



Trabajo Fin de Grado

Estudio de la obtención de sólidos adsorbentes a partir de subproductos de origen animal y de la proteína de colágeno.

Study of the obtainment of adsorbent solids from by-products of animal origin and the collagen protein

Anexo I: Caracterización de las propiedades de las materias primas (2/4)

Autora

María Pilar Sancho Munarriz

Director/es

Gloria Gea Galindo

Joaquín Ruiz Palacín

Grado en Ingeniería Química

Noviembre 2020

Escuela de Ingeniería y Arquitectura



Índice Anexo I

1. Determinación del contenido en cenizas	3
2. Determinación del contenido en materias volátiles	3
3. Determinación del pH	4
4. Análisis FTIR.....	4
5. Determinación de la distribución del tamaño de partícula	5
6. Densidad de lecho	5



1. Determinación del contenido en cenizas

La determinación del contenido en cenizas de las materias primas se realizó de acuerdo a la Norma ASTM D1762-84. El procedimiento que se siguió se explica a continuación.

- Introducir la muestra en un crisol y pesarla. Introducir el crisol sin tapa en una mufla a una temperatura de 750°C durante 6 horas.
- Dejar enfriar el crisol hasta la temperatura ambiente
- Pesar la muestra y volver a meterla en la mufla durante 1 hora hasta que la variación de masa sea inferior a 0,0005g.

Para el cálculo del porcentaje de cenizas se utilizó la Ec.1

$$\% \text{cenizas} = \frac{\text{masa final}}{\text{masa inicial}} \cdot 100 \quad [\text{Ec. 1}]$$

2. Determinación del contenido en materias volátiles

La determinación del contenido en cenizas de las materias primas se realizó de acuerdo con la Norma UNE 32 – 019 – 84. El procedimiento que se siguió se explica a continuación.

- Introducir la muestra en un crisol y pesarla. Introducir el crisol con tapa en una mufla a una temperatura de 900°C durante 7 minutos.
- Dejar enfriar la muestra hasta la temperatura ambiente
- Pesar el conjunto

Para el cálculo del porcentaje de volátiles se utilizó la Ec. 2

$$\% \text{volátiles} = \frac{\text{masa}_{\text{inicial}} - \text{masa}_{\text{final}} - \text{masa humedad}}{\text{masa}_{\text{inicial}}} \cdot 100 \quad [\text{Ec. 2}]$$

Siendo:

$$\text{masa humedad} = \text{masa}_{\text{inicial}} \cdot \% \text{humedad}$$

Determinación del contenido de humedad

- Introducir la muestra en un crisol y pesarla. Introducir el crisol en una estufa a una temperatura de 105°C durante horas.

- Dejar enfriar el crisol con la muestra en un desecador durante 20 min y pesar.
- Introducir el crisol en la estufa a 105°C durante 20 min
- Dejar enfriar el crisol con la muestra en un desecador durante 20 min y pesar.
- Repetir el procedimiento hasta que la variación de peso sea 0,0005g.

Para el cálculo del porcentaje de humedad se utilizó la Ec. 3

$$\% \text{Humedad} = \frac{\text{masa}_{\text{inicial}} - \text{masa}_{\text{final}}}{\text{masa}_{\text{inicial}}} \cdot 100 \quad [\text{Ec. 3}]$$

3. Determinación del pH

El pH se ha determinado de acuerdo al procedimiento indicado por Rajkovich y cols.¹⁹ Se mezcla la muestra con agua destilada en una relación 1:20 y se agita durante 30 min y se mide el pH.

4. Análisis FTIR

El análisis FTIR es una técnica analítica de espectroscopía que se basa en la interacción entre la radiación electromagnética y la materia y que se utiliza para identificar los diferentes grupos funcionales presentes en una muestra mediante el estudio de la absorción de la radiación infrarroja de parte de las moléculas orgánicas. La región del espectro electromagnético con mayor interés analítico es la comprendida entre las longitudes de onda de 2,5 y 25 μm , que corresponden con frecuencias entre 4000 y 400 cm^{-1} . El equipo utilizado es un espectrómetro Cary 630 FTIR de Agilent Technologies, como el que se puede ver la Figura 1, y se necesita muy poca muestra para llevar a cabo este análisis.



Figura 1. Espectrómetro Cary 630 FTIR de Agilent Technologies



5. Determinación de la distribución del tamaño de partícula

La determinación del contenido en cenizas de las materias primas se realizó de acuerdo con la Norma ASTM D2862 – 10. A continuación se explica el procedimiento.

