



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN
PROCEDIMIENTO PARA LA PREVENCIÓN DE
DEFECTOS EN LA PRODUCCIÓN DE ENVASES
PLÁSTICOS A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Química

AUTOR/A: Ciudad Plúmez, David

Tutor/a: Carsí Rosique, Marta

Cotutor/a: Sanchis Sánchez, María Jesús

Cotutor/a externo: ESCRIVA ESTRUCH, MARIA INMACULADA

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE MASTER EN INGENIERÍA QUÍMICA

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO PARA LA PREVENCIÓN DE DEFECTOS EN LA PRODUCCIÓN DE ENVASES PLÁSTICOS A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO

AUTOR: DAVID CIUDAD PLÚMEZ
TUTORA: MARTA CARSI ROSIQUE
COTUTORA: MARÍA JESÚS SANCHIS SÁNCHEZ

Curso Académico: 2021-22



“A mi familia, por su apoyo incondicional.”

“A mis tutoras, Marta Carsí y Maria Jesús Sanchis, por su dedicación y entrega durante estos meses.”

“A todas las personas que han estado apoyándome durante los momentos más difíciles.”



RESUMEN

La búsqueda de la sostenibilidad es un requisito indispensable en la sociedad actual, destacando la necesidad de lograr este objetivo en las industrias que se dedican a la producción de materiales plásticos. El presente Trabajo de Fin de Máster se centra en desarrollar un procedimiento para prevenir la aparición de defectos en los productos plásticos obtenidos a partir de materia prima reciclada. En concreto, el material polimérico sobre el que se abordará el estudio es el tereftalato de polietileno (PET).

El proceso productivo comprende: la denominada industrialmente cristalización, donde el granulado se deshumedece y obtiene las propiedades adecuadas; la extrusión, donde se forma la bobina mediante el extrusionado del PET; y, por último, el termoformado, donde se confiere al material plástico las características requeridas según producción. El producto final son bandejas de plástico destinadas a uso alimentario con gran variedad de características dependiendo del requerimiento de los clientes.

La humedad residual presente en el granulado de PET es un factor crucial en la fabricación de productos plásticos. Por ello, el TFM se focaliza en el estudio e implementación del método más adecuado para la determinación de este parámetro en planta, caracterizando así las distintas materias primas empleadas y, de esta manera, comprender y solucionar la problemática hallada en el proceso productivo.

Así pues, el TFM estudia las posibles alternativas disponibles en el mercado para medir la humedad residual presente en el granulado. Posteriormente, los valores obtenidos son comparados con las mediciones realizadas en un laboratorio externo mediante la valorización Karl Fischer, un método avanzado y muy costoso, no siendo la opción más adecuada para la determinación de este parámetro a escala industrial. Todo ello permite obtener unas correlaciones entre ambos resultados, y así lograr unos criterios de aceptación de las materias primas.

Por último, el TFM presenta un estudio sobre la selección del material reciclado optimizado tras analizar las distintas opciones posibles, obteniendo así una mejora productiva en la planta y un mayor rendimiento en la fabricación de envases plásticos.

Palabras clave: humedad, plásticos, defectos, PET, reciclado, correlaciones.



ÍNDICE GENERAL

Documentos contenidos en el TFG

- Memoria
- Presupuesto
- Anexo

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1.	OBJETO	1
2.	JUSTIFICACIÓN.....	2
3.	ALCANCE.....	3
4.	ANTECEDENTES	4
4.1	Historia del plástico	4
4.2	Proceso de obtención del tereftalato de polietileno	6
4.3	Características del PET	7
4.4	Reciclaje del PET	9
5.	NORMAS Y REFERENCIAS	13
6.	ANÁLISIS DEL PROCESO PRODUCTIVO	15
6.1	Extrusión.....	17
6.2	Termoformado	21
6.3	Aplicador de cola.....	23
6.4	Aparición de defectos en el producto final	25
6.4.1	Tipos de defectos	25
6.4.2	PP vs PET.....	27
6.4.3	Pérdidas producidas por defectos.....	29
7.	ESTUDIO DE SELECCIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN	31
7.1	Selección del equipo	31
7.2	Verificación del equipo adquirido	34
7.2.1	Comparativa con la valoración de Karl Fischer	34
8.	OBTENCIÓN DE RESULTADOS.....	39
8.1	Validación del impactómetro	39

8.2	Dependencia de la fragilidad en la lámina	43
8.3	Implementación del control de calidad en el proceso	50
9.	ESTUDIO ECONÓMICO DE LOS EQUIPOS ADQUIRIDOS	52
9.1	Coste de la inversión	52
9.1.1	Equipos	52
9.1.2	Instrumentación eléctrico y conexiones	52
9.1.3	Presupuesto de la inversión inicial	53
9.2	Beneficio asociado a la inversión	53
9.3	Rentabilidad del proyecto	54
10.	CONCLUSIONES	56
11.	BIBLIOGRAFÍA	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Uso del plástico global en los últimos 70 años, en millones de toneladas, Mt. (OECD, 2022)	5
Figura 2: Distribución del tiempo de vida de los plásticos en función de su aplicación (Geyer, Jambeck, & Law, 2017).....	5
Figura 3: Diagrama del proceso de fabricación del tereftalato de polietileno (PTM, 2016).....	7
Figura 4: Estructura monomérica del tereftalato de polietileno (Wikipedia, 2015).....	7
Figura 5: Circularidad del PET reciclado (Ecoologic, 2022)	12
Figura 6: Plano de la planta en el año 2011 (Faerch, 2022)	15
Figura 7: Plano de la planta en el año 2022 (Faerch, 2022)	16
Figura 8: Perfil de la extrusora "R" (Faerch, 2022).....	18
Figura 9: Flujograma de la materia prima previo a extrusión (Faerch, 2022).....	19
Figura 10: Perfil de la extrusora "L" (Faerch, 2022)	20
Figura 11: Vista en 3D del bobinador de cuatro puntos de la extrusora "R" (Faerch, 2022).....	20
Figura 12: Perfil de la termoformadora "Kiefel 78"	21
Figura 13: Perfil y alzado de la termoformadora "Gabler"	23
Figura 14: Vista en 3D del dispensador de cola MAPET II Offline (Faerch, 2022).....	24
Figura 15: Defectos clasificados como categoría 1 internamente (Faerch, 2022)	25
Figura 16: Defectos clasificados como categoría 2 internamente	26
Figura 17: Defectos clasificados como categoría 3 internamente	27

Figura 18: Distribución del porcentaje de materia prima empleada en la producción de envases plásticos (OECD, 2022)	28
Figura 19: Equipo para realizar la valoración coulométrica de Karl Fischer (Metrohm, 2020) ..	34
Figura 20: Recipiente para almacenar PET previo al ensayo de humedad. De izquierda a derecha: vacío; con reciclado interno de PET, con reciclado externo procedente de botellas de PET.....	35
Figura 21: Impactómetro de caída libre al dardo BMC-B1 "Labthink" (Metrotec, 2022)	40
Figura 22: Correlación entre los resultados del equipo BMC-B1 de la empresa y el equipo CEAST 9350 de la sucursal.....	42
Figura 23: Esquema de la extrusora "R" (Faerch, 2022)	44
Figura 24: Estudio de la influencia de la humedad en el granulado de PET sobre la fragilidad de la lámina	46
Figura 25: Estudio de la influencia del vacío en la extrusora sobre la fragilidad de la lámina....	48
Figura 26: Estudio de la influencia del vacío en el reactor sobre la fragilidad de la lámina	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Bandejas bloqueadas y rechazadas en el primer trimestre de 2022	30
Tabla 2: Comparación de resultados con la valoración de Karl Fischer, en ppm.....	37
Tabla 3: Comparación de la fragilidad obtenida mediante el equipo BMC-B1 y el equipo CEAST 9350.....	41
Tabla 4: Registro de datos para determinar la dependencia de la fragilidad frente a la humedad	45
Tabla 5: Registro de datos para determinar la dependencia de la fragilidad frente al vacío de la extrusora	47
Tabla 6: Registro de datos para determinar la dependencia de la fragilidad frente al vacío en el reactor	49
Tabla 7: Resumen del presupuesto del impactómetro y el equipo de medición de la humedad	53
Tabla 8: Flujos de caja de los próximos 5 años	54

GLOSARIO

- PET: Tereftalato de polietileno
- rPET: Tereftalato de polietileno reciclado
- OECD: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos



- CTA: Ácido tereftálico crudo
- MPP: Policondensación en estado fundido
- BHET: Bis hidroxí etil tereftalato
- SSP: Policondensación en estado sólido
- A-PET: Tereftalato de polietileno amorfo
- C-PET: Tereftalato de polietileno cristalino
- DRS: Sistema de devolución de depósitos (Drag Reduction System)
- EPDM: Caucho de Etileno Propileno Dieno tipo M
- ONU: Organización de las Naciones Unidas
- ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

MEMORIA

1. OBJETO

El presente Trabajo de Final de Máster (en adelante, TFM) tiene como objeto el estudio de la materia prima empleada para la fabricación de envases plásticos, a partir de material reciclado, destinados al sector de la alimentación. Dicho estudio permitirá conocer en detalle los efectos adversos producidos por la humedad presente en el granulado consumido en el proceso productivo de la empresa, con la finalidad de prevenir los posibles defectos ocasionados en el producto final.

Por ello, el presente trabajo se centrará en el análisis experimental de la humedad residual en la materia prima reciclada mediante la adquisición de un instrumento de medida adecuado a las características de la empresa de transformación de materias plásticas, Faerch, donde se desarrolla la parte experimental del TFM. Posteriormente, se cotejarán los resultados obtenidos con una metodología más sofisticada que se lleva a cabo en el laboratorio de una sucursal de la empresa.

De esta manera, se logrará validar un procedimiento para analizar la humedad residual en el granulado de tereftalato de polietileno reciclado (rPET) de manera intrínseca en la empresa, pudiendo detectar materia prima defectuosa previa a la fabricación del producto final.

Además, se realizará un estudio del proceso productivo con la finalidad de determinar aquellos puntos del proceso de fabricación en los que la presencia de humedad es crítica. Este estudio nos permitirá conocer cómo reducir la significancia de la humedad en el proceso y, por tanto, evitar la producción de envases plásticos con defectos asociados a la presencia de humedad en la granza polimérica de origen reciclado.

Así pues, la finalidad del TFM es lograr una mejora productiva significativa en el proceso de producción de la planta, analizando los problemas asociados a la humedad residual del granulado de PET reciclado a partir de la implementación y validación de un método fiable para estimar la humedad y, de esta manera, reducir los desperfectos hallados en el producto final, aumentando la competitividad y los beneficios de la empresa.

1. JUSTIFICACIÓN

Durante las últimas décadas, la preocupación social y política sobre los residuos generados ha desembocado en un cambio favorable hacia la producción de productos obtenidos a partir de materiales reciclables. El progreso que ha experimentado el conocimiento de los materiales poliméricos, así como de las tecnologías de procesado de estos ha supuesto un gran avance en la industria del plástico. Concretamente, el desarrollo tecnológico en materias primas como el tereftalato de polietileno (PET) han permitido fabricar productos reciclables, lo que supone una contribución en la reducción de la huella de carbono de los productos procesados a partir de materias plásticas.

En consecuencia, la justificación del proyecto recogido en este TFM surge de la necesidad de conocer en detalle la problemática actual y las principales causas asociadas a la presencia de defectos en la producción de envases plásticos de PET. En concreto, el TFM se centra en la determinación de la humedad como principal causa de la aparición de defectos en la lámina, dadas las reclamaciones interpuestas por los clientes en los últimos años y el desconocimiento sobre la influencia que presenta dicho parámetro en la aparición de defectos en el producto final. De esta manera, el proyecto plantea un análisis profundo sobre la humedad presente en el material empleado, proponiendo una solución eficiente. Así pues, la implementación de un procedimiento que logre prevenir la aparición de defectos en el material a lo largo del proceso productivo permitirá a la empresa obtener un beneficio mayor, reduciendo el número de paradas en la producción por problemas asociados a la calidad del material, así como un menor número de reclamaciones de los clientes al reducir el número de lotes en los que aparezcan defectos.

Asimismo, el proyecto presenta una justificación académica, cumpliendo el requisito establecido por el Máster de Ingeniería Química de redactar un trabajo de carácter profesional relacionado con la materia estudiada.



2. ALCANCE

El alcance del presente proyecto se recoge en los siguientes apartados:

- Explicar detalladamente el funcionamiento actual de la planta, así como las necesidades productivas y de aseguramiento de la calidad que presenta.
- Estudiar el equipo de medición adecuado a las especificaciones de la empresa para la realización de los ensayos de humedad en la materia prima.
- Realizar ensayos experimentales del granulado de PET para conocer las propiedades actuales del material.
- Verificar la validez equipo adquirido al comparar resultados con un laboratorio externo más sofisticado.
- Realizar ejercicios de trazabilidad del material producido para encontrar la relación con los valores de humedad obtenidos mediante ensayos.
- Determinar cómo afecta el parámetro estudiado al desviarse de los valores normales y estudiar el beneficio producido al evitar la aparición de defectos.
- Analizar parámetros del proceso de extrusión que tengan influencia sobre la aparición de defectos en la lámina de bobina.
- Poner en funcionamiento un equipo de medición de la resistencia al impacto en la lámina y conocer el límite de rotura para validar el producto.
- Obtener la dependencia entre la humedad analizada de la materia prima y la fragilidad del producto
- Implementar un control de calidad basado en los equipos de medición empleados en el proyecto para validar el producto final fabricado en la empresa.

3. ANTECEDENTES

3.1 Historia del plástico

El desarrollo tecnológico, industrial y social producido a lo largo del siglo XX desemboca en un cambio mundial debido a la aparición de un nuevo material que, en la actualidad, abarca cualquier tipo de sector industrial conocido. Así pues, los polímeros conocidos bajo la denominación de plásticos concurren con una sociedad que se encuentra en pleno desarrollo ofreciendo soluciones innovadoras a los desafíos, además de mejorar la calidad de vida de la ciudadanía. Sus propiedades fisicoquímicas convierten al plástico en una familia de materiales extraordinarios, lo que permite satisfacer innumerables exigencias funcionales de la industria, destacando su facilidad de producción, la versatilidad y adaptabilidad, así como sus reducidos costes de fabricación.

A mitad del siglo XIX comienzan investigaciones sobre los polímeros, un término acuñado por primera vez en el año 1832 por el químico Jöns Jacob Berzelius. A lo largo de la segunda mitad del siglo, aparecen diversos descubrimientos relacionados con los polímeros como el linóleo, el celuloide, el caucho artificial o el poliestireno (Fenichell, 2019). La mayoría de los experimentos realizados con polímeros no presentaban una finalidad específica puesto que el estudio y la inversión sobre los plásticos destacaba por su ausencia en aquella época.

En los años posteriores, el avance tecnológico en diversos sectores fomentó un gran progreso en la investigación sobre los plásticos. Fueron diversos científicos como Fritz Klatte, Hermann Staudinger, Leo Baekeland, Hans von Pechmann entre otros muchos investigadores, quienes permitieron progresar en el conocimiento sobre este tipo de material a través de sus hallazgos, introduciendo los avances logrados en el campo de la ingeniería, así como en la industria durante la primera mitad del siglo XX (Morawetz, 1995). La primera mitad del siglo XX destacó por el desarrollo de nuevos materiales plásticos como el polipropileno (PP), el poliestireno (PE), el poliestireno (PS) y el policloruro de vinilo (PVC), fomentados por una evolución en el conocimiento sobre macromoléculas, las grandes transformaciones sociales y las necesidades bélicas del momento, entre las que destaca la Segunda Guerra Mundial.

En el tramo final del siglo XX y principios del siglo XXI, el plástico ha destacado por la globalización que ha sufrido, estando presente en la gran mayoría de sectores industriales como son la industria farmacéutica, automoción, envases para todo tipo de material, electrónica, etc. Su producción se ha visto incrementada de forma exponencial en todo el mundo, logrando una mejora tecnológica y económica sustancial en gran parte de los sectores.

En la Figura 1 se muestra la tendencia en la fabricación y uso de plásticos desde 1950 hasta la actualidad. Tal y como se aprecia en la gráfica mostrada, se produce un gran aumento durante las últimas décadas, cuadruplicándose el uso del plástico en tan solo 30 años. Este incremento desmesurado del uso del plástico es fomentado principalmente por el fuerte desarrollo de las economías mundiales, entre las que destacan Asia y América como los mayores consumidores de plástico.

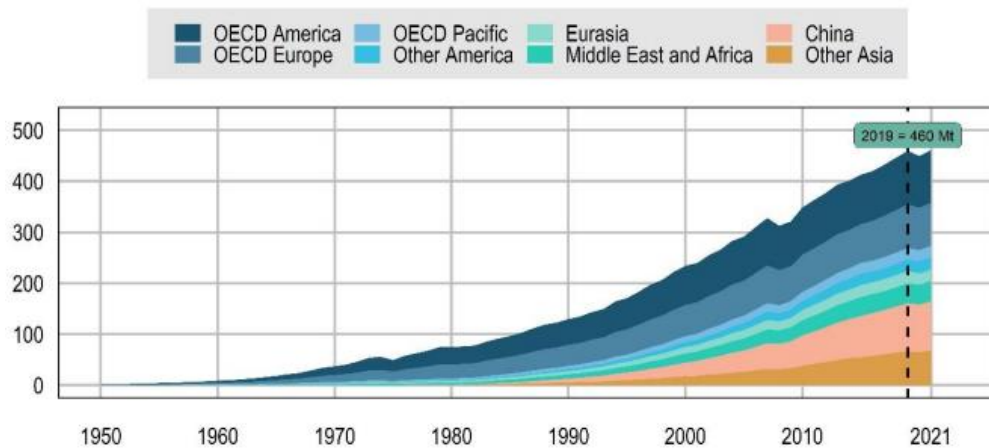


Figura 1: Uso del plástico global en los últimos 70 años, en millones de toneladas, Mt. (OECD, 2022)

El fuerte crecimiento de la población debido a una mejora en las condiciones de vida durante el final del siglo XX y principios del siglo XXI ha supuesto un gran aumento del gasto de los recursos disponibles para el ser humano. Además, la acumulación de residuos generados por la población supone un grave peligro para el medioambiente, contaminando todo ecosistema conocido debido a una mala gestión de los desechos producidos. Dicha problemática, unida a la resistencia física y química de la degradación que presentan los plásticos, implica un coste ambiental incalculable para nuestra generación, así como para las generaciones venideras.

En la actualidad, únicamente se recicla el 9% de la totalidad de los plásticos usados, mientras que un 22% de los plásticos consumidos se desechan sin ningún control, lo que supone aproximadamente una fuga de 22 millones de toneladas en forma de macroplásticos y microplásticos al medioambiente. El resto de los plásticos, bien se gestionan mediante un proceso de incineración (17%) o bien son desechados a un vertedero controlado (46%) (OECD, 2022). Un factor clave para entender la elevada cantidad de residuos plásticos producidos es el tiempo de vida de estos. En la Figura 2 se muestra el tiempo de vida de los plásticos en función de su aplicación. Es destacable la reducida vida útil que presentan los productos destinados a envases o embalajes. De acuerdo con la OECD, los plásticos desechados en el año 2019 fueron un total de 353 Mt, de los cuales un 40% provenía de envases y embalajes.

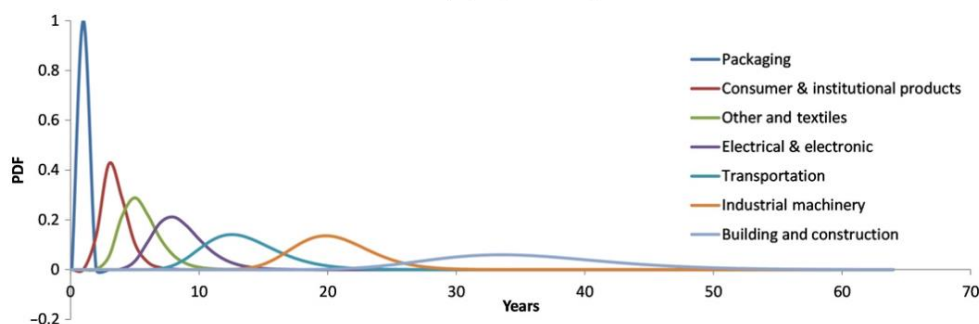


Figura 2: Distribución del tiempo de vida de los plásticos en función de su aplicación (Geyer, Jambeck, & Law, 2017)

Basándose en todos los problemas expuestos anteriormente, así como las medidas introducidas por parte de la Unión Europea en el marco estratégico hacia una Economía Circular, se impone un cambio en el proceso productivo de las empresas dedicadas al sector plástico.

Como respuesta, aparecen en escena nuevos materiales que destacan por su alto grado de reciclabilidad, entre los que se distingue el tereftalato de polietileno, conocido por sus siglas anglosajonas como “PET”, por sus magníficas propiedades fisicoquímicas, convirtiéndolo en un material ideal para envases alimentarios o bebidas. Adicionalmente al uso de materiales reciclables, es necesario un cambio radical en la actuación de las empresas para lograr los objetivos establecidos, ambiciosos pero necesarios para disminuir la huella de carbono producida.

Actualmente, la capacidad de reciclaje en España únicamente cubre un 60% de la exigencia europea establecida en la *Directiva (UE) 2019/904*, por lo que es conveniente llevar a cabo en los próximos años una gran reforma en el mercado del reciclaje, fomentando la inclusión del PET reciclado (r-PET), así como otros productos y desarrollos tecnológicos que consigan mejorar el proceso (CIDEA, 2022).

3.2 Proceso de obtención del tereftalato de polietileno

La fabricación del tereftalato de polietileno (PET) se lleva a cabo principalmente a través de una esterificación directa del ácido tereftálico ($C_8H_6O_4$) junto el etilenglicol ($C_2H_6O_2$).

El primero de los compuestos mencionados es obtenido a partir del refinado del petróleo, mediante el cual se produce p-xileno, un producto intermedio que se empleará posteriormente para obtener ácido tereftálico crudo (CTA) en presencia de una serie de catalizadores definidos. Por último, tras una purificación, se obtiene el ácido tereftálico empleado en la fabricación de resina virgen de PET.

Respecto al etilenglicol, la primera etapa para lograr su síntesis es la oxidación del etileno en presencia de catalizadores, obteniendo el óxido de etileno. La adición de agua permite sintetizar, mediante una reacción altamente exotérmica, el producto final de interés, así como CO_2 que será debidamente eliminado para aumentar la pureza del etilenglicol.

Tras realizar la esterificación, la masa obtenida del proceso se somete a un proceso de policondensación en estado fundido (MPP) donde el monómero intermedio formado, el bis hidroxil etil tereftalato (BHET) aumentará su grado de polimerización. Dicho proceso tiene lugar a altas temperaturas (260 – 290°C) bajo la acción del trióxido de antimonio (Sb_2O_3), obteniendo un polímero con características variables en función de las necesidades productivas. Por último, la etapa final se denomina policondensación en estado sólido (SSP) donde se produce la cristalización y obtención de pellets de tereftalato de polietileno, reduciendo así la viscosidad del polímero, y su purificación (PTM, 2016). De forma resumida, en la Figura 3 se muestra un flujograma del proceso de fabricación del tereftalato de polietileno.

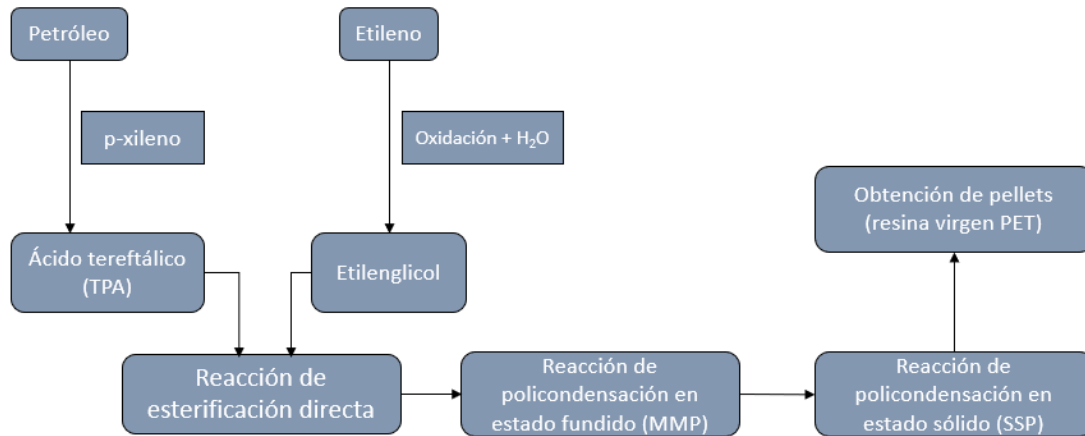


Figura 3: Diagrama del proceso de fabricación del tereftalato de polietileno (PTM, 2016)

3.3 Características del PET

El tereftalato de polietileno es un poliéster aromático perteneciente al grupo de los polímeros termoestables. Entre todas sus propiedades, destaca la rigidez y gran resistencia química a distintos compuestos como ácidos, sales, alcoholes o procesos como la saponificación debido a la presencia del anillo bencénico en su cadena principal. Además, los grupos éster permiten un alto grado de cristalinidad debido a su polaridad. El átomo de oxígeno, con carga negativa, y el átomo de carbono, con carga positiva, del grupo carbonilo se atraen mutuamente, lo que permite una alineación de las cadenas vecinas. Todo ello, sumado a la ausencia de ramificaciones promulga una alta transparencia del material y una mayor ordenación de las cadenas poliméricas (Blanco, 2012). En la Figura 4 se muestra la unidad monomérica del PET.

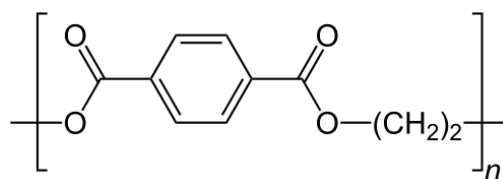


Figura 4: Estructura monomérica del tereftalato de polietileno (Wikipedia, 2015)

Dependiendo del grado de polimerización que se lleve a cabo durante la policondensación se obtendrá una gran variedad en las propiedades que presenta el polímero, como son el punto de fusión, la cristalinidad, la resistencia química a determinados compuestos y su peso molecular. El C-PET presenta una densidad de 1,38 g/cm³, altos valores de resistencia a la abrasión y dureza, así como una baja resistencia al impacto. Sin embargo, el A-PET, con valores de densidad cercanos a 1,33 g/cm³, presenta una menor rigidez y dureza, pero una mayor resistencia al impacto. (Barrera, y otros, 2015)

Existen ciertas propiedades que concurren para distintos grados de polimerización, como son:

- Presenta una elevada resistencia mecánica

- Se trata de un material muy ligero.
- Muestra un buen comportamiento al deslizamiento, combinado con un bajo coeficiente de fricción.
- Presenta una alta resistencia química.
- Posee buenas propiedades térmicas, siendo indeformable a temperaturas medias.
- Alta resistencia al desgaste, esfuerzos permanentes y a la abrasión.
- Es impermeable a gases como el CO₂ y O₂.
- Aprobado su uso para fabricación de productos en contacto con alimentación, ya que no muestra ninguna interacción con el material que almacena (inerte).
- Dependiendo de la organización molecular, puede ser un material translúcido, en el caso de ser cristalino, o por el contrario puede tratarse de un material transparente, para una estructura interna amorfa.
- Es de los pocos materiales plásticos reciclables al 100%
- Muestra estabilidad a variaciones climatológicas.

Por otro lado, el tereftalato de polietileno presenta ciertas desventajas, tanto en el ámbito industrial como en el ámbito medioambiental. El PET es un material higroscópico, lo que implica una gran facilidad para absorber el vapor de agua presente en la atmósfera. Esto provoca un aumento de la humedad en el granulado si se encuentra en condiciones ambientales desfavorables. Dicha propiedad genera muchos defectos durante el procesado de la materia prima, por lo que es necesario someterlo a un secado previo y así lograr unas condiciones óptimas de trabajo. Todo ello implica que los costes de inversión sean mayores puesto que los requisitos de procesamiento son más estrictos que otros materiales plásticos.

Respecto a las desventajas medioambientales, los envases plásticos sólo pueden ser reutilizados una vez por lo que, de la misma manera que otros materiales, se generan residuos de PET. Esto es debido a la baja temperatura de transición vítrea, cercana a los 74°C, que presenta el material. En la industria alimentaria, los requisitos de desinfección y limpieza son extremadamente exigentes, por lo que se debe llevar a cabo una esterilización a temperaturas que el PET no es capaz de soportar. Esto produce un ablandamiento del material y, por tanto, una gran modificación de sus propiedades. (Scheirs & Long, 2005)

Dicha desventaja se agrava al combinarse con la resistencia a la biodegradabilidad del material. En el caso de ser desechado sin ningún control a la naturaleza, sus características químicas y su alta cristalinidad impedirían su biodegradación. Por ello, para lograr una desinfección sin alterar las propiedades del PET, ciertas empresas realizan un lavado bajo unas condiciones específicas que están aceptadas por la normativa de productos alimentarios, lo que permite su reutilización a expensas de aumentar el coste productivo.

La inclusión del PET reciclado en las empresas destinadas a fabricar productos plásticos ha supuesto una enorme inversión, tanto de fondos públicos como privados, dando lugar a una gran reducción del impacto medio ambiental de dichas empresas, mejorando así su imagen frente al consumidor y, en definitiva, apoyando una transición hacia un consumo responsable de los envases plásticos.

