

**Universitat Jaume I**

**INGRES Ingeniería de Residuos**  
**(Dpto. de Ingeniería Mecánica y Construcción)**

## **MEMORIA TÉCNICA**

***El CSR producido a partir de rechazos de la  
planta de tratamiento mecánico-biológica  
de Onda.***

***Naturaleza de la fracción no combustible.***



**Dr. D. ANTONIO GALLARDO IZQUIERDO**  
**INGRES Ingeniería de Residuos**  
**Universitat Jaume I**

**Castelló de la Plana, a 15 de diciembre de 2018**



**INGRES** INGENIERÍA DE RESIDUOS  
Tel:964728187 Fax:964728106  
[www.ingres.uji.es](http://www.ingres.uji.es)



**UNIVERSITAT**  
**JAUME I**

## **Realización del trabajo:**

### **Grupo INGRES:**

Antonio Gallardo Izquierdo

Natalia Edo Alcón



**INGRES** INGENIERÍA DE RESIDUOS  
Tel:964728187 Fax:964728106  
[www.ingres.uji.es](http://www.ingres.uji.es)



**UNIVERSITAT  
JAUME I**

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	6
2. OBJETIVOS .....	7
3. ÁMBITO DE ESTUDIO .....	7
4. TOMA DE MUESTRAS .....	8
4.1 Determinación del número de muestras mínimo .....	8
4.2 Determinación del tamaño mínimo de muestra .....	8
4.3 Método de muestreo .....	9
4.4 Fracciones de residuos a separar en las caracterizaciones .....	9
5. CARACTERIZACIÓN DE LOS RECHAZOS .....	9
6. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD .....	13
7. DETERMINACIÓN DE LA SUCIEDAD .....	14
7.1 Acondicionamiento de las muestras .....	15
7.2 Limpieza de las muestras .....	15
7.3 Secado de las muestras .....	17
7.4 Expresión de los resultados .....	17
8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	17
9. RESULTADOS .....	18
9.1 Composición de la FNCR .....	18
9.1.1 Descripción cualitativa de la composición de la FNCR .....	18
9.1.2 Descripción cuantitativa de la composición de la FNCR entre las dos fases .....	20
9.1.3 Composiciones medias anuales de la FNCR de los tres rechazos .....	21
9.1.4 Variación de la composición de la FNCR a lo largo de los días de la semana .....	23
9.2 Humedad de los rechazos .....	26
9.3 Suciedad de la FNCR .....	28
10. CONCLUSIONES .....	30
11. REFERENCIAS .....	31



**INGRES** INGENIERÍA DE RESIDUOS  
Tel:964728187 Fax:964728106  
[www.ingres.uji.es](http://www.ingres.uji.es)



**UNIVERSITAT  
JAUME I**

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, tanto en España como en otros países europeos, la legislación obliga a tratar todos los residuos domiciliarios (RD), excepto pequeñas excepciones, antes de su disposición en vertedero. Sin embargo, en todos los sistemas de tratamiento aparecen corrientes de rechazo cuyo principal destino es el vertedero. En las plantas de tratamiento mecánico-biológico estos rechazos están formados por aquellos materiales que no han podido ser separados y/o reciclados desde un enfoque técnico, económico y/o ambiental. Debido a que están compuestos mayoritariamente por materiales combustibles, estos rechazos tienen un gran potencial energético (Di Lonardo et al., 2012), sobre todo cuando los RD de los que proceden tienen un alto poder calorífico (Bessi et al., 2016). Por este motivo, una alternativa para la valorización de los mismos es su transformación en un combustible sólido recuperado (CSR) (Velis et al., 2010). De esta manera se logra reducir el volumen de residuos enviados a vertedero, se proporciona un combustible alternativo a las industrias que hacen un uso intensivo de combustibles fósiles y se contribuye a la implantación de la economía circular y al cumplimiento de sus objetivos (European Commission, 2017; Gallardo et al., 2017).

La normativa de la Unión Europea define los CSR como aquellos combustibles producidos a partir de residuos no peligrosos, tras su adecuado tratamiento, y que cumplen los requisitos de clasificación y especificaciones establecidas en la norma UNE-EN 15359 (2012). Para su fabricación a partir de los rechazos del tratamiento de RD es necesario la eliminación del material no combustible; trituración; secado y, en algunos casos, pelletización (Nasrullah et al., 2015; Pressley et al., 2014).

Así pues, la fracción combustible de los rechazos puede transformarse en CSR que se valoriza energéticamente. No obstante, la fracción no combustible, aunque aparece en menor proporción, también puede tener valor si se trata de forma adecuada.

En el caso de las plantas de tratamiento mecánico-biológico de RD mezclados, según diferentes fuentes bibliográficas consultadas, el porcentaje de fracción no combustible se encuentra entre el 4,5 y 13,9 % para los rechazos generados en las etapas de recuperación de materiales (Brás et al., 2017; Edo-Alcón et al., 2016; Gallardo et al., 2014; Montejo et al., 2013, 2011; Nasrullah et al., 2017; Nithikul et al., 2011; Ramos Casado et al., 2016); entre el 13,5 y 39,0 % para los rechazos producidos en el afino primario del material bioestabilizado (Brás et al., 2017; Di Lonardo et al., 2015; Edo-Alcón et al., 2016; Trulli et al., 2018), y entre 17,2 - 42,7 % para las corrientes de rechazo del afino secundario del bioestabilizado (Di Lonardo et al., 2015; Edo-Alcón et al., 2016). Esta fracción está formada habitualmente por materiales inertes (piedras, cerámica, azulejos, ladrillos, escombros, etc.), vidrio transparente y de color, chatarra, envases de metal y papel de aluminio. Algunos de estos materiales si son tratados adecuadamente pueden ser aprovechados, pasando de ser residuos a subproductos.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es analizar la variación anual de la composición y la humedad de la fracción no combustible de los rechazos (FNCR) susceptibles de generar CSR de la planta de tratamiento mecánico-biológico (TMB) de Onda, perteneciente a la empresa RECIPLASA. Los resultados obtenidos permitirán estimar las cantidades producidas de la FNCR y su variabilidad a lo largo del año.

Además, con el objetivo de valorar la posibilidad de reciclado de la FNCR, para cada una de las fracciones no combustibles se determinará el porcentaje de suciedad. Esta característica determinará el valor en el mercado de los materiales no combustibles.

Para la realización del proyecto se utilizarán las caracterizaciones de los rechazos realizadas en el año 2017. En ese año se caracterizaron rechazos en dos períodos del año, correspondientes a las estaciones primavera-verano y otoño-invierno, y en los cinco días de la semana.

Finalmente, decir que este proyecto está enmarcado en otro más general que tiene por objeto conocer los rechazos producidos en la planta de tratamiento de Onda para darles una alternativa sostenible de valorización.

## 3. ÁMBITO DE ESTUDIO

En planta de TMB de Onda se generan 4 corrientes de rechazo procedentes de diferentes etapas del tratamiento de los RD:

- Rechazo grueso: generado en la fase de recuperación de materiales, con un diámetro de partícula superior a 80 mm.
- Rechazo de afino primario: generado en el trómel intermedio de pre-afino del material pre-bioestabilizado, con un tamaño de partícula entre 80 y 30 mm.
- Rechazo de afino secundario: generado en el trómel de afino del bioestabilizado, con un tamaño de partícula entre 30 y 14 mm.
- Rechazo de mesa densimétrica: generado en la mesa densimétrica de afino del bioestabilizado, compuesta principalmente por materiales inertes (vidrio, cerámicos y piedras) de pequeño tamaño.

De todas ellos, las tres primeras son las que conforman el ámbito de estudio en el análisis de la variación anual de la composición de la FNCR, puesto que tienen un mayor potencial para su transformación en CSR.

Mientras que, en el caso del porcentaje de suciedad, este valor se ha determinado para las dos primeras corrientes de rechazo (rechazo grueso y de afino primario), ya que son las que se generan en una mayor proporción en la planta de TMB de Onda.



