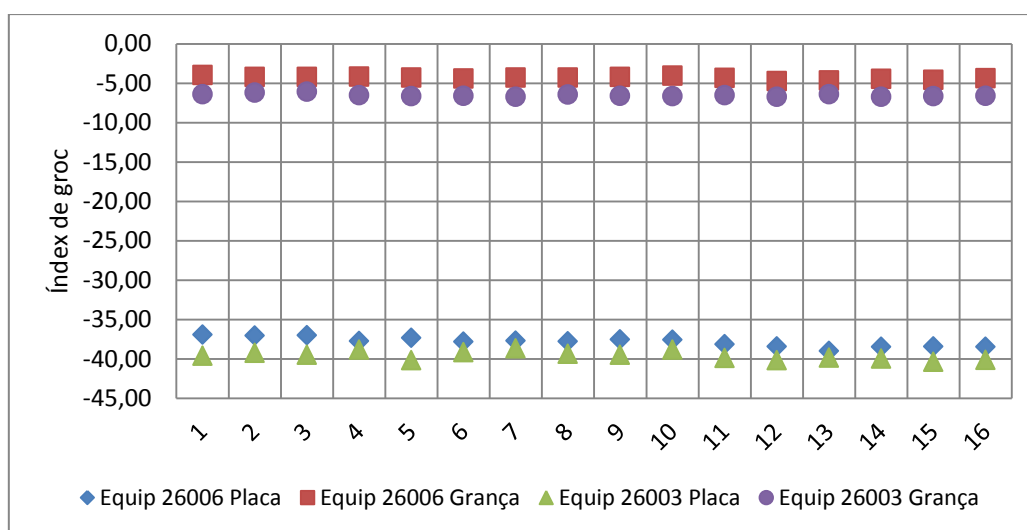




**Figura 4.** Resultats de l'índex de groc pel PEAD 49070 en grança i placa durant 16 dies

Del gràfic es pot concloure que l'instrument 26006 sempre presenta valors més grans en grança que l'instrument 26003. Els valors de la grança sempre es mantenen dins els mateixos límits sense variar massa però la diferència entre instruments és notable. En canvi els valors referents a la placa per compressió tal com s'ha vist anteriorment no mostren una diferència gran i els resultats casi bé no varien.

Pel polipropilè PP040 els resultats en grança i placa per compressió durant els mateixos 16 dies es representen a la **Figura 5**.



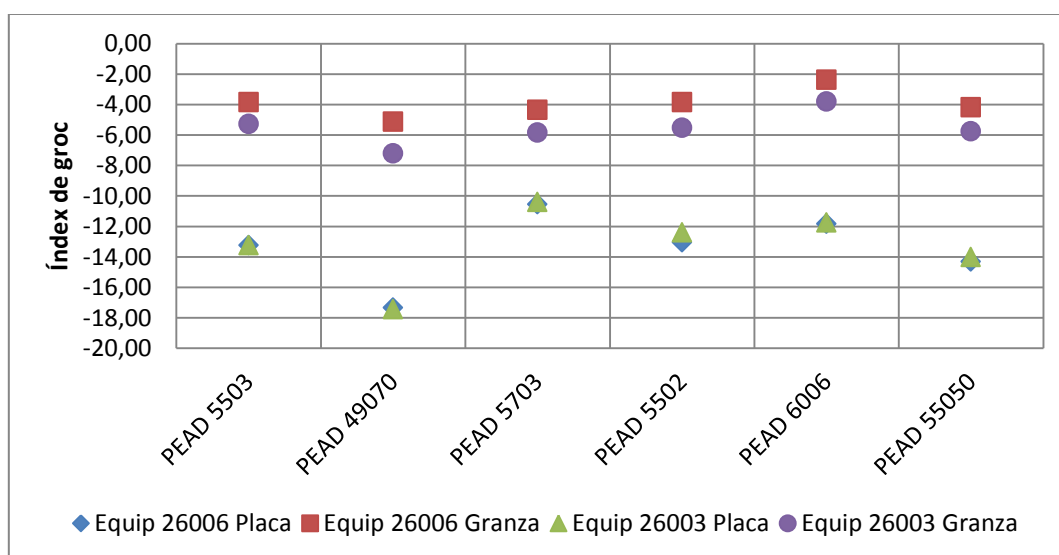
**Figura 5.** Resultats de l'índex de groc pel PP040 en grança i placa durant 16 dies

Pel polipropilè PP040 s'observa amb el pas del temps que la diferència de l'índex de groc entre instruments mesurats en placa és menor i els resultats són cada cop més semblants.