3.4 Reciclaje del PET

Las propiedades fisicoquímicas del PET permiten su reutilización en la industria, aumentando así la circularidad de la materia prima empleada y, como resultado, reduciendo los problemas ocasionados por la enorme cantidad de residuos generados. Las ayudas y concesiones dotadas por la Unión Europea para impulsar el reciclaje han dado lugar a un aumento en las cifras de rPET empleado en la industria plástica, reciclando una cifra cercana a 2,5 millones de toneladas de PET por parte de la EU27+3 (Miembros de la Unión Europea, Reino Unido, Noruega y Suiza).

Para garantizar un cambio sustancial en las actuaciones sostenibles de los países, en el año 2015 la Organización de las Naciones Unidas (ONU) estableció un plan de acción al que se comprometieron los 193 países que conforman la organización. Dicho plan está basado en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) incluidos en la Agenda 2030, estableciendo 17 objetivos claves para construir un futuro inclusivo, sostenible y resiliente para las personas y el planeta (ONU, 2015). Así pues, el sector de los plásticos se convierte en un actor de gran relevancia para alcanzar algunos de los ODS establecidos:

- Producción y consumo responsables (ODS 12): El progreso económico y social logrado durante el último siglo ha estado acompañado de un uso inadecuado de los recursos disponibles. El objetivo es desvincular el crecimiento económico de la degradación medioambiental, promover estilos de vida sostenible y aumentar la eficiencia de los recursos. Para ello, es fundamental implantar una economía circular donde se permita reutilizar los envases plásticos utilizados.
- Acción por el clima (ODS 13): En las últimas décadas las emisiones de dióxido de carbono han aumentado casi un 50%, acelerando el cambio climático y empeorando la calidad de vida de las personas. El objetivo marca la hoja de ruta a seguir para lidiar con los efectos del cambio climático mediante flujos financieros apropiados, un nuevo marco tecnológico y un marco de desarrollo de la capacidad mejorado. A tal efecto, los gobiernos potenciarán inversiones en soluciones sostenibles en las industrias dedicadas al plástico, entre otras, en la búsqueda de un crecimiento sostenible.
- Vida submarina (ODS 14): El océano es un recurso mundial esencial que se está deteriorando continuamente debido a la contaminación y acidificación de los océanos. El objetivo se centra en la conservación sostenible de los océanos, los mares y los recursos marinos, impulsando medidas para controlar el vertido de plásticos que generan la desaparición de especies y contaminación de las áreas marinas.

La aplicación de las pautas establecidas en los ODS implica una mayor inversión en el reciclaje del plástico para lograr una reducción en la huella de carbono, por lo que el reciclaje del PET es un aspecto clave para las empresas dedicadas a la fabricación de envases plástico puesto que favorece notablemente a una economía sostenible según los objetivos marcados por los estados miembros de la ONU.

El uso más extendido del PET es la fabricación de envases plásticos. Por ello es de esperar que, tras su puesta en circulación en el mercado, en un corto plazo de tiempo estos envases estarán disponibles para su reciclaje dado que son mayoritariamente productos de un solo uso. En el

año 2020, se estima que 4,6 millones de toneladas llegaron al final de su vida útil, de los cuales el 78,3% fueron botellas y el 21,7% eran bandejas de PET.

Una vez que el recipiente plástico se ha consumido, se deposita, habitualmente, en un contenedor. Posteriormente, los residuos del contenedor son transportados a una planta de reciclaje, donde se realiza un triaje para lograr una correcta separación de los distintos materiales. Este proceso de triaje es necesario debido a la gran variedad de materiales presentes en las plantas de reciclaje. La dificultad de este proceso se incrementa debido a la complejidad asociada a los diferentes aditivos y productos adicionados al producto final como pueden ser colorantes, productos antivaho, etiquetas adhesivas, compuestos antideslizamiento, absorbentes y otros muchos compuestos. Todo ello implica una dificultad adicional en el reciclaje del PET. Para reducir esta problemática, diversos gobiernos plantean la implantación de sistemas de reciclaje efectivos, como el DRS (sistemas de devolución de depósitos), sistema que implica pagar una pequeña cuota al adquirir un material plástico que será devuelto al cliente cuando el producto sea devuelto. Once Estados pertenecientes a la EU han decidido instaurar dicho sistema, lo que les permitirá cumplir con las expectativas de reciclaje incluidas en la legislación para 2025. (Plastic Recyclers EU, 2022)

Tras lograr una separación relativamente efectiva del material, diversos tratamientos pueden ser aplicados para lograr con éxito el reciclaje total o parcial del PET presente en el residuo. En primer lugar, los residuos son sometidos a un proceso mecánico mediante el cual se obtiene granza reciclada. Para que el proceso sea eficiente, el material desechado debe cumplir una serie de condiciones:

- Los plásticos reciclados no deben estar degradados en exceso.
- La separación previa del plástico debe ser muy efectiva para evitar mezclas que modifiquen las características del material.
- Se deben eliminar todos los materiales nocivos, tanto para los equipos de transformación como para el producto final.
- La cantidad de residuos recogidos debe ser suficiente para lograr una viabilidad económica del proceso realizado.

Cumpliendo dichos requisitos, el material recibido tras el proceso de selección debe acondicionarse, obteniendo así una correcta clasificación de los diferentes tipos de plásticos y eliminación de contaminantes incrustados. A continuación, se lleva a cabo una molienda del material para conseguir un tamaño de grano adecuado, así como un lavado para retirar la suciedad restante y un posterior secado para eliminar la cantidad de agua en el material. Por último, se procesa el material mediante un extrusionado, logrando una homogeneidad del producto final, que se transforma en pellets acondicionados para su posterior reutilización. En ciertas condiciones este tipo de reciclaje no logra una eficiencia adecuada, debido mayoritariamente a un bajo rendimiento de separación o una alta degradación. Por ello, es necesario la aplicación de diversos procesos químicos para alargar la vida de los materiales plásticos y fomentar su circularización. (CEDEX, 2013)

El reciclaje químico se considera un proceso complementario que logra solventar las limitaciones expuestas en el reciclaje mecánico. La idea principal de este método se basa en la despolimerización del PET post-consumo. De esta manera, se obtiene el producto anterior al

proceso de SSP, permitiendo aumentar la pureza del polímero y posibilitando su nueva utilización en el proceso productivo de la industria plástica.

Entre los métodos más empleados para la despolimerización del PET destacan tres procesos. El primero de ellos es la metanólisis. A través de este método se obtiene un rPET de gran calidad, aunque es necesario aplicar unas condiciones de trabajo desfavorables en términos económicos. Para ello, grandes cantidades de metanol en presencia de un catalizador, acetato de zinc, permiten descomponer el material obteniendo BHET. El problema reside en las altas temperaturas, entre 180° y 200 °C, y presiones, cercanas a 20 bar, para conseguir la despolimerización. El segundo de los posibles tratamientos químicos más desarrollados en la industria del reciclaje es la hidrólisis. La finalidad es la misma que en el proceso anterior, pero en este caso se emplea un ácido inorgánico fuerte, hidrólisis ácida, o una base como el hidróxido sódico, hidrólisis alcalina, para lograr la despolimerización del PET. Este proceso conlleva grandes problemas de contaminación medioambiental y de corrosión del material, por lo que únicamente es favorable su uso en determinados campos de aplicación. El tercer proceso es la glicólisis, basado en la inserción de un glicol, compuesto químico con dos grupos –OH, para obtener el BHET deseado. En este caso se trabajan bajo condiciones menos severas que en el resto de los tratamientos, lo que permite reducir los costes económicos, pero implica una reducción de la eficiencia del proceso en desechos formados por PET coloreado o mezclado con otros componentes (Herrera & Estrada, 2012).

Finalmente, el PET obtenido por alguno de estos procesos es introducido de nuevo en la cadena circular de consumo para producir nuevamente materiales plásticos. En el caso de realizar únicamente un tratamiento mecánico, se comercializa en forma de escamas, lo que supone una mayor superficie y, en definitiva, mayor absorción de humedad, así como una disposición amorfa de las moléculas que conforman el producto. Las empresas productoras de envases generalmente adquieren este material debido a su ventaja desde el punto de vista económico, asumiendo una pérdida de calidad respecto al material recuperado mediante el tratamiento químico. En este caso, el PET despolimerizado se separa de las trazas de contaminantes y otros materiales presentes, consiguiendo así un alto grado de purificación del material. Los pellets formados se introducen en el sistema de extrusión logrando reducir los problemas asociados a la presencia de humedad durante el proceso productivo, así como una mejora en la calidad del producto final.

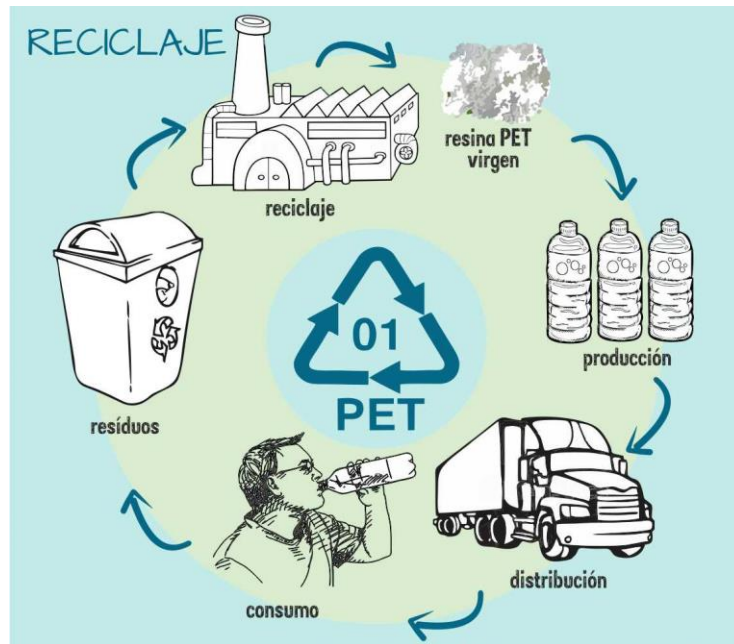


Figura 5: Circularidad del PET reciclado (Ecoologic, 2022)

En la Figura 5 se muestran resumidamente los diversos procesos que sufre el PET a lo largo de su vida y la posibilidad de su recirculación como material reciclado. De esta forma, se garantiza que una gran parte del material vuelva a producción y permita reducir la gran cantidad de plásticos desechados diariamente. En el año 2020 se alcanzó una cifra récord de 1703 toneladas de rPET producido mediante reciclaje, destinado principalmente a aplicaciones industriales de soplado y extrusionado (Plastic Recyclers EU, 2022).

4. NORMAS Y REFERENCIAS

A continuación, se recoge la normativa aplicable vigente a la elaboración del presente trabajo:

- *Normativa de honestidad académica*, aprobada en Junta de Escuela de 15 de julio de 2014, para la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Valencia.
- *Directrices sobre la presentación de Trabajo Final de Máster en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales*
- *Normativa Marco de Trabajos Fin de Grado y Fin de Máster, refundido de los acuerdos de Consejo de Gobierno de 7 de marzo de 2013, 21 de enero de 2015 y 28 de mayo de 2015, para la Universidad Politécnica de Valencia.*
- *American Psychological Association, Formato APA*, para referenciar citas en el trabajo de manera clara y concisa.

Asimismo, se describe la normativa vigente aplicable al presente trabajo respecto a la fabricación de envases plásticos empleados en el sector alimentario con tereftalato de polietileno (PET).

- *Directiva 94/62/CE* del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de diciembre de 1994, relativa a los envases y residuos de envases.
- *Ley 11/1997**, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases.

**Actualmente se encuentra en desarrollo el Proyecto de Real Decreto de Envases y Residuos de Envases, del 28 de septiembre de 2021, cuyo plazo de propuestas y modificaciones finalizó el pasado 28 de octubre de 2021, en el que se pretende renovar la Ley 11/1997, vigente tras más de veinte años para instaurar en el margen de aplicación nacional las normativas europeas: Directiva (UE) 2018/852 y Directiva (UE) 2019/904, adaptando así la normativa española a las nuevas exigencias comunitarias.*

- *Reglamento (CE) 1935/2004* del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de octubre de 2004, sobre los materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos y por el que se derogan las *Directivas 80/590/CEE y 89/109/CEE*.
- *Real Decreto 252/2006*, de 3 de marzo, por el que se revisan los objetivos de reciclado y valorización establecidos en la *Ley 11/1997*, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases, y por el que se modifica el Reglamento para su ejecución, aprobado por el Real Decreto 782/1998, de 30 de abril.
- *Reglamento (CE) 1907/2006* del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de diciembre de 2006, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), por el que se crea la Agencia Europea de Sustancias y Preparados químicos, se modifica la *Directiva 1999/45/CE* y se derogan el *Reglamento (CEE) 793/93* del Consejo y el *Reglamento (CE) 1488/94* de la Comisión así como la *Directiva 76/769/CEE* del Consejo y las *Directivas 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE y 2000/21/CE* de la Comisión.
- *Real Decreto 846/2011*, de 17 de junio, por el que se establecen las condiciones que deben cumplir las materias primas a base de materiales poliméricos reciclados para su utilización en materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos.
- *Directiva (UE) 2018/852* del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la *Directiva 94/62/CE* relativa a los envases y residuos de envases.

- *Reglamento (UE) 2018/79* de la Comisión, de 18 de enero de 2018, por el que se modifica el Reglamento (UE) 10/2011, sobre materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos.
- *Directiva (UE) 2019/904* del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019 relativa a la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente.

Por último, la normativa vigente en asuntos de riesgos laborales y salud de los trabajadores de la fábrica se describe a continuación:

- *Ley 31/1995*, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- *Real Decreto 485/1997*, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- *Real Decreto 1076/2021*, de 7 de diciembre, por el que se modifica el Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- *Real Decreto 1215/1997*, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- *Real Decreto 842/2002*, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.
- *Ley 54/2003*, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales.
- *Real Decreto 2267/2004*, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.
- *Real Decreto 286/2006*, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.
- *Reglamento (CE) 282/2008* de la Comisión, de 27 de marzo de 2008, sobre los materiales y objetos de plástico reciclado destinados a entrar en contacto con alimentos y por el que se modifica el Reglamento (CE) 2023/2006.
- *Real Decreto 330/2009*, de 13 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas.
- *Real Decreto 513/2017*, de 22 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios.

Además de la normativa de aplicación a la empresa dado su motivo de explotación, cuenta con una Norma Técnica y Protocolo de buenas prácticas de fabricación, logrando una diferenciación notoria en la calidad de su producto final al aplicar un sistema de gestión de seguridad estricto como es el “British Retail Consortium” (BRC), mucho más exigente que el Reglamento (CE) 2023/2006.

5. ANÁLISIS DEL PROCESO PRODUCTIVO

A lo largo de las últimas décadas, el consumo de plásticos se ha incrementado notoriamente, produciendo una rápida expansión de la industria del plástico. Este hecho se refleja en el crecimiento de la producción en las empresas dedicadas al sector plástico. Concretamente, en Faerch Buñol, empresa en la que se desarrolla este proyecto, se ha logrado triplicar la plantilla de trabajadores en tan sólo 15 años.

El requerimiento de una mayor producción de bandejas exige una fuerte inversión en maquinarias que admitan mayores capacidades productivas, y una mayor superficie productiva, o bien una optimización de la superficie disponible tanto para poder albergar un mayor número de termoformadoras, como para almacenar más producto en stock disponible para su venta.

En la Figura 6 se muestra la distribución en planta de la empresa en el año 2011, diferenciándose tres naves: la primera de ellas, ubicada a la izquierda del plano, se trata de la sala de logística, donde se almacenan los pallets de bandejas producidos, así como otros productos como puedan ser piezas de equipos, moldes de termoformado y demás materiales; la segunda sala, conectada por un pasillo con la anterior es el espacio destinado para la envolvedora (equipo encargado de sellar los pallets producidos), se denomina sala blanca y es donde tiene lugar el proceso productivo de las bandejas de plástico; por último, la tercera sala ubicada arriba a la derecha es la sala de bobinas, donde se almacenan las láminas de bobina producidas y recibidas, así como otros materiales empleados en el proceso productivo como absorbentes, revestimientos, sacas de granulado, etc. Por último, los despachos de oficinas, salas de reunión, comedores y vestuarios se encuentra junto a la sala blanca, también denominada internamente como sala 2.

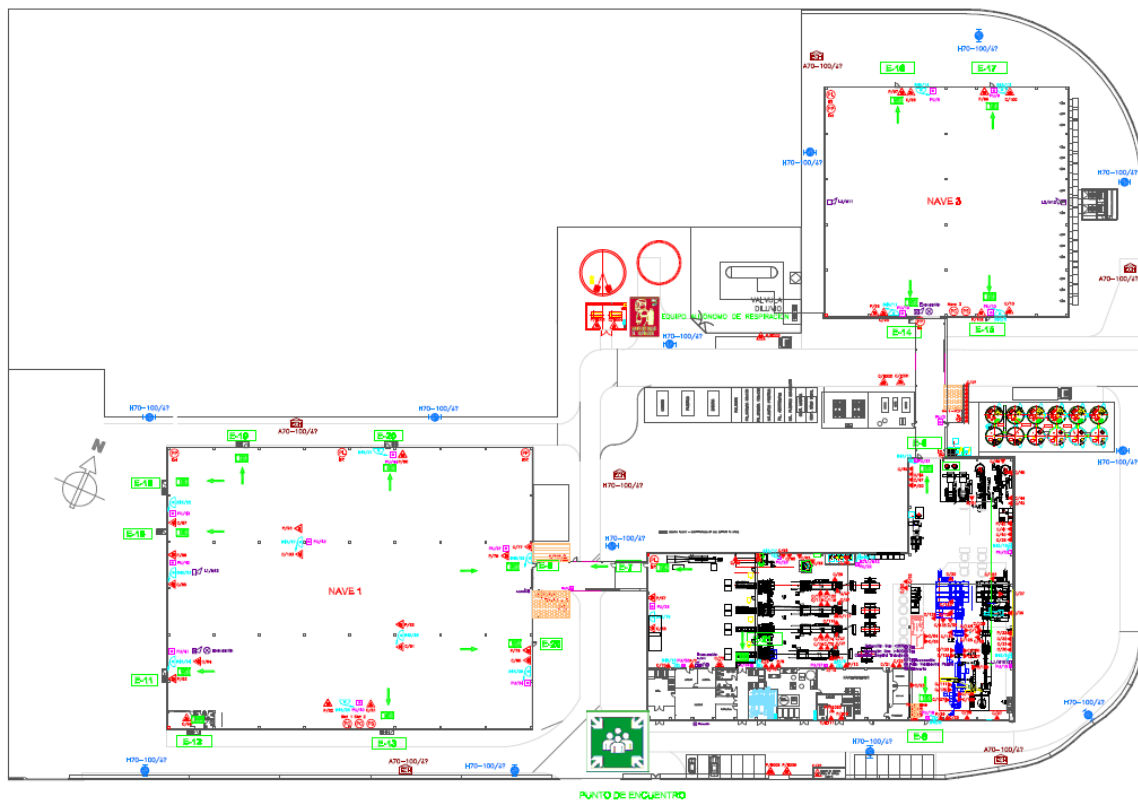


Figura 6: Plano de la planta en el año 2011 (Faerch, 2022)

En la última década, la empresa ha sufrido una fuerte expansión integrando en el proceso un total de nueve máquinas nuevas, entre las que destacan siete equipos nuevos que permiten añadir cola en el labio de la bandeja termoformada, denominados “*offlines*”. Se trata de un proceso patentado que permite el correcto sellado de la bandeja cuando el cliente introduzca el producto alimentario y aplique el *film* en la parte superior. De esta manera, la empresa consigue generar un valor añadido a su producto final, abarcando un mayor número de clientes y generando mayores ingresos. Además, en el último año se han instalado dos nuevas termoformadoras, adicionalmente a las cuatro que se encontraban en funcionamiento, lo que prevé un fuerte desarrollo de la empresa a corto y medio plazo.

Todos estos cambios han derivado en récords en el rendimiento diario del proceso productivo, llegándose a producir más de un millón de bandejas diariamente. Como se puede observar en el plano mostrado en la Figura 7, la distribución de la planta se mantiene similar tras una década, habiendo implementado ciertos cambios en las salas de almacenamiento, naves 1 y 3, que permiten un flujo más efectivo, reduciendo así los posibles cuellos de botella formados por falta de material en ciertas fases del proceso productivo.

Las previsiones futuras son prometedoras, por lo que con total seguridad se producirán más cambios estructurales y productivos durante los próximos años que dotarán a la fábrica de mayores producciones que derivará en una mayor rentabilidad económica de la empresa.

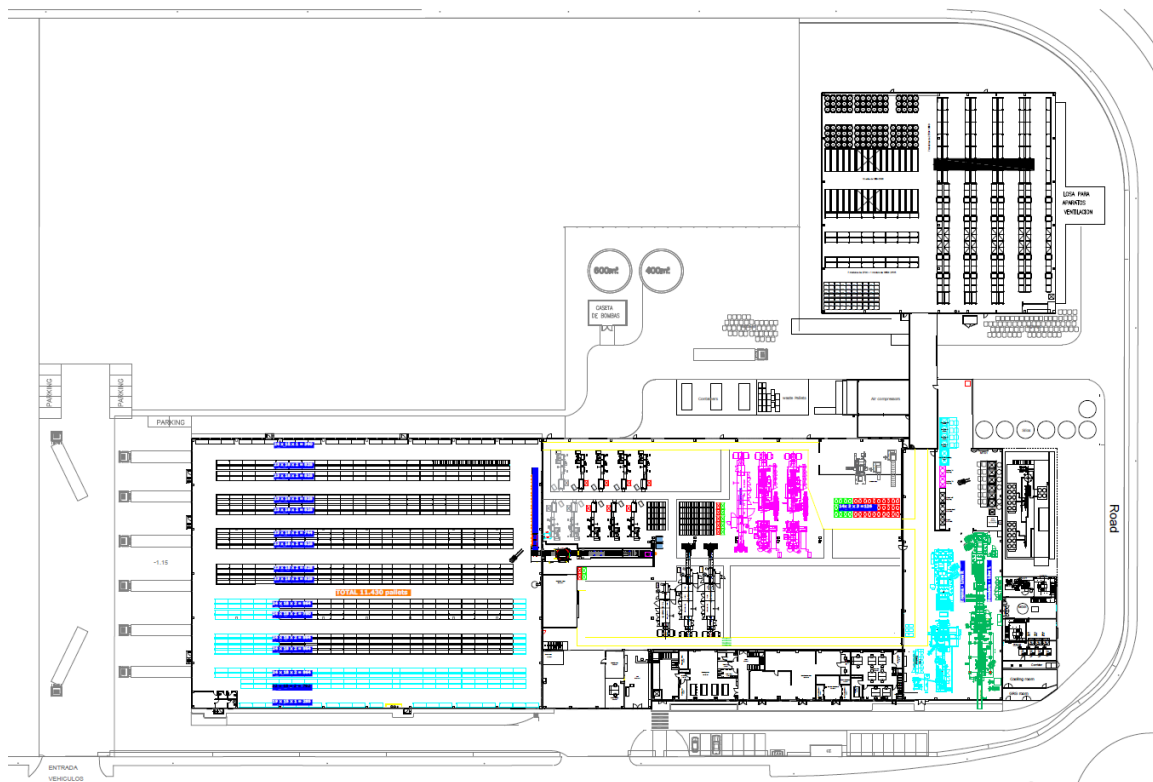


Figura 7: Plano de la planta en el año 2022 (Faerch, 2022)

Las modificaciones, tanto estructurales como del proceso productivo, llevadas a cabo en los últimos años, ha permitido evolucionar hacia un producto final con mayores prestaciones, acorde a las exigencias demandadas por los clientes que se ven acrecentadas conforma el mercado evoluciona. Por ello, se deben llevar a cabo revisiones constantes en cada uno de los

departamentos que forman la empresa, como producción, mantenimiento, calidad, etc. de manera proactiva, para así lograr una ventaja competitiva en el sector e incrementar la calidad de los productos comercializados.

5.1 Extrusión

El material empleado para la producción de las bandejas de plástico difiere según los requerimientos técnicos de la orden de producción establecida. Aun así, el proceso de producción es similar, únicamente variando ciertos parámetros y materias primas del extrusionado.

En primer lugar, se produce la recepción del granulado de tereftalato de polietileno. Dicho material se introduce en sacas protegidas con una doble capa para reducir la entrada de humedad en el material, asegurando un mayor aislamiento frente a la absorción de agua en la materia prima. El granulado se almacena en la nave 3, mostrada en la Figura 7, así como en silos ubicados en el exterior de la planta. Tras establecer una orden de producción, las sacas almacenadas se transportan hasta la sala de extrusión, conectada a la nave 3 mediante un pasillo. En dicha sala, se consumen a través de diversas tolvas identificadas en el programa informático con una numeración interna para distinguir el tipo de material empleado en cada producción.

En el caso de consumir PET reciclado proveniente de botellas, la materia prima entra en las primeras tolvas, numeradas como EB01, EB02 y EB03 en la Figura 9. El material adquirido presenta una disposición amorfa de sus moléculas, por lo que las temperaturas alcanzadas durante el secado producirán un ablandamiento y aglomeración del material, formando grumos y adhiriéndose a las paredes de la tolva. Para solventar dicho problema, el material circula primeramente a través de un cristalizador, identificado como MC01 en la Figura 9. En dicho equipo se dotará al material de una estructura cristalina al calentarlo bajo temperaturas comprendidas entre los 120° – 150°C. Además, el cristalizado permitirá eliminar gran parte de la humedad presente en las escamas de botellas, favoreciendo un extrusionado de mayor calidad.

Por otro lado, la resina reciclada que se emplea en las capas exteriores de la bandeja, ubicada y consumida en la tolva EB04 (Figura 9), es sometido a un secado, denominado mediante codificación interna como DS01 en la Figura 9, donde se aplican temperaturas comprendidas entre 150 – 170°C y un tiempo de residencia mayor que en el cristalizador. El secado debe asegurar una entrada de material a la extrusión con una humedad inferior al 0,005% (Faerch, 2022).

El PET triturado internamente se envía sin ningún tratamiento previo a la extrusora, proveniente de las tolvas EB05 y EB06 (Figura 9), ya que el material proviene del proceso productivo y presenta unas condiciones más favorables de trabajo. En el caso de mayores volúmenes de producción, se hace uso del material almacenado en los silos, para así lograr la cantidad de materia prima necesaria en el proceso productivo.

Tras lograr las características requeridas por el proceso mediante los tratamientos previos mencionados, el granulado se envía a un mezclador, a través del cual entra en la extrusora

mediante una tolva de mayores dimensiones. En este punto se produce la alimentación del equipo.

Actualmente la empresa cuenta con dos extrusoras que abarcan toda la producción de bobinas necesarias para cumplir los requerimientos productivos, diferenciándose en la forma de alimentación. La extrusora R, denominada así por situarse en la parte derecha de la sala ("right"), contiene un reactor interno en la tolva de alimentación de la extrusora, permitiendo una mayor homogeneidad del producto, así como una eliminación efectiva de la posible humedad residual presente en el granulado. De esta manera, se permite que una parte del rPET proveniente de botellas de plástico entre directamente al equipo sin cristalizar previamente, a través de consumo en otra tolva, identificada como EB10 internamente (Figura 9). En cambio, la segunda extrusora, denominada L ("left"), no dispone de dicho reactor por lo que la totalidad del material procedente de botellas plásticas debe circular por el cristalizador antes de ser consumido. En consecuencia, es necesario asegurar que el funcionamiento del tratamiento previo sea efectivo para evitar la aparición de defectos durante el extrusionado. En la Figura 8 se muestra el perfil de la extrusora instalada en la empresa denominada "R".

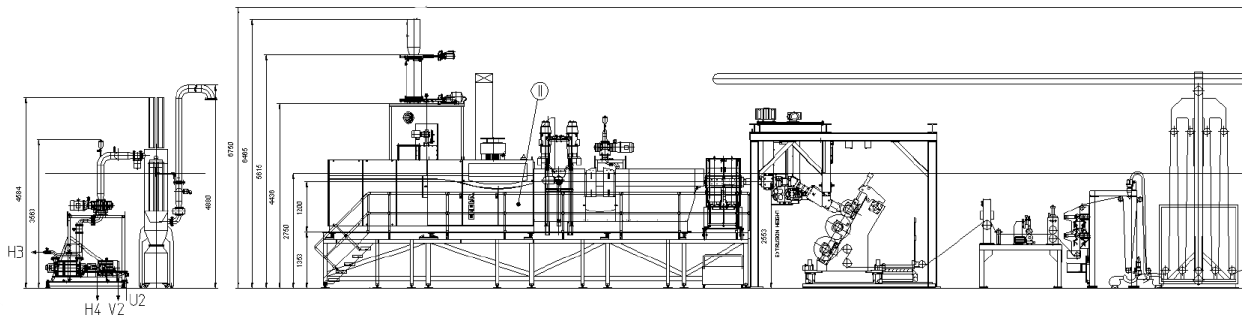


Figura 8: Perfil de la extrusora "R" (Faerch, 2022)

En total, la planta cuenta con diez tolvas diferentes, en las que se consume un tipo de material correspondiente de acuerdo con las necesidades productivas según la orden de producción establecida. Cada bobina extrusionada lleva asociada un porcentaje de material necesario, todo ello registrado en el sistema interno de la empresa, debiendo ajustar los parámetros de dosificación dependiendo de los requerimientos productivos. La sala de extrusión cuenta con varios trituradores en los que se introducen los recortes de lámina producidos en función del ancho demandado. Esto permite aumentar la producción de rPET interno, mejorando la circularidad de los productos desechados y, de esta manera, reduciendo las pérdidas de material producidas por el material sobrante. En el caso de fabricar una bobina deficiente, ya sea por la aparición de *pinholes*, suciedad encapsulada, oleaje en la lámina u otros defectos, se emplea uno de los otros tres trituradores instalados en la empresa, de mayor capacidad, junto a la sala de extrusión.