- Para la preparación de la muestra se debe de conocer la densidad aparente. Si la densidad aparente es menor que 0,35 g/cm³, se utilizará una muestra de 50 g para calcular la distribución del tamaño de partícula, mientras que si la densidad aparente es mayor de 0,35 g/cm³, se utilizará una cantidad de muestra que no exceda los 100 g.
- Colocar los tamices de mayor a menor tamaño e introducir la muestra por la parte superior (tamiz con luz más grande).
- Tamizar durante unos minutos hasta que la muestra se haya clasificado por tamaños.
- Pesar las muestras de cada tamiz.

Para el cálculo del porcentaje de humedad se utilizó la Ec. 4

$$\%_{muestra_{tamaño\ i}} = \frac{masa\ muestra_{tamaño\ i}}{masa\ muestra_{total}} \cdot 100 \quad [Ec.\ 4]$$

6. Densidad de lecho

Cada compuesto tiene una densidad de lecho distinta. El procedimiento por el que se optó para determinar esta densidad fue llenar, con cada compuesto, una probeta hasta un volumen elegido y pesarlo y se repitió 3 veces. Los pesos se dividen entre el volumen, calculándose la densidad de lecho con la Ec.5.

$$\rho_{lecho}(\text{g/mL}) = \frac{\text{masa (g)}}{\text{volumen ocupado (mL)}} \quad [Ec.\ 5]$$



Trabajo Fin de Grado

Estudio de la obtención de sólidos adsorbentes a partir de subproductos de origen animal y de la proteína de colágeno.

Study of the obtainment of adsorbent solids from by-products of animal origin and the collagen protein

Anexo II: Sistema experimental de pirólisis (3/4)

Autora

María Pilar Sancho Munarriz

Director/es

Gloria Gea Galindo

Joaquín Ruiz Palacín

Grado en Ingeniería Química

Noviembre 2020

Escuela de Ingeniería y Arquitectura



Índice Anexo II

1. Sistema experimental	3
2. Procedimiento experimental	7
3. Puesta en marcha del sistema experimental de pirólisis.....	8
3.1. Determinación de los parámetros PID del controlador del horno.....	8
3.2. Perfil de Temperaturas en el reactor	10
3.3. Determinación de la capacidad del reactor	11
3.4. Calibración del medidor de flujo	12
3.5. Calibración del gas patrón.....	13

1. Sistema experimental

En la *Figura 1* se muestra el sistema experimental de pirólisis real en el que se llevaron a cabo todos los experimentos.



Figura 1. Sistema experimental

En la Figura 1 se pueden distinguir varios equipos importantes.

El horno

El horno es uno de ellos, se puede observar en la *Figura 2*. El horno es cilíndrico y está concéntrico al reactor, tiene una potencia de 1,1kW y una temperatura máxima de 1000ºC.

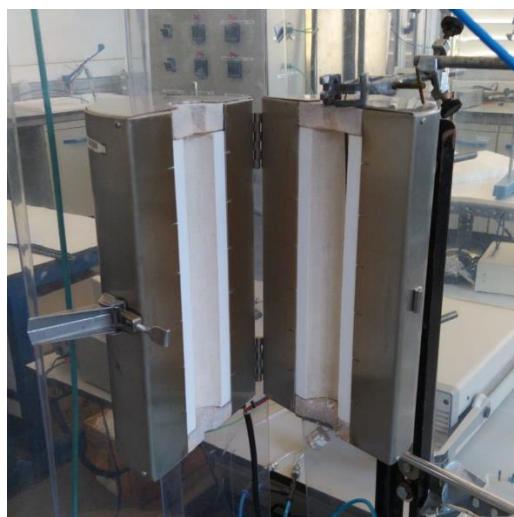


Figura 2. Horno

El reactor

En la *Figura 3* se muestra el reactor, este es cilíndrico de lecho fijo para el sólido construido en acero inoxidable. En su interior hay soldada una placa distribuidora con la finalidad de soportar la muestra y dejar pasar los gases. Las dimensiones del reactor se muestran en la *Tabla 1*. Con este diámetro se asume que no existen gradientes de temperatura radiales.