## 4. TOMA DE MUESTRAS

### 4.1 Determinación del número de muestras mínimo

En estadística, el número de muestras mínimo hace referencia al número de observaciones que componen la muestra extraída de una población y que, como mínimo, son necesarias para que los resultados obtenidos sean representativos. Para su determinación, en las caracterizaciones realizadas en 2017 se utilizó la metodología diseñada por (Edo-Alcón et al. (2017) para el muestreo de rechazos producidos en plantas de tratamiento de RD.

Esta metodología se aplicó a las tres corrientes de rechazos de la planta de reciclaje y compostaje de Onda que conforman el ámbito de estudio, considerando la existencia de variación estacional entre dos periodos: primavera-verano (fase 1) y otoño invierno (fase 2). Se obtuvo que era necesario realizar como mínimo 20 muestras para cada rechazo, las cuales debían estar repartidas entre las dos fases, 10 en cada una. El muestreo de la fase 1 (primavera-verano) se realizó durante los meses de mayo y junio, mientras que en la fase 2 (otoño-invierno) se realizó durante noviembre y diciembre.

Además, como recomiendan algunas metodologías de muestreo y caracterización de residuos (Dahlén and Lagerkvist, 2008; European Commission, 2004), se tomaron como mínimo dos muestras por día de la semana en cada una de las fases (sin incluir el fin de semana). En total se caracterizaron 103 muestras, su distribución para las diferentes corrientes de rechazo y fases del estudio se indica en la tabla 1.

### 4.2 Determinación del tamaño mínimo de muestra

El tamaño mínimo de muestra hace referencia a la cantidad de residuo que se ha de caracterizar en cada muestra. Este se determinó para cada una de las corrientes de rechazo a partir de la Norma UNE-EN 15442 (2012) Combustibles Sólidos Recuperados: Métodos de muestreo. El tamaño mínimo de muestra, en peso, para cada rechazo se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1. Número de muestras y tamaño de muestra mínimo**

Rechazo	Fase	Núm. de muestras	Tamaño de muestra mínimo (kg)
<b>Rechazo recuperación</b>	Fase 1	13	<b>60</b>
	Fase 2	10	
<b>R. Afino primario</b>	Fase 1	20	<b>1</b>
	Fase 2	20	
<b>R. Afino secundario</b>	Fase 1	20	<b>0,4</b>
	Fase 2	20	

### 4.3 Método de muestreo

El método de muestreo utilizado ha sido el muestreo probabilístico simple a partir de un lote estático de rechazo, correspondiente al rechazo producido en la planta para cada uno de los días de muestreo.

En el caso del rechazo grueso, el material fue homogeneizado mecánicamente y se tomó una muestra inicial de 1.000 kg. A continuación, mediante cuarteo con la pala mecánica, se redujo su masa hasta un peso de aproximadamente 500 kg, el cual se depositó en una superficie limpia y pavimentada. Finalmente, tomando varios incrementos de forma aleatoria en varios puntos, se obtuvo la muestra del tamaño mínimo necesario que se caracterizó en la propia planta de tratamiento.

En cuanto al rechazo de afino primario y secundario, las caracterizaciones se realizaron en el laboratorio del grupo de investigación INGRES, ya que el material es mucho más homogéneo y el tamaño mínimo de muestra necesario menor. Cada día de muestreo se recogía en la planta una muestra de aproximadamente 10 kg para el rechazo de afino primario y de 5 kg para el rechazo de afino secundario, para ello se tomaron varios incrementos en diferentes puntos del lote. En el laboratorio, mediante sucesivos cuarteos se procedía a reducir la masa hasta obtener el tamaño mínimo de muestra necesario.

### 4.4 Fracciones de residuos a separar en las caracterizaciones

Las fracciones o categorías de residuos que se separaron en las caracterizaciones realizadas en 2017 fueron: fracción orgánica (FO), papel y cartón, plásticos rígidos, plásticos flexibles, vidrio, brik, madera, textiles, metales, residuos tóxicos y peligrosos, inerte, finos (<10mm) y otros. De todas ellas, la FNCR está compuesta por el vidrio, los inertes y los metales, en la tabla 2 se exponen los residuos que conforman estas categorías. El resto son las que conforman la fracción combustible de los rechazos.

**Tabla 2: Fracciones que conforman la FNCR**

CATEGORÍA	RESIDUOS O RESTOS DE:
<b>Vidrio</b>	Envases de vidrio o pequeños trozos de vidrio transparente y de color.
<b>Metales</b>	Materiales de metal, ya sean o no envases, como: latas, tuberías, papel de aluminio, aerosoles, bandejas de aluminio, cubiertos, clavos o tornillos, sartenes, ollas, chatarra, alambre, cadenas, etc.
<b>Inertes</b>	Piedras, ladrillos, cerámica, azulejos, escombros, etc.

## 5. CARACTERIZACIÓN DE LOS RECHAZOS

Una vez determinado el número y tamaño de muestras mínimo, durante el año 2017 se llevó a cabo la caracterización física de los rechazos.

Para ello, cada día de muestreo el equipo de trabajo del grupo de investigación INGRES se desplazó a la planta de reciclaje y compostaje de Onda con todo el equipamiento

necesario para proceder a la toma de muestras y a su caracterización. Este equipo, formado de 2 a 4 personas, utilizó el material y equipos de protección individual necesarios para su protección, así como las recomendaciones de seguridad dadas por la empresa RECIPLASA.

El rechazo grueso fue el único rechazo que se caracterizó en la propia planta de tratamiento. Allí, la empresa proporcionó una zona limpia y pavimentada, que estaba lo suficientemente iluminada y ventilada, y en la que se evitó la circulación de maquinaria pesada. En esta superficie los investigadores disponían de unos 500 kg de rechazo a partir del cual se obtenía la muestra a caracterizar (figura 1).



**Figura 1: Zona de caracterización del rechazo grueso**

Una vez tomada la muestras, se procedió a su segregación en las diferentes fracciones. Cada una se dispuso dentro de los cubos correspondientes, los cuales estaban identificados y tarados (figura 2).



**Figura 2: Caracterización del rechazo grueso**

Al finalizar la separación y clasificación, cada uno de los materiales fue pesado por separado en una báscula de plataforma con una precisión de 50 gramos y se anotó los pesos obtenidos en las hojas de campo. En la figura 3 se muestran varias fotos de las fracciones caracterizadas que componen la FNCR.



**Figura 3: FNCR de rechazo grueso (de izq. a dcha. y de arriba a abajo): Inertes, metales, trozos de vidrio, botella de vidrio**



Finalmente, tras la caracterización del rechazo grueso se procedió a la recogida de muestras para las corrientes de rechazo de afino primario y secundario (figura 4). Estas muestras se trasladaban al laboratorio donde, tras su cuarteo y obtención de tamaño mínimo de muestra, fueron caracterizadas por dos personas (figura 5). Para ello, la muestra se extendió sobre una mesa de trabajo limpia, ventilada e iluminada donde se iban separando los diferentes materiales y se colocaban en bandejas de aluminio previamente identificadas y taradas (figura 6).



**Figura 4: Rechazo de afino primario (izq.) y secundario (drcha.)**



**Figura 5: Caracterización afino primario (izq.) y secundario (drcha.)**

Una vez terminada la clasificación, cada bandeja se pesó en una balanza con una precisión de 0,01 gramos y se anotó el peso en la hoja de campo. En la figura 7 y 8 se muestran los materiales que conforma la FNCR tanto para el rechazo de afino primario como secundario.



**Figura 6: Fracciones separadas de rechazo de afino primario (de izq. a dcha.): Vidrio, inertes y metales.**



**Figura 7: Fracciones separadas de rechazo de afino secundario (de izq. a dcha.): Vidrio, inertes y metales**

El tiempo medio que se invirtió por día en el desplazamiento, la caracterización del rechazo grueso y toma de muestra en la propia planta fue de 4 horas. A este hay que sumarle el tiempo de caracterización en el laboratorio de las otras dos corrientes de rechazo que fue de 2,5 horas de media por día.