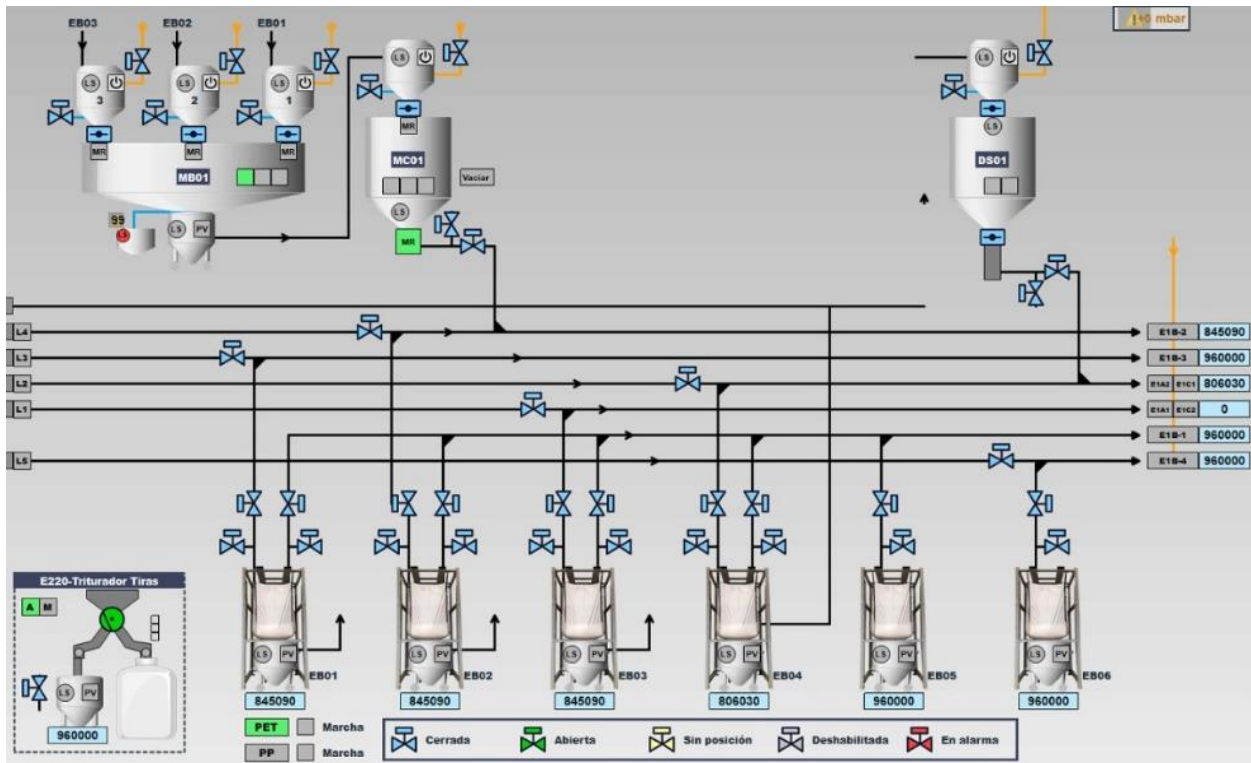


Figura 9: Flujograma de la materia prima previo a extrusión (Faerch, 2022)

Tras alcanzar las condiciones adecuadas en ambas extrusoras, el material abandona la zona de alimentación y se transfiere en condiciones de alto vacío a la entrada del cilindro donde se producirá la homogeneización de la materia prima mediante su fusión, confiriendo las propiedades fisicoquímicas adecuadas. El accionamiento del husillo se basa en la acción generada por un motor de velocidad variable junto al mecanismo de transmisión de engranajes, generando un par motor en el cilindro para un rango de velocidades establecido. La transmisión ataca el husillo desde un extremo, apoyándose en un cojinete que soporta el empuje axial provocado por el material sobre el husillo al fluir hacia la salida del tornillo.

El diseño mecánico del husillo permite el transporte de material polimérico hacia el otro extremo mediante los álabes que lo conforman. Unas resistencias eléctricas externas se encargan de aumentar la temperatura del material en el interior del cilindro, logrando así su fusión. Esto permite una mayor fluidez del material, así como la eliminación de compuestos volátiles indeseados, presentes en la materia prima, a través de una compuerta de desgasificación. Conforme el husillo desplaza el material, se reduce la profundidad de los álabes, logrando una compresión del producto fundido. El tornillo sinfín continúa transportando el material hasta alcanzar la sección dosificadora, que es la última parte del husillo donde el granulado fundido se encuentra bajo las condiciones necesarias para extrusionar la lámina.

El producto introducido en la máquina principal ya sea L o R, está formado en su totalidad por material reciclado. Según la normativa europea, se requieren unas estrictas exigencias para materiales reciclados que vayan a estar en contacto con alimentos. El PET no puede ser reciclado ininidad de veces dada su degradación en cada ciclo de reciclaje, los posibles contaminantes que puedan estar presente en el material y ciertos aditivos añadidos que reducen su pureza. Por ello, el proceso consta de una co-extrusora en la que se trabaja únicamente material virgen. En

este caso, el material proviene directamente del silo donde se almacena la resina de PET, dotándola de las condiciones adecuadas antes de entrar al husillo. De la misma manera que el proceso descrito para la extrusora principal, la co-extrusora se encarga de fundir el material introducido para lograr las condiciones requeridas por el proceso. En la Figura 10 se muestra el perfil de la extrusora "L", observándose la co-extrusora ubicada en la parte superior de la extrusora principal (el proceso comienza en la parte derecha de la figura).

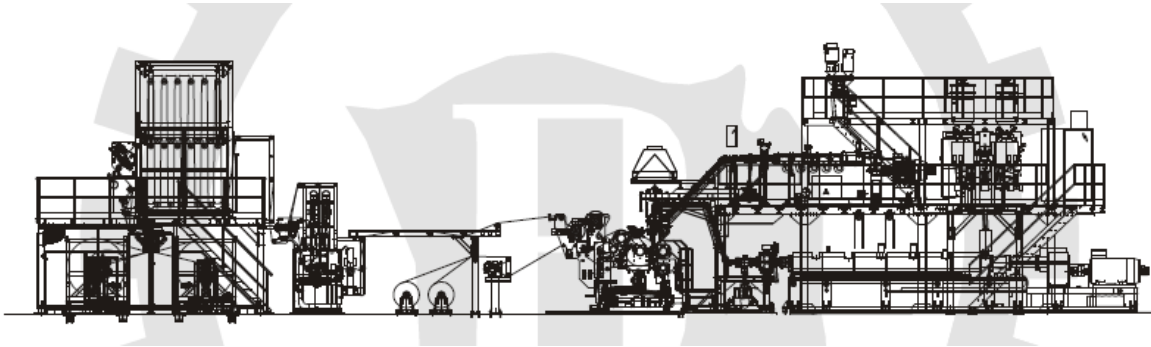


Figura 10: Perfil de la extrusora "L" (Faerch, 2022)

Finalmente, ambas extrusoras expulsan el material a través de una boquilla dosificadora ubicada en un mezclador previo a la extrusión. De esta manera, la capa de PET reciclado queda encapsulada entre capas de material virgen, dotando al producto obtenido de unas condiciones más favorables. En esta sección, la extrusora está equipada con un cabezal que contiene una boquilla anular, reduciendo los esfuerzos producidos en el extrusionado y confiriendo la forma y propiedades necesarias a la lámina extrusionada. A la salida del cabezal, el material es enfriado bruscamente circulando a través de unas placas guía, aplastando la lámina mediante dos rodillos de tiro y colapsado. Por último, la lámina continúa circulando con la ayuda de otros rodillos que sirven como guía, pasando por un acumulador donde los rodillos pueden variar su altura para retener el material en caso de intervención mecánica o cambio de bobinador. Finalmente, la lámina continúa circulando hasta alcanzar los tambores de almacenamiento, donde se produce el enrollamiento de la lámina. En la Figura 11 se muestra la última sección de la extrusora "R", similar a la extrusora "L", donde se obtiene la bobina terminada, que será consumida posteriormente en el proceso de termoformado.

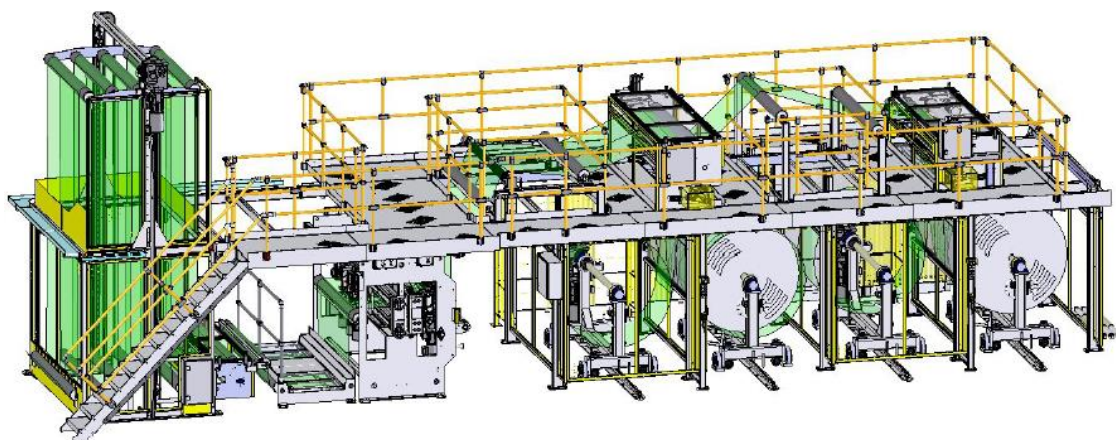


Figura 11: Vista en 3D del bobinador de cuatro puntos de la extrusora "R" (Faerch, 2022)

El rendimiento del extrusionado dependerá de diversos parámetros. Además de las condiciones de operación del equipo (perfil de temperaturas, presiones de vacío, velocidad de giro, etc.), el diseño mecánico del equipo presenta gran influencia sobre el producto final logrado. La relación entre la profundidad de los álabes en la zona de alimentación y la zona de dosificación o descarga se denomina relación de compresión y habitualmente oscila entre valores de 2 y 4. Una distancia entre álabes muy reducida en la dosificación, es decir, una alta relación de compresión producirá mayores velocidades de cizalla sobre el fundido, así como un gradiente mayor de presión.

La relación L/D es otro parámetro importante en el diseño del equipo, determinando la capacidad de la extrusora para mezclar, fundir y homogeneizar el material. Para valores de longitud mucho mayores que de diámetro, o lo que es lo mismo, altos valores de relación L/D , implicará mayores tiempos de residencia y, por tanto, un producto final de mayor calidad. Sin embargo, este tipo de tornillos son difícilmente operativos dada la dificultad de alineación del tornillo, además de una dificultad añadida en el ensamblaje de la extrusora. Otro aspecto importante en la caracterización del equipo es el tipo de tornillo empleado, el cual variará en función del producto final requerido. (UPV, 2022)

Dichos parámetros mencionados deben ser estudiados en profundidad para conocer cómo afectan a la calidad de la lámina extrusionada, así como a la aparición de posibles defectos en el producto final.

5.2 Termoformado

La bobina formada en la sala de extrusión es transportada al carro bobinador ubicado en la entrada de las máquinas de termoformado, donde comenzará su consumo tras la orden de producción emitida desde oficinas.

El termoformado es un proceso bastante sencillo y automatizado, donde se transforma la lámina de bobina en el producto final requerido. En el caso de las máquinas industriales, trabajan en continuo produciendo grandes cantidades de bandejas plásticas, por lo que cualquier modificación de parámetros o error en el proceso puede suponer la fabricación de miles de bandejas defectuosas. En la Figura 12 se muestra el perfil en detalle de la termoformadora “Kiefel”.

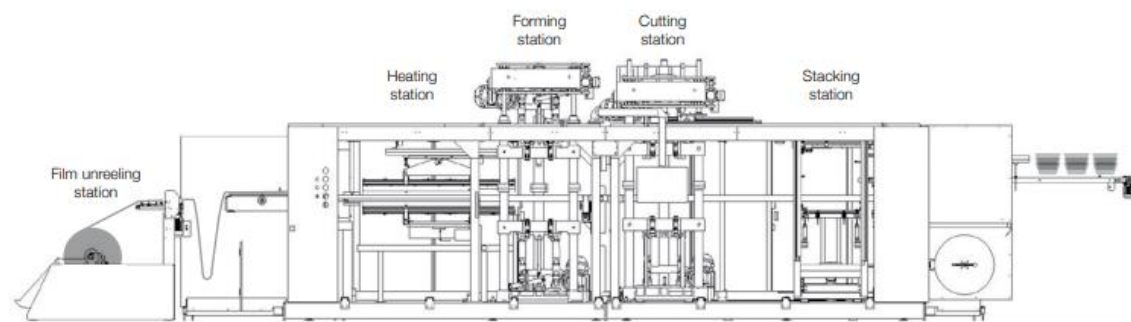


Figura 12: Perfil de la termoformadora “Kiefel 78”

En un primer lugar, la lámina es atrapada en un rodillo que gira a partir de la fuerza motriz realizada por el motor rotacional, tensando así la lámina y permitiendo que gire en el carro bobinador. Así pues, la lámina entra a la termoformadora donde circula entre una serie de resistencias eléctricas que calientan el material hasta superar la temperatura de transición vítrea, T_g , lo que facilitará el correcto moldeado de la lámina.

Tras obtener la temperatura establecida en los parámetros del equipo, la plancha es transportada mediante una serie de raíles que la tensan hasta alcanzar la estación de formado. Dicha parte de la termoformadora está compuesta por una serie de moldes en la zona inferior y unos contramoldes análogos en la parte superior. Se trata de la sección de la máquina donde la lámina adquiere la forma establecida mediante parámetros, teniendo en cuenta que el molde debe generar un vacío para que adapte correctamente la forma dotada. Además, se debe incluir una refrigeración a través de un circuito en el interior del molde que permita controlar la temperatura en un rango adecuado. Para facilitar el moldeo de la lámina, el conjunto superior de moldeo está dotado por una serie de empujadores que permiten comprimir la plancha entre ambos moldes. Mediante presión dotada por el aire soplado desde la parte superior, se consigue una correcta estanqueidad en el interior del molde que permitirá la correcta termoconformación de la bandeja.

La lámina formada continúa siendo un único elemento por lo que es necesario separar las bandejas y retirar el plástico excedente de la plancha introducida en la termoformadora. Para ello, la lámina es transportada hasta llegar a la estación de troquelado, que permitirá generar a modo de troquel una marca profunda en la lámina justo en el labio de la bandeja, pero sin llegar a ser separada. De manera precisa, los flejes de corte o cuchillas instaladas en el conjunto superior del troquel inciden sobre la sección establecida en los parámetros de la máquina, golpeando contra la placa sufridera o contratoquel, ubicada en la zona inferior del equipo. Dicha parte deberá estar formada por un material adecuado que consiga soportar el golpe de la cuchilla, sin desgastar el fleje de corte ni romperse, como pueda ser PVC.

Al igual que sucede en la sala de extrusión, hay dos modelos de maquinaria distintas que se encargan del termoconformado. En el caso de trabajar con la “Gabler” es posible añadir el absorbente a la bandeja, mientras que el modelo “Kiefel”, ambos denominados de esta forma por el nombre del fabricante, no incluye esta opción y únicamente se fabricarán bandejas que no contengan absorbente en su interior. En el caso de la “Gabler”, la diferenciación se encuentra entre la estación de formado y la estación de troquelado. El transporte entre dichos sectores de la máquina es más largo, lo que permite añadir el trozo de absorbente en la bandeja. Mediante un equipo externo, el rollo de absorbente se desenrolla, estirándolo adecuadamente para su posterior aplicación. Mientras la bandeja circula a través de los raíles, se aplica una raya de cola en el centro, donde se colocará el absorbente. Así pues, mediante una ventosa se succiona por vacío el absorbente, aplicándolo sobre la raya de cola fijada en la bandeja. Los pistones que sujetan la ventosa cortan el vacío y se retiran, para aplicar de nuevo el absorbente sobre la siguiente moldeada. En la Figura 13 se muestra el plano de la termoconformadora “Gabler” observándose las diferencias mencionadas.

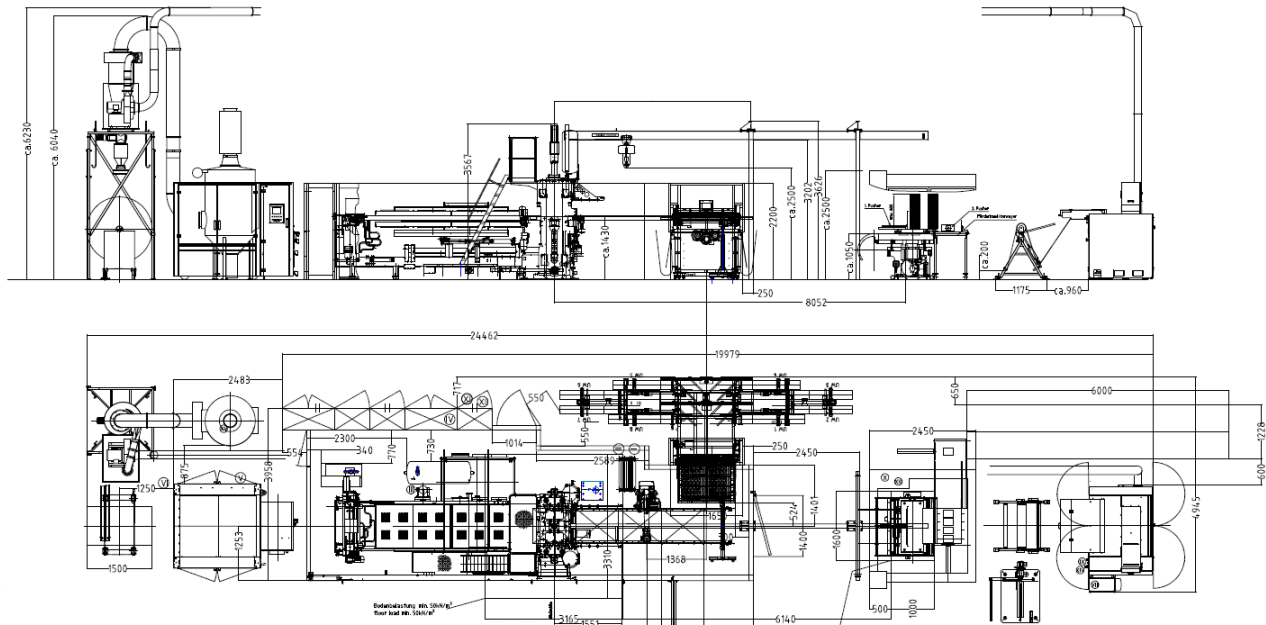


Figura 13: Perfil y alzado de la termoformadora "Gabler"

La última estación necesaria para termoconformar correctamente el producto es la estación de apilado, la cual presenta la función de separar las bandejas y posteriormente apilarlas según lo indique la respectiva ficha técnica. La estación consta con una base para el ensamble donde se irán depositando las bandejas hasta alcanzar el total de bandejas por pila establecido como parámetro, expulsándolas mediante un elemento denominado peine que permite su traslado a través de la cinta transportadora. Por último, será el operario el que paletice las bandejas conforme la ficha técnica lo indique.

Excepto casos en los que el cliente no lo requiera, la bandeja deberá pasar por un último proceso antes de ser comercializado. Dicho caso será aquellas formadas a partir de material APET puesto que acepta un rango de temperaturas superior en el labio, lo que permite aplicar el *film* sellador directamente a la bandeja sin necesidad de estar impregnada previamente de cola.

5.3 Aplicador de cola

En la última década la empresa ha implementado varios equipos denominados internamente como "*offline*" que se encargan de dosificar cola en el labio para que el cliente selle fácilmente la bandeja con el alimento contenido en su interior. Se trata de un proceso ampliamente desarrollado por la empresa en la actualidad y que permite crear una diferenciación frente a sus competidores, generando un valor añadido al producto final obtenido que se ve reflejado en el aumento producido en los ingresos económicos de la entidad.



Figura 14: Vista en 3D del dispensador de cola MAPET II Offline (Faerch, 2022)

El pallet de bandejas termoconformadas se transporta hasta la zona noroeste de la planta, que se puede localizar en el plano detallado de la Figura 7, donde se encuentran las máquinas encargadas de aplicar cola al labio de la bandeja. Junto al equipo, se sitúa una mesa donde se encuentran apiladas las bandejas. Mediante un robot automatizado que contiene dos varillas metálicas del ancho de la bandeja, el producto entra en la “*offline*” donde un desapilador, aplicando un vacío, succiona las bandejas una a una para entrar en cadena a través de la máquina. Se deposita sobre un molde similar a los comentados en la termoformadora, pero en este caso forma un único carril mientras que en el otro proceso la zona del molde está compuesto por nueve o doce cavidades, en función del modelo de termoformadora.

La bandeja se transporta mediante una cinta transportadora circular, llegando en primer lugar a la zona del equipo donde se encuentra una cámara inteligente que detecta si el producto contiene el absorbente y, además, si este está correctamente posicionado. En caso de detectar su ausencia, el equipo se detiene hasta que un operario retire la bandeja defectuosa y active de nuevo la máquina.

La siguiente parte de la máquina es la sección en la que se realiza la aplicación de cola. Mediante un precalentamiento, la cola alcanza la temperatura y viscosidad idónea para su aplicación sobre el labio de la bandeja. El correcto ajuste de los parámetros es fundamental para evitar la formación de defectos como la falta de cola, rebabas en el interior de la bandeja o pegotes de cola. Posteriormente, la cola se seca rápidamente mediante un proceso sencillo de refrigeración hasta llegar al apilador, que trabaja de forma similar que el proceso de apilado descrito para la termoformadora. Finalmente, el peine empuja la pila de bandejas hacia la cinta transportadora, donde el producto final se encuentra listo para ser embalado por los operarios e introducido en el pallet.

Mediante una carretilla de pie, el trabajador traslada el pallet hasta la envoladora, la cual se encarga de sellar correctamente el producto mediante la aplicación de *film* sobre la caja de cartón. En el lado análogo de la envoladora, se encuentra el carretillero del almacén de logística colocando los pallets en sus respectivas ubicaciones.

5.4 Aparición de defectos en el producto final

A pesar de realizar estrictos controles durante el proceso productivo, la aparición de imperfecciones es habitual en el producto final. Este hecho implica la necesidad por parte de los trabajadores de la planta de conocer estrechamente qué tipos de defectos pueden aparecer en las bandejas de plástico, cómo se producen y la manera de detectarlos rápida y eficazmente.

Así pues, la empresa debe trabajar de manera proactiva para lograr reducir el número de reclamaciones recibidas por parte del cliente debido a la presencia de bandejas defectuosas en el producto comercializado, lo que implica la instauración de ciertos procedimientos diarios para mantener la calidad del producto fabricado acorde a las especificaciones marcadas por la empresa.

5.4.1 Tipos de defectos

Para lograr un control más exhausto sobre la aparición de defectos a través del departamento de calidad se han establecido diversas categorías, entre las cuales se diferencia la manera de actuar, la frecuencia de aparición de los defectos y la gravedad de estos.

- Categoría 1

Los defectos clasificados en dicha categoría comprometen la salud y seguridad del consumidor por lo que no son aceptables en ninguno de los casos. Las especificaciones internas de la empresa detallan a sus clientes que un 0% del total del producto comercializado contendrá defectos de esta categoría, por lo que una reclamación supondrá la total compensación y reemplazo del material.

Dentro de esta categoría se encuentran defectos que pongan en peligro el producto contenido en la bandeja, ya sea mediante un contaminante exterior o por falta de hermeticidad. Si cualquier cuerpo extraño aparece en el producto alimentario del consumidor puede resultar en una intoxicación grave y, para la empresa, una reclamación de miles de euros.



Figura 15: Defectos clasificados como categoría 1 internamente (Faerch, 2022)

En la figura mostrada se observan tres posibles defectos asociados a la categoría detallada. Principalmente, se tratan de problemas que involucran el sellado de la bandeja y puede originarse por diversos factores del proceso productivo. La primera de las fotografías muestra la rotura del labio producido por la humedad presente en la lámina de bobina y se trata de una afección realmente importante en el producto desarrollado en la empresa. Además del problema de sellado, que también puede producirse por agujeros denominados “*pinholes*” que implican una entrada de agentes externos al producto alimentario del interior, otro de los problemas graves está asociado a cualquier contaminación de la bandeja. Esto sucede en el resto de fotografías mostradas, donde un resto de grasa presente en los raíles de la termoformadora se ha depositado en el labio de la bandeja, o bien un elemento de producción desprendido, como es el caso de una brida u otro material como tornillos, pelos, piezas metálicas, etc., entra en contacto con la bandeja.

- Categoría 2

Dentro de esta categoría se incluyen los defectos que causan problemas en el sistema productivo del cliente. Por parte de la empresa, se establece el criterio de aceptación en un 0,08% de bandejas aceptables con la aparición de este tipo de imperfecciones.

En este apartado se destaca la importancia de establecer correctamente los parámetros durante el termoformado, puesto que cualquier problema en el labio de la bandeja o en las pestañas supondrá paros y problemas productivos en el envasado del alimento posterior. Este es el caso de defectos como labios deformados, falta de cola en el labio, pegotes de cola, asimetría, abombamiento de la bandeja o pestañas mal formadas. Generalmente, estos problemas vienen asociados por problemas de temperatura y vacío en el termoformado de la bandeja, así como un mal estado o avería de los moldes empleados.



Figura 16: Defectos clasificados como categoría 2 internamente

En el caso del pegote de cola mostrado en la imagen anterior, podría interpretarse como un defecto de categoría 1 puesto que el pegamento podría llegar a entrar en contacto con el producto alimentario, aunque la empresa lo considera un defecto de 2ª categoría. Para el resto de los defectos incluidos en esta categoría, implican problemas en el proceso productivo del cliente, pero no tendrían por qué causar ningún inconveniente en el consumidor.

▪ Categoría 3

Esta categoría engloba los defectos menos dañinos, haciendo referencia a cualquier imperfección visual que no compromete la funcionalidad de la bandeja ni la seguridad alimentaria. El criterio de aceptación es menos exigente puesto que no involucra la salud del consumidor y aparecen con más frecuencia, fijado en un 0,5% de las bandejas aceptables con este defecto. Este hecho supone que, en un pallet habitual formado por unas 1500 bandejas aproximadamente se aceptaría 7 bandejas que presenten un defecto de esta categoría.

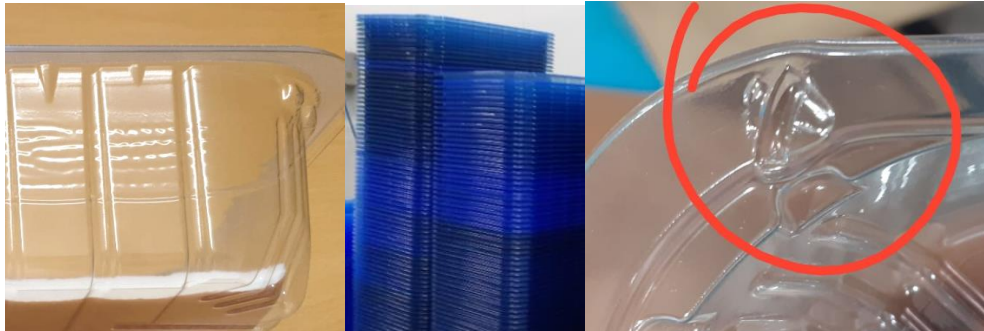


Figura 17: Defectos clasificados como categoría 3 internamente

Como se puede observar en la figura anterior, las afecciones de esta categoría no implican ningún riesgo para el contenido de la bandeja, pero el cliente puede enviar quejas debido a una baja calidad del producto adquirido. El caso más problemático es el mostrado en la tercera fotografía, en el que se ha producido una pequeña marca en la bandeja debido a un golpe con alguna pieza metálica de la termoformadora. Suele verse repetibilidad en determinadas cavidades en caso de que haya imperfecciones en el proceso y, habitualmente, se registra la incidencia, validando el producto obtenido.

5.4.2 PP vs PET

Durante los últimos años, el material principal empleado por la empresa para la fabricación de bandejas plásticas era el polipropileno. Sus características fisicoquímicas lo convierten en un material excelente para el termoformado, logrando unas propiedades específicas en el producto final obtenido. Sin embargo, a lo largo de las últimas décadas se ha realizado una fuerte inversión en el desarrollo tecnológico y técnico en la producción de bandejas a partir del extrusionado de PET, así como otros factores que han convertido a dicho material en la materia prima más empleada actualmente en la empresa.