Tabla 1. Dimensiones del reactor de pirólisis

DIMENSIONES DEL REACTOR	
Longitud (cm)	50
Diámetro (mm)	9
Volumen (cm ³)	31,8
Volumen ocupado por el material (cm ³)	6,36

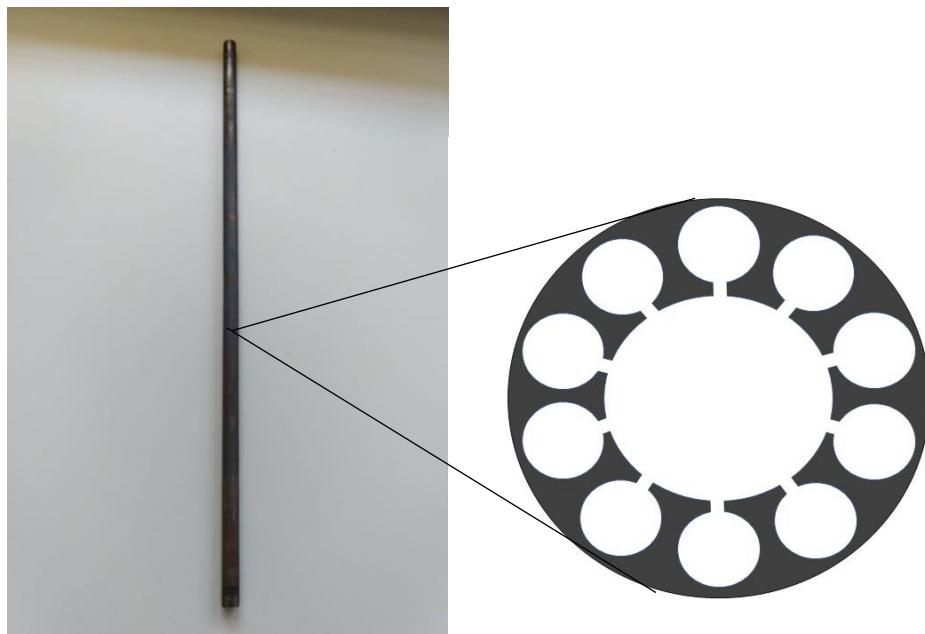


Figura 3. Reactor y placa distribuidora

Termopar y controlador de temperatura

Se encarga de medir la temperatura a la que está sometida la muestra dentro del reactor. Este termopar está conectado a un controlador de temperatura del tipo PID.

Controlador de flujo másico

El caudal de N₂ alimentado se controla con un medidor de flujo másico. Se trata de un flujo axial descendiente y tiene como objetivo arrastrar los gases que se obtienen de la degradación de la muestra por las altas temperaturas de trabajo, además de eliminar el oxígeno que puede haber en el sistema experimental al inicio del proceso. El flujo de N₂ utilizado, 47 mL STP/min, permanece constante a lo largo del experimento.

Sistema de condensación de gases

La salida del reactor está conectada a un condensador de vapores, *Figura 4*, en su trayecto se necesita una resistencia, cuya temperatura es de 300°C, para evitar que los vapores condensen hasta alcanzar este sistema de condensación. El condensador está inmerso en un baño de etilenglicol a una temperatura de -3°C para que condensen los vapores condensables a esa temperatura.

Los gases que salen del condensador se hacen pasar por un filtro de algodón, *Figura 5*, para asegurarse de que no haya partículas sólidas o gotas de condensados que lleguen al cromatógrafo.



Figura 4. Condensador de vapores



Figura 5. Filtro de algodón

Cromatógrafo de gases

Una vez los gases salen del filtro del algodón, estos se analizan en un micro cromatógrafo de gases (Agilent 3000A) el cual se observa en la *Figura 6*. Este aparato está conectado a un ordenador donde se puede ver en tiempo real la representación del cromatograma. Cada pico aparece a un tiempo distinto, distinguiéndose así cada gas. A mayor área de pico, mayor es la cantidad de ese gas.



Figura 6. Cromatógrafo de gases

Borboteadores

A continuación del cromatógrafo se encuentran dos borboteadores, uno vacío y otro con agua. Se encargan de generar una presión en el sistema para evitar la entrada de aire como consecuencia de la succión del cromatógrafo

2. Procedimiento experimental

A continuación, se detallan los pasos seguidos para la realización de cada experimento.

Para empezar, se introduce un pequeño trozo de lana de vidrio a mitad del reactor, encima de la placa distribuidora, y se pesa. La función de la lana de vidrio es sostener la muestra para que permanezca fija y no se filtre por la placa. Se introduce la cantidad de muestra deseada. Se coloca el termopar dentro del reactor y se conecta al controlador de temperatura. A continuación, se coloca el conjunto dentro del horno.