## **6. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD**

Cada uno de los días de muestreo se determinó la humedad de las tres corrientes de rechazos mediante el método de secado en estufa a 105°C definido en la norma para combustibles sólidos recuperados UNE-EN 15414-3 (2011).

En el caso del rechazo grueso no era viable trasladar al laboratorio y secar los 60 kg de material correspondientes al tamaño mínimo de muestra (tabla 1). Por lo que, una vez realizada la caracterización y conocido el porcentaje de cada una de las fracciones en la muestra, se recompuso una muestra de aproximadamente 1 kg que se trasladó al laboratorio para determinar su humedad. Para los rechazos de afino primario y secundario, se prepararon muestras para la determinación de la humedad de 1 kg y 0,4 kg respectivamente.

Tras la determinación de la humedad, las muestras ya secas se identificaron, envasaron y sellaron para su correcta conservación y almacenaje. Para ello el material seleccionado no fue manipulado, simplemente se secó y almacenó.

## **7. DETERMINACIÓN DE LA SUCIEDAD**

Para la determinación de la suciedad de la FNCR de las corrientes de rechazo grueso y de rechazo de afino primario se ha partido de las mismas muestras de campo de las que se determinó la composición y humedad. Las cuales una vez secas, como se ha descrito anteriormente, se envasaron y sellaron para su conservación.

Inicialmente se ha realizado una inspección visual de las muestras para comprobar el estado en que se encuentran y descubrir posibles anomalías (envases de muestras abiertos o con roturas, sin identificar, etc.). Tras comprobar que no existía ninguna anomalía, todas las muestras almacenadas se clasificaron en función del tipo de corriente de rechazo, fase de estudio y día de la semana en el que se tomaron.

Las muestras que correspondían a un mismo rechazo, fase de estudio y día de la semana se agruparon, juntando el material de dos muestras. Es decir, para cada rechazo se juntó el material de las muestras de los dos lunes, los dos martes, dos miércoles, etc. que se habían caracterizado en cada una de las dos fases del estudio. Así pues, para determinar la suciedad, el número de muestras analizadas para cada corriente de rechazo ha sido de 10 (cinco en cada fase y una por día de la semana).

Además, agrupando las muestras se ha conseguido aumentar el tamaño de la muestra a 2 kg aproximadamente para ambos rechazos. Este peso incluye tanto a la fracción combustible como a la FNCR.

Una vez agrupadas las muestras, cada una de ellas se extendió sobre una mesa de trabajo limpia, ventilada e iluminada. A continuación, el material se separó y clasificó en la fracción combustible y los diferentes componentes de la FNCR (vidrio, inertes y metales), puesto que estas últimas son el objeto de estudio de este informe. En la figura 8 se muestra la FNCR del rechazo grueso ya separada para cada una de las muestras a analizar.



**Figura 8: FNCR separada de rechazo grueso para la determinación de la suciedad**

### **7.1 Acondicionamiento de las muestras**

La FNCR de cada muestra ha sido sometida a una limpieza total en superficie, tanto interna como externa, con el objetivo de determinar el porcentaje de suciedad. Para lograrlo, en algunos casos, ha sido necesaria su manipulación y acondicionamiento.

Esta manipulación ha incluido el troceado de algunos materiales para garantizar la máxima limpieza de los elementos analizados, tales como latas metálicas, envases o botellas de vidrio, bolas de papel de aluminio, etc. Si dicha manipulación implica el troceado de los mismos o alguna de sus partes, todo el material resultante seguirá formando parte de la muestra original, aunque los tipos de materiales presentes sean distintos.

### **7.2 Limpieza de las muestras**

La limpieza de las muestras a analizar se ha realizado siguiendo las etapas que se detallan a continuación:

1. Inicialmente se realiza un lavado con agua a presión sobre las muestras durante un periodo de 3 – 4 minutos (figura 9).
2. A continuación, se introducen las muestras en un baño de agua al que se le ha adicionado un desengrasante previamente. Se realiza una homogeneización manual y se mantiene 5 minutos en este medio (figura 10).
3. Posteriormente se realiza una limpieza total de la superficie de las muestras por métodos mecánicos (cepillos o estropajos).
4. Las muestras se someten a un aclarado en agua durante 5 minutos, tras el cual se dejan secar al aire y sobre un medio absorbente durante 10 min.



5. Las muestras son sometidas a un segundo aclarado en agua desionizada durante 5 minutos, tras el cual se dejan secar al aire y sobre un medio absorbente durante 10 min (figura 11).



**Figura 9: Lavado con agua a presión de la FNCR**



**Figura 10: Remojado con agua con desengrasante (izq.) y limpieza con cepillo (dcha.) de la FNCR**



**Figura 11: FNR del rechazo de afino primario tras la limpieza**

### 7.3 Secado de las muestras

Una vez que las muestras estén completamente limpias se introducen en una estufa a una temperatura y durante un tiempo de residencia específicos para cada material a analizar. Como norma general se secan a 105°C durante 8 horas.

Transcurrido el tiempo de residencia, las muestras se pesan inmediatamente para conocer su masa con exactitud, anotando el peso obtenido una vez han sido limpiadas y secadas.

### 7.4 Expresión de los resultados

Para la determinación del porcentaje de suciedad que posee un material se ha utilizado la siguiente ecuación:

$$Suciedad = 100 - \left( \frac{Peso\ neto}{Peso\ Bruto} \cdot 100 \right) \quad (1)$$

Donde:

- *Peso Bruto*: corresponde con el peso total de la muestra antes del procedimiento de limpieza, menos el envase que la contiene.
- *Peso Neto*: será el peso obtenido tras la limpieza y el secado de la muestra en estufa, menos el envase o bandeja que la contiene.

## 8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los pesos obtenidos en las caracterizaciones de 2017 se registraron en una base de datos, diferenciándolos por fase y día de la semana. A partir de los mismos se han obtenido los resultados de composición de la FNCR y su variabilidad (desviación estándar) y se ha realizado el análisis estadístico de los resultados. Además, los resultados de humedad media de la muestra y el porcentaje de suciedad también han sido analizados estadísticamente.

Para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas en la composición de la FNCR y humedad de los de los rechazos en función de la fase (influencia de la estacionalidad) y en función del día de la semana se ha realizado un contraste de medias. Esta técnica también se ha utilizado para conocer si existen diferencias en el porcentaje de suciedad en función de la fase del estudio. Los contrastes de medias permiten analizar los datos experimentales de dos muestras o más cuyos valores han sido medidos en diferentes circunstancias (por ejemplo, en diferentes lugares o periodos de tiempo) y conocer si las diferencias existentes son reales, es decir, no han aparecido como fruto del azar y por tanto pertenecen a poblaciones distintas, o si, por el contrario, se admite que las diferencias son tan pequeñas que sean fruto del azar y por tanto las dos muestras pertenecen a la misma población y son iguales.

En este caso, para el contraste de medias de la composición, humedad y suciedad entre las dos fases, las pruebas estadísticas utilizadas han sido el test t de Student (para poblaciones que siguen una distribución normal) o su homólogo no paramétrico el test de la suma de los rangos de Wilcoxon (para poblaciones no normales).

En el caso de analizar el contraste de medias de la composición y humedad entre los días de la semana se ha utilizado la técnica del Análisis de la Varianza o ANOVA (para poblaciones que siguen una distribución normal) o su homólogo no paramétrico el test de Kruskal Wallis (para poblaciones no normales). Ambas permiten comparar los datos de más de dos muestras.

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa de acceso libre R y el nivel de confianza utilizado ha sido del 95%.

## **9. RESULTADOS**

A continuación, se exponen los resultados de las caracterizaciones de las tres corrientes de rechazo, así como de los análisis estadísticos de la variación temporal de la composición y humedad.