Además de las mejoras en el proceso productivo, un factor clave en la expansión producida por parte del tereftalato de polietileno son las estrictas regulaciones establecidas por la Unión Europea, desarrollando fuertes cambios previstos para los años 2025 y 2030 para los que se pretende eliminar la producción de plásticos de un solo uso.

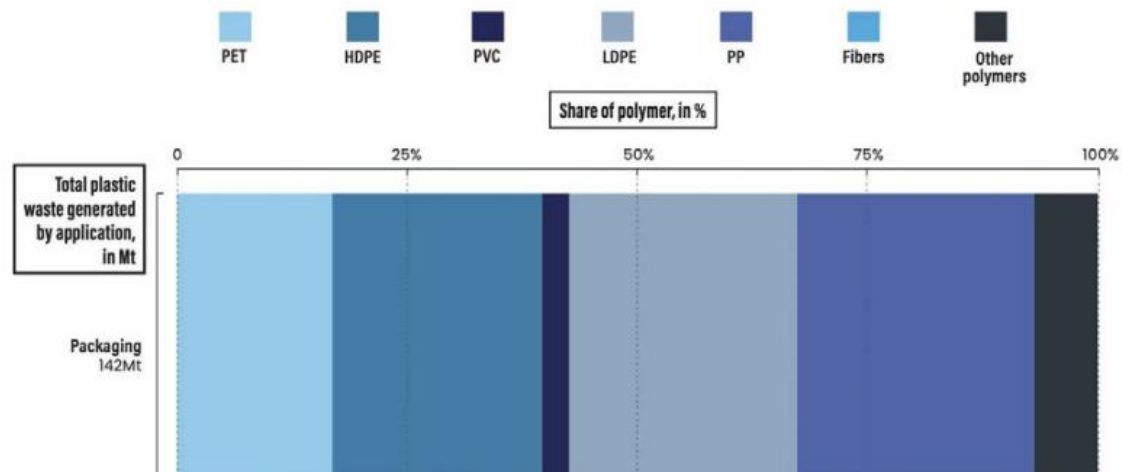


Figura 18: Distribución del porcentaje de materia prima empleada en la producción de envases plásticos (OECD, 2022)

A pesar del predominio del polipropileno en la producción de envases plásticos, tal y como se aprecia en la Figura 18, la tendencia continuará desplazando a dicho material hacia volúmenes de producción más bajos. Esto es debido principalmente a la dificultad que entraña el reciclaje del PP. Y es que, a pesar de que se trata de un material fácilmente reciclable, al igual que el PP, únicamente un 1% de los productos de polipropileno desechados es reciclado. El principal impedimento para llevar a cabo un correcto reciclaje proviene de la incapacidad de separar de manera eficiente el material procedente de envasado alimentario del destinado a otras aplicaciones. La presencia de BPA y ftalatos, entre otros productos tóxicos, impide que dicho material sea reciclado y comercializado de nuevo como envase plástico, dada la estricta normativa en relación con seguridad alimentaria. (Globa Plast, 2020)

Aunque el enfoque dotado por las regulaciones europeas evoque una considerable reducción del uso del PP en la fabricación de envases, dicho material contiene propiedades específicas que lo distinguen del PET. La principal diferencia entre ambos compuestos reside en la estructura molecular de los polímeros. En el caso del polipropileno, su unidad de repetición contiene únicamente enlaces carbono-carbono simples. En cambio, el PET presenta dobles enlaces en su estructura, lo que dotará a ambas sustancias de características diferentes y, por tanto, una diferenciación en el producto final obtenido a partir de cada uno de los materiales.

Ventajas del polipropileno:

- La estabilidad térmica del polipropileno es considerablemente mayor, confiriéndole una ventaja para aplicaciones de llenado en caliente (temperatura del alimento o bebida capaz de aguantar).
- El granulado del PP muestra una menor densidad que el PET por lo que será menos resistente.
- Las bandejas de PP presentan mayor opacidad, mostrando una estética más apropiada para ciertos alimentos que los productos translúcidos de PET.
- La resistencia al calor exterior es mayor para bandejas termoformadas a partir de lámina de PP.

Desventajas del polipropileno:

- El PET presenta una mayor permeabilidad del O₂ y CO₂ por lo que preserva mejor los aromas y sabores de los alimentos. En ciertos casos, al PP es necesario aplicarle una capa barrera para mejorar dicha propiedad.
- Las bandejas de plástico de PET muestran una resistencia al impacto ligeramente superior que el polipropileno.
- El termoformado del PP oscuro implica una absorción de calor excedente durante el proceso, produciendo agujeros en las esquinas debido al deficiente reparto de material en el molde de la termoformadora
- La resistencia al frío exterior es mayor para bandejas termoformadas a partir de lámina de PET.

Observando la disparidad entre ambos materiales no se puede determinar qué material es el que presenta mejores cualidades de manera unilateral. Sin embargo, la principal diferencia implica que el tereftalato de polietileno sea fácilmente reciclable, lo que supone un gran avance frente al polipropileno, sobre todo en la sociedad actual y futura en la que el reciclaje y la búsqueda de la sostenibilidad se vuelven imprescindibles. Además, la recircularidad del PET supone un beneficio mayor para la empresa ya que se puede adquirir material reciclado a un bajo coste, o bien producirlo internamente a partir de material desechado en producción. Por consiguiente, se apuesta por una transición que se verá reflejada en el resto de las empresas del sector plástico para implementar el PET como principal materia prima en la fabricación de envases.

5.4.3 Pérdidas producidas por defectos

Diversos autores y expertos en materia del proceso productivo incluyen las pérdidas de calidad como una de las “6 grandes pérdidas” en la productividad de la empresa. El objetivo de cualquier entidad es eliminar cualquier factor que impida obtener el máximo beneficio posible, es decir, todos los elementos productivos que retrasen el proceso establecido (OEE, 2022).

En este caso, las pérdidas de calidad conllevan asociadas una reducción en el rendimiento de producción y la aparición de defectos en el proceso. Paros durante el proceso productivo, ajustes equívocos de los equipos de trabajo, errores de los operarios se deben evitar para generar pérdidas económicas asociadas a la calidad del producto fabricado.

Por ello, la empresa toma en consideración la necesidad de reducir cualquier imprevisto relacionado con la fabricación del producto para minimizar las pérdidas. Actualmente, la fábrica cuenta con un equipo de operarios destinado a la revisión de las bandejas de plástico posiblemente defectuosas. En el caso de detectar un lote de producción que contenga desperfectos, desde el departamento de calidad se modifica el *status* de los pallets que posiblemente estén afectados para revisarlos. Así pues, la producción de un lote defectuoso implica un coste asociado desmesurado puesto que un trabajador deberá verificar el pallet de manera unitaria, incluso dándose el caso más desfavorable en el que se desecha toda la revisión realizada.

Analizando los datos recogidos durante el primer cuatrimestre del año 2022 por parte de la fábrica, en la siguiente tabla se muestran el número total de bandejas bloqueadas y trituradas (denominado internamente “scrap”)

Tabla 1: Bandejas bloqueadas y rechazadas en el primer trimestre de 2022

Mes	Bandejas bloqueadas	Bandejas rechazadas
Enero	1 919 812	375 611
Febrero	2 977 902	260 430
Marzo	2 528 892	793 642
Abril	1 941 794	1 022 555

En total, en el primer cuatrimestre se han bloqueado más de nueve millones de bandejas producidas, habiendo triturado una cifra cercana a los dos millones y medio de bandejas. Todo ello se traduce en más de 7500 horas trabajadas para cubrir la revisión y verificación de los pallets comprometidos.

Para conocer el gasto que supone la fabricación de pallets que contengan bandejas de plástico fabricadas a partir de material reciclado con defectos, es necesario calcular correctamente el coste unitario de revisión. Para ello, se determina varios parámetros implícitos en proceso. Un trabajador proveniente de una empresa de trabajo temporal (ETT) cobra un sueldo bruto de 19,5€ la hora, dedicando un tiempo estimado de revisión aproximadamente de 4 segundos por bandeja (Faerch, 2022). En promedio, un pallet contiene 2850 bandejas, por lo que el tiempo de revisión medio por cada pallet será de 11400 segundos (2850×4), o lo que es lo mismo, 3 horas y 10 minutos. Como el operario no está únicamente revisando, sino que debe realizar otras tareas como el transporte del pallet revisado, tiempos de descanso obligatorios u otros inconvenientes que puedan surgir, se aplica un coeficiente (1,2) para sobredimensionar las horas trabajadas, obteniendo un tiempo de trabajo aproximadamente de 3 horas y 50 minutos por pallet revisado. En total, el coste unitario por pallet de revisión será de 74,1€ (tiempo de revisión \times coste trabajador/hora).

Tras la validación del pallet, el producto puede ser comercializado. En el primer trimestre del 2022, el precio promedio de venta era 4,64€/kg de producto final. Conociendo el peso promedio de una bandeja, 0,026 g, la ganancia obtenida por cada pallet vendido será:

$$0,026g \times 2850 \text{ bandejas} \times 4,64€/kg = 343,28€ \quad (1)$$

Restando el coste destinado a la revisión y validación del pallet, la ganancia neta obtenida es 269,18€.

En caso de ser revisado y detectar que el material no cumple con las especificaciones requeridas, los costes aumentarán por lo que se producirán pérdidas económicas para la empresa. En este caso, el material defectuoso se tritura, generando una ganancia aproximada a los 600€/tonelada de rPET triturado producido. Teniendo en cuenta el peso del pallet calculado, 74,1 kg, el triturado produce una ganancia de 44,46€ (€/tonelada de rPET×kg del pallet). Restando los costes asociados a la revisión del pallet se produce una pérdida aproximada de -29,64€.

Los datos empleados en el cálculo de las pérdidas económicas asociadas a la revisión de defectos han sido proporcionados por la empresa. Asimismo, los cálculos realizados son estimados y superfluos puesto que se descartan parámetros intrínsecos del proceso productivo. En caso de hacer un estudio más profundo habría que conocer más variables como el coste asociado a la ocupación del material triturado, la energía eléctrica consumida en la zona de revisión, así como el funcionamiento de los trituradores y otros imprevistos que puedan surgir durante la jornada laboral.

6. ESTUDIO DE SELECCIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN

La humedad presente en el granulado que se emplea en el proceso de extrusión de la bobina puede generar imperfecciones, lo que implica un termoformado defectuoso y, finalmente, la obtención de un producto final deficiente. Además, la calidad interna de los productos se deteriorará significativamente, pudiendo resultar incluso en la degradación del polímero y la pérdida de sus propiedades mecánicas. Como consecuencia, el efecto de la presencia de humedad en la granza polimérica produce residuos plásticos adicionales en el proceso de moldeo por inyección, afectando a la sostenibilidad del producto y generando pérdidas económicas a la empresa.

Este aspecto es bien conocido en la empresa puesto que en los últimos años varios clientes han interpuesto reclamaciones por excesiva fragilidad en las bandejas de plástico comercializadas. Todo ello ha desembocado en la necesidad de presentar una mejora de las condiciones de producción al consumidor, para que conozcan que las exigencias demandadas han permitido corregir la situación desfavorable. Por ello, desde el departamento de calidad se propone implementar un nuevo equipo de medición de la humedad residual en producción, permitiendo así conocer in situ las circunstancias acaecidas durante el proceso de extrusionado. Así pues, dados los requerimientos de la empresa, el presente proyecto lleva a cabo un estudio técnico para conocer qué útil de medición es el más apropiado.

6.1 Selección del equipo

Actualmente, los operarios de extrusión disponen de un equipo portátil para medir la humedad presente en el granulado almacenado. Dicho instrumento de medida consta de una varilla metálica que es introducida en el centro de la saca, conociendo así mediante un aparato electrónico el porcentaje de humedad residual en la materia prima. El procedimiento realizado permite rechazar el material si supera un valor establecido, pero, dada la imprecisión que presenta el equipo de medición y su rudimentariedad, los controles de humedad realizados son

insuficientes para verificar que el granulado de PET conste de las características requeridas. A pesar de ello, el departamento de extrusión continúa verificando el material mediante este útil de medición, lo que conlleva la aparición inesperada en ciertas órdenes de producción de bandejas fabricadas con un alto grado de fragilidad.

Tras las reclamaciones recibidas en los últimos meses por problemas de fragilidad en las bandejas, se decide buscar en el mercado un nuevo equipo de mayor precisión que permita discernir con claridad si el granulado de tereftalato de polietileno es adecuado o, por el contrario, debe ser retirado debido a su baja calidad.

Bajo condiciones habituales de producción, el departamento de extrusión es capaz de producir entre 10 y 15 bobinas por cada orden de producción emitida, pudiendo llevarse a cabo entre 2 y 4 órdenes al trabajar en continuo ambas extrusoras instaladas. El peso promedio de las bobinas fabricadas ronda los 1000 kg aproximadamente, sin tener en cuenta el volumen de lámina rechazado, ya sea por fallos durante el extrusionado como pueda ser suciedad encapsulada, bobinas mal formadas o la aparición de efecto cono al consumirse en el termoformado. Todo ello se traduce en un consumo cercano a las 50 sacas diariamente, por lo que el control de humedad debe poder realizarse de forma concisa y eficaz, siendo uno de los requisitos primordiales a la hora de seleccionar el equipo de medición.

La gran dificultad de trabajar con PET reciclado se asocia con su capacidad higroscópica, puesto que unas condiciones húmedas de almacenamiento, produce una gran absorción por parte del granulado de PET. Este hecho desemboca en la degradación de la cadena polimérica al introducir la granza en el extrusionado, puesto que las altas temperaturas de trabajo, cercanas a los 300°C, implican una rotura de la cadena, lo que supone una reducción de la viscosidad intrínseca o peso molecular. Todo ello ocasiona una mayor fragilidad en el producto final obtenido.

Por tanto, para comprender con mayor profundidad la relevancia de la humedad en el extrusionado, se decide adquirir un aparato de medición que permita conocer con precisión el porcentaje de humedad que presentan los copos de tereftalato de polietileno. En consecuencia, el departamento de calidad se pone en contacto con diversos proveedores para conocer qué dispositivo sería el más adecuado, teniendo en cuenta las limitaciones financieras y los requisitos técnicos:

- Aquatrac Station: Este equipo de medición cambia totalmente el método empleado para obtener resultados de humedad residual en el material. La empresa Brabender ha apostado por desechar cualquier tipo de agentes externos como puedan ser reactivos, facilitando de esta manera la realización de los ensayos, únicamente necesitando conocer el peso de la muestra. El principio de medición consiste en generar un vacío en la muestra y determinar su punto de rocío, calculando de esta manera la humedad presente en el granulado.

Se trata de un aparato robusto que está diseñado para su uso en zonas de instalaciones o cerca de máquinas de producción. Consta de un software en el que se incluyen gran variedad de compuestos plásticos, incluyendo el PET, siendo su uso muy intuitivo. Además, los resultados obtenidos son fiables, reproducibles y con gran precisión, empleando un tiempo de medición relativamente bajo.

- **FMX HydroTracer:** Es un instrumento de precisión para obtener el contenido de agua en sólidos basado en la reactividad entre el polvo introducido en el aparato, hidruro cálcico. De esta manera, el vapor de agua producido al calentar la muestra se transforma a hidrógeno, midiendo dicho compuesto a través de un sensor de gas. Además, tiene en cuenta la posible humedad entrante en el reactor, siendo detectada mediante un sensor adicional.
El diseño compacto permite su utilización en ambientes productivos, pudiendo ser manejado por cualquier operario. Su robustez y ligereza admite su movilidad en la planta, facilitando el trabajo de medición. Los ensayos requieren un tiempo aproximado entre 15 y 30 minutos, obteniendo porcentajes muy similares a otros métodos más precisos y costosos.
- **PCE-MB:** Se trata de un analizador de humedad que emplea el método termogravimétrico para la obtención de los resultados. Su principio de medición se basa en la diferencia de peso en la muestra entre la masa final tras un secado y la masa inicial. Dicha diferencia permite conocer la cantidad de agua presente en el granulado. Su diseño se focaliza en el control de entrada de mercancías, comprobando así el exceso de agua de la mercancía. Este instrumento destaca por su facilidad en el manejo y la gran rapidez que presenta para realizar los ensayos. En menos de tres minutos se obtiene el resultado de humedad residual contenida en la muestra introducida, la cual debe pesar como máximo 1 mg.

Entre otros muchos, los tres equipos mencionados son la opción más viable para las diferentes técnicas de medición encontradas en el mercado. Así pues, desde el departamento de calidad se solicita a las empresas proveedoras de los instrumentos de medida estudiados un presupuesto personalizado, incluyendo en el mismo cualquier elemento auxiliar necesario para una toma de datos precisa.

Comparando las características presentadas por los tres equipos, el último de ellos se descarta al tratarse de una técnica que emplea el método termogravimétrico. La evaporación de la humedad presente puede involucrar otros componentes más volátiles que el agua, obteniendo un resultado incorrecto. Se trata del equipo más económico entre los tres, pero el más impreciso de todos. El segundo de los instrumentos de medida es una opción viable, puesto que está demostrado su funcionamiento frente al método de Karl Fischer (ARTEC, 2022), técnica sofisticada y mucho más costosa, obteniendo resultados muy similares en el caso del PET. Aun así, la utilización de reactivos para obtener los valores de humedad presente en el granulado implica el manejo del equipo en un laboratorio específico, debiendo disponer de un operario especializado para realizar las medidas. Por último, el *Aquatrac Station* es el equipo más favorable entre los presupuestados. Con tal efecto, no requiere de reactivos, por lo que los costes de operación son únicamente la conexión a la red eléctrica. Además, la principal ventaja que presenta es la posibilidad de trabajar en zonas cercanas a maquinaria del proceso productivo puesto que se trata de un equipo robusto. A pesar de ser el equipo más costoso, supondrá una ventaja a largo plazo dadas sus características técnicas, por lo que el departamento de calidad aprueba la adquisición del equipo, aceptando el presupuesto mostrado en el ANEXO I.

6.2 Verificación del equipo adquirido

Tras contrastar las diversas características que presentaban los instrumentos de medición analizados, así como adquirir el más adecuado para la empresa, se requiere comprobar si los resultados que se van a obtener son fiables o, por el contrario, se encuentran grandes discrepancias respecto a un método de referencia contrastado de alta fiabilidad como es la valoración de Karl Fischer.

6.2.1 Comparativa con la valoración de Karl Fischer

En los últimos años, el departamento de calidad se ha basado en las mediciones realizadas a través de una sucursal ubicada en Dinamarca para verificar que el material recibido cumple con los parámetros de humedad adecuada, siempre y cuando se tengan sospechas de que la materia prima puede estar comprometida. La finalidad de adquirir un equipo para la fábrica es la posibilidad de obtener resultados en menos de 30 minutos, sin tener que esperar a que se envíe una muestra, lo que implica esperar 5 o 6 días entre que el recipiente llega a su destino y la sucursal encuentra disponibilidad de algún operario para realizar el ensayo. El retraso producido en la obtención de resultados suponía conocer la posible afección de la humedad en la lámina de bobina cuando el producto final se encontraba en posesión del cliente, por lo que no había posibilidad ninguna de revisar el pallet en caso de detectar anomalías en la materia prima.

Por ello, la adquisición del *Aquatrac Station* permitirá paralizar un lote defectuoso previamente a ser entregado al cliente, logrando así reducir las posibles reclamaciones y obteniendo un mayor beneficio de la producción. Aun así, el equipo de medición emplea una técnica totalmente distinta a la valoración de Karl Fischer, por lo que es necesario verificar que los resultados obtenidos sean tan fiables como el instrumento de medida aprobado anteriormente por la empresa.

La valoración, también denominada titulación de Karl Fischer, se trata de un método altamente preciso para la determinación del agua presente en una muestra. En la Figura 19 se muestra el instrumento empleado para realizar el ensayo. El modo de funcionamiento está basado en reacciones redox, en las que los reactivos añadidos al equipo de medición consiguen consumir por completo el agua que contiene el granulado analizado. En la primera de las reacciones, el dióxido de azufre y el metanol reaccionan para formar éster. Por último, se añade yodo, lo que da lugar a la oxidación del éster formando un sulfato que eliminará toda la humedad presente en el recipiente (Metrohm, 2020).



Figura 19: Equipo para realizar la valoración coulométrica de Karl Fischer (Metrohm, 2020)

Al tratarse de un equipo altamente sofisticado, su manejo es inviable en zonas del proceso productivo, debiendo disponer de un espacio bajo condiciones estándares, así como un operario especializado en el manejo de reactivos. Además, la inversión inicial del equipo sería mucho más alta, debiendo tener en cuenta el coste de los reactivos, que también es elevado. Por ello, se descartó desde un primer momento su adquisición por parte de la empresa.

Así pues, tras haber realizado pruebas durante varios días con el medidor de humedad adquirido y conocer de manera más precisa su funcionamiento, se decide comenzar a tomar muestras para llevar a cabo la verificación del equipo. Como se ha mencionado anteriormente, los envíos a Dinamarca pueden suponer varios días hasta que se realizan los ensayos por lo que el recipiente en el que se envía la muestra debe ser completamente hermético. Desde el departamento de calidad se investiga sobre varios tipos de envases que permitan hermetizar la muestra correctamente, llegando a la conclusión de que la unidad más útil y eficaz para cumplir dicha finalidad es un tarro de cristal al que se añade un elastómero de EPDM como junta para sellar correctamente el recipiente, además de un cabezal interior metálico que logre compactar el granulado de PET almacenado.

Para comprobar que es completamente hermético, se toman varias muestras de una misma saca, almacenando los recipientes en un lugar bajo condiciones ambientales estables y realizando el ensayo cada 3 días hasta llegar a las dos semanas. Tras la comprobación, se evidencia que la humedad presente en el envase varía unos cientos de partes por millón, habiendo una diferencia entre la medición *in-situ* y el envase almacenado durante 15 días de unos 600 ppm. Aunque parezca un valor muy alto, si se traduce a unidad porcentual representaría un 0,06% de humedad en la muestra, por lo que se acepta que los tarros no son completamente herméticos, pero cumplen su función ampliamente.



Figura 20: Recipiente para almacenar PET previo al ensayo de humedad. De izquierda a derecha: vacío; con reciclado interno de PET, con reciclado externo procedente de botellas de PET

Tras la aceptación de la hermeticidad de los recipientes de cristal, se lleva a cabo la verificación del equipo de medición de humedad durante varias semanas, ya que la realización de cada ensayo tarda un tiempo cercano a 30 minutos. Para asegurar la veracidad de los resultados, se toman 9 muestras en cada una de las sacas estudiadas, de las cuales 3 se analizan el mismo día de la recogida de muestras, mientras que se envían otras 3 a Dinamarca para el ensayo con la valoración de Karl Fischer y otras 3 se almacenan en la empresa para llevar a cabo la medición a

la vez que los recipientes enviados. En total, se pretende analizar cuatro sacas distintas que varíen en la diferencia de días entre que se fabrica el granulado hasta que se consume, pudiendo estudiar así si las sacas protegen debidamente de la humedad o, por el contrario, el tiempo de almacenamiento afecta a la materia prima, a la vez que se verifica si el útil de medición se ajusta debidamente a un proceso más complejo y preciso.

Dado el volumen de muestras a analizar, no sería viable estudiar todos los materiales con los que trabaja la empresa. La producción de bandejas implica la utilización de hasta veinte tipos de materia prima distintos, como pueden ser las mencionadas escamas de botella, el reciclado interno, las resinas recicladas o pellets vírgenes, así como otras variantes del reciclado interno que contienen colorantes, trozos de absorbentes, o bien se trata de granulado con una composición distinta de PET. Aun así, gran parte de la producción viene dada por cuatro materiales, abarcando más del 70% de las bandejas de tereftalato de polietileno producidas. La verificación del equipo se va a centrar en esos materiales puesto que son los más importantes en el proceso productivo de la planta.

Durante varias semanas se ha trabajado en la recogida y análisis de muestras del rPET empleado para la fabricación de bandejas plásticas. Para obtener unos resultados fiables, se realizan tres ensayos para cada saca. De esta manera, es posible conocer la variabilidad de las mediciones respecto a una misma muestra. Asimismo, se analiza el granulado procedente de sacas con distinto tiempo de almacenamiento, conociendo así la influencia de dicho parámetro sobre la presencia de humedad residual en la materia prima estudiada.

Para un total de cuatro materiales, se analizan cuatro sacas respectivamente con un margen de tiempo suficiente para encontrar diferencias en la humedad obtenida. Además, se lleva a cabo un ensayo *in-situ*, es decir, en el momento de recoger la muestra con el recipiente hermético para conocer la humedad real del material. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Comparación de resultados con la valoración de Karl Fischer, en ppm

VERIFICACIÓN MATERIA PRIMA	AQUATRAC	KARL- FISCHER	MEDICIÓN IN-SITU	AQUATRAC	KARL- FISCHER	MEDICIÓN IN-SITU	AQUATRAC	KARL- FISCHER	MEDICIÓN IN-SITU	AQUATRAC	KARL- FISCHER	MEDICIÓN IN-SITU	
	BIG BAG 1			BIG BAG 2			BIG BAG 3			BIG BAG 4			
	FECHA BIG BAG: ≈0 días			FECHA BIG BAG: ≈3 días			FECHA BIG BAG: ≈10 días			FECHA BIG BAG: ≈25 días			
PETCia rPET	2682	2707	2314	2741	2806	2559	3051	3004	2642	3228	3142	2873	MUESTRA 1
	2716	2648	2357	2728	2794	2496	3042	3120	2615	3274	3296	2841	MUESTRA 2
	2663	2692	2387	2822	2838	2413	3100	3008	2683	3198	3255	2817	MUESTRA 3
Wellman rPET	5702	5710	5452	5943	5896	5556	6411	6475	5981	6857	6941	6471	MUESTRA 1
	5814	5779	5557	5978	5947	5431	6468	6527	5914	6952	7018	6513	MUESTRA 2
	5866	5812	5528	6033	5931	5570	6381	6430	5958	6909	6982	6492	MUESTRA 3
RG Trans. Blue APET 7967	1212	1261	527	1341	1305	805	1435	1385	957	1658	1582	1154	MUESTRA 1
	1232	1361	531	1374	1320	791	1493	1420	994	1742	1609	1206	MUESTRA 2
	1388	1297	468	1319	1398	709	1381	1459	976	1686	1679	1129	MUESTRA 3
RG APET Clear 7900	1212	1261	857	1346	1382	797	1435	1385	942	1508	1407	1078	MUESTRA 1
	1232	1361	901	1395	1309	823	1493	1420	967	1536	1541	1052	MUESTRA 2
	1388	1297	876	1307	1379	802	1381	1459	971	1472	1452	1160	MUESTRA 3

Como se puede observar en la Tabla 1, los valores obtenidos de humedad para ambos métodos de análisis concuerdan perfectamente, existiendo una estrecha similitud entre los resultados logrados. Para cada saca estudiada, se observa que la diferencia entre la medición realizada el mismo día de extracción de la muestra (“Medición *in-situ*”) y el resultado obtenido en los ensayos posteriores, realizados una semana después aproximadamente, difiere debido a la variación estimada de humedad en los recipientes, próxima a 400 ppm de diferencia.

Otra de las conclusiones obtenidas tras la comparación de ensayos es el aumento de humedad que se produce en la materia prima conforme aumenta el tiempo de almacenamiento. Para los cuatro materiales estudiados, existe un incremento en el contenido de humedad en la materia prima, siendo las escamas de botella procedentes de Wellmann el caso más desfavorable, mostrando un aumento cercano a los 1000 ppm. Por ello, la zona de almacenamiento, así como el método empleado y la correcta gestión de las sacas son aspectos realmente importantes para asegurar una correcta protección del material frente a la humedad.

Respecto a la diferencia de humedad obtenida entre los distintos materiales es posible discernir que el reciclado producido internamente (RG Trans. Blue APET 7967 y RG APET Clear 7900) presenta valores de humedad más bajos que el material procedente del reciclado de botellas. Esto es debido al pretratamiento aplicado en el rPET de botellas plásticas para eliminar los contaminantes orgánicos presentes en el envase, como pueden ser restos de poliolefinas, papel proveniente de las etiquetas, cola, etc. En el caso del rPET producido en PETCia, se lleva a cabo un proceso de secado antes de su comercialización, por lo que los valores de humedad obtenidos son menores en comparación con el análisis realizado para la materia prima procedente de Wellmann, tal y como se aprecia en la Tabla 1.

La calidad de la materia prima almacenada puede verse afectada por otros factores que no se muestran en los resultados obtenidos. En los meses invernales las temperaturas son menores y la frecuencia de lluvia es mucho mayor. Las condiciones meteorológicas afectan notablemente a la humedad en el interior de las sacas. Este hecho se agrava en el caso en el reciclado externo, puesto que la recepción del material se produce en los exteriores de la nave 2 y la presencia de fenómenos meteorológicos adversos incrementan la posibilidad de introducir mayor contenido de humedad en el proceso productivo de la empresa.

Dado los valores representados en la Tabla 1, los resultados obtenidos mediante el equipo de medición seleccionado en el proyecto se ajustan correctamente a los resultados alcanzados en la valoración de Karl Fischer, un método que emplea técnicas más sofisticadas y costosas. Este ajuste se puede discernir que el equipo adquirido es adecuado para su implementación en el proceso productivo, logrando conocer con precisión la humedad presente en la materia prima que se introduce en el proceso productivo de la empresa. Sin embargo, es importante conocer la influencia de los fenómenos meteorológicos desfavorables sobre la materia prima y el riesgo que supone, siendo necesario controlar de manera exhaustiva el rPET procedente de empresas externas en los días de previsión de lluvias o alta humedad en el ambiente.