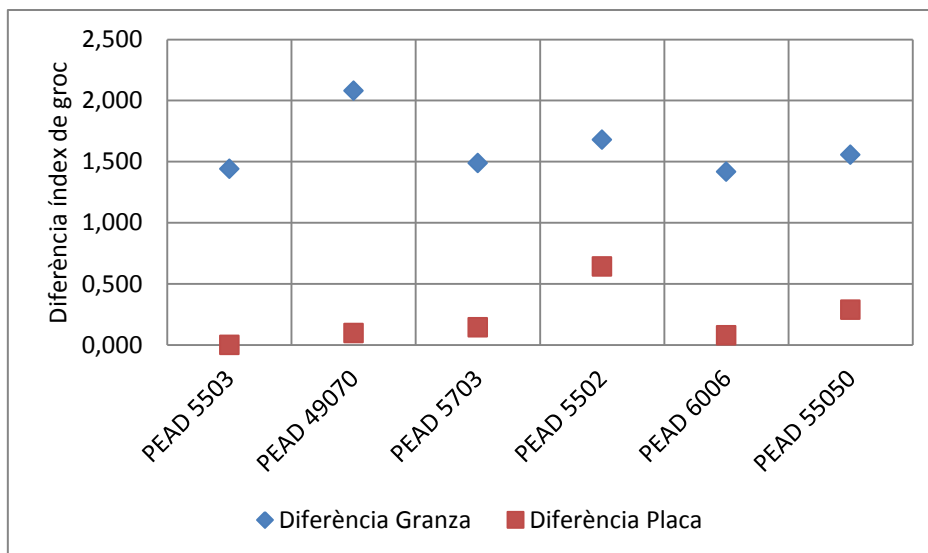
Tant en grança com en placa els resultats pel PEAD 49070 i el PP040 presenten una distribució constant i uniforme, i al llarg dels dies els polímers no es veuen afectats.

## 5.2. Mostres del procés previ a l'ensacat

Un cop s'ha determinat la reproductibilitat de l'anàlisi es mesuren la resta de polímers en grança i en placa per compressió i es realitzen les mateixes taules per tal de comparar els valors obtinguts pels dos espectrofotòmetres *color-view* BYK-GARDNER, els quals estan representats a la **Figura 6** per les mostres de PEAD en grança i placa.