### **9.1 Composición de la FNCR**

#### **9.1.1 Descripción cualitativa de la composición de la FNCR**

La composición media y desviación estándar para cada una de las corrientes de rechazo y fases del estudio se muestran en las tablas 3, 4 y 5. En ellas se expone, por un lado, el porcentaje de la fracción combustible y no combustible que componen los rechazos (FNCR). Por otro, los componentes que forman la FNCR.

Como se observa en la tabla 3, el rechazo grueso está compuesto principalmente por material combustible con valores de alrededor del 94,5% en ambas fases; mientras que la FNCR supone en torno a un 5,5%. Dentro de la FNCR, los metales son el componente mayoritario, obteniendo valores similares en las dos fases (3,78% en la fase 1 y 3,48% en

la fase 2). Por detrás se encuentran los inertes y el vidrio, con porcentajes alrededor del 1%. Cabe destacar, que en el trómel los envases de vidrio de mayor tamaño como botellas, botellines o tarros se rompen en trozos pequeños. Estos acaban en el proceso de compostaje y por tanto aparecen en los rechazos de afino del bioestabilizado, cuyos tamaños de partícula son menores como se verá más adelante.

**Tabla 3: Composición FNCR del rechazo grueso, fase 1 y 2**

Material	RECHAZO GRUESO (%)			
	FASE 1		FASE 2	
	Media	Desv. St	Media	Desv. St
<b>Fracción combustible</b>	94,41	1,49	94,68	1,70
<b>FNCR</b>	5,59	1,49	5,32	1,70
Metales	3,78	1,07	3,48	1,18
Vidrio	0,65	0,36	1,02	0,60
Inertes	1,16	1,10	0,82	0,68
<b>nº muestras</b>	13		10	
<b>Peso medio muestra (kg)</b>	60,20		59,87	

En el caso del rechazo de afino primario, el porcentaje de fracción combustible es menor que en el rechazo grueso, con un 76,30% para la fase 1 y un 81,65% para la fase 2 (tabla 4). Esto se debe a que esta corriente de rechazo procede de la etapa biológica del tratamiento y no de la de recuperación de materiales. El porcentaje de FNCR en esta corriente aumenta hasta el 23,70% en la fase 1 y un 18,35% en la 2. El vidrio es el componente mayoritario de esta fracción con valores alrededor del 10-11%, mientras que los metales son el material que se encuentra en menor proporción, con porcentajes entre el 3,5 y 4%. Cabe señalar el descenso en el porcentaje de inertes entre la fase 1 y la 2, pasando de un 8,39% a un 4,56%.

**Tabla 4: Composición FNCR del rechazo de afino primario, fase 1 y 2**

Material	RECHAZO AFINO PRIMARIO (%)			
	FASE 1		FASE 2	
	Media	Desv. St	Media	Desv. St
<b>Fracción combustible</b>	76,30	8,64	81,65	6,28
<b>FNCR</b>	23,70	8,64	18,35	6,28
Metales	4,04	5,17	3,40	2,64
Vidrio	11,27	5,12	10,39	5,46

Inertes	8,39	8,91	4,56	4,55
<b>nº muestras</b>	20		20	
<b>Peso medio muestra (kg)</b>	1,09		1,03	

Como se muestra en la tabla 5, el rechazo de afino secundario, que también se origina en la etapa biológica de tratamiento, es el que menor porcentaje de material combustible presenta, con valores de en torno al 69% en ambas fases. Mientras que en esta corriente el porcentaje de FNCR es el más alto, con valores alrededor del 31%. Esta fracción está compuesta principalmente por vidrio, con un 27% en las dos fases, seguida por los inertes con porcentajes entre el 3 y 3,5% y finalmente los metales con valores cercanos a 0,3%.

**Tabla 5: Composición FNCR del rechazo de afino secundario, fase 1 y 2**

Material	RECHAZO AFINO SECUNDARIO (%)			
	FASE 1		FASE 2	
	Media	Desv. St	Media	Desv. St
<b>Fracción combustible</b>	68,90	7,61	69,11	6,98
<b>FNCR</b>	31,10	7,61	30,89	6,98
Metales	0,39	0,63	0,33	0,94
Vidrio	27,15	7,10	27,43	6,04
Inertes	3,57	3,37	3,13	1,74
<b>nº muestras</b>	20		20	
<b>Peso medio muestra (kg)</b>	0,409		0,405	

### 9.1.2 Descripción cuantitativa de la composición de la FNCR entre las dos fases

Como se ha visto en las tablas anteriores, a priori, se podría decir que existen diferencias para algunas fracciones en función de la fase de estudio o época del año. No obstante, es importante conocer si estas diferencias son estadísticamente significativas, es decir, son reales, o han aparecido como fruto del azar. Para ello se utilizaron los test estadísticos de t de Student o su homólogo no paramétrico el test de la suma de los rangos de Wilcoxon. Estos test se han aplicado al total de la FNCR y a cada uno de sus componentes (metales, vidrio e inertes).

Los resultados obtenidos tras el análisis estadístico del rechazo grueso indican que no existen diferencias significativas entre las dos fases para el total de la FNCR, ni para ninguno de sus componentes, puesto que en todos los casos se ha obtenido una  $p$  mayor a 0,05. Así pues, se puede afirmar que la época del año no influye en la composición de la FNCR.

Para el rechazo de afino primario, los resultados del análisis estadístico muestran que existen diferencias estadísticamente significativas para el porcentaje total de FNCR en función de la fase del estudio, ya que la  $p$  obtenida es menor de 0,05. Por lo que se puede afirmar que en función de la época de año el porcentaje de la FNCR varía, siendo mayor en la fase 1 (primavera-verano) que en la fase 2 (otoño-invierno). Sin embargo, cuando se analizan los componentes por separado esta diferencia entre fases no es significativa, puesto que para cada uno de los materiales se obtiene una  $p$  mayor a 0,05.

Respecto al rechazo de afino secundario, no se han observado diferencias estadísticamente significativas entre las dos fases para ninguna de las fracciones analizadas ( $p > 0,05$ ). Por lo tanto, se puede afirmar que no existen diferencias en función de la época del año en la composición de la FNCR, ni de sus componentes, para esta corriente de rechazo.

### 9.1.3 Composiciones medias anuales de la FNCR de los tres rechazos

Por otro lado, a pesar de que el análisis estadístico establece que existen diferencias para algunos de los materiales que componen los rechazos en función de la época del año, en la tabla 6 se muestra la composición media anual de las tres corrientes de rechazo estudiadas.

**Tabla 6: Composición media anual de la FNCR**

Material	RECHAZO GRUESO (RG)		RECHAZO AF. PRIMARIO (AF1)		RECHAZO AF. SECUNDARIO (AF2)	
	Media	Desv. St	Media	Desv. St	Media	Desv. St
<b>Fracción combustible</b>	94,53	1,55	78,98	7,93	69,00	7,21
<b>FNCR</b>	5,47	1,55	21,02	7,93	31,00	7,21
Metales	3,65	1,10	3,72	4,06	0,36	0,79
Vidrio	0,81	0,50	10,83	5,25	27,29	6,51
Inertes	1,01	0,94	6,48	7,25	3,35	2,65

Como se observa en la tabla 6, el porcentaje de FNCR presente en el rechazo grueso de la planta de reciclaje y compostaje de Onda es de 5,47%. Este valor es similar a los obtenidos por Montejo et al. (2013, 2011) para este tipo de rechazo en 8 plantas de TMB de Castilla y León, así como al obtenido por Ramos Casado et al. (2016) para una instalación de este tipo en Navarra. En las plantas de Castilla y León en material mayoritario fueron los metales al igual que en la corriente de rechazo estudiada, mientras que en la instalación navarra lo fue el vidrio. Por otro lado, Brás et al. (2017) en Portugal y Nasrullah et al., (2017) en Finlandia obtuvieron valores más altos, del 13,9 y el 10,4 % respectivamente. Los materiales mayoritarios fueron los inertes en el primer estudio y los metales en el segundo.