La novedosa metodología del *Aquatrac Station* permite obtener una gran precisión en la determinación de la humedad a través de la medición del punto de rocío en la muestra. El instrumento de medida logra un análisis certero del granulado de PET sin la necesidad de utilizar reactivos ni productos químicos auxiliares, por lo que es idóneo para ser instalado en el proceso productivo de la empresa de acuerdo con las necesidades y características de la misma. El

intuitivo *display* integrado en el *Aquatrac Station* permite a cualquier operario que disponga de una formación básica manejar el equipo. Para facilitar su uso y comprensión, en el Anexo II se detalla la instrucción generada con el formato de la empresa para que cualquier trabajador que necesite analizar una muestra de granulado PET sea capaz de entender el funcionamiento del equipo en un tiempo reducido.

7. OBTENCIÓN DE RESULTADOS

Para comprender la importancia de la humedad presente en la cadena polimérica, es necesario conocer el comportamiento del plástico. En la entrada de la extrusora, el granulado de PET alcanza valores superiores a su temperatura de fusión. Bajo esas condiciones, las cadenas poliméricas presentan un módulo de elasticidad y una resistencia casi nulos. Su viscosidad es baja y las cadenas pueden moverse con facilidad sin la aplicación de fuerzas externas. Conforme el husillo transporta el material a través de sus álabes, se produce un esfuerzo de corte debido al contacto del material con las paredes del equipo. La fricción debida a la diferencia de velocidades entre las moléculas adyacentes produce una fuerza paralela a la superficie, que a su vez genera calor en el interior del álabe. Este comportamiento se explica debido a la condición de fluido no-newtoniano de los materiales plásticos, en los que la viscosidad depende de la tensión cortante que se le aplique y, por tanto, varía con la temperatura.

El PET es un material altamente higroscópico, por lo que cualquier condición de trabajo desfavorable que impida eliminar correctamente la humedad residual del granulado producirá una reducción de la viscosidad intrínseca (IV) del material fundido. La viscosidad intrínseca es un parámetro que indica el volumen hidrodinámico que ocupan las macromoléculas en solución, definiendo el peso molecular del material y la longitud de cadena que presenta. La IV se utiliza en el procesamiento del PET para conocer la viscosidad relativa del material en función de su aplicación industrial. Las características del material están estrechamente ligadas al valor de IV, siendo menor en la fabricación de productos textiles y envases (valores cercanos a 0,7) mientras que presentará mayor viscosidad en el extrusionado de materiales más resistentes como cinturones de seguridad, flejes o cables para neumático (IV superior a 0,9).

La presencia de humedad en el extrusionado incide sobre las cadenas poliméricas, hidrolizando los enlaces moleculares. Conforme aumenta la humedad en el material, la longitud de cadena se reduce, decrementando el peso molecular del PET. En consecuencia, la rigidez se ve reducida y el material presenta una menor viscosidad. Su condición de elemento no-newtoniano implica una mayor tensión cortante y, a su vez, un aumento de la velocidad de flujo. Por tanto, la presencia de humedad en el proceso está estrechamente relacionada con la reducción de la dureza y el aumento de la fragilidad en la lámina producida (PTM, 2022).

7.1 Validación del impactómetro

El departamento de Calidad dispone de un espacio adecuado donde se encuentra instalado un impactómetro, BMC-B1, que permite determinar la fragilidad de la lámina. El principio de medición se basa en la deformación plástica generada por la fuerza que ejerce un dardo

mediante caída libre. Dicha deformación implica una pérdida de energía proporcional a la dureza de la muestra analizada, y que se determina a través de la relación entre la velocidad de impacto y el peso introducido en el dardo. Esta tecnología se encuentra normalizada según estándares internacionales (ASTM D-1709-16) lo que permite obtener resultados fiables. Uno de los requisitos de la norma estandarizada para el análisis de la lámina implica la ubicación del instrumento de medida en una zona bajo condiciones estándares, siendo importante para lograr la repetibilidad de los ensayos realizados. En la Figura 21 se muestra el instrumento empleado para realizar las pruebas de impacto en la empresa.



Figura 21: Impactómetro de caída libre al dardo BMC-B1 "Labthink" (Metrotec, 2022)

Así pues, el principio de trabajo del impactómetro se basa en la realización de 20 ensayos con una lámina de tamaño aproximado de 18×18 cm. Para finalizar el ensayo, es necesario realizar 10 pruebas en las que el dardo rompa la lámina y otras 10 en las que no se rompa, puesto que el instrumento necesita recopilar suficiente información para calcular correctamente la energía límite a la que se puede someter la lámina. En el ANEXO III se detalla el funcionamiento del equipo, tal y como se ha registrado internamente en la empresa para que cualquier operario que se encargue de realizar los ensayos conozca de manera clara y concisa los pasos a seguir.

Actualmente, las especificaciones técnicas de la empresa constan de un límite de rotura de la lámina fijado en 6 J/mm. Dicho valor ha sido calculado mediante un equipo sofisticado y costoso que se encuentra en la sucursal de Dinamarca. La empresa no dispone de los medios adecuados para analizar la fragilidad de la lámina en la planta de Buñol, por lo que su actuación frente a los defectos ocasionados se encuentra muy limitada. Únicamente en el caso de que el cliente interponga una reclamación por fragilidad en la bandeja termoformada se tomarían acciones para conocer la procedencia del problema. Dicha reclamación puede producirse meses posteriores a la producción defectuosa por lo que el ejercicio de trazabilidad se complica notablemente y, en la mayoría de los casos, resulta una aceptación de la reclamación puesto que no se puede estudiar el caso.

Por ello, el departamento de Calidad pretende comenzar a trabajar con el impactómetro instalado en la empresa para introducirlo en el proceso productivo de la empresa y, de esta manera, evitar posibles defectos en el producto comercializado. La sucursal en Dinamarca dispone de un equipo de medición basado en la misma metodología que el equipo BMC-B1 instalado en la empresa. En este caso, el modelo empleado se denomina CEAST 9350. Se trata de un instrumento de medida sofisticado que cuenta con mayores prestaciones, así como un tratamiento del material analizado distinto. En este caso, el equipo CEAST 9350 sigue los pasos establecidos por el estándar internacional ISO 7765-2:1994. Dicha norma define que la lámina analizada debe someterse a un enfriamiento previo a 0°C y, posteriormente, almacenar la lámina 90 minutos bajo una atmósfera de condiciones estándares. Por ello, se necesita conocer la correlación entre ambos instrumentos de medida para llevar a cabo el análisis de la fragilidad en la lámina en el proceso productivo, evitando grandes retrasos en los resultados debido al envío y realización de las pruebas en la sucursal danesa.

De forma similar a la validación realizada para el equipo de medición de la humedad, se contrastan los resultados obtenidos mediante el impactómetro instalado en la empresa y el equipo de medición de la fragilidad en la sucursal de Dinamarca, obteniendo una correlación entre los resultados para validar un valor de resistencia al impacto límite con el equipo instalado en la empresa. De esta manera, se implementará un control preventivo de la lámina extrusionada en el proceso productivo, logrando mejorar la calidad del producto final obtenido.

Para validar el instrumento de medida se recogen varias muestras de una misma lámina, habiéndose fabricado mediante diferentes órdenes de producción. De esta manera se asegura que la resistencia al impacto de la plancha sea variable y la comparación entre ambos métodos abarque diferentes valores de energía límite de rotura. Se decide seleccionar el material que se está produciendo en el momento de la recogida de muestras, diferenciando entre ambas extrusoras. Además, se busca en el sistema interno de datos aquellas bobinas que se encuentren disponibles en el almacén de la nave 2 para obtener una comparativa que contenga mayor número de muestras. En la Tabla 3 se muestran los resultados de las pruebas de impacto realizadas mediante ambos métodos sobre las muestras recogidas.

Tabla 3: Comparación de la fragilidad obtenida mediante el equipo BMC-B1 y el equipo CEAST 9350

Identificación de la lámina							Sucursal DK	Empresa
Nº Muestra	Fecha producción	Hora producción	Referencia interna	Descripción	Grosor (µm)	Extrusora	Resistencia al impacto (J/mm)	
1	24/05/2022	13:36	8850557900	Trans. Blue APET	417	L	3,789	11,34
2	19/05/2022	11:30					3,489	12,76
3	23/06/2022	9:00					10,776	29,73
4	23/06/2022	12:00					9,664	36,93
5	29/06/2022	9:50					9,131	32,03
6	18/05/2022	10:00	7300407900	APET Clear	370	R	6,841	17,57
7	24/06/2022	3:40					6,19	20,54
8	27/06/2022	15:45					5,282	15,95
9	28/06/2022	13:50					6,811	22,97
10	29/06/2022	11:00					5,501	20,81

A partir de los resultados obtenidos en la sucursal de Dinamarca, se observan ciertas muestras que se encuentran por debajo del límite establecido. Las dos primeras muestras presentan una resistencia al impacto muy por debajo de las especificaciones técnicas de la empresa, así como las muestras 8 y 10 que no superan el valor establecido.

Respecto a la comparativa entre datos, se observa una cierta disparidad en la proporcionalidad de los resultados obtenidos. Es coherente afirmar que un aumento de la resistencia al impacto en el método de Dinamarca implique un aumento de resistencia en el instrumento instalado en la empresa. Sin embargo, en las muestras 3, 4 y 5 se aprecia una discrepancia entre la comparativa de resultados. Aun así, grandes variaciones en los datos obtenidos mediante el método de la sucursal en Dinamarca implican una variación similar en el impactómetro BMC-B1 por lo que es posible encontrar una correlación entre ambos procedimientos.

Cabe destacar que se han seleccionado muestras de manera arbitraria, recogiendo lámina de bobina que aún no se había consumido para la fabricación de bandejas plásticas. En 10 muestras se ha detectado una resistencia al impacto por debajo de las especificaciones técnicas indicadas por la empresa, por lo que la ausencia de un control de calidad sobre la fragilidad en el proceso de extrusión puede desembocar en grandes defectos en el producto final, ya sea por una desviación de ciertos parámetros del proceso o bien por un exceso de humedad en la materia prima empleada.

Para comparar los resultados de los ensayos realizados, se lleva a cabo un análisis de regresión lineal simple, lo que permitirá encontrar una correlación entre ambos métodos de testeo y calcular la energía límite de rotura según especificaciones técnicas de la empresa para validar la lámina fabricada en el proceso de extrusión. En la Figura 22 se muestra la correlación entre ambos métodos.

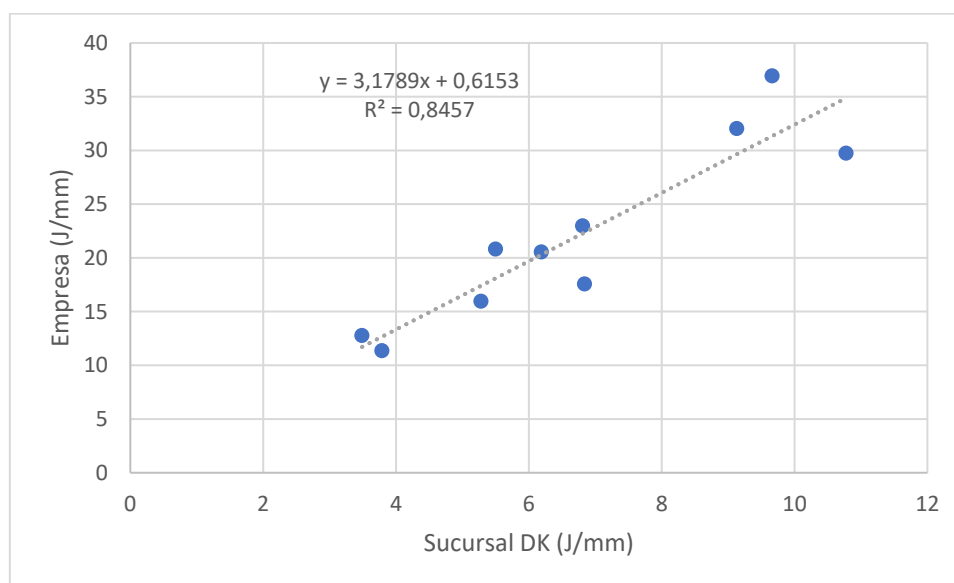


Figura 22: Correlación entre los resultados del equipo BMC-B1 de la empresa y el equipo CEAST 9350 de la sucursal

El método de regresión lineal simple permite observar una cierta linealidad entre los resultados obtenidos mediante ambos métodos a pesar de las disparidades reflejadas en los datos de la Tabla 3. Así pues, se considera necesario un mayor muestreo de láminas para lograr una validación del equipo más precisa. Sin embargo, para la elaboración del trabajo no se dispone

del tiempo suficiente en la empresa para seguir trabajando en la validación del equipo, por lo que se asume un cierto margen de error en el límite de rotura obtenido tras la comparativa de equipos.

Así pues, a partir del método de regresión lineal se obtiene una ecuación simple que define la línea de tendencia observada en la Figura 22. Por tanto, el límite de rotura que permitirá validar la lámina en el proceso productivo de la planta se calcula como:

$$y = 3,1789 \times 6 \left(\frac{J}{mm} \right) + 0,6153 = 19,7 \frac{J}{mm} \quad (2)$$

El tiempo disponible en la empresa para la realización del proyecto impide obtener una validación del límite de la resistencia al impacto más extensa, puesto que es conveniente realizar un mayor número de comparaciones entre ambos métodos para precisar un valor límite adecuado. Sin embargo, se considera que el resultado obtenido es una aproximación correcta para validar la fragilidad de una lámina, valorando la posibilidad de aceptar determinadas láminas siempre y cuando se lleve un estricto seguimiento del proceso posterior de termoformado, así como del producto final obtenido.

7.2 Dependencia de la fragilidad en la lámina

Tras validar el instrumento de medida de la humedad residual en la materia prima y el impactómetro de caída libre, el proyecto abarca un estudio más detallado del proceso productivo de la lámina de PET para conocer la influencia de la humedad sobre la producción de bandejas plásticas con una baja resistencia al impacto. Para ello, se lleva a cabo un registro de los parámetros que rigen el funcionamiento del proceso de extrusión, así como un análisis de la humedad de la materia prima empleada y la lámina fabricada. Para ello, se lleva a cabo un registro de los parámetros del extrusionado durante varios meses de producción, analizando las posibles desviaciones y cómo afectan las diferentes variables del proceso a la fragilidad de la lámina.

El volumen productivo de la empresa imposibilita asociar cada una de las sacas consumidas a la lámina de bobina producida, puesto que el tiempo de residencia en el cristizador y en la extrusora no son constantes. Además, la medición de la humedad en la materia prima y la fragilidad de la lámina conlleva un tiempo de dedicación que es incompatible con la constante toma de datos de los parámetros que definen el proceso de extrusión. Por ello, se evalúa la posibilidad de reducir lo máximo posible las mediciones realizadas y concretar los parámetros analizados, por lo que se decide tomar muestras únicamente del granulado de PET a la salida del cristizador. La lámina intermedia, denominada internamente como “*main layer*” está formada principalmente de material reciclado a partir de botellas de plástico, rPET. Además, dicha capa supone el 90% de la lámina final obtenida, por lo que la humedad del producto vendrá determinada por el contenido de agua que presente tras cristalizarse el rPET.

Para registrar los datos correctamente no existe ninguna metodología informática que genere una tabla de datos en función del tiempo de los parámetros de funcionamiento de la extrusora. Por ello, las variables del proceso se recogían manualmente a partir de los datos mostrados en

una pantalla digital ubicada en la parte lateral de la extrusora. En la Figura 23 se muestra el esquema de la extrusora "R" en el que aparecen los distintos parámetros de operación.

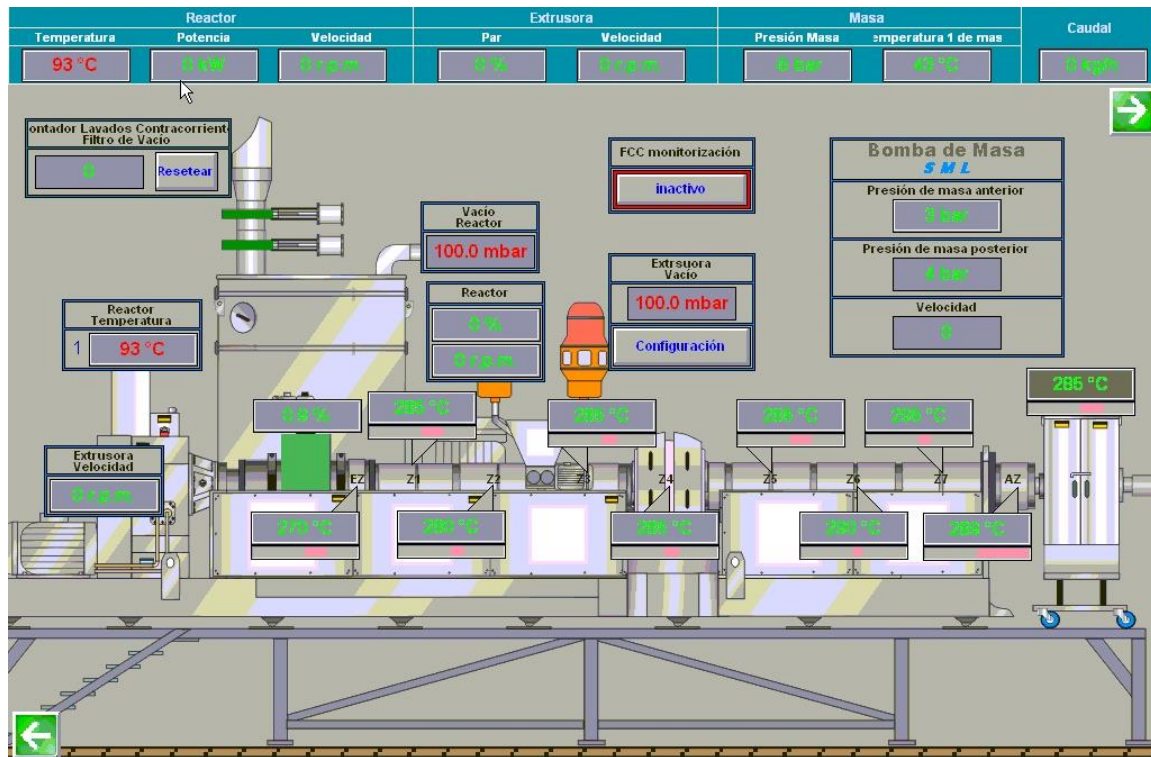


Figura 23: Esquema de la extrusora "R" (Faerch, 2022)

Con la finalidad de obtener una tabla de datos demasiado extensa y con gran dificultad para encontrar correlaciones entre los distintos parámetros se decide seleccionar las variables más significativas del proceso de extrusión en relación con la fragilidad del producto final obtenido. Tras una puesta en común de las ideas con el departamento de extrusión, se determina lo siguiente:

- El perfil de temperaturas a lo largo del husillo no presenta grandes variaciones durante el proceso, por lo que se puede suponer como valor fijo y, por tanto, no presenta ninguna influencia sobre la fragilidad de la lámina
- La bomba de Masa y los parámetros asociados a este equipo no presentan ninguna influencia directa, puesto que un déficit en el trabajo podría explicar ciertas desviaciones del proceso, pero no se trata de una variable directa para explicar la aparición de fragilidad en la lámina.
- El vacío generado en el equipo, tanto en el reactor como en la extrusora, tiene una gran dependencia con la eliminación de la humedad por lo que es un parámetro muy significativo en la aparición de defectuosidad en el producto extrusionado.
- La velocidad en el reactor y en la extrusora también es una variable sustancial para lograr las condiciones adecuadas de humedad en el equipo. Cuanto mayor sea el tiempo de residencia del material en el husillo, mayor será la deshumidificación y, por tanto, menor probabilidad de obtener una bobina frágil; sin embargo, la potencia del reactor no es significativo y no se registra en la base de datos realizada.
- El par de la extrusora, el cual se define como el momento de fuerza ejercido por el motor sobre el eje de transmisión de potencia, se expresa como un porcentaje del total y,

según el departamento de extrusión, se trata de un parámetro estable que únicamente varía en la parada y arranque de la extrusora, por lo que no tiene influencia sobre el parámetro estudiado.

- El caudal de flujo indica la capacidad productiva de la extrusora y varía notablemente, teniendo una gran influencia sobre el tiempo de residencia del material en el husillo. Por ello, se considera importante y se tiene en cuenta en el registro de datos del proceso productivo.

El procedimiento habitual para la toma de datos incluía el registro de parámetros en el cristizador, pero al reducir los tiempos de ensayos y únicamente analizar la humedad en el material obtenido en la salida del cristizador, se descartan las variables registradas del equipo de cristalizado. Los resultados del instrumento de medición de la humedad permiten discernir si el cristizador se encuentra trabajando en condiciones óptimas, obteniendo valores por debajo de los 200-300 ppm o, por el contrario, los parámetros de operación se han desviado del “set-up” configurado y se produce un aumento en el contenido de humedad del material cristalizado, superior a los 500 ppm. A lo largo del estudio se han producido tareas de mantenimiento en el cristizador, por lo que se ha podido analizar la fragilidad de la lámina en condiciones muy desfavorables, con valores por encima de los 1000 ppm.

Así pues, tras la medición de la humedad en la materia prima posterior al cristizador, de forma simultánea al registro de los parámetros operacionales y a la realización de la prueba de impacto en la lámina extrusionada se consigue una base de datos sólida que permite discernir la influencia de ciertos parámetros sobre la fragilidad de la lámina. Sin embargo, el gran número de variables registradas impedía el completo estudio de ellas, ya que se debía fijar el resto de los parámetros para obtener resultados significativos. En la Tabla 4 se muestra el registro de datos para analizar la dependencia de la fragilidad frente a la humedad.

Tabla 4: Registro de datos para determinar la dependencia de la fragilidad frente a la humedad

Muestras sacas	Parámetros extrusora L				Muestras láminas
	Humedad obtenida (ppm)	Caudal (kg/h)	Velocidad (r.p.m.)	Par (%)	
1083	1712,0	255,0	71,0	293,0	16,4
176	1645,0	251,0	72,0	291,0	27,0
393	1594,0	268,0	71,0	280,0	23,4
913	1628,0	256,0	70,0	293,0	18,6
606	1505,0	257,0	68,0	289,0	21,5
405	1749,0	264,0	73,0	292,0	25,3
206	1726,0	260,0	72,0	281,0	27,9
1634	1703,0	259,0	71,0	290,0	16,1
1421	1710,0	248,0	71,0	290,0	18,0
183	1842,0	256,0	70,0	285,0	28,8
1230	1794,0	247,0	73,0	282,0	18,6
1019	1782,0	248,0	68,0	286,0	18,3
857	1620,0	258,0	69,0	285,0	19,1
1589	1651,0	261,0	69,0	286,0	15,0

El análisis descarta aquellos registros en los que se producen variaciones notables en la velocidad de giro del husillo, puesto que podría influir sobre la variación de la fragilidad y obtener resultados poco concluyentes. La dependencia de la fragilidad sobre la humedad se estudia únicamente en la extrusora L puesto que el equipo presenta un menor número de variables en el proceso, facilitando el estudio de los parámetros. En la Figura 24 se muestra la correlación entre la fragilidad de la lámina de bobina fabricada y la humedad del rPET analizada a la salida del cristalizador.

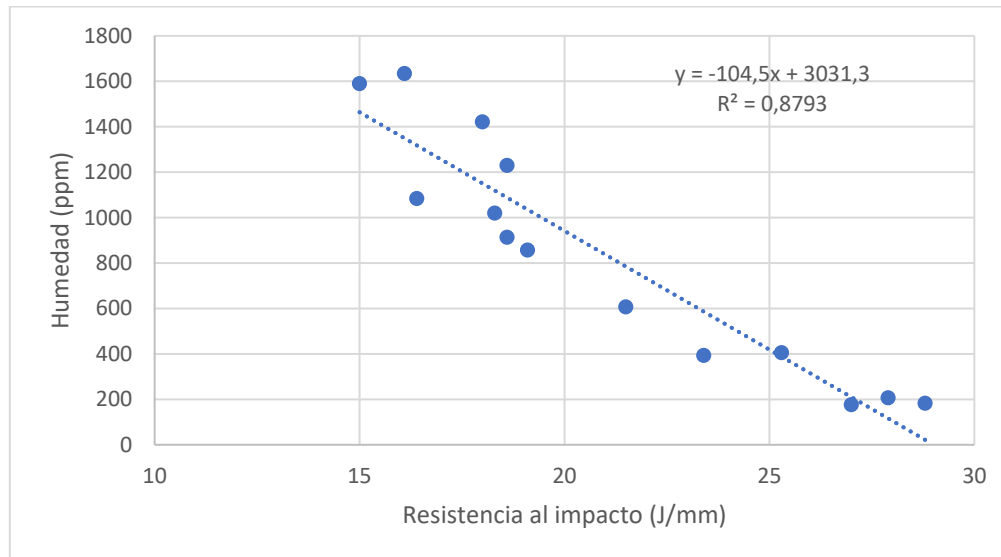


Figura 24: Estudio de la influencia de la humedad en el granulado de PET sobre la fragilidad de la lámina

Como se puede observar en la Figura 24, en el caso de trabajar en condiciones óptimas, el cristalizador consigue deshumidificar adecuadamente el material y la resistencia de la lámina se encuentra en un rango superior al límite de rotura establecido en las especificaciones técnicas de la empresa. Sin embargo, en situaciones en las que el cristalizador no es capaz de extraer la humedad presente en el granulado de rPET, la hidrólisis producida en los enlaces moleculares del polímero provoca una disminución de la resistencia al impacto. La representación gráfica denota la fuerte dependencia que existe entre la humedad detectada en la entrada a la extrusora y la fragilidad obtenida en la bobina producida. Mediante la representación del método de regresión se observa el correcto ajuste lineal entre ambas variables, obteniendo un coeficiente de determinación, R-cuadrado, que indica la fuerte dependencia entre los parámetros estudiados.

Por tanto, el estudio de la dependencia entre la fragilidad de la lámina y la humedad de la materia prima introducida en el proceso permite determinar el valor límite de humedad que se debe aceptar en la empresa para evitar la aparición de defectos por fragilidad en el producto final. Como se muestra en la Figura 24, cuando la humedad sobrepasa los 800 ppm, el producto analizado no cumple con las especificaciones correspondientes y debe ser rechazado en el proceso productivo. Así pues, en la implementación de los controles diarios de calidad mediante el análisis de humedad en el rPET, se establece 800 ppm como valor límite.

Respecto al estudio de la influencia de la fragilidad sobre los distintos parámetros que definen la extrusora, la obtención de conclusiones se dificulta debido al número de variables que intervienen en la extrusora R. Aun así, se ha conseguido fijar aquellos parámetros que denotan

una menor importancia sobre la variación de la fragilidad en la lámina extruida para conocer la influencia de aquellos parámetros que modifican la resistencia al impacto del producto obtenido. En la Tabla 5 se muestran aquellos datos registrados que permiten obtener la dependencia entre el vacío de la extrusora y la fragilidad de la lámina.

Tabla 5: Registro de datos para determinar la dependencia de la fragilidad frente al vacío de la extrusora

Muestras sacas	Parámetros extrusora R									Muestras láminas
	Reactor				Extrusora					
Humedad obtenida (ppm)	Temperatura (°C)	Potencia (kW)	Velocidad (r.p.m.)	Vacío reactor (mbar)	Llenado tanque (%)	Velocidad (r.p.m.)	Par (%)	Vacío extrusora (mbar)	Perfil de temperaturas (°C)	Fragilidad obtenida (J/mm)
299	143	65	128	71,2	45	78	57	50,6	298	28,4
332	153	55	124	69,7	42	80	55	58,5	297	33,2
216	145	56	132	64,7	47	82	56	29,9	293	23,8
295	145	67	135	67,1	44	77	57	61,2	296	29,6
153	143	62	135	68	48	90	58	51,4	297	19,2
314	145	54	123	72	47	79	54	66,3	294	29,3
125	150	62	134	63,7	47	90	58	78,2	297	24,4
335	148	66	131	63,3	48	75	63	66,5	293	28,6
222	143	62	133	69,8	43	91	62	72,8	297	27,9
346	146	61	136	66,6	42	85	60	58,2	293	28,7
389	146	67	126	66,9	46	87	64	50,3	295	19,8
235	151	58	128	68,4	42	74	61	68,4	295	31,1
317	153	64	134	71,1	44	81	60	81,5	297	26,2

En la Tabla 5 se registran aquellos datos en los que únicamente varía sustancialmente el vacío en el reactor, analizando así la influencia sobre la variación de la fragilidad en la lámina estudiada. Se puede observar la variación del defecto estudiado al variar el vacío del reactor, siendo necesario un análisis de regresión lineal para determinar la dependencia de ambos parámetros. Dicho estudio se realiza en su totalidad en la información obtenida a partir de la extrusora R dado que es la única que muestra en su *display* los datos relativos al vacío producido en el husillo, pudiendo ser registrados para demostrar la influencia sobre la fragilidad de la lámina extrusionada. En la Figura 25 se muestra la correlación entre la fragilidad y el vacío en la extrusora obtenida a partir de los datos observados en la Tabla 5.