Se conecta el reactor con el condensador de vapores. El condensador se introduce en un baño de etilenglicol como refrigerante (temperatura del baño -3°C) y se coloca un agitador para que la temperatura sea uniforme en el recipiente. La salida del reactor se calienta con una resistencia a 300°C para evitar condensación de los vapores antes de alcanzar el condensador. Esta zona se aísla térmicamente con lana de vidrio

Se conecta el condensador con el filtro de algodón y este al cromatógrafo seguido de los borboteadores. La salida de los borboteadores está conectada a un extractor.

Una vez está todo el sistema montado se hace pasar la corriente de nitrógeno dentro del reactor habiéndose medido su caudal con un burbuímetro previamente. Para asegurarse de que no existe ninguna fuga, se comprueba que a la salida de los borboteadores el caudal es el mismo que a la entrada del sistema. Se pone en marcha el cromatógrafo a través del ordenador. Para asegurarse de que el cromatógrafo está limpio y se ha barrido el aire del interior del reactor, se analizan 3 muestras hasta que solo aparezca el nitrógeno que se hace pasar por el sistema.

Tan pronto como estas muestras finalizan, se encienden el horno y la resistencia y se introduce el set-point en el controlador, en el caso de la resistencia es de 300°C, en cambio el del horno depende del experimento. Se trabaja con una velocidad de calentamiento de 10°C/min. Dependiendo del experimento, la temperatura del horno puede llegar a 350°C, 550°C o 750°C. Una vez alcanzada esa temperatura, se mantiene durante 1 hora.

Al finalizar el experimento, se pesan todos los elementos donde se recogen productos, estos también se habían pesado al comienzo del experimento a temperatura ambiente. Se vacía el reactor con ayuda de un barilla por si quedan adheridos restos de char a la pared. Para retirar el líquido del condensador hace falta usar metanol para que arrastre el líquido adherido al vidrio del condensador. Por lo tanto, el líquido recogido en la pirólisis está disuelto en metanol.



Cabe destacar que las cantidades de char y de líquido se calcularon en cada experimento por diferencia de pesada en los dispositivos donde se recogen. Sin embargo, la cantidad de gas generada se calcula integrando la evolución de cada gas con el tiempo, a partir de los análisis obtenidos con el cromatógrafo, y sumando todos los gases analizados.

Una vez recogido el char de cada experimento, se les realiza una serie de análisis y se comparan en función de la temperatura de pirólisis. Se han hecho análisis elementales, espectrometría FTIR para estudiar sus grupos funcionales y superficie específica con el método BET.

El líquido ha sido el producto con más dificultad para analizarlo, únicamente se estudiaron los grupos funcionales mediante la espectrometría FTIR.

Los gases, que fueron analizados por el cromatógrafo, se representaron en función de la temperaturas de pirólisis para ver su evolución, además, se calculó el poder calorífico de la mezcla de los gases a cada una de las temperaturas de pirólisis.

3. Puesta en marcha del sistema experimental de pirólisis

3.1. Determinación de los parámetros PID del controlador del horno

Con la finalidad de controlar la velocidad de calentamiento del horno y el set-point, se decidió determinar los parámetros PID (controlador proporcional, integral y derivativo) del controlador del horno.

Para poder determinar los parámetros PID, se puso en marcha el horno introduciendo un set-point determinado en el controlador (350°C). En la *Figura 7* se muestra la evolución de la temperatura en el reactor.