El rechazo de afino primario, debido a que se origina en la etapa biológica del tratamiento, contiene un mayor porcentaje de FNCR con un 21,02% (tabla 6). Brás et al. (2017) en Portugal obtuvieron valores similares (20%) para este tipo de rechazo. No obstante, los inertes fueron en material mayoritario en esta corriente con un 19%, mientras que en la planta de TMB de Onda lo es el vidrio. Por otro lado, en dos estudios italianos, el porcentaje de FNCR en este tipo de rechazos fue mayores, con un 32,7% (Trulli et al., 2018) y un 39% (Di Lonardo et al., 2015). En ambos trabajos el vidrio y los inertes fueron los componentes principales de esta fracción.

El rechazo de afino secundario, que también se genera en la etapa biológica, presenta un 31% de FNCR (tabla 6), el porcentaje más alto de los tres tipos de rechazos analizados. Este valor es mayor al obtenido por Edo-Alcón et al. (2016) para un rechazo similar de una planta de TMB española (17%) y menor al obtenido por Di Lonardo et al. (2015) en Italia (43%), la fracción mayoritaria en ambos estudios fue el vidrio al igual que en la corriente de rechazo analizada.

Por otra parte, y como se ha comentado anteriormente, el vidrio aparece en mayor porcentaje en aquellos rechazos que tienen un tamaño de partícula menor. Esto es debido a su rotura en trozos pequeños en el trómel, por lo que los porcentajes más elevados de este material se dan en el rechazo de afino secundario y los más bajos en el rechazo grueso. En el caso de los metales, el porcentaje es similar para el rechazo grueso y el rechazo de afino. Sin embargo, el porcentaje baja hasta valores cercanos a cero en el rechazo de afino secundario (tabla 6). Esto es debido a que en esta fracción está compuesta principalmente por latas de metal o envases de refresco cuyo diámetro hace que no aparezcan en rechazo de afino secundario, que tienen un tamaño de partícula mucho menor. Respecto a los inertes, como ocurre con el vidrio, estos también se rompen en el trómel y entran en el proceso de compostaje. No obstante, debido a que son menos frágiles, los fragmentos que quedan son de un tamaño intermedio por lo que aparecen en mayor proporción en los rechazos de afino primario. Todo esto puede observarse en la figura 12, donde se representa el porcentaje de cada uno de estos materiales en la FNCR en función del diámetro de partícula de las diferentes corrientes de rechazo.

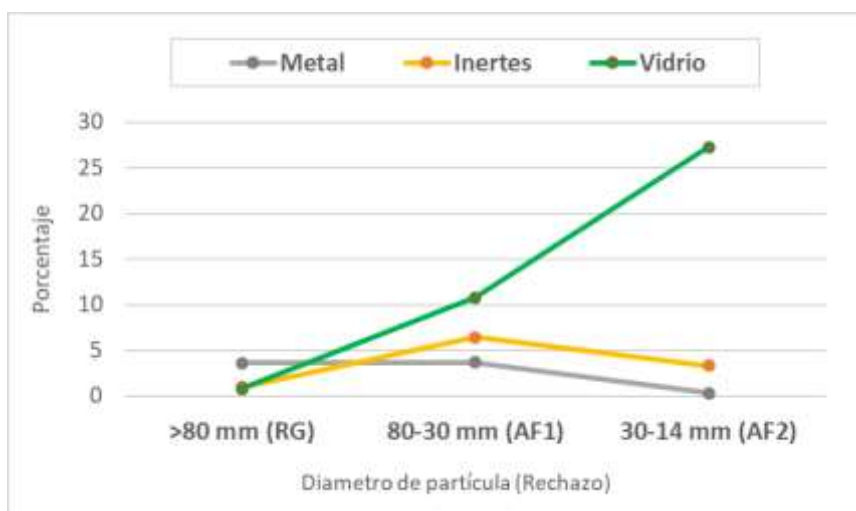


Figura 12: Relación entre el diámetro de partícula y la composición de la FNCR.

#### 9.1.4 Variación de la composición de la FNCR a lo largo de los días de la semana

Finalmente, dentro del análisis de la variabilidad temporal de la FNCR, también se ha estudiado la influencia del día de la semana. La composición media y desviación estándar para cada uno de los rechazos estudiados y días de la semana se exponen en las tablas 7, 8 y 9.

Tabla 7: Composición FNCR del rechazo grueso, días de la semana

Material	RECHAZO GRUESO (%)									
	L		M		X		J		V	
	Media	Desv. St	Media	Desv. St	Media	Desv. St	Media	Desv. St	Media	Desv. St
Fración combustible	94,74	1,29	93,82	0,84	95,12	1,71	94,22	1,48	94,78	2,36
FNCR	5,26	1,29	6,18	0,84	4,88	1,71	5,78	1,48	5,28	2,36
Metales	3,71	1,04	3,83	0,27	3,11	1,09	3,49	0,46	4,03	1,97
Vidrio	0,87	0,42	0,92	0,22	0,70	0,21	0,99	0,99	0,57	0,14
Inertes	0,68	0,46	1,43	0,82	1,08	0,93	1,30	1,58	0,67	0,64
n° muestras	5		4		4		5		4	

Tabla 8: Composición FNCR del rechazo de afino primario, días de la semana

Material	RECHAZO AFINO PRIMARIO (%)									
	L		M		X		J		V	
	Media	Desv. St	Media	Desv. St	Media	Desv. St	Media	Desv. St	Media	Desv. St



<b>Fracción combustible</b>	79,04	13,72	79,55	6,81	78,58	5,94	80,53	5,44	77,18	6,64
<b>FNCR</b>	20,96	13,72	20,45	6,81	21,42	5,94	19,47	5,44	22,82	6,64
Metales	3,35	2,37	1,55	1,80	4,60	1,29	2,98	2,56	6,11	7,83
Vidrio	8,40	3,60	14,17	7,23	11,11	5,29	9,76	4,66	10,72	4,20
Inertes	9,21	12,44	4,74	5,66	5,70	3,17	6,73	7,19	6,00	5,57
<b>n° muestras</b>	8		8		8		8		8	

**Tabla 9: Composición FNCR del rechazo de afino secundario, días de la semana**

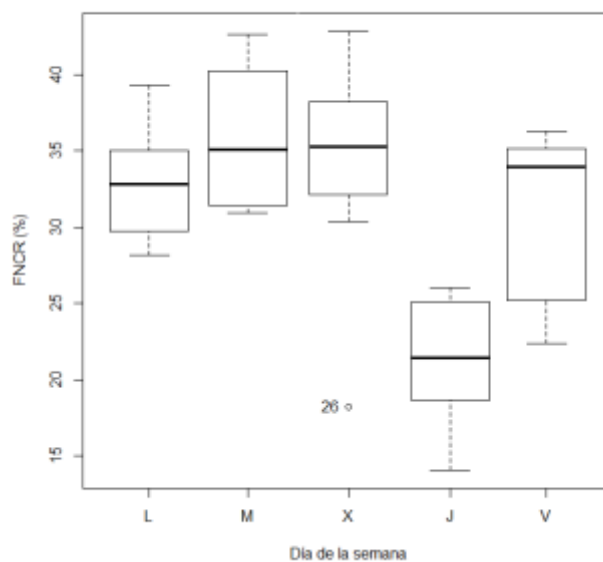
Material	RECHAZO AFINO SECUNDARIO (%)									
	L		M		X		J		V	
	Media	Desv. St	Media	Desv. St	Media	Desv. St	Media	Desv. St	Media	Desv. St
<b>Fracción combustible</b>	67,18	3,69	64,09	4,63	65,95	7,37	78,69	4,23	69,09	5,74
<b>FNCR</b>	32,82	3,69	35,91	4,63	34,05	7,37	21,31	4,23	30,91	5,74
Metales	0,68	1,46	0,36	0,86	0,15	0,21	0,36	0,50	0,24	0,35
Vidrio	29,57	3,18	32,13	4,52	28,36	6,99	18,69	3,50	27,72	5,07
Inertes	2,58	1,32	3,41	1,28	5,54	4,94	2,26	1,53	2,95	1,18
<b>n° muestras</b>	8		8		8		8		8	

Como en el caso de la época del año, en las tablas anteriores se puede observar que existen diferencias para algunas fracciones en función del día de la semana. Sin embargo, es necesario conocer si estas diferencias son estadísticamente significativas y, por tanto, son reales y no se deben al azar. Para ello se han utilizado las pruebas estadísticas del ANOVA o su homólogo no paramétrico el test de Kruskal Wallis. Estos test se aplicaron a las mismas fracciones utilizadas para el análisis de la influencia de la estacionalidad.