**Figura 6.** Resultats de l'índex de groc pels PEAD en grança i placa mesurats en els instruments 26006 i 26003

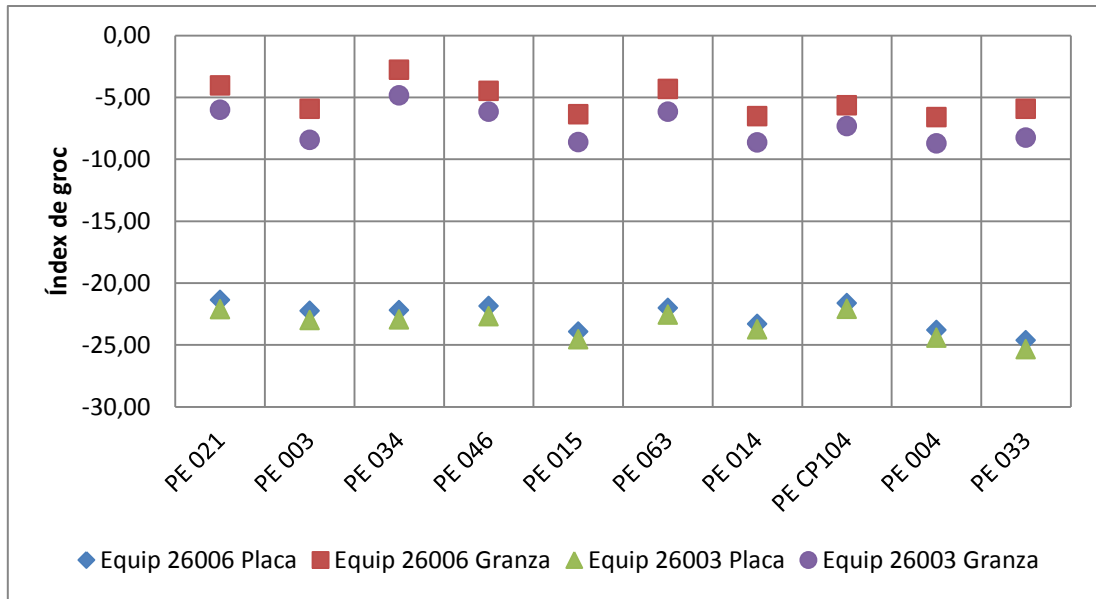


**Figura 7.** Diferència de l'índex de groc pels PEAD en grança i placa entre els instruments 26006 i 26003

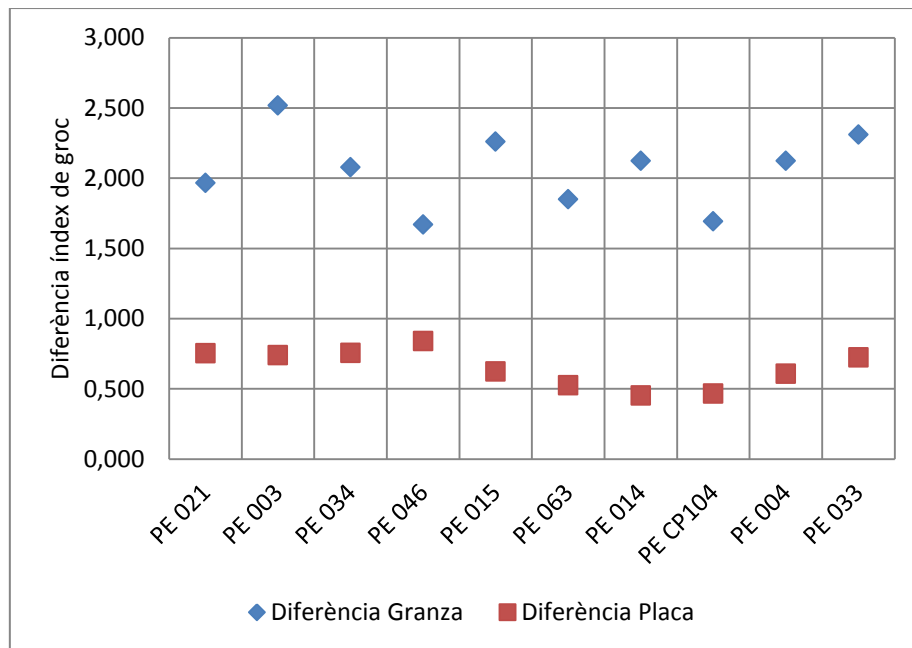
Pels polietilens d'alta densitat la figura mostra que els valors en grança es situen de manera dispersa entre els diferents tipus de PEAD, repartint-se en un interval ample entre -2 i -8. En placa per compressió els valors encara són més diferents entre tipus i l'interval de resultats es troba entre -10 i -18, un interval encara més ample que en grança.

La diferència calculada en valor absolut, mostrada a la **Figura 7**, entre ambdós instruments per tots els polietilens d'alta densitat és, com ja havíem vist, més gran en grança que en placa. El PEAD 5503, PEAD 49070 i el PEAD 6006 són els que tenen una diferència més baixa, pràcticament nul·la, i en canvi el PEAD 5502 és el que té una diferència major.

Pels polietilens de baixa densitat els resultats en general són més semblants entre els diferents tipus de PE que els PEAD, com es pot observar a la **Figura 8**. Els límits dels valors en grança es troben entre -10 i -2, i en placa per compressió entre -20 i -27. Pel que fa a les diferències en placa per compressió calculades entre els dos espectrofotòmetres el polipropilè de baixa densitat és el polímer que presenta una diferència més estable i constant al llarg dels diferents tipus, com mostra la **Figura 9**.