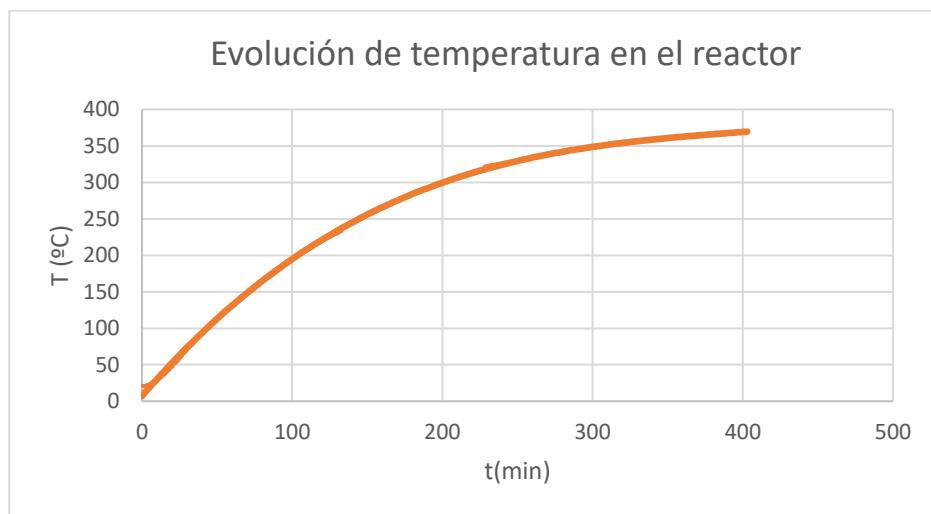


Figura 7. Evolución de la temperatura en el reactor para un set-point de 350°C

Posteriormente se realizaron los cálculos de los parámetros usando el método de lazo abierto. En este modelo se recogían los tiempos en los que el sistema se encontraba a 63,2% y 28,3% de estabilizarse a 350°C. Con estos tiempos se calculaban el tiempo muerto (T_d) y la constante de tiempo del proceso (T_s). Y una vez calculados estos, se obtuvieron los parámetros PID que se muestran en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Parámetros PID del controlador del horno

Tipo de control	Ganancia	$t_{integral}$ (min)	$t_{derivativo}$ (min)
P	0,069		
PI	0,063	26,4	
PID	0,083	16	4

Finalmente, se obtuvo un tiempo muerto elevado ($T_d=8$ minutos) y la temperatura que se alcanzaba era mucho mayor que la establecida en el set-point. Por lo tanto, se decidió cambiar tanto el horno como el controlador.

Con el segundo controlador, se determinaron los parámetros PID por autotunning. Esto consiste en programar el controlador en modo automático e insertar set-point de temperatura y velocidad de calentamiento deseados. Durante el proceso se miran los parámetros que está utilizando el controlador para alcanzar temperatura y a la velocidad de calentamiento deseada. Cuando se ha alcanzado el set-point se deja enfriar el reactor hasta la temperatura ambiente y se programa el controlador en el modo manual introduciendo los parámetros anteriores para

corroborar que estos parámetros funcionan. Se hicieron 3 pruebas, una para cada temperatura estudiada, corroborando que los parámetros obtenidos eran válidos para las tres temperaturas de estudio. Los parámetros PID que se obtuvieron se muestran en la *Tabla 3*.

Tabla 3. Parámetros PID

Banda Proporcional (BP)	86
Tiempo integral [s]	92
Tiempo derivativo [s]	553

3.2. Perfil de Temperaturas en el reactor

Antes de los experimentos, se estableció la zona del reactor en la que se minimizaban los perfiles longitudinales de temperatura, para colocar en dicha zona la muestra a pirolizar. Se midieron los perfiles de temperatura longitudinales a las 3 temperaturas finales de pirólisis (350°C, 550°C y 750°C). Una vez alcanzada la temperatura final, se colocó un termopar en el interior del reactor y se midió la temperatura cada centímetro a lo largo de todo el reactor (50 cm). Debe tenerse en cuenta que el reactor es más largo que el horno, y en los experimentos la parte inferior del reactor que sobresale del horno está rodeada por una resistencia, por lo tanto, en estas pruebas, esa zona se rodeó también con la resistencia y se midió en ella el perfil.