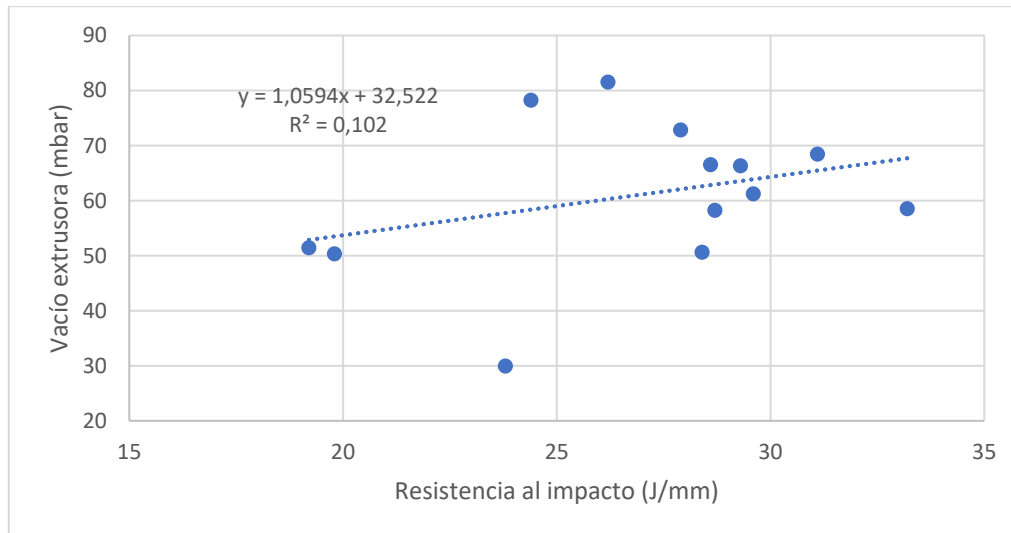


Figura 25: Estudio de la influencia del vacío en la extrusora sobre la fragilidad de la lámina

La representación gráfica de la Figura 25 denota una gran dispersión entre las variables analizadas. El método de regresión lineal simple permite discernir que la fragilidad de la lámina es totalmente independiente de las desviaciones del vacío de la extrusora. La línea de tendencia obtenida muestra una fuerte variabilidad entre ambos parámetros, obteniendo un coeficiente de determinación muy reducido que indica un ajuste deficiente del modelo. La Figura 25 muestra, para una variación de vacío en la extrusora de 50 mbar aproximadamente, una fragilidad cercana a los 24 J/mm, mientras que en otras muestras estudiadas se aprecia una variación de la resistencia al impacto de 13 J/mm aproximadamente, trabajando ambas a una presión de vacío cercana a los 50 mbar. Por ello, se descarta la dependencia de la fragilidad sobre el vacío de la extrusora, siendo necesario un estudio más profundo para determinar qué parámetros modifican la resistencia al impacto de la lámina analizada.

Además del vacío en el husillo principal de la extrusora, se debe analizar el vacío producido en el reactor de la extrusora R. La materia prima se introduce en el reactor, donde se lleva a cabo un mezclado del material a unas temperaturas adecuadas. Asimismo, el vacío en el interior del tanque permite eliminar adecuadamente la humedad presente en el rPET. Para conocer la dependencia de la fragilidad en la lámina extrusionada, se debe estudiar la influencia del vacío en el reactor puesto que se ha demostrado que el vacío de la extrusora afecta en menor medida a la esperada. Así pues, los datos recogidos bajo las condiciones dadas en el proceso productivo permiten recabar un número de muestras suficientes para llevar a cabo el estudio de la dependencia entre ambos parámetros. En la Tabla 6 se muestra el registro de datos obtenidos a partir de los cuales se puede analizar la influencia del vacío en el tanque sobre la fragilidad de la lámina extrusionada.

Tabla 6: Registro de datos para determinar la dependencia de la fragilidad frente al vacío en el reactor

Muestras sacas	Parámetros extrusora R									Muestras láminas
	Reactor					Extrusora				
Humedad obtenida (ppm)	T (°C)	Potencia (kW)	Velocidad (r.p.m.)	Vacío reactor (mbar)	Llenado tanque (%)	Velocidad (r.p.m.)	Par (%)	Vacío extrusora (mbar)	Perfil t (°C)	Fragilidad obtenida (J/mm)
376	153	61	129	37,5	44	78	61	33,5	297	17,7
297	148	54	124	61,2	44	86	63	38,2	298	30,0
326	147	54	127	33,1	44	79	61	36,7	299	17,3
195	149	60	125	48,3	45	87	58	37,3	296	21,9
307	149	65	134	49,9	45	76	64	34,9	297	18,4
145	148	58	128	59,1	47	79	53	33,6	297	30,2
157	149	60	136	44,5	42	74	52	37,3	299	22,6
291	145	66	124	67	45	88	61	36,9	294	33,3
355	148	58	128	26,6	45	78	53	38,4	293	16,2
161	143	64	134	55,6	45	79	52	34,9	299	21,6
307	145	61	125	47,1	46	83	54	35,3	293	28,0
148	144	65	132	42,8	42	83	62	34,6	294	19,5
190	145	63	136	58,4	48	82	58	33,4	295	27,0
163	143	66	125	77,4	48	77	52	36,2	299	31,8
349	152	56	136	31,1	43	91	61	32,6	298	18,4
178	147	55	128	52,7	42	85	64	38,3	294	25,4

De la misma manera que en los casos anteriores, se seleccionan aquellas muestras en las que el resto de los parámetros se encuentran fijados para obtener resultados concluyentes sobre la variación del vacío en el interior del tanque. En la Figura 26 se muestra la correlación entre la resistencia al impacto calculada en la lámina y el vacío en el reactor registrado en la toma de muestras.

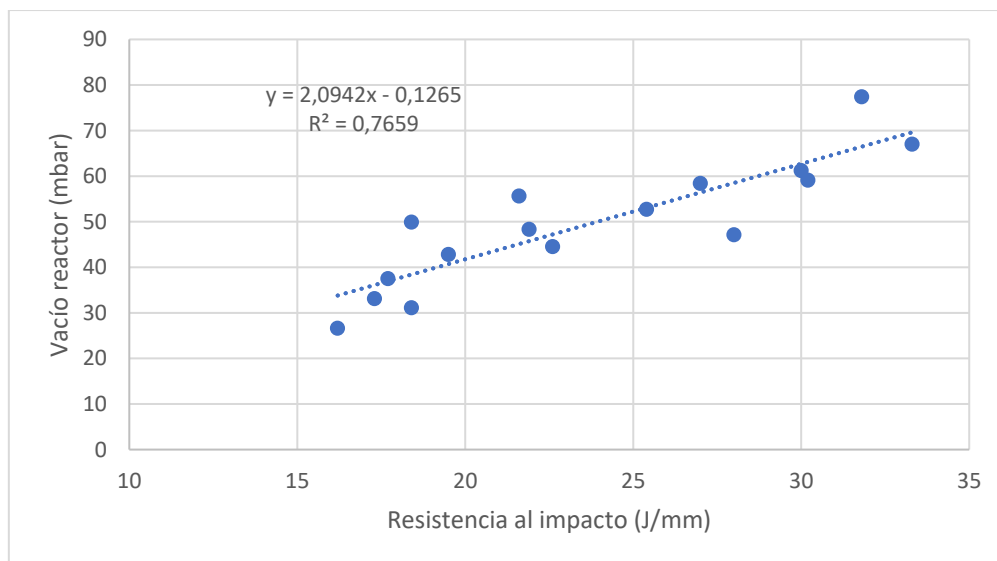


Figura 26: Estudio de la influencia del vacío en el reactor sobre la fragilidad de la lámina

En la representación de los datos de la Tabla 6 se observa cierta linealidad entre las variables estudiadas, obteniendo una dispersión ajustada a la línea de tendencia. El vacío en el reactor

permite extraer los gases y líquidos contenidos en el material introducido en la línea de extrusión, por lo que una presión de vacío alta implica una correcta eliminación de la humedad en el PET, lo que supone una reducción en la fragilidad de la lámina extrusionada. Por tanto, el modelo de regresión lineal simple permite discernir la estrecha linealidad que presenta el vacío en el reactor de la extrusora y la fragilidad del producto fabricado, denotando una resistencia al impacto por debajo de los requisitos técnicos establecidos por la empresa cuando se trabaja a presiones inferiores a 40 mbar.

Cabe destacar que la velocidad de giro, tanto en el reactor de la extrusora R como en el husillo de ambas extrusoras, es un parámetro relevante sobre la presencia de humedad en el proceso. Sin embargo, la dificultad del estudio impide aislar la variación de la velocidad de giro de forma independiente puesto que las variables registradas dependen de las condiciones del proceso productivo, lo que impide su modificación para la elaboración del proyecto. En el Anexo IV se muestra todos los datos recogidos durante el estudio de la humedad y la aparición de defectos asociados, los cuales han permitido conocer la dependencia de la fragilidad frente a ciertos parámetros como el vacío en el reactor.

7.3 Implementación del control de calidad en el proceso

La validación del instrumento de medición de la humedad, así como del impactómetro ha permitido establecer unos requisitos técnicos para verificar de forma cuantitativa que la calidad del producto fabricado sea adecuada. Antes de la realización del proyecto, la empresa no podía conocer con certeza la defectuosidad de la bobina extrusionada. El análisis realizado para determinar el cumplimiento de los requisitos técnicos implicaba enviar las muestras recogidas, tanto de granulado de PET como de lámina de bobina, a la sucursal instalada en Dinamarca. Este hecho producía grandes retrasos en la obtención de los resultados e imposibilitaba realizar controles diarios en el producto para ser validado. En la gran mayoría de casos, no se detectaba la desviación en la fragilidad de la lámina por lo que el producto final defectuoso se enviaba al cliente. En consecuencia, la frecuencia de reclamaciones por parte del cliente se ve acrecentada sin poder determinar las causas raíz del problema.

El proyecto logra establecer unos requisitos de calidad en el material que permitirá decrementar el número de bandejas defectuosas, así como las reclamaciones recibidas por el cliente. En el último trimestre del año 2022 la empresa finalizará los trabajos realizados en la zona de calidad ubicada en la nave 1, junto al pasillo que conecta con la sala blanca, lo que permitirá implementar controles diarios en el proceso productivo. En cada inicio de turno, el encargado de extrusión obtendrá una muestra de rPET extraída a la salida del cristalizador, para llevar a cabo el análisis correspondiente en el equipo de medición *Aquatrac Station*. Asimismo, el operario recogerá una muestra de lámina de bobina para realizar la prueba de impacto y determinar su fragilidad. De esta manera, se registrará diariamente los valores obtenidos, detectando fácilmente una desviación de los parámetros estudiados. Cabe destacar que la nueva zona de trabajo deberá disponer de condiciones estándar de trabajo para favorecer la repetibilidad de los ensayos y obtener resultados fiables. A parte de los controles diarios establecidos, durante el proceso de extrusión puede darse el caso de producirse anomalías en los parámetros de producción. El desarrollo del proyecto ha permitido conocer aquellos valores

que resultan significativos en la aparición de defectos en el producto final. En el caso de detectarse una desviación notable de parámetros como pueda ser la presión en el reactor, será necesario realizar una prueba de fragilidad para la lámina extrusionada, asegurando que cumple con los límites establecidos de resistencia al impacto.

Por el momento, ambos equipos de medición se encuentran instalados en la zona de moldes, ubicada en la sala blanca, por lo que están habilitados para llevar a cabo los controles necesarios. Sin embargo, desde el departamento de extrusión se esclarece la necesidad de un operario especializado en la realización de los controles diarios, así como otras tareas específicas del departamento. Por ello, actualmente los instrumentos de medición se van a emplear para realizar ensayos en situaciones desfavorables, como pueda ser una desviación notable de los parámetros de extrusión, o bien se sospeche que el producto final obtenido presente defectos por fragilidad.

Para obtener unas conclusiones más extensas es necesario continuar con el estudio llevado a cabo en el proyecto. El análisis de la humedad y la aparición de defectos asociados a dicho parámetro está incompleto dada la necesidad de registrar un mayor número de datos y así obtener resultados más concluyentes. Determinados parámetros de extrusión no han podido ser estudiados debido a las necesidades de producción determinadas durante la realización del proyecto, por lo que un estudio más profundo permitiría ajustar de manera más precisa los requisitos de calidad establecidos en los controles, así como un mayor conocimiento sobre la significancia de los parámetros de extrusión en la fragilidad obtenida en la lámina.

8. ESTUDIO ECONÓMICO DE LOS EQUIPOS ADQUIRIDOS

La implementación de un procedimiento para reducir la aparición de defectos en el producto final permitirá a Faerch mejorar su rendimiento productivo y obtener un mayor beneficio económico. La adquisición y puesta en marcha del instrumento de medida de la humedad en la materia prima, así como el impactómetro permitirá reducir los costes referentes a la revisión de pallets, así como aquellos relacionados con las paradas en el proceso productivo debido a la fabricación de bobinas defectuosas. Por ello, es necesario cuantificar el coste total de la inversión realizada y determinar el tiempo necesario para recuperar el gasto inicial.

8.1 Coste de la inversión

8.1.1 Equipos

Tras analizar en el mercado las distintas opciones disponibles, se selecciona el instrumento de medida de la humedad residual *Aquatrac Station* como la opción más adecuada según las especificaciones de la empresa. De la misma manera, se debe tener en cuenta el coste de la inversión asociado al impactómetro, el cual fue adquirido previamente por un técnico de calidad de Faerch. En el ANEXO I se muestra detalladamente la inversión total requerida para la adquisición del *Aquatrac Station*, siendo de 18.625,00€. Asimismo, a través de la ayuda del tutor de la empresa, se ha obtenido el presupuesto del impactómetro BMC-B1, teniendo un coste de 8.217,00€. La presupuestación del instrumento de medida se detalla en el ANEXO V.

El importe de la inversión, en bruto, referida a los equipos de mediciones asciende a un total de 26.482,00€.

8.1.2 Instrumentación eléctrico y conexiones

El instrumento de medición de la humedad residual en la materia prima cuenta con todos los elementos necesarios para su puesta en marcha tras su recepción por parte del proveedor. Sin embargo, el impactómetro requiere una conexión de aire comprimido. Además, la idea de la empresa es habilitar un espacio en el que se pueda trabajar juntamente con ambos equipos, por lo que será necesario realizar la instalación eléctrica pertinente para su correcto funcionamiento.

Mediante la ayuda del tutor en Faerch, se logra estimar el coste relacionado con la instrumentación y cableado eléctrico, así como la instalación de la toma de aire comprimido. Se ha estimado un coste razonable, comparando las necesidades de instalación con el montaje requerido para unidades similares.

El importe estimado de la instalación necesaria es de 1.500,00€, incluyendo la mano de obra requerida por parte de los técnicos electricistas.

8.1.3 Presupuesto de la inversión inicial

Por tanto, la inversión necesaria para implementar el procedimiento detallado en el TFM será de un total de 27.982,00€. Añadiendo los gastos generales y el beneficio industrial que espera la empresa del proyecto, se obtiene el precio que se deberá invertir para instalar los equipos.

Tabla 7: Resumen del presupuesto del impactómetro y el equipo de medición de la humedad

Descripción	Subtotal (€)	Importe (€)
Aquatrac Station	18.625,00	
Impactómetro	8.217,00	
Instrumentación eléctrica y toma de aire	1.500,00	
Presupuesto Total de Ejecución Material		27.982,00
13% Gastos Generales	3.637,66	
6% Beneficio Industrial	1.678,92	
Suma de Gastos Generales y Beneficio Industrial		5.316,58
Presupuesto Total de Inversión		33.298,58
21% I.V.A.	6.992,70	
Presupuesto Total de Ejecución por Contrata		40.291,28

Asciende el Presupuesto de Ejecución por Contrata a la expresada cantidad de: CUARENTA MIL DOSCIENTOS NOVENTA Y UN EUROS con VEINTIOCHO CÉNTIMOS

8.2 Beneficio asociado a la inversión

Con la implementación en el proceso productivo de los dos instrumentos de medida se produciría un mayor control sobre la producción actual, disminuyendo notablemente las paradas y puestas en marcha debido a la aparición de defectos en las bobinas. Además, se vería reducido el número de revisiones de pallets, lo que supondría un ahorro en personal y una reducción en los pallets enviados al triturador debido a una mala calidad del producto final.

Por todo ello, se evalúa una mejora en el gasto producido en la revisión de pallets comprometidos en un 5%. A partir de la Tabla 1, se estima un promedio mensual de pallets bloqueados de 2.342.100 bandejas. Además de la aparición de defectos debido a la humedad en la materia prima, existe diferentes problemáticas que generan un gran volumen de bandejas revisadas, por lo que la reducción no es significativa. Aun así, la implementación de los controles preventivos permitirá recortar la revisión de 46.842 bandejas, o lo que es lo mismo, 17 pallets. A partir del cálculo estimado en el apartado 6.4.3. se obtiene un ahorro mensual de 1259,7€ (17 pallets × 74,1 €/pallet). En este caso, no es posible tener en cuenta el ahorro energético asociado a la reducción de trabajo en el triturador puesto que depende de muchos más factores de los cuales se desconoce su precio asociado.

Asimismo, las paradas y puestas en marcha de las unidades compresoras de la empresa suponen un gran coste debido al tiempo requerido, la pérdida de material producida durante dicho tiempo y el aumento del gasto en mantenimiento en la maquinaria. La estimación de dichos costes es complicada porque dependen de muchos factores como pueda ser el coste de la electricidad, la reducción en la productividad de la extrusora, los costes de mantenimiento, etc.

Por ello, con la ayuda del responsable de extrusión se estima un coste anual debido a las paradas y puestas en marcha de las extrusoras de 35.000,00€. Suponiendo un correcto funcionamiento del control de calidad implementado, se espera una reducción de dichas paradas de un 10%, por lo que anualmente supondría un ahorro energético y en costes de mantenimiento de 3.500,00€.

Por tanto, el ahorro anual producido será:

$$1259,7 \frac{\text{€}}{\text{mes}} \times 12 \text{ meses} + 3.500,00\text{€} = 18.616,40\text{€} \quad (3)$$

Los gastos de mantenimiento producidos por los instrumentos de medición serán muy reducidos puesto que son equipos recientemente adquiridos, por lo que se asumen que dichos costes serán nulos.

8.3 Rentabilidad del proyecto

Para calcular correctamente la amortización de los equipos de medición implementados en el proceso productivo se emplea el coeficiente lineal máximo definido en la Ley 27/2014, de 27 de noviembre, del Impuesto sobre Sociedades: Artículo 12, Correcciones de valor: amortizaciones, siendo del 20% del Presupuesto Total de Inversión de ambos equipos.

Los flujos de caja calculados, incluyendo impuestos del 21% sobre el beneficio bruto para los años posteriores a la inversión realizada, son los siguientes:

Tabla 8: Flujos de caja de los próximos 5 años

AÑO 0	- 40.291,28 €
AÑO 1	8.340,93€
AÑO 2	8.340,93€
AÑO 3	8.340,93€
AÑO 4	8.340,93€
AÑO 5	8.340,93€

El cálculo para obtener los flujos de caja a partir del primer año de inversión se ha obtenido mediante la diferencia entre el beneficio obtenido por la puesta en marcha de la metodología desarrollada en el TFM y el coste de amortización de los equipos. Asimismo, al valor obtenido se le debe deducir el impuesto del I.V.A. (21%), obteniendo así el flujo de caja.

Para conocer la rentabilidad del proyecto, es necesario calcular el valor actual neto, VAN, y la tasa interna de retorno, TIR. El VAN muestra el valor actualizado de todos los flujos de caja esperados. Un VAN positivo indica que el proyecto es viable económicamente para los años analizados. Para determinar el valor, se emplea la siguiente ecuación:

$$VAN = -I_0 + \sum_{j=1}^n \frac{FN_j}{(1+i)^j} = 2.044,71\text{€} \quad (3)$$

Donde I_0 hace referencia al coste de la inversión; FN_j , al flujo neto generado por la inversión en el año j ; i , se trata del interés fijo asociado al capital invertido, asumiendo un valor de 5%; j , es igual al año en curso y n es el año a partir del cual resulta un VAN positivo.

Así pues, se realiza el cálculo del VAN para distintos años, obteniendo el resultado mostrado a partir del año 6. Por tanto, se puede afirmar que la empresa recuperará la inversión realizada en el sexto año.

Aun así, para valorar correctamente la viabilidad del proyecto es necesario calcular la TIR. Dicho valor indica el interés normal del dinero en el mercado de capitales que hace 0 el VAN. Únicamente será viable realizar el proyecto si el valor obtenido es superior al interés fijado anteriormente como un 5%. La ecuación empleada para calcular la TIR es la siguiente:

$$VAN = -I_0 + \sum_{j=1}^n \frac{FN_j}{(1 + \lambda)^j} \quad (41)$$

Donde λ es la TIR y el resto de las variables se encuentran definidas en la ecuación (3).

Así pues, el valor obtenido para la TIR es $\lambda = 6,57\%$ por lo que se puede afirmar que la propuesta planteada será viable económicamente, puesto que el valor obtenido es mayor que el coste de capital asumido.

Cabe destacar que el estudio de rentabilidad económica de la implementación de los controles de calidad detallados en el TFM resulta una propuesta poco rentable en términos económicos, puesto que el año de retorno de la inversión supera a los años de amortización de los equipos. Sin embargo, además de generar beneficios a partir del sexto año, supone un aumento en la calidad del producto comercializado, lo que conlleva una mejora en el prestigio y la credibilidad de Faerch frente a sus clientes. Por tanto, se puede afirmar con certeza que la implementación de los equipos definidos en el TFM permitirá a la empresa un crecimiento en lo que respecta a la calidad de las bandejas plásticas fabricadas.

9. CONCLUSIONES

El presente proyecto analiza con detalle la problemática actual de la empresa en relación con la defectuosidad hallada en la fabricación de bandejas PET. De esta manera, el estudio sobre la humedad residual presente en la materia prima, así como los parámetros asociados al proceso de extrusión permite conocer las dificultades asociadas a la fragilidad del material producido.

La adquisición de un equipo de medición de la humedad, así como la puesta en marcha del impactómetro permitirá una correcta implementación de ambos análisis en el proceso productivo. Para ello, el proyecto lleva a cabo una validación de los instrumentos de medida a partir de una metodología más sofisticada y costosa que se encuentra ubicada en la sucursal de Dinamarca. Mediante la realización de ensayos simultáneos, se logra comparar los resultados y obtener una correlación concluyente para ambos equipos de medida, estableciendo el valor límite de fragilidad en 19,7 J/mm.

El proyecto profundiza en el proceso de extrusión para determinar las causas que implican una variación desfavorable en la resistencia al impacto de la lámina. Para ello, se lleva a cabo una recogida de datos de los distintos parámetros que definen el proceso de extrusión para conocer la dependencia de la fragilidad de la lámina sobre el resto de las variables. Tras elaborar un registro de datos extenso, se logra determinar la estrecha dependencia de la resistencia al impacto sobre la humedad de la materia prima en la entrada al proceso de extrusión, observándose unas condiciones contraproducentes cuando se superan valores de humedad por encima de los 800 ppm. De la misma manera, el proyecto define la dependencia que muestra el parámetro estudiado sobre el vacío en el reactor, obteniendo resultados desfavorables en caso de operar con presiones de vacío por debajo de 40 mbar.

Así pues, se logra establecer unas especificaciones técnicas que serán integradas en la empresa, tanto para la humedad límite permitida como para la resistencia al impacto mínima de la lámina que facilitará la verificación del producto final obtenido, permitiendo rechazar aquellas bobinas que no cumplan con los requisitos técnicos establecidos.

La implementación de los instrumentos de medida en el proceso productivo logrará una mejora en la calidad del producto final obtenido, incrementando el prestigio y credibilidad de Faerch frente a sus clientes. Asimismo, su puesta en marcha generará un beneficio económico a la empresa dado que se verán reducidas las paradas de los equipos debido a defectos en el producto, así como una reducción en los pallets revisados. El estudio económico presentado estima un periodo de recuperación de la inversión inicial en 6 años, mostrando una viabilidad económica para la empresa.

10. BIBLIOGRAFÍA

- ARTEC, T. (28 de Febrero de 2022). Obtenido de http://www.artec-appareils-essais.eu/content/artec/producten/pdf/hydrotracer-moisture-meter-plastics_5.pdf
- Barrera, Martinez, G., Lara, J.B.H., T.L., C.M, & Campos. (2015). *Materiales sustentables y reciclados en la construcción*. OmniaScience.
- Blanco, F. (2012). *Materiales poliméricos y compuestos. Materiales poliméricos de mayor interés industrial*.
- CEDEX. (Diciembre de 2013). *Catálogo de residuos utilizables en la construcción*. Obtenido de http://www.cedexmateriales.es/upload/docs/es_RESIDUOSPLASTICOSDIC2013.pdf
- CIDEC. (2022). Obtenido de <http://somoscidec.com/la-letra-que-lo-cambia-todo/wp-content/uploads/2021/02/Informe.pdf>
- Ecoologic. (2022). Obtenido de <https://www.ecoologic.com/pages/47&languageId=1>
- Faerch. (2022). *Información interna de la empresa*.
- Fenichell, S. (2019). *Plastic: The Making of a Synthetic Century*. Nueva York: Harper Business Publications.
- Geyer, R., Jambeck, J., & Law, K. (2017). *Production, use, and fate of all plastics ever made*. Obtenido de <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1700782>
- Herrera, J. R., & Estrada, A. (Julio de 2012). *Depolimerización de botellas de PET post-consumo mediante glicólisis. I. Efecto del catalizador y del tipo de glicol*. Obtenido de <https://www.observatoriplastico.com/ficheros/articulos/67980485126115902.pdf>
- Jü. (2015). *Wikipedia*. Obtenido de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PET_Structural_Formula_V1.svg
- Méndez Prieto, A., Cedillo García, R., & López Rivera, J. (03 de 10 de 2016). *PTM*. Obtenido de *Plastics Technology* de México: <https://www.pt-mexico.com/articulos/detr-s-de-la-produccion-del-pet>
- Metrohm*. (26 de Marzo de 2020). Obtenido de <https://www.gualab.com.ar/notas-tecnicas/titulacion-de-karl-fischer-y-espectroscopia-de-infrarrojo-cercano-en-perfecta-sinergia/>
- Metrotec*. (2 de Mayo de 2022). Obtenido de <https://www.metrotec.es/producto/impactometro-caida-libre-dardo-digital-bmc-b1-2/>
- Morawetz, H. (1995). *Polymers: The Origins and Growth of a Science*. Dover Publications.
- OECD. (22 de Abril de 2022). *Global Plastics Outlook: Plastics use in 2019*. Obtenido de *OECD Environment Statistics (database)*: <https://doi.org/10.1787/efff24eb-en>
- OEE. (2022). Obtenido de <https://www.oee.com/oee-six-big-losses/>



- ONU. (25 de Septiembre de 2015). Obtenido de
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Plastic Recyclers EU. (2022). Obtenido de
https://www.plasticsrecyclers.eu/_files/ugd/dda42a_bc6f846c96414ae2b09a41c34abd36c7.pdf
- PTM. (15 de Junio de 2022). Obtenido de Plastics Technology Mexico: <https://www.pt-mexico.com/articulos/>
- Scheirs, J., & Long, T. (2005). *Modern polyesters: chemistry and technology of polyesters and copolyesters*. John Wiley & Sons.
- UPV. (2022). *Tecnologías de Fabricación con Materiales Poliméricos y Compuestos*. Obtenido de Departamento de ingeniería mecánica y de materiales.
- Valades, B. (1 de Julio de 2020). *Globa Plast*. Obtenido de
<https://globaplast.com.mx/polipropileno-y-plastico-reciclado/#comments>



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

PRESUPUESTO

1. ELEMENTOS DEL PRESUPUESTO

1.1 Tablas

Tabla 1: Cuadro de precios del software y hardware empleado	1
Tabla 2: Cuadro de precios del material empleado	2
Tabla 3: Cuadro de precios del desplazamiento realizado a la empresa	3
Tabla 4: Cuadro de precios de la mano de obra	3
Tabla 5: Resumen del presupuesto de la elaboración del proyecto	4

2. COSTES DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El presente presupuesto tiene como objetivo valorar económicamente el coste de la ejecución del TFM, incluyendo todos los gastos necesarios para su elaboración.

En este apartado se desglosarán los distintos recursos empleados mediante cuadros de precios donde se muestran los costes de cada material empleado. De esta manera, se cuantificarán las horas dedicadas a la realización del proyecto, obteniendo un presupuesto estimado sobre la redacción del TFM.

2.1 Material empleado

Tabla 1: Cuadro de precios del software y hardware empleado

Concepto	Unidad	Medición	Rendimiento	Precio total (€)
Licencia software Microsoft 365	Euros/Unidad	126	0,5	63
Ordenador portátil HP	Euros/Unidad	890	0,083	73,87
Instrumento de medición de la humedad	Euros/Unidad	18.625	0,075	1396,88
Impactómetro	Euros/Unidad	8.217	0,042	345,11
Total				1878,86

En el cuadro de precios mostrado en la Tabla 2.1 se especifican los rendimientos de cada uno de los materiales empleados. Para obtener el rendimiento del software y hardware utilizado en la elaboración del proyecto se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{Amortización} = \frac{A}{B} \times C \times D \quad (1)$$

donde A es el número de meses que se emplea el equipo en el proyecto; B es el periodo de amortización, el cual varía dependiendo la naturaleza del bien; C es el coste del equipo y D es el porcentaje de uso del equipo.