**Figura 8.** Resultats de l'índex de groc pels PEBD en grança i placa mesurats en els instruments 26006 i 26003

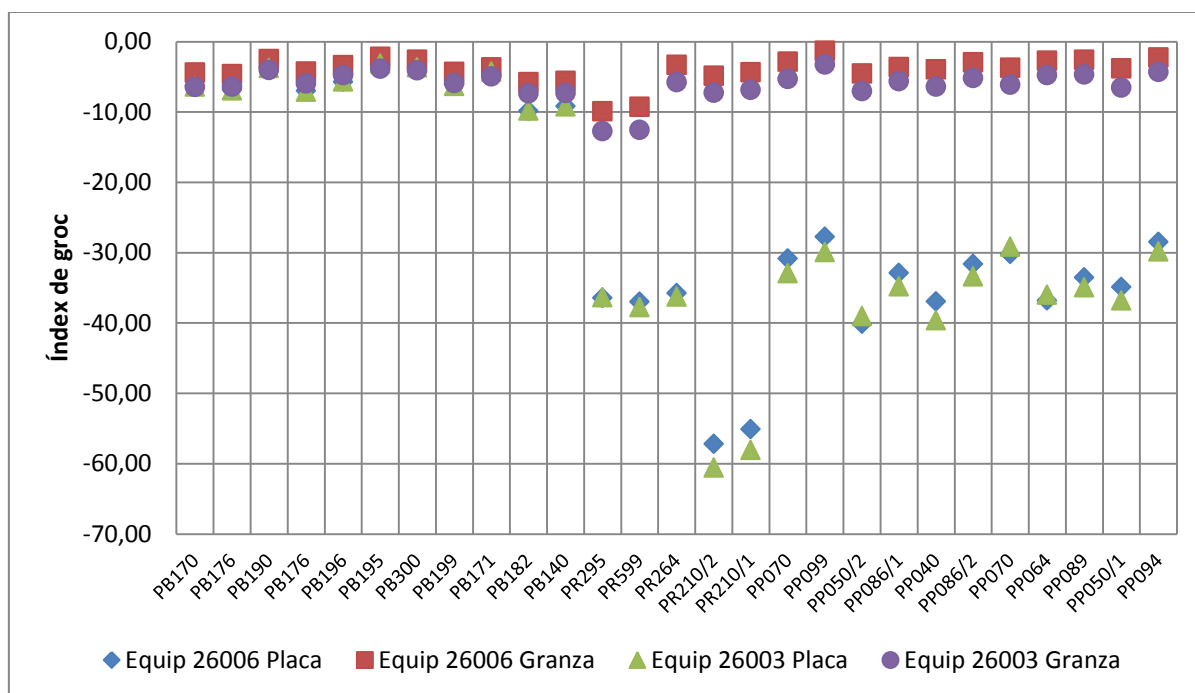


**Figura 9.** Diferència de l'índex de groc pels PEBD en grança i placa entre els instruments 26006 i 26003

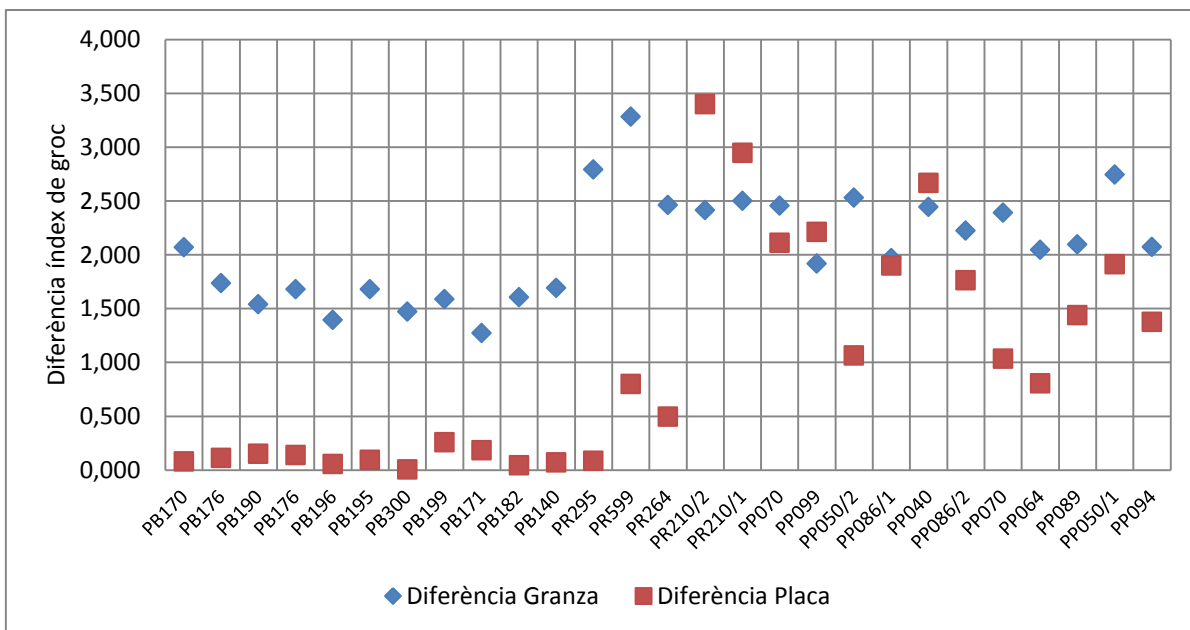
Els valors en grança i placa pels diferents tipus de polipropilens es representen a la **Figura 10**, on es pot veure com varien els valors entre els diferents tipus de polipropilens mesurats.

Els valors de l'índex de groc en grança es situen entre 0 i -10, excepte pel PR259 i PR599, els valors dels quals són menors que la resta. Els valors en placa pels PP són molt dispersos i es reparteixen al gràfic en una zona bastant àmplia. Pels productes PB els resultats entre placa i grança són més semblants que en el cas dels PR i PP.

Entre els diferents tipus de polipropilens els PP són els que presenten una diferència més elevada tant en grança com en placa, en canvi la diferència entre instruments en placa pels PB és molt baixa i els dos instruments aporten resultats molt semblants, com es mostra a la **Figura 11**. El gràfic mostra que també els PB són els que tenen unes diferències menors en grança. Pel PR259, PR599 i PP050/1 la diferència en grança és la més alta dels polipropilens. La diferència en placa dels PR és major que la dels PB. S'observa que els polímers PR210/1, PR210/2, PP040, PP099, i PP070 presenten una diferència en placa més elevada que la resta de polímers.



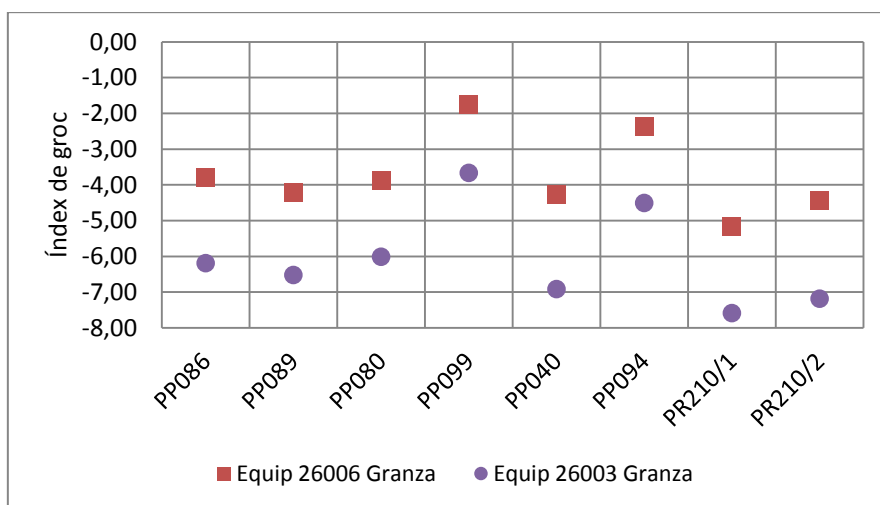
**Figura 10.** Resultats de l'índex de groc pels PP en grança i placa mesurats en els instruments 26006 i 26003