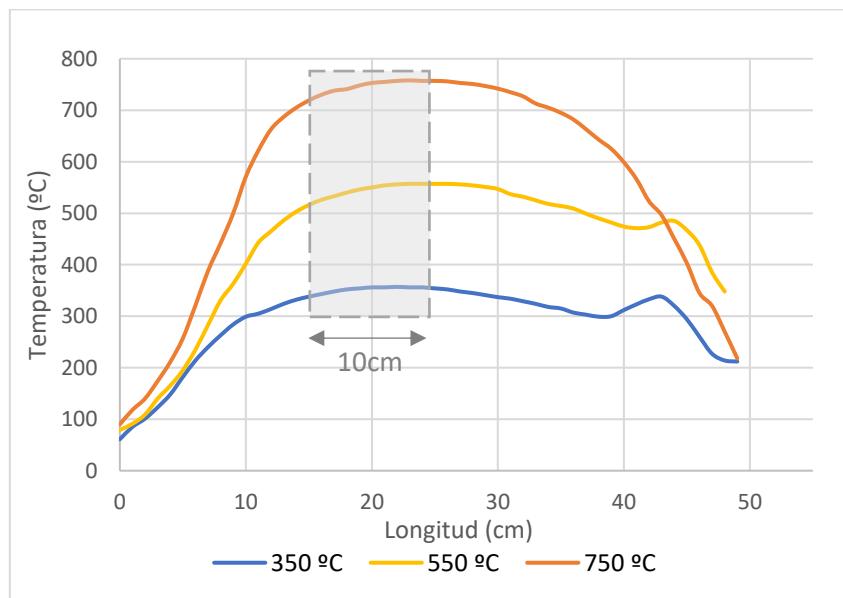


Figura 8. Perfil de temperaturas en el reactor

En la *Figura 8* se muestran los distintos perfiles de temperatura para cada temperatura estudiada. Como el horno mide 35 cm y el reactor mide 50 cm, este sobresale por la parte de

arriba y por la parte de abajo. $L=0$ cm es la parte superior del reactor, los primeros 10 cm no son relevantes para los experimentos.

En las mediciones a 350°C y 550°C se puede observar unos picos al final del reactor, esto es debido a la resistencia. La resistencia debe calentar a 300°C y en ambos casos sobrepasa ese valor. Esto se puede deber a que el termopar que está conectado al controlador de la resistencia está alejado de la resistencia y por lo tanto está tomando una temperatura más fría. Como el termopar está midiendo una temperatura más fría, el controlador emite más potencia a la resistencia y esta calentará a más temperatura.

En el centímetro 25 es donde se encuentra la placa distribuidora (a mitad del reactor). Con este perfil de temperaturas hay que analizar la longitud del reactor por encima de la placa en la que se minimice dicho perfil. Se concluyó que esa longitud es de 10 cm, en ella el perfil de temperatura es prácticamente plano y por lo tanto la degradación de la muestra será semejante para cualquier punto.

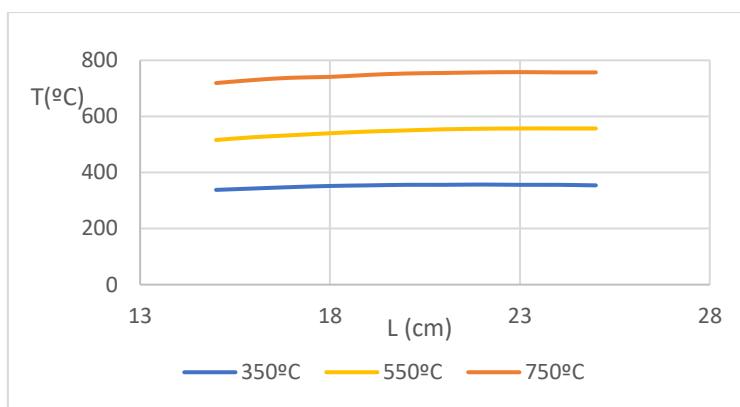


Figura 9. Ampliación del perfil de temperaturas del reactor donde estará situada la muestra

En la *Figura 9* se amplían los perfiles de temperatura en la zona donde estará situada la muestra, como se puede observar el perfil es casi plano.

3.3. Determinación de la capacidad del reactor

Para determinar la cantidad de muestra que se podía introducir en el reactor se tuvo en cuenta la longitud del reactor en la que no existen perfiles longitudinales de temperatura, tal y como se ha indicado en el apartado anterior, dicha longitud es 10 cm.

A partir de este dato, y el diámetro interno del reactor, 9 mm, se calcula el volumen que puede ocupar la muestra, $6,36 \text{ cm}^3$. Con ese volumen, y la densidad de lecho de cada material,

se determina la masa de cada compuesto que se introducirá en el reactor con la *Ec.1* Los datos se muestran en la *Tabla 4*.

$$\text{masa[g]} = \frac{\rho_{\text{lecho}} \left[\frac{\text{g}}{\text{mL}} \right]}{V_{\text{reactor sin perfil de temperatura}} \left[\text{cm}^3 \right]} \quad [\text{Ec.1}]$$

Tabla 4. Masa introducida en el reactor durante los procesos de pirólisis

Compuesto	Masa [g]
Colágeno	2,5
Harinas Cárnicas	3,5

3.4. Calibración del medidor de flujo

El nitrógeno que se introduce en el reactor está controlado con un medidor de flujo. Este tiene una válvula que permite elegir el caudal que el usuario desee. Sin embargo, el usuario elige la apertura de la válvula. Para conocer la relación de la apertura de la válvula y el flujo volumétrico, se realizó una recta de calibrado que se representa en la *Figura 10*.