En el caso del ordenador, se considera que la amortización del equipo se realiza en 6 años, mientras que la licencia de Microsoft 365 tiene un periodo anual, por lo que su amortización es de 1 año. Los porcentajes de uso se consideran en ambos casos del 100% puesto la elaboración del proyecto se realiza en su totalidad mediante el ordenador portátil.

Además de los costes asociados al material empleado para la redacción del TFM, se debe tener en cuenta los insumos utilizados en la empresa para la obtención de los resultados expuestos en la memoria. Así pues, en la Tabla 2.2. se recogen aquellos materiales empleados para la realización de los ensayos necesarios para obtener los resultados del trabajo.

Tabla 2: Cuadro de precios del desplazamiento realizado a la empresa

Concepto	Unidad	Precio unitario	Cantidad	Precio total (€)
Método Karl-Fischer	Euros/Unidad	20	48	960
Granza rPET botellas de plástico	Euros/Kg	0,77	1,68	1,3
Granza rPET interno	Euros/Kg	0,6	7,15	4,29
Recipientes herméticos	Euros/Unidad	1,67	48	80,16
Lámina de bobinas	Euros/Kg	2,79	47,5	132,53
Total				1178,28

A partir del software con el que trabaja la empresa, se ha obtenido el precio unitario de la materia prima empleada para realizar los ensayos. Respecto al coste asociado a los ensayos mediante la valoración de Karl-Fischer, la información ha sido aportada por el técnico de la sucursal en Dinamarca de forma estimada ya que no puede conocerse con precisión el coste de cada prueba realizada.

La cantidad de materia prima consumida en los ensayos de humedad se ha calculado a partir del volumen de los recipientes herméticos y la densidad de la granza de PET, reflejada en los datos proporcionados por la empresa. De la misma manera, se conoce el volumen de las láminas analizadas y la densidad del material, así como el precio/kg de la bobina.

2.2 Desplazamientos a la empresa

Tabla 3: Cuadro de precios del desplazamiento realizado a la empresa

Concepto	Precio unitario	Cantidad	Precio total (€)
Dietas	6,5	20	130
Desplazamiento	7,99	100	799
Total			929

En la Tabla 2.3 se muestran los gastos referidos al desplazamiento realizado a las instalaciones de la empresa. Se incluye el coste de las comidas realizadas el último día de la semana en un local cercano a la fábrica. El proyecto se desarrolla en un total de 5 meses, estimando unos 20 días trabajados por cada mes.

El precio unitario reflejado en el desplazamiento se calcula a partir de la distancia a la que se encuentra la empresa de la residencia actual del autor del TFM, multiplicado por el consumo de combustible estimado en carretera del vehículo utilizado, un Peugeot 307. Dada la situación actual respecto a la fluctuación en el precio de la gasolina, se realiza una estimación del coste medio por litro en los últimos meses, teniendo en cuenta el descuento aplicado por el Gobierno a partir del 1 de abril, tal y como se refleja en el *Real Decreto-ley 6/2022*, de 29 de marzo.

$$\text{Coste}_{\text{desplazamiento}} = 5,5 \frac{\text{litros}}{100 \text{ km}} \times 1,58 \frac{\text{€}}{\text{litro}} \times 92 \text{ km} = 7,99 \text{ €/día} \quad (2)$$

2.3 Mano de obra

Por último, para estimar el coste del proyecto, es necesario conocer el cuadro de precios de la mano de obra empleada, detallado en la Tabla 2.4. El salario medio del tutor de la UPV, titular de Universidad, se sitúa en 38,2 €/hora, siendo aportado dicho dato por el Servicio de Gestión de la I+D+I de la UPV. Suponiendo una media de dos horas dedicadas al proyecto por cada una de las reuniones realizadas entre el autor, la tutora y la cotutora, se estima una dedicación de 30 horas. Asimismo, el sueldo del autor se ha estimado a partir del coste anual bruto mínimo para un titulado superior, siendo de 23.685,34 €.

Tabla 4: Cuadro de precios de la mano de obra

Concepto	Precio (€/hora)	Cantidad	Precio total (€)
Alumno de Ing. Química	12,33	300	3700,83
Titular de Universidad	38,2	30	1146
Total			4846,83

2.4 Presupuesto Total

Para el desarrollo del Presupuesto Total se deben tener en cuenta los Gastos Generales y el Beneficio Industrial del proyecto. Estos serán del 13% y del 6%, respectivamente. Asimismo, se debe incluir el IVA, del 21%, sobre el Presupuesto Total de Inversión.

Tabla 5: Resumen del presupuesto de la elaboración del proyecto

Descripción	Subtotal (€)	Precio total (€)
Materiales y recursos empleados	3986,14	
Mano de obra	4846,83	
Presupuesto Total de Ejecución Material		8832,97
13% Gastos Generales	1148,29	
6% Beneficio Industrial	529,98	
Suma de Gastos Generales y Beneficio Industrial		1678,27
Presupuesto Total de Inversión		10511,24
21% I.V.A.	2207,36	
Presupuesto Total de Ejecución por Contrata		12718,60

Asciende el Presupuesto de Ejecución por Contrata a la expresada cantidad de: DOCE MIL SETECIENTOS DIECIOCHO EUROS con SESENTA CÉNTIMOS



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

ANEXO



ÍNDICE DEL ANEXO

ANEXO I. Presupuesto del Aquatrac Station	2
ANEXO II. Funcionamiento detallado del equipo de medición de la humedad	5
ANEXO III. Funcionamiento detallado del impactómetro	12
ANEXO IV. Datos experimentales del estudio de la humedad y fragilidad en la empresa	18
ANEXO V. Presupuesto del impactómetro BMC-B1	23

Nuevas Tecnologías S.A.
Roses, 99-101
08980 Sant Feliu de Llobregat
Barcelona - España
T. +34 93 473 46 76
F. +34 93 473 25 67
www.tecnosa.es

FAERCH BUÑOL, S.L.U.
Pol. Ind. El Rincón, sector 5,
Apdo. Correos, 166
46360 Buñol
(Valencia)
At. Sra. Inma Escrivá

Fecha: 04/03/2021

Asunto: **BRABENDER MESSTECHNIK / Oferta Aquatrac Station**

Apreciada Sra. Escrivá,

Nos es grato detallarle nuestra oferta para el equipo de medición modelo Aquatrac Station marca Brabender Messtechnik:

Pos.	Artículo	Cant.	Precio unitario
1	<p>Equipo para la medición de la humedad residual tipo AQUATRAC Station Primera edición (100 – 240 V ± 10%)</p> <p>Equipo autónomo para la medición precisa y en tiempo real de la humedad residual en todo tipo de plásticos, para un entorno industrial</p> <p>Medición del valor absoluto de humedad, evaluación según el punto de rocío (método físico)</p> <p>Detalles técnicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rango de medición continuo: 0,01 – 30 mg H₂O absolutos / 0,0001 – 99,9 % H₂O relativo - Rango de medición: 10 µg / 1 ppm / 0,0001 % H₂O con intervalo de temperaturas 30 – 200 °C - Peso de la muestra: 0,05 – 30 g, dependiendo de la proporción de humedad residual prevista - Criterios de cancelación como el incremento en la proporción de humedad residual, la superación de un límite inferior o superior de humedad previamente establecido, periodo de medición fijo o una combinación de los criterios anteriores - Escaneo de temperaturas para encontrar la temperatura de medición específica, óptima para el material 	1	16.370,- €

	<ul style="list-style-type: none"> - Pantalla táctil con menú de navegación en varios idiomas e instrucciones paso a paso - Base de datos del usuario y de los materiales editable - Acceso completo al dispositivo vía red local - Compilación de los registros de medición completos - Calibración multi-punto de acuerdo a la norma DIN EN ISO 15512. <p>Accesorios incluidos: certificado de calibración, pinzas, cable de alimentación, así como manual de instrucciones.</p>		
2	Balanza de análisis Precisa LS120A SCS, con campana transparente incluida, con una precisión de 0,1 mg, una legibilidad de 0,1 mg, un intervalo de peso hasta 120 g y conectividad USB, fuente de alimentación y certificado de calibración del fabricante incluidos	1	1.980,- €
5	Impresora de etiquetas USB para etiquetas adhesivas o rollo de papel sin fin, cable de alimentación y conector USB incluidos	1	530,- €
6	Rollos de papel para impresora de etiquetas CMP-30L 76x76 mm (10 rollos/caja)	1	115,- €
	Total		18.995,- €
	Descuento		- 745,- €
	Precio total con descuento		18.250,- €
6	Transporte y embalaje	1	330,- €
7	Embalaje extra (con la balanza de análisis Precisa LS120A SCS)	1	45,- €
	Precio total		18.625,- €

Notas:

* Estos precios sólo son válidos para la compra en conjunto del equipo.

* Precios sin IVA 21%

Condiciones generales:

Plazo de entrega: 4 – 6 semanas aprox.

Suministro: Puesta en marcha no incluida

Servicio Técnico: El horario de nuestro servicio técnico es de lunes a viernes de 8 – 17 horas. En caso de que requieran un servicio fuera de este horario, le agradeceremos consulten la tarifa del servicio técnico.

Forma de pago: 40% con el pedido y 60% con el aviso de envío

Validez de oferta: 3 meses

“Son válidas las Condiciones de Contratación para la venta de equipos y repuestos que se pueden obtener en el siguiente enlace: https://tecnosa.es/info_downloads/Condiciones%20generales.pdf

Esperando que nuestra oferta sea de su interés, quedamos a su disposición para cualquier consulta.

Atentamente,

Lars Espinagosa
Ingeniero Industrial
Gerente

[Escriba aquí]

Faerch	Código:			
	Página:	1/7	Versión:	0

Medición de la humedad en PET

CONTROL DE CAMBIOS			
<i>Versión</i>	<i>Fecha</i>	<i>Naturaleza de la evolución</i>	<i>Emisor</i>
0	11/07/22	CREACIÓN	QB

Máximo 5 últimas versiones en control de cambios

DOCUMENTOS ASOCIADOS			
Nombre del registro	Resp. archivo	Lugar archivo	Tiempo mínimo archivo

Todo Formulario genera un Registro que debe ser controlado

[Escriba aquí]

Faerch	Código:			
	Página:	2/7	Versión:	0

1. OBJETIVO

El objetivo de la instrucción es definir el procedimiento a emplear para realizar el control de la humedad en la materia prima de PET. De esta forma, se podrá conocer si el material empleado en extrusión cumple con los estándares de humedad establecidos.

ATENCIÓN! Cuando el equipo está operando existe peligro de abrasamiento. El cierre metálico puede alcanzar temperaturas superiores a los 100 °C. Colocar correctamente la tapa protectora.

2. INSTRUCCIONES

El instrumento de medida consta de una pantalla táctil donde se introducen todos los datos necesarios para realizar la medición, además de reflejar toda la información sobre los resultados obtenidos.



Figura 1: Equipo de medición de humedad.

1. Impresora de etiquetas; 2. Pantalla táctil con software integrado; 3. Báscula de precisión; 4. Señal lumínica (NO INTEGRADA EN EL EQUIPO); 5. Cubierta protectora; 6. Tapa de la cámara de medición; 7. Cámara de medición con envase para las muestras.



Figura 2: Parte trasera del equipo

1. 2x conexión neumática (labores de mantenimiento); 2. 3x USB; 3. Ethernet; 4. Fusible 24V tensión de funcionamiento (10 A/F); 5. Fusible de calefacción (16 A/F); 6. Interruptor principal CON/DES; 7. Fusible de red; 8. Conexión cable de red; 9. Conexión equipotencial

ATENCIÓN! ¡Peligro de muerte y riesgos de lesiones! El manejo inadecuado de componentes eléctricos puede causar lesiones graves o la muerte por contacto directo o indirecto con partes conductoras de tensión.

[Escriba aquí]

Faerch	Código:			
	Página:	3/7	Versión:	0

MODO DE USO

En la pantalla inicial, aparecerá un cuadro para introducir nombre de usuario (admin) y contraseña (admin). Posteriormente se explicará cómo crear un usuario personalizado.



Figura 3: Cuadro de mandos del equipo 1. Botón de inicio; 2. Botones de menú; 3. Botón "VOLVER"; 4. Botón "CERRAR SESIÓN"; 5. Visualización de temperatura en el equipo de medición (>60°C ¡PELIGRO DE QUEMADURA!)



INICIAR MEDICIÓN: en esta ventana se podrán introducir todos los datos necesarios para realizar el ensayo de humedad en la muestra introducida en la cámara de medición



ESCANEAO DE TEMPERATURA: este modo de análisis facilita información sobre a qué temperaturas se liberan las moléculas de agua de la muestra, o bien determinar la temperatura óptima para un material.



CALIBRACIÓN DE LAS MEDICIONES: se realiza una medición sin material en la cámara para calibrar las posibles desviaciones de las medidas.



BASE DE DATOS DE MEDICIONES: muestra los resultados obtenidos en los ensayos realizados



BASE DE DATOS DE MATERIALES: muestra la lista de los materiales guardados y de los parámetros de medición correspondientes.



BASE DE DATOS DE USUARIOS: muestra la lista de usuarios guardados

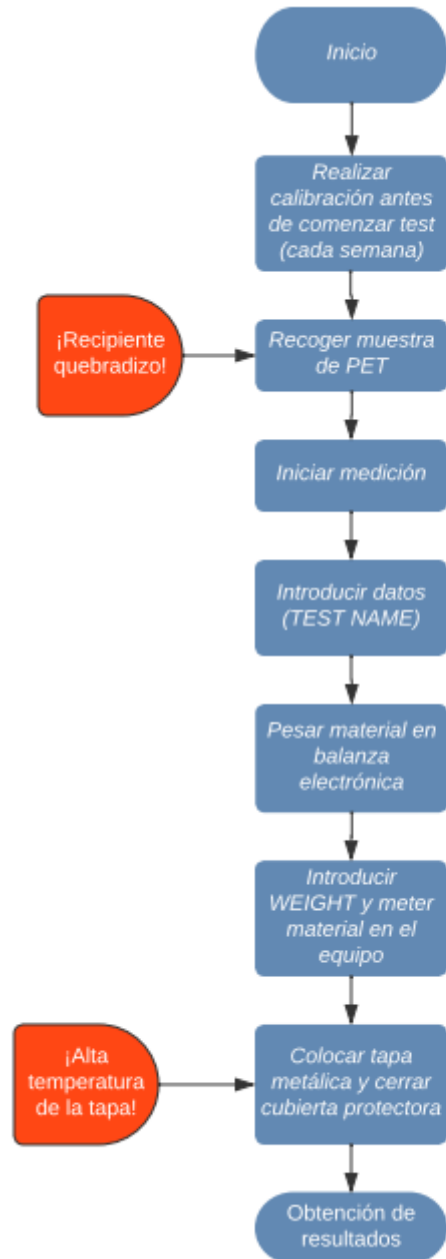


AJUSTES: pestaña donde se pueden realizar distintos ajustes en el dispositivo y el software

[Escriba aquí]

Faerch	Código:			
	Página:	4/7	Versión:	0


A modo de resumen, se explica el procedimiento mediante un diagrama de procesos. Posteriormente, se detalla cómo realizar cada paso. Leer atentamente todos los pasos para realizar correctamente los ensayos:



[Escriba aquí]


Faerch	Código:			
	Página:	5/7	Versión:	0

Para realizar una medición correctamente, se deben seguir los siguientes pasos:

- 0- La primera vez que se trabaja con el equipo es necesario hacer una **calibración**. Este proceso **se repetirá cada semana**, o bien si se necesita una alta precisión en los resultados, cada día al empezar a analizar la materia prima. Se deberá **dejar vacía la cámara de medición**, únicamente tendrá el recipiente metálico vacío, y se pulsará el botón **“CALIBRACIÓN DE LAS MEDICIONES”** . Esta opción tarda unos 15 minutos en llevarse a cabo y prepara al equipo para obtener mediciones de alta precisión.
- 1- Con el recipiente hermético facilitado, **recoger la muestra del material** en la tolva correspondiente. *(El granulado debe **llenar por completo el recipiente**, aplastando la parte metálica del cabezal el material de la parte superior, reduciendo toda humedad posible en el interior.)*



ATENCIÓN! El recipiente está hecho de cristal por lo que es un QUEBRADIZO. Prestar mucha atención al tomar las muestras y transportarlas. EN CASO DE ROTURA, ACTIVAR INMEDIATAMENTE EL PLAN DE VIDRIO PREVISTO POR LA EMPRESA

- 2- En el equipo de medición, pulsar en el menú mostrado anteriormente **“INICIAR MEDICIÓN”**  lo que mostrará una lista de posibles materiales. **Seleccionar el material** que se desea analizar (en este caso PET, en la pestaña nº 4). Darle al botón de **SIGUIENTE PASO**.
- 3- Aparecerá una nueva ventana donde introducir varios parámetros. Escribir el nombre deseado para la prueba en **“TEST NAME”**. *(El material lleva por defecto una serie de valores establecidos de serie, por lo que se modificarán únicamente en caso de modificaciones previamente consensuadas y aprobadas por el técnico de calidad, o bien por el proveedor del equipo.)* EN CASO DE QUERER OBTENER UN ENSAYO MÁS RÁPIDO, POR ENDE,

[Escriba aquí]

Faerch	Código:			
	Página:	6/7	Versión:	0

MENOS PRECISO, SE PODRÁ MODIFICAR EL VALOR **[ppm/min]=1** A UN VALOR MÁS GRANDE (**ppm/min=10 o 100**).


- 4- **El material** almacenado en la muestra **debe pesarse** para realizar el ensayo. En primer lugar, dentro de la cámara de medición se encuentra un recipiente, el cual debe ser extraído con las pinzas que incluye el equipo. Dicho recipiente se depositará en la balanza y se tarará a 0 gr para conocer el peso real de la muestra. (*Tener en cuenta que el equipo medirá como mucho 30mg de agua presente en la muestra dados los parámetros establecidos. Además, el rango óptimo de medición se encuentra entre los 7mg y los 10mg de agua, por lo que el peso de la muestra es realmente importante.*)
- 5- Al estabilizarse el valor mostrado en la balanza, este **se registra en “WEIGHT”** y ya puede realizarse el ensayo. **Se introduce el material en la cámara de medición** con mucho cuidado, se coloca la tapa metálica y se baja la cubierta protectora. Posteriormente, en la pantalla táctil del equipo se pulsa **“NEXT STEP”** y finalmente .
- 6- Una vez se haya generado el vacío en el interior de la cámara de medición, en la pantalla **se mostrará una gráfica que representa la cantidad de humedad detectada por minuto**, siendo asintótica hasta alcanzar el valor límite. Con el botón “%” se puede cambiar entre unidades [%], [ppm] y [mg] para conocer la humedad residual mientras está en curso la medición.




Figura 4: Ejemplo de medición en curso del equipo



BOTÓN PARADA: En el caso de querer detener la medición, pulsar el botón rojo.

[Escriba aquí]

	Código:			
	Página:	7/7	Versión:	0

- 7- Al finalizar la medición, aparecerá una nueva ventana donde se mostrarán los resultados en las distintas unidades. Si se desea imprimir (debe estar conectada la impresora) se debe pulsar el botón **“PRINT”**.

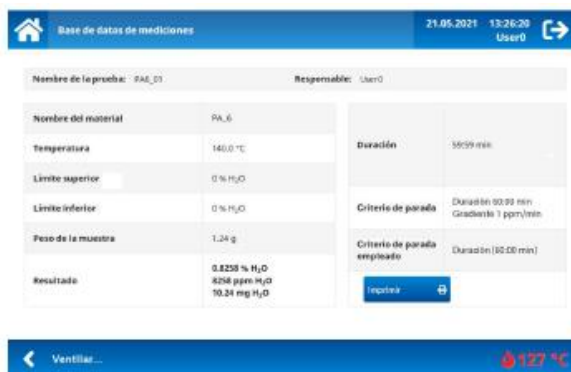



Figura 5: Ejemplo de medición finalizada del equipo

- 8- **ESPERAR HASTA QUE EL EQUIPO ALCANCE LOS 60°C PARA ABRIR LA TAPA DE LA CÁMARA DE MEDICIÓN.** Una vez logrado la temperatura, **abrir y vaciar el material** residual de la cámara. El recipiente que se introduce en la cámara de medición debe limpiarse minuciosamente con un cepillo, **ATENCIÓN! Está prohibido usar agua para la limpieza de la cámara de medición.** El agua podría dañar severamente el equipo. Proceder siguiendo los pasos detallados para el resto de muestras a analizar.

*Habitualmente se necesita un tiempo cercano a **30-40 min para llevar a cabo el ensayo**. En caso de analizar material con mayor niveles de humedad, el ensayo puede alargarse hasta la hora.

Para obtener una mayor precisión, tomar entre **7-10gr para material **PET triturado internamente**, ya sea transparente o de otros colores (*ref: 960000 o similares*) mientras que tomar muestras más pequeñas para material **PET reciclado exterior (PETCia y Wellmann)** tomando entre **2-4gr**. En el caso de trabajar con pellet reciclado, usar un peso similar (3-5gr). **ESPECIAL ATENCIÓN AL MATERIAL PROCEDENTE DE *WELLMANN* QUE ES EL MÁS HUMEDO, NO COGER MÁS DE 3gr.**

CREAR UN NUEVO USUARIO → En el menú del sistema, pulsar en “BASE DE DATOS DE USUARIOS” y pulsar en “AÑADIR” , creando así un nuevo perfil de usuario.

[Escriba aquí]

Faerch	Código:		
	Página:	1/6	Versión:

Utilización del impactómetro

CONTROL DE CAMBIOS			
Versión	Fecha	Naturaleza de la evolución	Emisor
0	30/05/22	CREACIÓN	QB

Máximo 5 últimas versiones en control de cambios

DOCUMENTOS ASOCIADOS			
Nombre del registro	Resp. archivo	Lugar archivo	Tiempo mínimo archivo

Todo Formulario genera un Registro que debe ser controlado

[Escriba aquí]

Faerch	Código:		
	Página:	2/6	Versión: 0

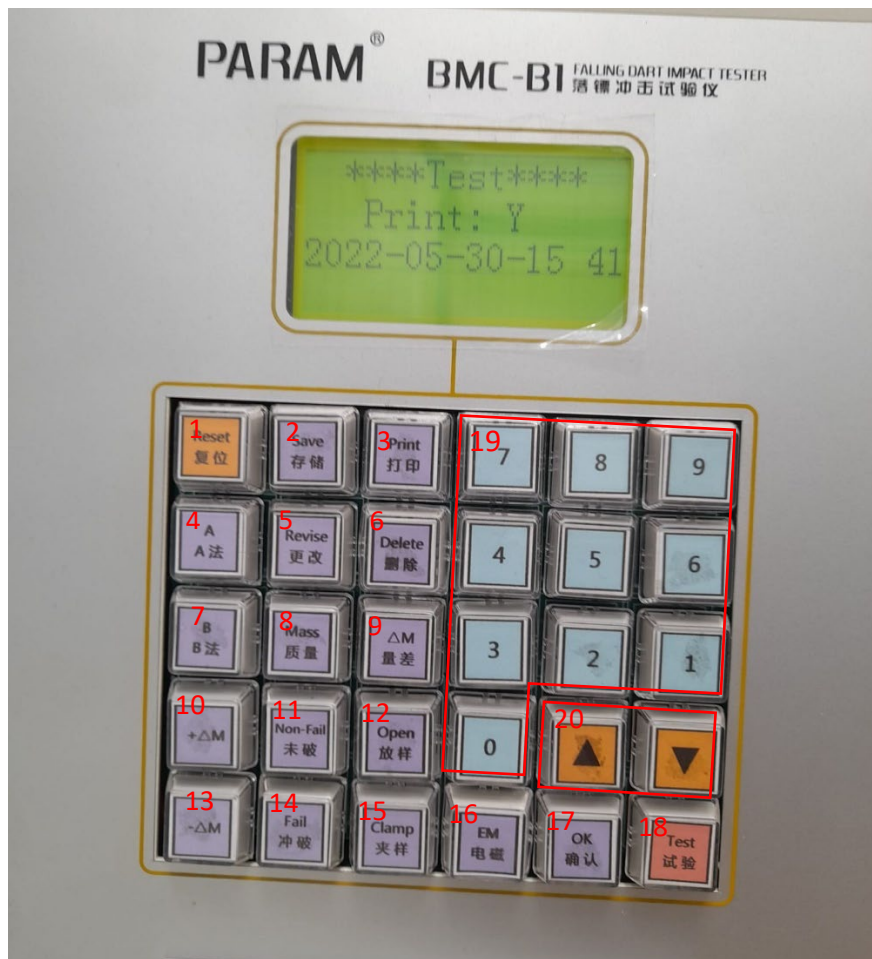
1. OBJETIVO

El objetivo de la instrucción es definir de forma clara y concisa el uso del impactómetro para el correcto análisis de las láminas de bobina. De esta forma, se podrá analizar la fragilidad del film y conocer si se encuentra dentro de las especificaciones demandadas por la empresa.


ATENCIÓN! El dardo puede rebotar contra la lámina y salir de la cavidad. Existe riesgo de atrapamiento en el lugar donde se sujeta la lámina. Emplear los pedales para tales funciones.

2. INSTRUCCIONES

El impactómetro dispone de un cuadro de mando con varios botones que se pueden visualizar en la siguiente imagen:



[Escriba aquí]

	Código:		
	Página:	3/6	Versión:

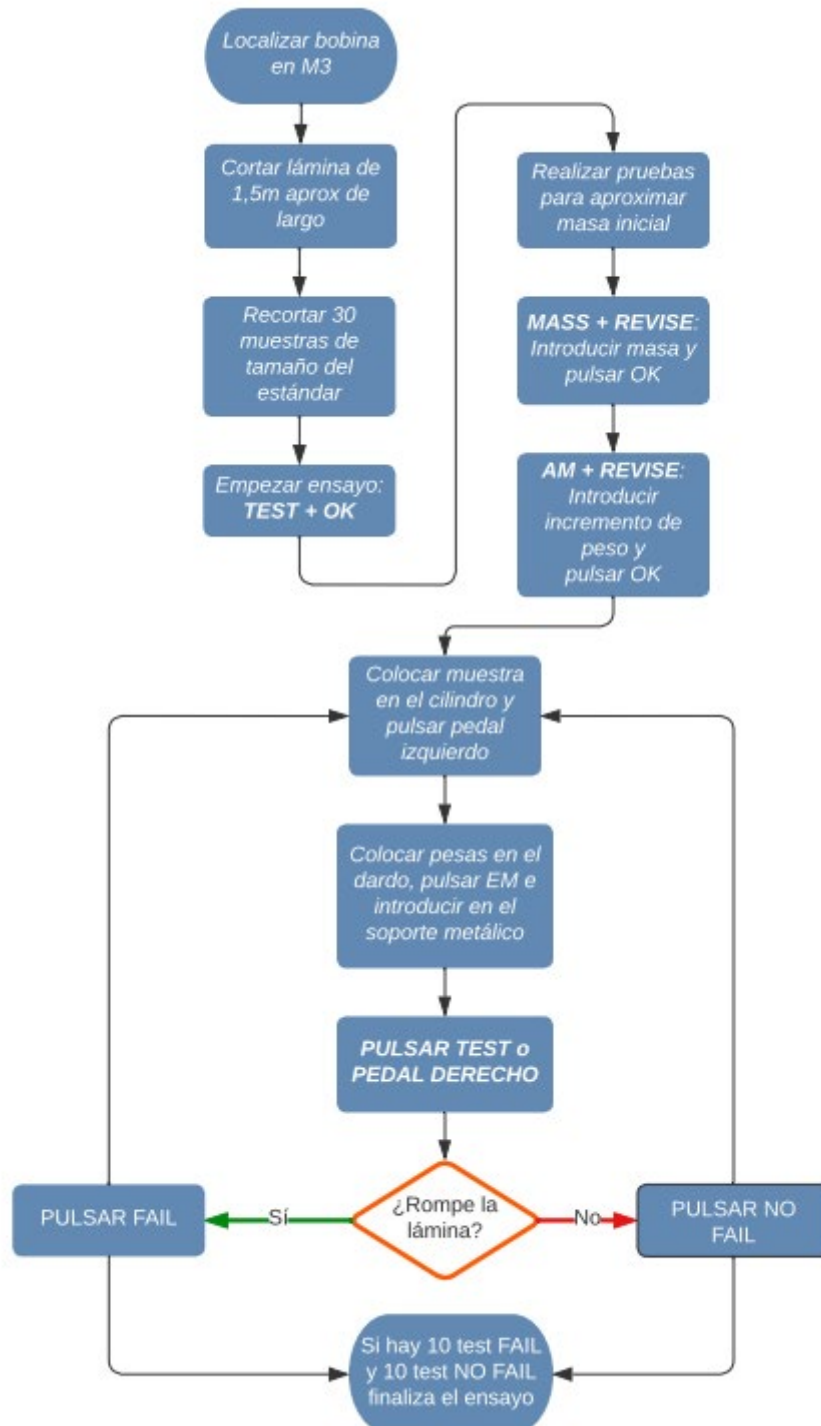
- 1- **Botón Reset:** Envía al menú principal y borra la prueba en curso.
- 2- **Botón Save:** Permite guardar los datos del test.
- 3- **Botón Print:** Imprime una gráfica con los resultados (Solo si se han acabado las N repeticiones)
- 4- **Botón A:** Selecciona el método A
- 5- **Botón Revise:** Permite cambiar datos de masa, incrementos de masa, fecha, hora...una vez seleccionados.
- 6- **Botón Delete:** Permite borrar datos de tests.
- 7- **Botón B:** Selecciona el método B.
- 8- **Botón Mass:** Selecciona la masa inicial y permite modificarla junto con revise.
- 9- **Botón ΔM :** Selecciona el aumento de masa por test y permite modificarla junto con revise.
- 10- **Botón $+\Delta M$:** Permite el aumento de masa en las unidades introducidas con ΔM .
- 11- **Botón Non-Fail:** Para introducir el status de un test en el cual no se ha roto la lámina tras el impacto.
- 12- **Botón Open:** Permite abrir la sujeción de la lámina. Pedal izquierdo hace lo mismo.
- 13- **Botón $-\Delta M$:** Permite la disminución de la masa en las unidades introducidas con ΔM .
- 14- **Botón Fail:** Para introducir el status de un test en el cual se ha roto la lámina tras el impacto.
- 15- **Botón Clamp:** Permite cerrar la sujeción de la lámina. Pedal izquierdo hace lo mismo.
- 16- **Botón EM:** Activa el imán del emplazamiento del dardo
- 17- **Botón de Ok:** Permite aceptar y seleccionar en la pantalla.
- 18- **Botón de Test:** Suelta el dardo desactivando el imán. El pedal derecho hace lo mismo.
- 19- **Botones numéricos:** Permiten modificar las horas, fechas, masas e incremento de estas una vez seleccionadas.
- 20- **Botones flechas:** Permiten desplazarse arriba y abajo por la pantalla.