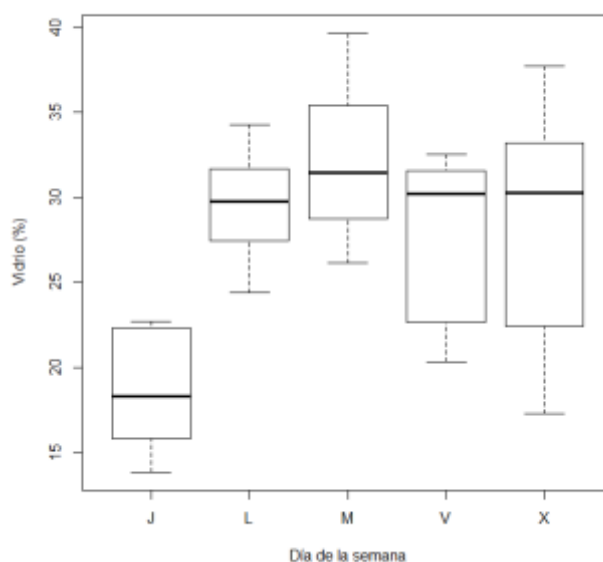
Los resultados obtenidos tras el análisis estadístico del rechazo grueso y el rechazo de afino primario muestran que, para ambas corrientes, no existen diferencias significativas en función del día de la semana. Ni en el porcentaje total de FNCR, ni en el de los componentes que la forman, ya que se ha obtenido una  $p$  mayor a 0,05 para todas las fracciones. Por tanto, se puede afirmar que el día de la semana no influye en la composición de la FNCR para estos dos rechazos.

En el caso del rechazo de afino secundario, se han observado diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje total de la FNCR y en el de vidrio ( $p < 0,05$ ). Así pues, se puede afirmar que la cantidad de FNCR y vidrio para esta corriente varía en función del día de la semana. Para ambos materiales se da un porcentaje menor el jueves en comparación al resto de días de la semana (lunes, martes, miércoles y viernes). Cabe señalar que el vidrio es el componente principal de la FNCR del rechazo de afino secundario (tabla 6), por lo que, si existen diferencias significativas para este material, es

fácil que existan también para el total, como ocurre en este caso. En la figura 13 y 14 se muestran los diagramas de cajas y bigotes donde se pueden observar estas diferencias.



**Figura 13: Diagrama de cajas y bigotes del porcentaje de FNCR en el rechazo de afino secundario en función del día de la semana.**



**Figura 14: Diagrama de cajas y bigotes del porcentaje de vidrio en el rechazo de afino secundario en función del día de la semana.**

## 9.2 Humedad de los rechazos

La humedad media y desviación estándar para cada una de las corrientes de rechazo y fases del estudio se exponen en la tabla 10.

**Tabla 10: Humedad de los rechazos, fase 1 y 2**

Corriente	HUMEDAD (%)			
	FASE 1		FASE 2	
	Media	Desv. St	Media	Desv. St
Rechazo grueso	25,95	5,00	31,70	4,05
Rechazo de afino primario	28,81	7,54	38,75	6,73
Rechazo de afino secundario	11,00	4,83	15,89	7,50

Como se ve en la tabla 10, el rechazo grueso tiene una humedad media para la fase 1 del 25,95% y para la fase 2 del 31,70%. Estos valores son similares a los obtenidos para este mismo rechazo por Gallardo et al. (2014), así como en otros trabajos de investigación realizados para este tipo de corrientes tanto en España como en otros países (Di Lonardo et al., 2016; Edo-Alcón et al., 2016; Montejo et al., 2011; Ramos Casado et al., 2016).

De las tres corrientes de rechazo analizadas, el rechazo de afino primario es la que tiene una mayor humedad con un 28,81% de media en la fase 1 y un 38,75% de media en la fase 2 (tabla 12). Esto se debe a que esta corriente es generada en el pre-afino del material pre-bioestabilizado, el cual procede directamente de los túneles de compostaje y tiene una humedad muy elevada. Los resultados de humedad media para este rechazo son semejantes a los que Bessi et al. (2016), Di Lonardo et al. (2016), y Edo-Alcón et al. (2016) obtuvieron para este tipo de rechazos en diferentes plantas de TMB.

En cuanto al rechazo de afino secundario, este es el que tiene un menor contenido de humedad con un 11,00% en la fase 1 y un 15,89% en la fase 2. Esto es debido a que esta corriente procede del afino final del material bioestabilizado que ya ha fermentado y madurado, por lo que ha perdido gran parte del agua que contenía. En comparación con otros estudios, estos resultados son mayores a los presentados por Nithikul et al. (2011) en una planta de TMB de Tailandia y menores a los obtenidos por Edo-Alcón et al. (2016) en una instalación española de este tipo.

Finalmente, en la tabla 10 también se puede observar que la humedad media de los rechazos es diferente en función de la fase de estudio. No obstante, es importante saber si estas diferencias son estadísticamente significativas y corroborar que no se han debido al azar, para ello se han utilizado las mismas pruebas estadísticas que en el análisis de la variación de la composición.

Los resultados obtenidos tras el análisis estadístico indican que existen diferencias significativas en el contenido de humedad de los tres rechazos entre las dos fases del estudio, puesto que para todas las corrientes se ha obtenido una  $p$  menor a 0,05. Así pues, se puede afirmar que en función de la estación de año la humedad de rechazos varía,

siendo menor en la fase 1 (primavera-verano) que en la fase 2 (otoño-invierno). Estas diferencias podrían deberse a que en la fase 1 la temperatura ambiental en Castellón es mucho más alta que en la fase 2. Esto favorece que haya una mayor evaporación del agua que contienen los rechazos almacenados en la planta.

Respecto a la influencia del día de la semana en la humedad de los rechazos, esta se ha analizado por separado en cada una de las fases. En las tablas 11 y 12 se expone la humedad media y desviación estándar para los tres rechazos estudiados y días de la semana en cada fase.

**Tabla 11: Fase 1, humedad de los rechazos y días de la semana**

Corriente	HUMEDAD FASE 1 (%)									
	L		M		X		J		V	
	Media	Desv. St	Media	Desv. St	Media	Desv. St	Media	Desv. St	Media	Desv. St
Rechazo grueso	28,50	5,25	25,44	2,16	23,93	0,99	29,24	10,37	22,63	4,35
Rechazo de afino primario	28,68	9,38	22,79	4,89	27,82	4,39	31,86	10,91	32,88	5,04
Rechazo de afino secundario	3,76	1,08	10,48	3,44	14,94	2,72	14,20	4,07	11,60	2,44