**Figura 11.** Diferència de l'índex de groc pels PP en grança i placa entre els instruments 26006 i 26003

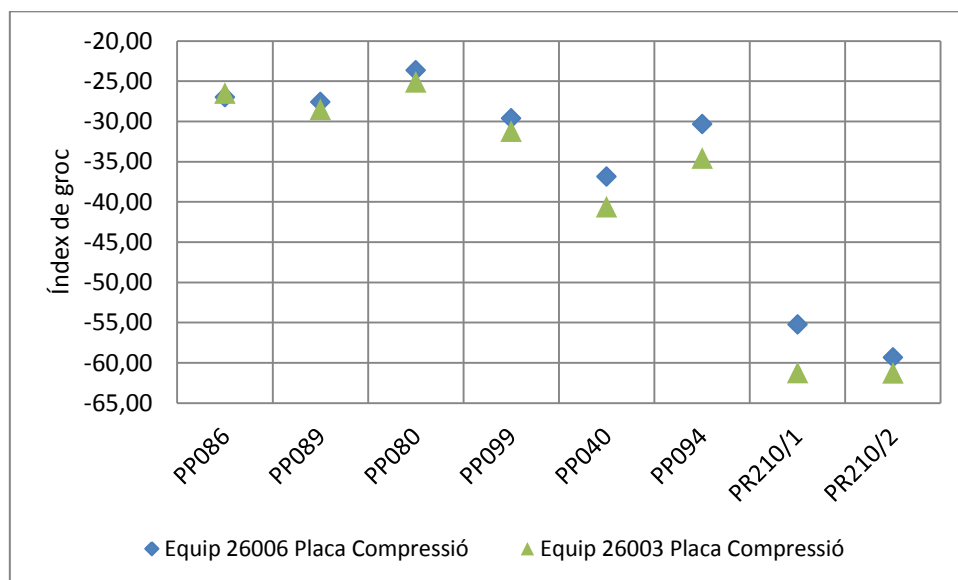
### 5.3. Productes ensacats

Els resultats de la mesura en grança pels productes ensacats s'han representat a la **Figura 12**, on es pot observar que la diferència entre un instrument i l'altre es manté constant pels diferents polímers. Els productes PP099 i PP094 són els polipropilens que donen un resultat menor, i la resta de polímers presenta uns resultats molt semblants tant per placa com per grança.



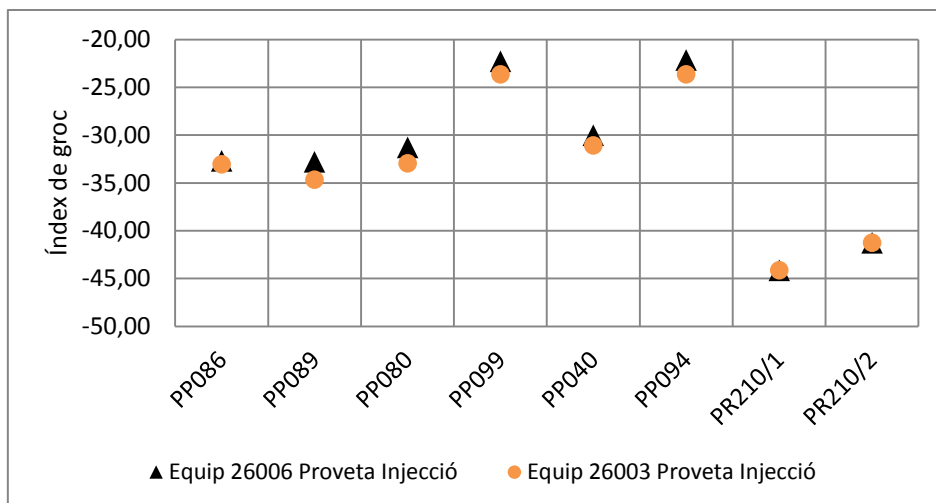
**Figura 12.** Resultats de l'índex de groc pels productes ensacats en grança mesurats en els instruments 26006 i 26003

A la **Figura 13** s'observen els resultats de l'índex de groc dels dos instruments en placa per compressió. Mostra d'una manera molt clara que la diferència entre els dos instruments varia molt segons el producte, comparada amb la diferència entre valors en grança. Els polipropilens que presenten una diferència més gran en placa dels polímers analitzats són el PP040, PP094 i PR210.



**Figura 13.** Resultats de l'índex de groc pels productes ensacats en placa per compressió mesurats en els instruments 26006 i 26003

Els resultats de la mesura de les plaques d'injecció pels mateixos polímers es representen a la **Figura 14**. La mesura de les plaques d'injecció dóna menys diferència entre espectrofotòmetres que les plaques per compressió. Sens dubte que és la millor tècnica per determinar l'índex de groc dels polímers, però requereix molt de temps per obtenir les plaques d'injecció.