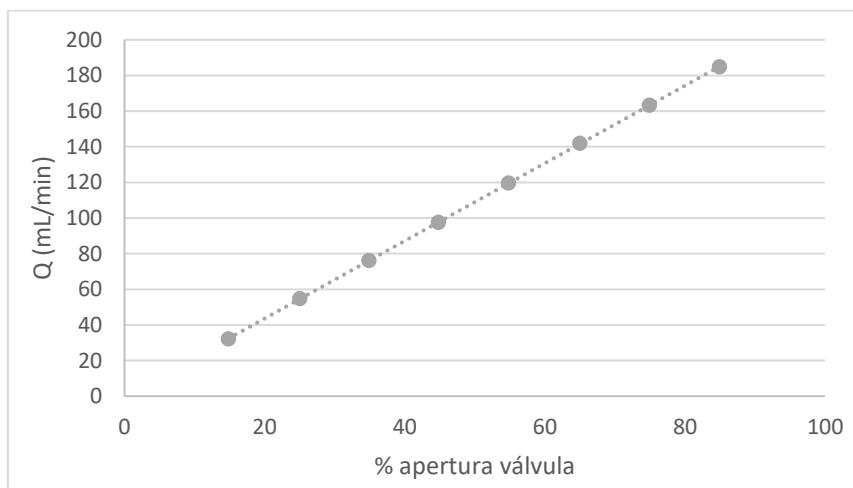


Figura 10. Calibrado del medidor de flujo de nitrógeno

Durante los experimentos se decidió usar un caudal pequeño, de unos 47 STP mL/min que equivalen a una apertura de válvula de 21%.



3.5. Calibración del gas patrón

Para poder analizar los gases en el cromatógrafo es necesario calibrarlo con un gas con una concentración parecida a los gases producidos durante la pirólisis. El gas patrón que se utilizó tenía la siguiente composición: C₂H₂ (0,2%), C₂H₆ (0,19%), H₂S (0,5%), CH₄ (4%), CO (10%), CO₂ (15%), C₂H₄ (1,5%), H₂ (9,99%), N₂ (41,4%).



Trabajo Fin de Grado

Estudio de la obtención de sólidos adsorbentes a partir de subproductos de origen animal y de la proteína de colágeno.

Study of the obtainment of adsorbent solids from by-products of animal origin and the collagen protein

Anexo I: Resultados de experimentos de pirólisis (4/4)

Autora

María Pilar Sancho Munarriz

Director/es

Gloria Gea Galindo

Joaquín Ruiz Palacín

Grado en Ingeniería Química

Noviembre 2020

Escuela de Ingeniería y Arquitectura



Índice Anexo III

1. Rendimiento a productos.....	3
2. Rendimiento a productos en base libre de cenizas	4
3. Análisis elemental del char de pirólisis	5



1. Rendimiento a productos

En las *Tablas 1 y 2* se muestran los valores de los rendimientos a productos de las harinas cárnicas y el colágeno a cada una de las temperaturas de pirólisis estudiadas.

Tabla 1. Rendimientos a productos en las pirólisis de harinas cárnicas

T ^a (°C)	ηChar (%)	ηLíquido (%)	ηGas (%)	ηTotal (%)
350°C	45,8 ± 0,4	43,52	5,3 ± 0,4	94,62
550°C	33,33	54,78	8,94	97,05
750°C	30 ± 1	52,6 ± 0,1	10,5 ± 0,5	93 ± 2

media ± desviación media

Tabla 2. Rendimientos a productos en las pirólisis de colágeno

T ^a (°C)	ηChar (%)	ηLíquido (%)	ηGas (%)	ηTotal (%)
350°C	58,9	33,0	3,93	95,80
550°C	22 ± 1	66 ± 1	8,9 ± 0,7	97,3 ± 1
750°C	19 ± 1	62 ± 4	12,11	95,0

media ± desviación media

Los valores de las *Tablas 1 y 2* se han calculado con la *Ec.1*

$$\eta_{producto,i} = \frac{masa_{producto,i}}{masa\ muestra} \cdot 100 \quad [Ec. 1]$$

Donde:

$\eta_{producto,i}$: es el rendimiento mísico del producto i

$masa_{producto,i}$: es la cantidad de dicho producto obtenido en un experimento

$masa\ muestra$: es la cantidad de muestra introducida en el reactor



2. Rendimiento a productos en base libre de cenizas

En las *Tablas 3 y 4* se muestran los valores de los rendimientos a productos en base libre de cenizas de las harinas cárnicas y colágeno para cada temperaturas de pirólisis estudiada.