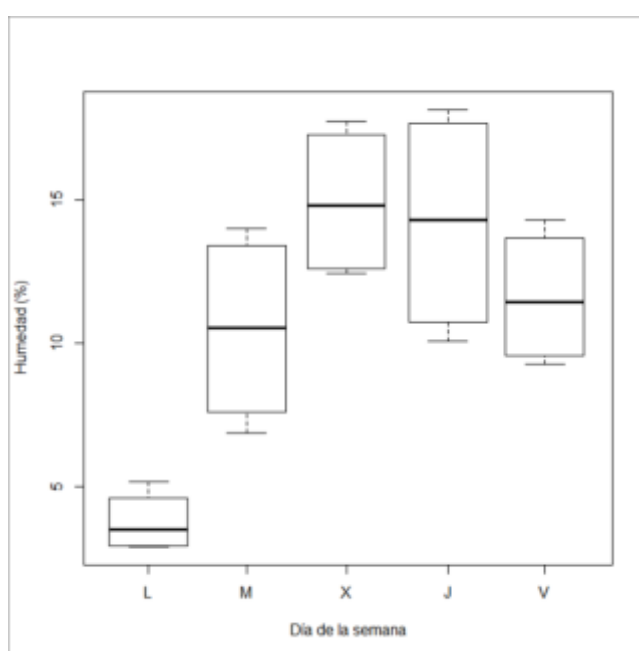
**Tabla 12: Fase 2, humedad de los rechazos y días de la semana**

Corriente	HUMEDAD FASE 2 (%)									
	L		M		X		J		V	
	Media	Desv. St	Media	Desv. St	Media	Desv. St	Media	Desv. St	Media	Desv. St
Rechazo grueso	16,08	6,91	11,73	1,22	16,00	6,57	22,00	8,15	13,64	10,89
Rechazo de afino primario	41,36	6,32	40,09	5,51	33,32	10,02	42,28	2,98	36,72	5,85
Rechazo de afino secundario	16,08	6,91	11,73	1,22	16,00	6,57	22,00	8,15	13,64	10,89

Para conocer si las diferencias existentes en el contenido de humedad en función del día de la semana son estadísticamente significativas se han utilizado el test no paramétrico de Kruskal Wallis, ya que el número de muestras por día de la semana para cada fase es muy pequeño.

En el caso del rechazo grueso y el rechazo de afino primario, los resultados del análisis estadístico muestran que el día de la semana no influye en la humedad de los rechazos en ninguna de las dos fases, ya que se han obtenido valores de  $p$  mayores a 0,05 para ambos rechazos y fases.

Sin embargo, en el rechazo de afino secundario se ha observado que sí que existen diferencias estadísticamente significativas en el contenido en humedad entre los diferentes días de la semana en la fase 1 ( $p < 0,05$ ). Así pues, se puede afirmar que la humedad de esta corriente en la fase 1 es diferente en función del día de la semana, siendo menor los lunes en comparación al resto de días (martes, miércoles, jueves y viernes). Esto se puede ver gráficamente en la figura 15. Respecto a la fase 2, se puede afirmar que el día de la semana no influyen en la humedad del rechazo de afino secundario en esta fase ( $p > 0,05$ ), ya que no existen diferencias estadísticamente significativas.



**Figura 15: Diagrama de cajas y bigotes de la humedad en el rechazo de afino secundario en función del día de la semana.**

### 9.3 Suciedad de la FNCR

El porcentaje de suciedad medio y desviación estándar para las dos corrientes analizadas y fases del estudio se muestran en las tablas 13 y 14. En ellas se expone este valor de forma diferenciada para cada uno de los materiales que conforman la FNCR: vidrio, inertes y metales.

**Tabla 13: Porcentaje de suciedad de la FNCR del rechazo grueso**

Material de la FNCR	SUCIEDAD (%)			
	FASE 1		FASE 2	
	Media	Desv. St	Media	Desv. St
Vidrio	1,75	1,31	1,84	1,79

Inertes	1,03	1,16	0,66	0,55
Metales	3,63	2,21	10,54	2,75

Como se ve en la tabla 13, respecto al rechazo grueso, los metales son el componente de la FNCR de que tiene un mayor porcentaje de suciedad pegada a su superficie, con un 3,63 % para la fase 1 y un 10,54 % para la fase 2. Esto puede deberse a que los residuos que componen principalmente esta fracción son latas de metal o bolas de papel de aluminio. Las primeras, debido a su forma, proporcionan más huecos donde se acumula la suciedad, por ejemplo, en el interior de las mismas. Las segundas, suelen ser bolas arrugadas donde, junto con el propio papel de aluminio, aparecen otros residuos como restos de servilletas o de alimentos. En el caso del vidrio y los inertes, el porcentaje de suciedad es menor, con valores en las dos fases alrededor del 1,8% para el primero y del 1% o menores para el segundo. Estas fracciones suelen estar formadas por trozos más o menos planos de material (por ejemplo: trozos de vidrio, de azulejo o ladrillo) cuya superficie es mucho más lisa, lo que hace que la suciedad no se adhiera tan fácilmente.

**Tabla 14: Porcentaje de suciedad de la FNCR del rechazo afino primario**

Material de la FNCR	SUCIEDAD (%)			
	FASE 1		FASE 2	
	Media	Desv. St	Media	Desv. St
Vidrio	5,59	4,33	3,87	1,93
Inertes	2,34	0,62	5,74	3,86
Metales	34,90	13,62	27,82	15,91

En cuanto al rechazo de afino primario, en general, todos los materiales tienen un porcentaje mayor de suciedad que los del rechazo grueso debido a que esta corriente se origina en la etapa biológica del tratamiento. En esta etapa, los materiales tienen un mayor contacto con la fracción orgánica de los residuos como consecuencia de su fermentación conjunta en túneles durante varias semanas. Esto produce un ensuciamiento mayor en los mismos, el cual que se ve reflejado en la tabla 14. Al igual que ocurre con el rechazo grueso, la fracción con mayor porcentaje de suciedad son los metales con valores del 34,90% en la fase 1 y del 27,82% en la fase 2. El porcentaje de suciedad para el vidrio es de 5,59% en la primera fase y del 3,87% en la segunda, mientras que para los inertes es del 2,34% y del 5,74% en la fase 1 y 2 respectivamente.

Los resultados obtenidos tras el análisis estadístico indican que solo existen diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de suciedad para los metales del rechazo grueso, ya que se ha obtenido una *p* menor de 0,05. Así pues, se puede afirmar que el porcentaje de suciedad de los metales del rechazo grueso varía en función de la época del año, siendo mayor en otoño-invierno (fase 2) que en primavera-verano (fase 1). Estas

diferencias pueden estar relacionadas con que el rechazo grueso tiene una mayor humedad en la fase 2 como se ha visto anteriormente, lo que hace que la suciedad se pegue o incruste más fácilmente en los materiales como los metales, cuya forma facilita la acumulación de la misma, como se ha explicado anteriormente.

## 10. CONCLUSIONES

En este trabajo se han determinado las propiedades de la fracción no combustible de las cuatro corrientes de rechazos producidas en la planta de tratamiento de Onda, y sus variaciones en dos períodos del año.

La fracción no combustible de los rechazos (FNCR) se compone de metal, vidrio e inertes, en proporciones diferentes en función de la corriente de rechazo y del período del año.

Respecto a la corriente de rechazo grueso, está compuesta principalmente por material combustible, en un 94,5% en ambos períodos; mientras que la FNCR supone en torno a un 5,5%. Dentro de la FNCR, los metales son el componente mayoritario (3,78% en la fase 1 y 3,48% en la fase 2). Mientras que los inertes y el vidrio, tienen porcentajes del 1%. Los resultados obtenidos tras el análisis estadístico indican que no existen diferencias significativas entre las dos fases.

En el caso del rechazo de afino primario, el porcentaje de FNCR es del 23,70% en la fase 1 y de un 18,35% en la 2. El vidrio es el componente mayoritario, con valores alrededor del 10-11%, mientras que los metales son minoritarios, el 3,5-4%. Esto se debe a que esta corriente procede de la etapa biológica del tratamiento. Los resultados del análisis estadístico muestran que en función de la época de año el porcentaje de la FNCR varía, siendo mayor en la fase 1 (primavera-verano) que en la fase 2 (otoño-invierno).