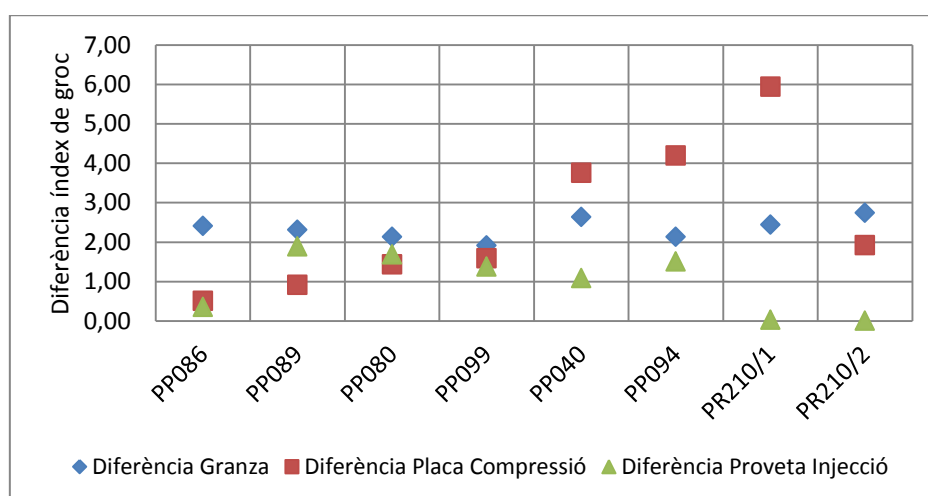


**Figura 14.** Resultats de l'índex de groc pels productes ensacats en placa d'injecció mesurats en els instruments 26006 i 26003

La **Figura 15** representa les diferències en valor absolut de l'índex de groc obtingudes entre els dos instruments pels polímers en grança, placa per compressió i placa d'injecció.

En tots els casos, excepte pels polímers PP089 i PP080 la diferència en placa d'injecció es troba per sota de la diferència en placa per compressió i en grança, confirmant que és el millor mètode per tal de mesurar l'índex de groc en placa. Els valors de la diferència en grança són bastant constants per tots els polímers, ja que la diferència es troba sempre entre 2 i 3 unitats.

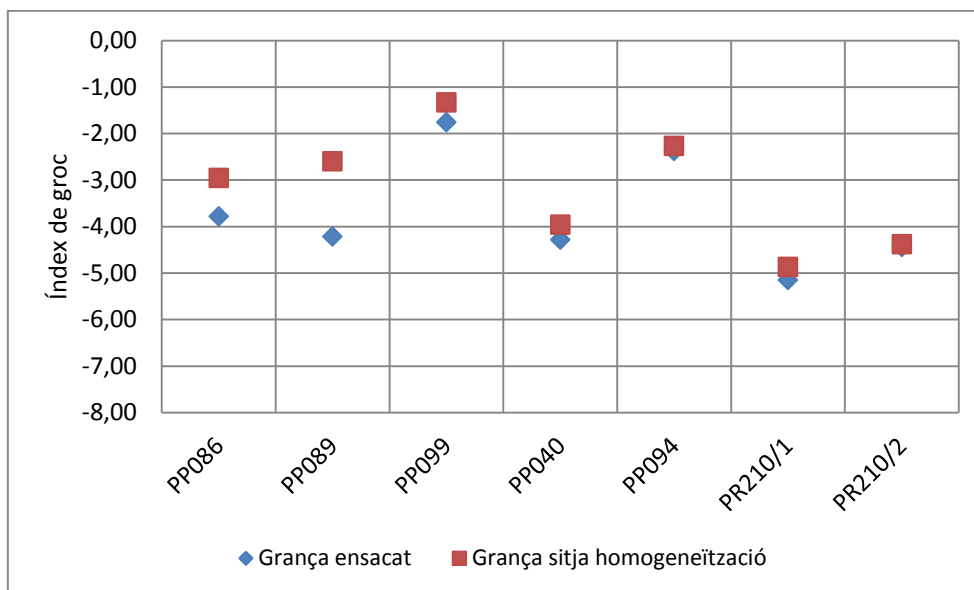
La diferència en placa per compressió és menor que la diferència en grança, tal com ho havíem vist anteriorment, però hi ha tres polímers, el PP04, PP094 i PR210, que la seva diferència és molt més elevada que la resta i està per sobre fins i tot de la diferència en grança.



**Figura 15.** Diferència de l'índex de groc entre els instruments 26006 i 26003 pels productes ensacats en grança, placa per compressió i placa d'injecció



També es comparen els resultats entre placa de compressió dels ensacats i els productes que entren al laboratori provinents de la sitja d'homogeneïtzació, però aquest cop només es compara per un mateix instrument. La **Figura 16** mostra la comparació entre els polímers ensacats i els corresponents a la sitja d'homogeneïtzació en grança per l'espectrofotòmetre 26006. Els resultats dels productes ensacats són sempre menors en grança i en placa que els dels productes de la sitja d'homogeneïtzació. Excepte pels dos primers polímers, PP086 i PP089, els resultats no varien gaire entre ensacats i sitja d'homogeneïtzació.