El equipo cuenta con dos métodos para realizar los ensayos. El método A emplea menor peso en el dardo que el método B y el cabezal es de un material menos destructivo. Según instrucciones del proveedor, el método B sólo se debe utilizar para láminas de un grosor mayor de 1000 micras, por lo que dada la producción actual de láminas en la empresa, se escogerá el **método A SIEMPRE**. En caso de requerir un mayor peso para realizar el ensayo, es posible coger pesas del método B y emplearlas para el método A.


[Escriba aquí]

Faerch	Código:			
	Página:	4/6	Versión:	0

A modo de resumen, se explica el procedimiento mediante un diagrama de procesos. Posteriormente, se detalla cómo realizar cada paso. Leer atentamente todos los pasos para realizar correctamente los ensayos:



[Escriba aquí]


	Código:		
	Página:	5/6	Versión: 0

En la parte lateral de la pantalla se encuentra un botón, el cual se debe activar para encender el equipo. Cuando se finalicen los ensayos y no se vaya a trabajar más, se deberá apagar por completo el instrumento.

- a. Para llevar a cabo los ensayos es necesario **preparar 30 muestras**, como mínimo, de la lámina que se va a analizar. Dichas muestras deberán tener un **tamaño comprendido entre el rango de 15x15 cm y 19x19 cm**. Junto al equipo se ha tomado como referencia una lámina denominada "TAMAÑO ESTÁNDAR MUESTRAS" que se empleará como referencia para recortar las muestras. *(El principio de trabajo se basa en la realización de 20 ensayos, 10 donde rompa la lámina y 10 donde no lo haga. El ensayo no se detendrá hasta que se consigan ambos valores, por lo que puede darse el caso de obtener 15 roturas de la muestra, o más, y 10 en las que no rompa, por ello las 30 muestras como mínimo.)*
- b. Para **dar comienzo al ensayo**, pulsar el **botón TEST** y, seguidamente, el **botón OK**.
- c. En primer lugar, se debe **estimar la masa inicial**, la cual debe ser cercana al límite de rotura. Para ello, se sugiere **realizar dos o tres pruebas al margen del ensayo**, variando la masa del dardo entre $\pm 200/300$ gr para conocer de manera aproximada el valor aproximado. *(Leer detenidamente el resto de pasos para conocer la forma de operar con el equipo antes de realizar este punto.)*
- d. Para comenzar el ensayo, conociendo la masa inicial, se pulsa el **botón MASS y después el botón REVISE**, introduciendo con los botones numéricos el valor de masa inicial. Para confirmar, pulsar OK. El mismo procedimiento se emplea para introducir la variación de masa entre ensayos. Se pulsa el botón **$\Delta M + REVISE$** , introduciendo el valor deseado (30 o 60 gr habitualmente). Pulsar OK para guardar dato.
- e. **Colocar la muestra en el cilindro** situado en la base del equipo. **Debe quedar completamente ajustada** para que la goma abarque toda la muestra, sino el resultado del test puede verse comprometido. Para sujetar la lámina, emplear el PEDAL IZQUIERDO o bien el **botón CLAMP**. *(Prestar mucha atención al activar el vacío por riesgo de atrapamiento.)*
- f. **Ajustar el peso en el dardo** con las pesas de la caja de madera, acorde al valor de MASS introducido y apretar con el destornillador el bloqueador de las pesas. Pulsar el **botón EM para activar el electroimán**, introducir el dardo y colocarlo adecuadamente. Una vez se ha estabilizado y no oscila, ya sea mediante el PEDAL DERECHO o mediante el **botón TEST**, se lleva a cabo el ensayo, dejando caer el dardo sobre la lámina.
- g. En el caso de que la lámina se haya roto, es decir, se observe a simple vista o a trasluz que hay paso de aire en la muestra, se pulsa el **botón FAIL**. De lo contrario, pulsar el **botón NO FAIL**, confirmando el resultado mediante el botón **OK**. Si la lámina rompe, pulsar el **botón $-\Delta M$** , en caso contrario **$+\Delta M$** .
- h. **Proceder de la misma manera para el resto de ensayos** según el peso indicado en la pantalla hasta lograr 10 y 10 resultados.
- i. Finalmente, **cuando se complete el test se imprimirá los resultados obtenidos**. En caso de que la variación de masa no haya sido muy grande, se imprimirá una gráfica que muestre los valores de rotura y no rotura. *(Tener en cuenta que el resultado está referido a la energía necesaria para romper la lámina. Mediante una sencilla regla de tres hay que calcular la energía por milímetro, para poder comparar con el límite de rotura establecido.)*

De manera aproximada, tras la realización de varios ensayos se ha estimado que el peso de rotura se encuentra en los siguientes límites, para aproximar de forma certera el valor inicial de MASS.

[Escriba aquí]

	Código:		
	Página:	6/6	Versión:

Grosor (mm)	Peso de rotura (gr)
417	1400-1700 gr
370	1000-1300 gr

Para lograr implementar el ensayo de la lámina mediante el impactómetro en el proceso productivo sería interesante proseguir con un estudio más profundo sobre el valor de rotura esperado dependiendo del micraje y material de la lámina examinada. Al igual que se muestra en la tabla anterior, se debería establecer un peso de rotura para cada referencia de material, logrando reducir el tiempo dedicado a la realización del ensayo.

Debería valorarse la realización de un estudio para extrapolar los resultados que se obtendrían en el equipo mediante dos técnicas:

- Reducir a la mitad la realización de ensayos, duplicando los valores obtenidos en la máquina, introduciéndolos manualmente sin realizar el test pertinente. De esta manera, se agilizaría el proceso y, con la base de datos establecida, se podría validar o rechazar de forma sencilla la lámina estudiada.
- Realizar varios ensayos en los límites establecidos por la base de datos, observando si rompe la muestra y, de esta forma, determinando si sobrepasa el límite inferior de fragilidad establecido.

Registro de las mediciones de humedad

Contenedor	Nº muestra	Fecha toma datos	Código material	Tipo de material	Fecha producción saca	Diferencia días	Humedad obtenida (ppm)	Comentarios
1000421819	1	10/03/2022	967950	RG APET Clear (7950)	18/02/2022	20	705	
1000421819	2	10/03/2022	967950	RG APET Clear (7950)	18/02/2022	20	730	
1000421819	3	10/03/2022	967950	RG APET Clear (7950)	18/02/2022	20	909	
0097323018	1	15/03/2022	967903	RG APET ST Clear	10/03/2022	5	550	
0097323018	2	15/03/2022	967903	RG APET ST Clear	10/03/2022	5	674	
0097323002	1	15/03/2022	967903	RG APET ST Clear	10/03/2022	5	626	
0097323002	2	15/03/2022	967903	RG APET ST Clear	10/03/2022	5	672	
0097323002	3	15/03/2022	967903	RG APET ST Clear	10/03/2022	5	608	
1000425540	1	16/03/2022	971155	A/MAPET with absorber adh.	13/03/2022	3	4260	
1000425540	2	16/03/2022	971155	A/MAPET with absorber adh.	13/03/2022	3	4362	
1000425540	3	16/03/2022	971155	A/MAPET with absorber adh.	13/03/2022	3	3417	
1000425548	1	17/03/2022	971155	A/MAPET with absorber adh.	16/03/2022	1	3918	
1000425548	2	17/03/2022	971155	A/MAPET with absorber adh.	16/03/2022	1	3400	
1000425555	1	17/03/2022	971155	A/MAPET with absorber adh.	16/03/2022	1	3668	
1000425555	2	17/03/2022	971155	A/MAPET with absorber adh.	16/03/2022	1	3214	
1000425305	1	21/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	21/03/2022	0	1523	Lluvias
1000425305	2	21/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	21/03/2022	0	1396	Lluvias
1000425305	3	21/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	21/03/2022	0	1525	Lluvias
1000425157	1	21/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	20/03/2022	1	3091	Lluvias
1000425157	2	21/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	20/03/2022	1	3120	Lluvias
1000425157	3	21/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	20/03/2022	1	3661	Lluvias
009834841	1	22/03/2022	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	20/03/2022	2	2276	
009834841	2	22/03/2022	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	20/03/2022	2	2927	
009834841	3	22/03/2022	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	20/03/2022	2	2830	
009834845	1	22/03/2022	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	20/03/2022	2	1921	
009834845	2	22/03/2022	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	20/03/2022	2	2523	
1000425685	1	23/03/2022	967950	RG APET Clear (7950)	23/03/2022	0	1974	Lluvias
1000425685	2	23/03/2022	967950	RG APET Clear (7950)	23/03/2022	0	2012	Lluvias
1000425685	3	23/03/2022	967950	RG APET Clear (7950)	23/03/2022	0	2003	Lluvias
1000424016	1	23/03/2022	967950	RG APET Clear (7950)	13/03/2022	10	2140	Lluvias
1000424016	2	23/03/2022	967950	RG APET Clear (7950)	13/03/2022	10	1806	Lluvias
1000424016	3	23/03/2022	967950	RG APET Clear (7950)	13/03/2022	10	1964	Lluvias
0099874167	1	24/03/2022	845090 (Wellmann)	rPET (Wellmann)	23/03/2022	1	7237	L007-2211-158
0099874167	2	24/03/2022	845090 (Wellmann)	rPET (Wellmann)	23/03/2022	1	7159	L007-2211-158
0099874167	3	24/03/2022	845090 (Wellmann)	rPET (Wellmann)	23/03/2022	1	7140	L007-2211-158
0099874172	1	24/03/2022	845090 (Wellmann)	rPET (Wellmann)	23/03/2022	1	6718	L007-2211-160
0099874172	2	24/03/2022	845090 (Wellmann)	rPET (Wellmann)	23/03/2022	1	5524	L007-2211-160
0099874172	3	24/03/2022	845090 (Wellmann)	rPET (Wellmann)	23/03/2022	1	5349	L007-2211-160
1000426444	1	28/03/2022	967967	RG Trans. Blue APET (7967)	28/03/2022	0	396	
1000426444	2	28/03/2022	967967	RG Trans. Blue APET (7967)	28/03/2022	0	360	
1000426444	3	28/03/2022	967967	RG Trans. Blue APET (7967)	28/03/2022	0	363	
1000425619	1	28/03/2022	971155	A/MAPET with absorber adh.	23/03/2022	5	3252	
1000425619	2	28/03/2022	971155	A/MAPET with absorber adh.	23/03/2022	5	3355	
1000425619	3	28/03/2022	971155	A/MAPET with absorber adh.	23/03/2022	5	4610	
1000426681	1	29/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	29/03/2022	0	289	
1000426681	2	29/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	29/03/2022	0	331	
1000426681	3	29/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	29/03/2022	0	318	
1000425276	1	29/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	21/03/2022	8	1134	
1000425276	2	29/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	21/03/2022	8	1127	
1000425276	3	29/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	21/03/2022	8	953	
1000426848	1	30/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	30/03/2022	0	318	
1000426848	2	30/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	30/03/2022	0	391	
1000426848	3	30/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	30/03/2022	0	388	
1000426835	1	30/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	30/03/2022	0	318	
1000426835	2	30/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	30/03/2022	0	391	
1000426835	3	30/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	30/03/2022	0	388	
1000425918	1	30/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	30/03/2022	0	410	
1000425918	2	30/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	30/03/2022	0	397	
1000427042	1	31/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	31/03/2022	0	538	
1000427042	2	31/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	31/03/2022	0	722	
1000427045	1	31/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	31/03/2022	0	611	

1000427045	2	31/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	31/03/2022	0	616	
1000425540	1	31/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	22/03/2022	9	1005	
1000425540	2	31/03/2022	960000	RG APET Clear (7900)	22/03/2022	9	1068	
0098141012	1	04/04/2022	960000	RG APET Clear (7900)	29/03/2022	6	1045	
0098141012	2	04/04/2022	960000	RG APET Clear (7900)	29/03/2022	6	1187	
0098141012	3	04/04/2022	960000	RG APET Clear (7900)	29/03/2022	6	1365	
0098141013	1	04/04/2022	960000	RG APET Clear (7900)	29/03/2022	6	1023	
0098141013	2	04/04/2022	960000	RG APET Clear (7900)	29/03/2022	6	1129	
0098351007	1	06/04/2022	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	05/04/2022	1	2159	01.N98627B
0098351007	2	06/04/2022	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	05/04/2022	1	2393	01.N98627B
0098273016	1	06/04/2022	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	04/04/2022	2	1431	01.O02927.B
0098273016	2	06/04/2022	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	04/04/2022	2	2335	01.O02927.B
0098273016	3	06/04/2022	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	04/04/2022	2	2393	01.O02927.B
0098273014	1	06/04/2022	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	05/04/2022	1	2150	01.O02727B
0098273014	2	06/04/2022	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	05/04/2022	1	2227	01.O02727B
1000428873	1	11/04/2022	967903	RG APET ST Clear	11/04/2022	0	629	
1000428873	2	11/04/2022	967903	RG APET ST Clear	11/04/2022	0	594	
1000428894	1	11/04/2022	967903	RG APET ST Clear	11/04/2022	0	551	
1000428894	2	11/04/2022	967903	RG APET ST Clear	11/04/2022	0	529	
1000428938	1	11/04/2022	967903	RG APET ST Clear	29/03/2022	13	368	
1000428938	2	11/04/2022	967903	RG APET ST Clear	29/03/2022	13	455	
1000429032	1	12/04/2022	960000	RG APET Clear (7900)	12/04/2022	0	2292	Lluvias
1000429032	2	12/04/2022	960000	RG APET Clear (7900)	12/04/2022	0	2038	Lluvias
0098364007	1	12/04/2022	967903	RG APET ST Clear	05/04/2022	7	3190	Lluvias
0098364007	2	12/04/2022	967903	RG APET ST Clear	05/04/2022	7	3515	Lluvias
0098364007	3	12/04/2022	967903	RG APET ST Clear	05/04/2022	7	3787	Lluvias
1000429900	1	18/04/2022	967950	RG APET Clear (7950)	18/04/2022	0	384	
1000429900	2	18/04/2022	967950	RG APET Clear (7950)	18/04/2022	0	317	
1000429900	3	18/04/2022	967950	RG APET Clear (7950)	18/04/2022	0	310	
1000429853	1	18/04/2022	967950	RG APET Clear (7950)	17/04/2022	1	537	
1000429853	2	18/04/2022	967950	RG APET Clear (7950)	17/04/2022	1	621	
0098809014	1	21/04/2022	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	19/04/2022	2	1121	
0098809014	2	21/04/2022	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	19/04/2022	2	1054	
0098809014	3	21/04/2022	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	19/04/2022	2	1064	
1000433629	1	11/05/2022	960000	RG APET Clear (7900)	11/05/2022	0	857	
1000433629	2	11/05/2022	960000	RG APET Clear (7900)	11/05/2022	0	1000	
1000433629	3	11/05/2022	960000	RG APET Clear (7900)	11/05/2022	0	1165	
1000429363	1	11/05/2022	967950	RG APET Clear (7950)	14/04/2022	27	797	
1000429363	2	11/05/2022	967950	RG APET Clear (7950)	14/04/2022	27	1048	
1000429363	3	11/05/2022	967950	RG APET Clear (7950)	14/04/2022	27	952	
1000433796	1	12/05/2022	960000	RG APET Clear (7900)	12/05/2022	0	624	
1000433796	2	12/05/2022	960000	RG APET Clear (7900)	12/05/2022	0	759	
1000433796	3	12/05/2022	960000	RG APET Clear (7900)	12/05/2022	0	456	
1000428461	1	12/05/2022	960000	RG APET Clear (7900)	08/04/2022	34	1520	
1000428461	2	12/05/2022	960000	RG APET Clear (7900)	08/04/2022	34	1748	
1000428461	3	12/05/2022	960000	RG APET Clear (7900)	08/04/2022	34	1592	
1000425584	1	12/05/2022	960000	RG APET Clear (7900)	22/03/2022	51	1821	
1000425584	2	12/05/2022	960000	RG APET Clear (7900)	22/03/2022	51	1742	
1000425584	3	12/05/2022	960000	RG APET Clear (7900)	22/03/2022	51	1923	
0099954008	1	18/05/22	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	16/05/2022	2	3160	
0099954008	2	18/05/22	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	16/05/2022	2	2471	
0099954008	3	18/05/22	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	16/05/2022	2	3846	
0099954015	1	18/05/22	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	16/05/2022	2	2450	
0099954015	2	18/05/22	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	16/05/2022	2	2733	
0099140001	1	18/05/22	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	26/04/2022	22	3337	
0099140001	2	18/05/22	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	26/04/2022	22	4976	
0098993018	1	19/05/22	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	22/04/2022	27	2377	
0098993018	2	19/05/22	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	22/04/2022	27	2391	
0100120012	1	23/05/22	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	19/05/2022	4	985	
0100120012	2	23/05/22	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	19/05/2022	4	1186	
0100017008	1	23/05/22	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	17/05/2022	6	1154	
0100017008	2	23/05/22	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	17/05/2022	6	1059	
0100240022	1	24/05/22	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	23/05/2022	1	2476	
0100240013	1	24/05/22	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	23/05/2022	1	1043	
0100240013	2	24/05/22	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	23/05/2022	1	1302	
0100240013	3	24/05/22	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	23/05/2022	1	1184	
0100295017	1	25/05/22	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	24/05/2022	1	1851	
0099876019	1	26/05/22	845090 (Wellmann)	rPET (Wellmann)	13/05/2022	13	5672	
0099876019	2	26/05/22	845090 (Wellmann)	rPET (Wellmann)	13/05/2022	13	5249	
0099876008	1	26/05/22	845090 (Wellmann)	rPET (Wellmann)	13/05/2022	13	5360	
0099876008	2	26/05/22	845090 (Wellmann)	rPET (Wellmann)	13/05/2022	13	5102	
0100206010	1	26/05/22	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	23/05/2022	3	3453	
0100206010	2	26/05/22	845090 (PETCia)	rPET (PETCia)	23/05/2022	3	2029	

Muestras sacas		Parámetros cristalizador				Parámetros extrusora L				Parámetros extrusora R						
Fecha toma datos	Humedad obtenida (ppm)	Temperatura proceso (°C)	Temperatura Cono (°C)	Caudal (kg/h)	t residencia (h)	Caudal(kg/h)	Velocidad (r.p.m.)	Par (%)	Temperatura (°C)	Reactor						
										Temperatura (°C)2	Potencia (kW)	Velocidad (r.p.m.)3	Vacío reactor (mbar)	Llenado tanque (%)	Velocidad (r.p.m.)2	Par (% del máximo par)
02-may	145	156	116	1124	1,8	1842	256	70	285							
02-may	349	150	107	962	2,1					152	56	136	31,1	43	91	61
02-may	881,5	145	110	1048	1,9	1620	258	69	285							
03-may	245	150	111	1028	1,9					144	54	123	72	43	84	55
04-may	178	148	118	1133	1,8					147	55	128	58,6	42	85	64
04-may	1424	130	113	1126	1,8	1788	262	68	297							
05-may	148	150	120	967	2,1					151	66	129	65,4	44	75	63
05-may	286	145	121	962	2,1	1749	264	73	292							
05-may	4734	153	79	907	2,2	1782	248	70	280							
09-may	1907	149	120	1153	1,7	1651	261	69	286							
10-may	146	144	116	1053	1,9					151	57	132	70,1	43	89	63
10-may	157	143	110	1115	1,8					149	60	136	44,5	42	74	52
10-may	368	146	112	1024	2,0					150	63	136	70,5	44	86	54
11-may	1421	135	117	842	2,4					151	60	118	31,1	42	90	62
13-may	896	147	104	1086	1,8	1628	256	70	293							
17-may	119	146	107	272	7,4	0				147	47	77	69,6	43	66	52
18-may	195	148	106	1076	1,9					149	60	125	61,9	45	87	58
18-may	1174	145	117	1113	1,8					142	58	101	45,7	42	70	61
19-may	326	152	110	1053	1,9					147	54	127	33,1	44	79	61
24-may	232	145	121	982	2,0					144	68	135	64,8	43	89	62
24-may	2476	140	64	930	2,2	1534	251	71	283							
26-may	248	149	113	1113	1,8					143	68	133	64,6	45	91	54
27-may	245	146	109	1106	1,8					145	61	134	71,3	48	82	64
27-may	376	149	110	1019	2,0					153	61	129	37,5	44	78	61
30-may	226	148	110	951	2,1					150	63	126	63,9	48	85	63
30-may	386	143	118	1117	1,8					150	61	126	64,8	46	86	64
31-may	113	147	119	867	2,3	1762	249	74	295							
31-may	190	150	116	1001	2,0					145	63	136	58,4	48	82	58
31-may	472	153	112	1111	1,8	1594	268	71	280							
01-jun	250	148	108	985	2,0	1726	260	72	281							
01-jun	257	147	107	1101	1,8					152	56	123	65,4	45	88	60
02-jun	333	152	121	952	2,1					142	66	128	71,2	42	82	52
02-jun	2450	148	73	530	3,8					140	58	133	1,6	31	101	76
02-jun	3160	145	72	840	2,4					141	57	130	1	30	103	80
03-jun	297	145	115	1138	1,8					148	54	124	61,2	44	86	63
03-jun	1176	152	63	905	2,2					151	88	132	70,8	49	97	70
06-jun	145	150	105	979	2,0					148	58	128	59,1	47	79	53
06-jun	527	151	118	964	2,1	1505	257	68	289							
07-jun	1278	144	115	697	2,9	1815	256	66	288							
13-jun	1309	146	112	1149	1,7	1710	248	71	290							
13-jun	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
15-jun	307	143	112	1125	1,8					145	61	125	63,5	46	83	54
15-jun	4156	146	73	510	3,9					161	102	132	25,1	57	99	71
16-jun	1100	145	108	1059	1,9	1712	255	71	293							
16-jun	5708	151	105	1054	1,9	1880	261	81	291							
20-jun	5961	141	92	540	3,7					146	47	74	33,9	45	54	51
21-jun	1246	142	80	1306	1,5	1814	255	71	293							
21-jun	1461	150	109	1102	1,8	1703	259	71	290							
22-jun	1358	136	80	1417	1,4					150	62	111	18,2	40	92	62
22-jun	2975	145	100	582	3,4	1647	242	70	277							
23-jun	163	151	104	1047	1,9					143	66	125	77,4	48	77	52
27-jun	148	151	106	957	2,1					144	65	132	42,8	42	83	62
27-jun	4956	151	71	917	2,2	1831	256	72	280							
28-jun	105	147	121	914	2,2	1522	248	74	294							
28-jun	1085	149	68	917	2,2					144	71	86	19,9	59	87	67
28-jun	1106	153	73	864	2,3					125	48	80	89,7	43	92	73
29-jun	396	145	117	1094	1,8					146	63	124	67,8	48	76	63
29-jun	3815	148	87	986	2,0	1560	218	71	284							
30-jun	307	147	105	1010	2,0					149	65	134	42,7	45	76	64
30-jun	355	149	112	1045	1,9					148	58	128	26,6	45	78	53
01-jul	147	135	119	399	5,0					153	50	81	22,8	44	81	58
01-jul	1223	153	104	1036	1,9	1782	248	68	286							
01-jul	2377	152	63	834	2,4					167	100	131	26,5	54	93	68
04-jul	103	146	113	1021	2,0	1645	251	72	291							
04-jul	1851	141	79	792	2,5					151	50	78	41,7	46	13	24
05-jul	1600	153	109	1021	2,0	1794	247	73	282							
06-jul	235	152	115	1002	2,0					147	61	133	67,7	46	81	60
06-jul	291	147	114	1105	1,8					145	66	124	69,3	45	88	61
11-jul	302	151	113	960	2,1					151	64	129	66,9	43	83	53
11-jul	1768	142	58	1133	1,8	1796	254	72	280							
12-jul	161	146	113	1034	1,9					143	64	134	60,1	45	79	52

Extrusora		Análisis láminas bobina						Comentarios
Vacío extrusora (mbar)	Perfil de temperaturas (°C)	Código bobina	Contenedor2	Ord. Producción	Grosor (mm)	Impactómetro (J)	Fragilidad obtenida (l/mm)	
							28,8	
32,6	298						25,4	
							19,1	
78,2	293						24,4	
38,3	294						25,3	
		8850557900	2206211891	1322457	509	11,5	22,6	66% Wellmann; cristalizador en cond. Ópt
61,2	298						29,6	
							25,3	
		8850407967	2205261453	1319786			19,2	Cristalizador NOOK
							15	
29,9	296						23,8	
37,3	299						33,3	
50,6	299						28,4	
100	294	7000457900	2206231703	1322590	417	12,4	29,7	
							18,6	
100	300	62004079039	2206282071	1323281	370	8,5	23,0	
37,3	296						18,4	
100	297	7300407900	2206240607	1322589	370	7,6	20,5	
36,7	299						21,9	
58,5	299						33,2	
		8850457900	2205241832	1319821			17,8	
51,4	297						19,2	
68,4	293						31,1	
33,5	297						30	
58,2	298						28,7	
32,1	294						27,3	
		8850407967	2206272685	1323288	370	5,9	15,9	
33,4	295						31,8	
							19,7	
							27,9	
66,5	294						28,6	
72,8	298						27,9	
37,1	297	7300757900	2205182074	1319053			23,4	
37,1	295	7300757900	2205181414	1319053			16,8	Cristalizador NOOK
38,2	298						17,3	
31,6	296	7000457900	2205242289	1319822			25,2	
33,6	297						22,6	
							21,5	
		8850457900	2206232041	1322700	417	15,4	36,9	
							18	
		8850407967	2205181053	1318797	370	6,5	17,6	Cristalizador NOOK
35,3	293						19,5	
36,2	295	7300757900	2205182471	1319053			18,3	Cristalizador NOOK
							16,4	
		8850457900	2206012749	1320755	417	7,8	18,7	Cristalizador NOOK
35,4	305	84002579039	2205311994	1320339	250	4,1	16,4	Cristalizador NOOK
		8850557900	2206221622	1322457	509	15,3	30,1	66% Wellmann; cristalizador en cond. Ópt
							16,1	
100	295	6000807900	2206222241	1320999	734		18,9	
		8850507900	2205311564	1320344	462	6,8	14,7	
36,2	299						18,4	
34,6	294						27	
		8850407967	2205261822	1319786			18,8	Cristalizador NOOK
		8850407967	2206271840	1323288	370	7,7	20,8	
29,2	283	72004079039	2205232431	1319495			24,1	
29	292	72004079039	2205233611	1319495			25,7	
81,5	295						26,2	
		70004579009	2205111437	1317979	417	8,4	20,1	Cristalizador NOOK
34,9	297						30,2	
38,4	293						21,6	
30,3	300	57505079039	2206291422	1323279	462	14	30,3	
							16,9	
34	285	7000457900	2205192011	1319054			24,6	
							27	
100	287	7200257903	2205252295	1320000			23,9	
							18,6	
66,3	298						29,3	
36,9	294						16,2	
50,3	294						19,8	
		8850557900	2205302063	1320343			21,0	
34,9	299						28	

FAERCH PLAST BUÑOL

Poligono Industrial el Rincon, Sector 5,
46360 BUÑOL
ESPAÑA / SPAIN

OFERTA: 21 01 07

FECHA: 18-01-2021

ATT: linma escrivà

REFERENCIA: BMC-01

CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL	EUR
10006598	IMPACTOMETRO CAIDA LIBRE DARDO DIGITAL - BMC-B1 Incluye accesorio para relizar el Metodo A y B según norma.	1	7.607,00	7.607,00	
10005051	Portes hasta Faerch	1	50,00	50,00	
10006214	# OPCIÓN: Software captacion de datos Equipo Impacto	1	560,00	560,00	

PLAZO ENTREGA: 4-6 S

MERCANCIA: Ex-works TECHLAB SYSTEMS S.L. Lezo - SPAIN

FORMA DE PAGO: 30% al pedido y resto a 60 días f.f.

VALIDEZ: 18-02-2021

GARANTIA: 1 año contra todo defecto de fabricación

TOTAL: 8.217,00 EUR

IVA: 1.725,57 EUR

TOTAL: 9.942,57 EUR

Alberto Morquillas

Departamento Comercial