Respecto al rechazo de afino secundario, es el que mayor porcentaje de FNCR tiene, con valores alrededor del 31%. Esta fracción está compuesta principalmente por vidrio, con un 27% en las dos fases, seguida por los inertes (el 3 y 3,5%) y metales (0,3%). No se han observado diferencias estadísticamente significativas entre las dos fases.

De las tres corrientes analizadas, el rechazo de afino primario es la que tiene una mayor humedad con un 28,81% en la fase 1 y un 38,75% en la fase 2. Esto se debe a que esta corriente procede del pre-afino del material pre-bioestabilizado, el cual proviene directamente de los túneles de compostaje y tiene una humedad muy elevada. Los rechazos de afino secundario son los de menor humedad (11% en la fase 1 y de 15,89% en la fase 2). Tras los análisis estadísticos se puede afirmar que en función de la estación del año la humedad varía, siendo menor en la fase 1 (primavera-verano) que en la fase 2 (otoño-invierno).

Respecto a la suciedad del rechazo grueso, los metales son el componente de la FNCR de que tiene un mayor porcentaje, con un 3,63 % para la fase 1 y un 10,54 % para la fase 2. En el caso del vidrio y los inertes, el porcentaje de suciedad es menor, con valores en las dos fases alrededor del 1,8% para el primero y del 1% para el segundo.



En cuanto al rechazo de afino primario, en general, todos los materiales tienen un porcentaje mayor de suciedad que los del rechazo grueso, debido a que esta corriente se origina en la etapa biológica del tratamiento. Al igual que ocurre con el rechazo grueso, la fracción más sucia son los metales (el 34,90% en la fase 1 y el 27,82% en la fase 2). El porcentaje de suciedad para el vidrio es de 5,59% en la primera fase y del 3,87% en la segunda, mientras que para los inertes es del 2,34% y del 5,74% en la fase 1 y 2 respectivamente.

Finalmente, decir que estos resultados pueden servir como base de actuación para proponer soluciones para valorizar la fracción de inertes de los rechazos, y con ello aprovechar la totalidad del rechazo. De esta forma se puede llegar a minimizar al máximo la cantidad destinada al vertedero.

## 11. REFERENCIAS

- Bessi, C., Lombardi, L., Meoni, R., Canovai, A., Corti, A., 2016. Solid recovered fuel: An experiment on classification and potential applications. *Waste Manag.* 47, 184–194. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.08.012>
- Brás, I., Silva, M.E., Lobo, G., Cordeiro, A., Faria, M., De Lemos, L.T., 2017. Refuse Derived Fuel from Municipal Solid Waste rejected fractions- a Case Study. *Energy Procedia* 120, 349–356. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.227>
- Dahlén, L., Lagerkvist, A., 2008. Methods for household waste composition studies. *Waste Manag.* 28, 1100–1112. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.08.014>
- Di Lonardo, M.C., Franzese, M., Costa, G., Gavasci, R., Lombardi, F., 2016. The application of SRF vs. RDF classification and specifications to the material flows of two mechanical-biological treatment plants of Rome: Comparison and implications. *Waste Manag.* 47, 195–205. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.07.018>
- Di Lonardo, M.C., Lombardi, F., Gavasci, R., 2015. Quality evaluation and improvement of mechanically–biologically treated municipal solid waste in view of a possible recovery. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 12, 3243–3254. <https://doi.org/10.1007/s13762-014-0735-4>
- Di Lonardo, M.C., Lombardi, F., Gavasci, R., 2012. Characterization of MBT plants input and outputs: A review. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 11, 353–363. <https://doi.org/10.1007/s11157-012-9299-2>
- Edo-Alcón, N., Gallardo, A., Colomer-Mendoza, F.J., 2016. Characterization of SRF from MBT plants: Influence of the input waste and of the processing technologies. *Fuel Process. Technol.* 153, 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.07.028>
- Edo-Alcón, N., Gallardo, A., Colomer, F.J., Sánchez-López, I., 2017. Diseño de una metodología para el muestreo de corrientes de rechazo producidas en las plantas de



tratamiento de residuos domiciliarios, in: VII Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos: Hacia Una Economía Circular. Santander, España.

European Commission, 2017. The role of waste-to-energy in the circular economy (Documento COM(2017) 34 final). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Brussels, 26.1.2017.

European Commission, 2004. Methodology for the Analysis of Solid Waste (SWA-Tool).

Gallardo, A., Carlos, M., Bovea, M.D., Colomer, F.J., Albarrán, F., 2014. Analysis of refuse-derived fuel from the municipal solid waste reject fraction and its compliance with quality standards. *J. Clean. Prod.* 83, 118–125.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.085>

Gallardo, A., Edo-Alcón, N., Albarrán, F., 2017. El combustible sólido recuperado: Producción y marco regulador. *RETEMA* 8–16.

Montejo, C., Costa, C., Ramos, P., Márquez, M.D.C., 2011. Analysis and comparison of municipal solid waste and reject fraction as fuels for incineration plants. *Appl. Therm. Eng.* 31, 2135–2140. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.03.041>

Montejo, C., Tonini, D., Márquez, M. del C., Fruergaard Astrup, T., 2013. Mechanical–biological treatment: Performance and potentials. An LCA of 8 MBT plants including waste characterization. *J. Environ. Manage.* 128, 661–673.  
<https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2013.05.063>

Nasrullah, M., Hurme, M., Oinas, P., Hannula, J., Vainikka, P., 2017. Influence of input waste feedstock on solid recovered fuel production in a mechanical treatment plant. *Fuel Process. Technol.* 163, 35–44. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2017.03.034>

Nasrullah, M., Vainikka, P., Hannula, J., Hurme, M., 2015. Elemental balance of SRF production process: Solid recovered fuel produced from commercial and industrial waste. *Fuel* 145, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.12.071>

Nithikul, J., Karthikeyan, O.P., Visvanathan, C., 2011. Reject management from a mechanical biological treatment plant in Bangkok, Thailand. *Resour. Conserv. Recycl.* 55, 417–422. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.11.004>

Pressley, P.N., Aziz, T.N., Decarolis, J.F., Barlaz, M.A., He, F., Li, F., Damgaard, A., 2014. Municipal solid waste conversion to transportation fuels: A life-cycle estimation of global warming potential and energy consumption. *J. Clean. Prod.* 70, 145–153. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.041>

Ramos Casado, R., Arenales Rivera, J., Borjabad García, E., Escalada Cuadrado, R., Fernández Llorente, M., Bados Sevillano, R., Pascual Delgado, A., 2016. Classification and characterisation of SRF produced from different flows of processed MSW in the Navarra region and its co-combustion performance with olive tree pruning residues. *Waste Manag.* 47, 206–16.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.05.018>

- Trulli, E., Ferronato, N., Torretta, V., Piscitelli, M., Masi, S., Mancini, I., 2018. Sustainable mechanical biological treatment of solid waste in urbanized areas with low recycling rates. *Waste Manag.* 71, 556–564. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.018>
- UNE-EN 15359, 2012. Combustibles sólidos recuperados: Especificaciones y clases. AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación, Madrid.
- UNE-EN 15414-3, 2011. Combustibles Sólidos Recuperados: Determinación del contenido en humedad por el método de secado en estufa. Parte 3: Humedad de la muestra para análisis general. AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación, Madrid.
- UNE-EN 15442, 2012. Combustibles sólidos recuperados: Métodos de muestreo. AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación, Madrid.
- Velis, C.A., Longhurst, P.J., Drew, G.H., Smith, R., Pollard, S.J.T., 2010. Production and quality assurance of solid recovered fuels using Mechanical- Biological Treatment (MBT) of waste: a comprehensive assessment. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol* 40, 979–1105. <https://doi.org/10.1080/10643380802586980>
- Velis, C., Wagland, S., Longhurst, P., Robson, B., Sinfield, K., Wise, S., Pollard, S., 2012. Solid recovered fuel: Influence of waste stream composition and processing on chlorine content and fuel quality. *Environ. Sci. Technol.* 46, 1923–1931. <https://doi.org/10.1021/es2035653>