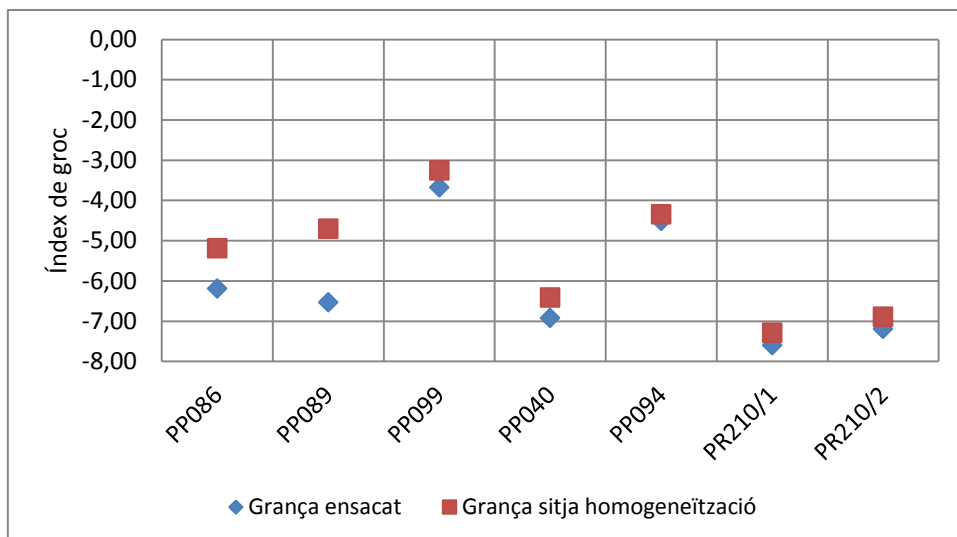


**Figura 16.** Resultats dels productes ensacats i la sitja d'homogeneïtzació en grança per l'instrument 26006

Els valors en grança comparats entre ensacats i sitja homogeneïtzació en el mateix instrument 26003, es pot veure en la **Figura 17** com les diferències són molt semblants. Els resultats de l'instrument 26003 segueixen la mateixa distribució que els mesurats per l'espectrofotòmetre 26006.

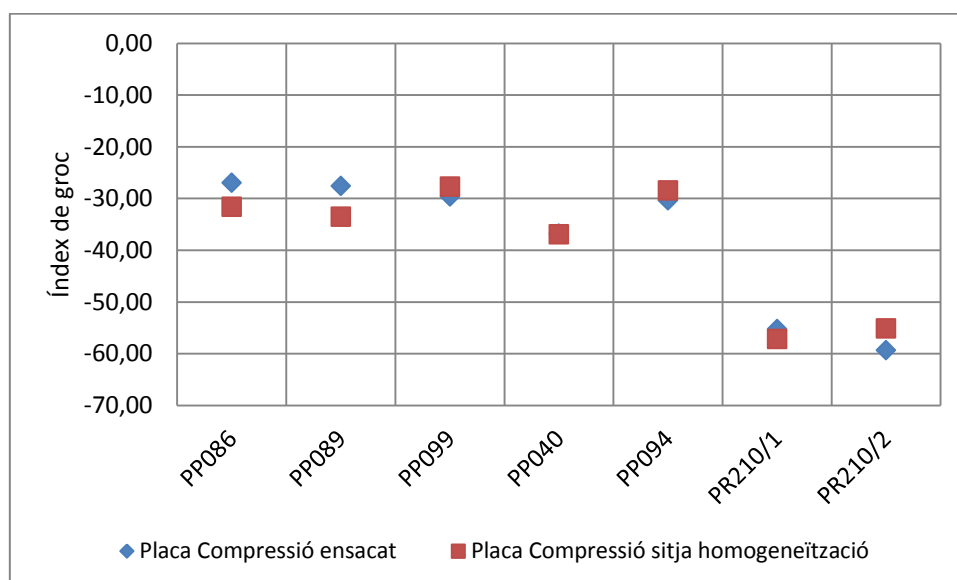
També s'observa que la comparació entre ensacats i sitja d'homogeneïtzació pels polímers PP086 i PP089 aporta uns resultats amb molta diferència. Els polímers PP099 i PP094 són els productes que presenten uns valors més alts, tant pel gràfic de placa com pel de grança.

Pels valors corresponents a la sitja d'homogeneïtzació dels PP es veu com a mesura que augmenta el nombre que identifica el polímer l'índex de groc dona valors menors, és a dir, a l'augmentar l'índex de fluïdesa del polímer, els valors d'índex de groc seran més positius.