Tabla 3. Rendimientos a productos en base libre de cenizas en las pirólisis de harinas cárnicas

T ^a (ºC)	ηChar (%)	ηLíquido (%)	ηGas (%)	ηTotal (%)
350ºC	35,1 ± 0,5	52,11	6,3 ± 0,4	93,54
550ºC	20,12	65,61	10,71	96,44
750ºC	16 ± 1	63 ± 0,1	12,6 ± 0,7	92 ± 2

media ± desviación media

Tabla 4. Rendimientos a productos en base libre de cenizas en las pirólisis de colágeno

T ^a (ºC)	ηChar (%)	ηLíquido (%)	ηGas (%)	ηTotal (%)
350ºC	58,9	33,0	3,93	95,80
550ºC	22 ± 1	66 ± 1	8,9 ± 0,7	97,3 ± 1
750ºC	19 ± 1	62 ± 4	12,11	95,0

media ± desviación media

Los valores de las *Tablas 3 y 4* se han calculado con las *Ec.3 y Ec.4*. La *Ec.3* se utiliza para calcular los rendimientos a productos en base libre de cenizas del líquido y gases y la *Ec.4* para calcular los rendimientos a productos en base libre de cenizas del sólido.

$$\eta_{\text{producto libre cenizas},i} = \frac{\text{masa}_{\text{producto},i}}{\text{masa muestra}_{\text{sin cenizas}}} \cdot 100 \quad [\text{Ec. 3}]$$

$$\eta_{\text{producto libre cenizas},i} = \frac{\text{masa}_{\text{sólido sin ceniza}}}{\text{masa muestra}_{\text{sin cenizas}}} \cdot 100 \quad [\text{Ec. 4}]$$

Donde:

$\eta_{\text{producto libre cenizas},i}$: es el rendimiento másico del producto *i* en base libre de cenizas

$\text{masa}_{\text{producto},i}$: es la cantidad de dicho producto obtenido en un experimento

$\text{masa muestra}_{\text{sin cenizas}}$: es la cantidad de la muestra introducida en el reactor en base libre de cenizas

$\text{masa}_{\text{sólido sin ceniza}}$: es la cantidad de char obtenido en un experimento en base libre de cenizas



3. Análisis elemental del char de pirólisis

En las *Tablas 5 y 6* se muestran los resultados numéricos del análisis elemental del char obtenido en las pirólisis de harinas cárnicas y colágeno, además, se compara con el análisis elemental de la materia prima. Los porcentajes están referidos a la masa del elemento.

Tabla 5. Análisis elemental de los char's de harinas cárnicas

	% N	% C	% H	%cenizas	% O
Harinas cárnicas	10,7 ± 0,4	46,07 ± 0,06	7,1 ± 0,2	16,5 ± 0,2	18,8 ± 0,5
350°C	8,4 ± 0,4	41 ± 1	3,7 ± 0,3	36,1 ± 0,3	11 ± 2
550°C	6,5 ± 0,1	39,0 ± 0,9	1,5 ± 0,2	49,59	3,4 ± 0,9
750°C	4,9 ± 0,1	36,4 ± 0,6	0,7 ± 0,1	55 ± 2	3,3 ± 0,6

media ± desviación media

Tabla 6. Análisis elemental de los char's de colágeno

	% N	% C	% H	% cenizas	% O
Colágeno	16,9 ± 0,5	44,2 ± 2	6,8 ± 0,2	1,1 ± 0,1	30,4 ± 1,6
350°C	14,6 ± 0,2	56,7 ± 0,7	4,50 ± 0,05	1,8	22,4 ± 0,7
550°C	13,98 ± 0,05	65 ± 1	2,6 ± 0,2	4,7 ± 0,3	14 ± 1
750°C	10,5 ± 0,5	61 ± 3	1,2 ± 0,1	5,4 ± 0,3	22 ± 3

media ± desviación media