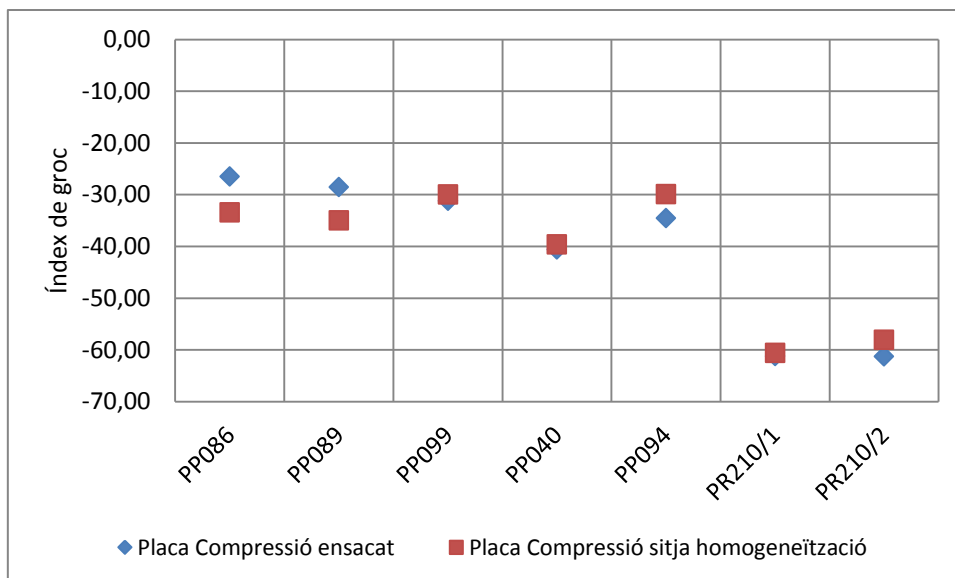


**Figura 17.** Resultats dels productes ensacats i la sitja d'homogeneïtzació en grança per l'instrument 26003

Pel que fa als resultats de les plaques per compressió comparant els productes que provenen dels ensacats i de la sitja d'homogeneïtzació, a la **Figura 18**, es veu com també els polímers PP086 i PP089 mesurats per l'espectrofotòmetre 26006 presenten una diferència major que la resta de polipropilens. En placa per compressió el PR210/2 té una alta diferència, cosa que no s'observava en el mateix gràfic en grança. Pel PP090, PP040 i PR210/1 les diferències són petites.



**Figura 18.** Resultats dels productes ensacats i la sitja d'homogeneïtzació en placa per compressió per l'instrument 26006



**Figura 19.** Resultats dels productes ensacats i la sitja d'homogeneïtzació en placa per compressió per l'instrument 26003

El mateix gràfic mesurat per l'instrument 26003, **Figura 19**, mostra que les diferències dels productes PP086 i PP089 augmenten respecte l'instrument 26006. Per l'instrument 26003 el polímer PP094 també presenta una diferència elevada, la qual no es mostrava al gràfic anterior. En tots els polipropilens, excepte els PP086 i PP089, els resultats que provenen dels polímers ensacats són majors, és a dir menys negatius, que els resultats que provenen de la sitja d'homogeneïtzació.

Les diferències entre mostres provinents de la sitja d'homogeneïtzació i ensacats no són destacables en les diferents figures i els resultats són molt semblants en els dos casos.

## 6. Gestió de residus

A l'empresa tots els residus industrials de polímer, polietilens i polipropilens utilitzats en les anàlisis al laboratori, així com graus i especificacions no satisfactoris, els recull el gestor Ravago per fabricar plàstics reciclats i mescles de plàstics. Anteriorment les empreses petroquímiques cremaven els seus residus de producció per generar electricitat en les seves plantes.

L'oferta de Ravago és un aspecte positiu i beneficiós tant a nivell mediambiental com a nivell econòmic de l'empresa perquè d'aquesta manera s'evita l'emissió de gasos, com pot ser CO<sub>2</sub>, a

causa de la crema de residus i l'empresa compta amb una sortida per vendre la producció residual.

Per exemple un dels productes que utilitza Ravago és el polipropilè PP, a partir del qual produeix Mafill. El PP Mafill comprèn una sèrie de compostos de polipropilè reciclat de qualitat industrial i d'alta qualitat que ofereix un excel·lent equilibri entre propietats mecàniques i preu. Entre les aplicacions del PP Mafill destaquen la fabricació de conductes d'aire, carcasses de filtrat d'aire, peces de para-xocs i penjadors de plàstic.<sup>7</sup>

## **7. Conclusions**

For the intermediate products of the low density and the high density polyethylene, polypropylene heterophasic (PB) and polypropylene random (PR), the yellow index differences between both instruments in a compression plaque is always lower than for polypropylene homopolymers (PP), which present the highest differences of all measured polymers. However, HDPE and PB are those with a smaller difference in plaque.

It has been observed that differences between measurements from two instruments for pellets final products follow a constant and uniform distribution for all polymers. The difference in some compression plaque final products is higher than the difference in pellets, although for intermediate products the higher difference relates to pellets.

The measurement of yellow index by injection plaques is the method that works best, but requires more time to obtain the injection plaques than the compression plaques.

The comparison between intermediate products and final products have no significant differences, except for PP086 and PP089 polymers, whose difference is higher than for the rest of products.

## 8. Bibliografia

1. What is color and how is measured? *HunterLab. The color Management Company*, 2000, Vol.12, 5, 1-8.
2. Colorimetria aplicada. Datacolor, *Aguilar& Pineda Asociados, S.L.* (formació interna Repsol)
3. <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso07-08/pe/polietileno%20de%20baja%20densidad.htm> (19/06/2015)
4. <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/hdpe/hdpe.htm> (19/06/2015)
5. [http://www.osram.es/osram\\_es/noticias-y-conocimiento/lamparas-halogenas/conocimiento-profesional/proceso-del-ciclo-halogeno/index.jsp](http://www.osram.es/osram_es/noticias-y-conocimiento/lamparas-halogenas/conocimiento-profesional/proceso-del-ciclo-halogeno/index.jsp) (19/06/2015)
6. <http://zeiss-campus.magnet.fsu.edu/articles/lightsources/tungstenhalogen.html> (19/06/2015)
7. <http://www.resinex.es/productores/ravago.html> (19/06/2015)