



Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

Curso académico 2023/2024

Trabajo de Fin de Grado

Modelización de la gasificación de residuos para la producción de
gas de síntesis

Lucía González-Bringas Lovera



GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA
Trabajo de Fin de Grado

El presente trabajo, titulado “Modelización de la gasificación de residuos para la producción de gas de síntesis”, constituye la memoria correspondiente a la asignatura Trabajo de Fin de Grado que presenta D.^a Lucía González-Bringas Lovera como parte de su formación para aspirar al título de Graduado en Ingeniería Química. Este trabajo ha sido realizado en IMDEA Energía, en la Unidad de Análisis de Sistemas.

Móstoles, 29 de Febrero de 2024

Contenido

1. Resumen	1
2. Introducción	2
2.1 Definición de gasificación	3
2.2 Productos obtenidos en la gasificación	3
2.3 Tecnologías de gasificación	4
2.4 Proceso de Fischer-Tropsch ¹³	6
2.5 Cambio climático, el uso de energías y agenda 2030.....	6
3. Objetivos.....	8
4. Solución técnica.....	8
4.1 Selección de la biomasa ¹⁸	9
4.2 Modelización en Aspen	12
4.3 Relación H-C	17
4.4 Resultados	19
4.5 Cálculo de eficiencias	24
4.6 Discusión de resultados	28
5. Conclusiones	32
6. Bibliografía.....	33
7. Anexos	35
7.1 Tablas composición de la Biomasa	35
7.2 Tablas análisis de sensibilidad	38
7.3 Tablas comparativa de resultados para cada tecnología	91



1. Resumen

Actualmente los recursos energéticos de los que se disponen y explotan principalmente, son los combustibles fósiles, los cuales son responsables en gran medida del calentamiento global. En los últimos años se ha incrementado la investigación de recursos energéticos como la utilización de hidrógeno en pilas de combustible, energías renovables, energía nuclear, etc. En este trabajo se investiga la producción de gas de síntesis a través de la gasificación de biomasa.

El objetivo de este trabajo es el desarrollo de modelos de simulación de diferentes reactores empleados en la gasificación diferenciando tres tecnologías: lecho móvil, lecho fluidizado y gasificadores duales. Estos modelos son importantes para, dependiendo del tipo de biomasa utilizada, optimizar y maximizar el rendimiento energético en función de dicha biomasa y las condiciones de operación. Se ha empleado Aspen Plus para la simulación de los procesos y el cálculo de los resultados obtenidos.

El análisis es un estudio teórico para el que se emplean diferentes biomásas con el propósito de obtener un syngas con una relación H_2/CO de 2,2 la cual se considera óptima para el proceso Fischer-Tropsch con el que obtener combustibles sintéticos, a una misma temperatura (de $850^\circ C$) y poder realizar una comparativa de la manera más adecuada posible.

Finalmente, tras la elaboración de todas las simulaciones y de la obtención de resultados, se analiza con cuál de ellas se obtienen mejores resultados bajo las mismas condiciones (o lo más parecidas en caso de que por disposición no se pueda ajustar a lo deseado). Así, para todas las biomásas seleccionadas para el estudio, la más adecuada, debido a su alta eficiencia, es la tecnología de lecho móvil ascendente con aporte indirecto de oxígeno y la de lecho fluidizado dual.

2. Introducción

Debido al crecimiento de la población mundial, en los últimos años la demanda de energía ha crecido exponencialmente¹ tal y como se muestra en la Figura 1, teniendo como principal problema el gasto de recursos primarios como el petróleo y el carbón, que son los principales causantes del calentamiento global. Esta elevada demanda ha obligado a los diferentes organismos a investigar diferentes fuentes de energía alternativas, las cuales se intentan que sean lo más limpias y rentables posibles, intentando optimizar al máximo cualquier recurso y fuente de energía.

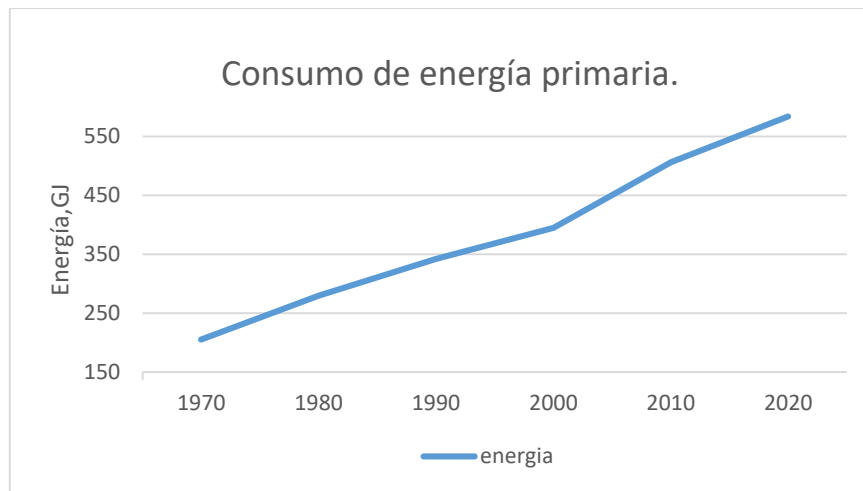


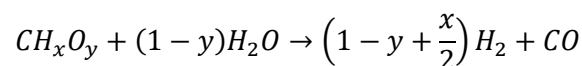
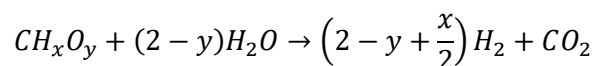
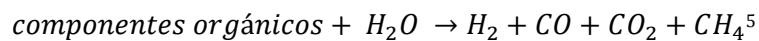
Figura 1: Consumo de energía mundial 1970-2019

La gasificación de biomasa es una tecnología de gran interés debido a su potencial para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, la biomasa es una fuente de energía renovable y abundante que puede ser producida localmente, lo que la convierte en una alternativa sostenible y viable para la generación de energía y la producción de productos químicos. La gasificación es una tecnología de conversión de materia orgánica en un gas combustible a través de una reacción química con un agente gasificante, como el vapor de agua, el oxígeno o una mezcla de ambos. Este gas combustible se conoce como gas de síntesis o gas de gasificación, y puede ser utilizado como combustible en motores de combustión interna, turbinas de gas, calderas de calefacción o como materia prima para la síntesis de productos químicos.

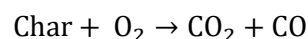
Existen diferentes tecnologías para gasificar biomasa, como la gasificación en lecho móvil, la gasificación en lecho fluidizado, la gasificación de doble etapa y la gasificación con plasma. Cada tecnología tiene sus propias ventajas y limitaciones en términos de eficiencia energética, calidad del gas de síntesis, complejidad del proceso, requisitos de materia prima y costos de inversión y operación.

2.1 Definición de gasificación

Se puede definir la gasificación^{2,3} de biomasa como un proceso de descomposición a alta temperatura de la biomasa en presencia de un agente de gasificación, como vapor, aire u oxígeno, en productos gaseosos que pueden utilizarse en el sector energético y en el químico⁴. El proceso de gasificar, consiste en producir combustibles gaseosos por reacción entre materiales sólidos de normalmente un bajo poder energético y un gas. Según otros estudios, la gasificación se trata de un proceso en el que un material sólido, cuya mayor composición está constituida por carbono, como el carbón o la biomasa, se convierte en un gas de interés. Es un proceso termoquímico, lo que significa que la materia prima se calienta a altas temperaturas, produciendo gases que pueden sufrir reacciones químicas para formar un gas de síntesis. Para que la gasificación tenga lugar es necesario un agente gasificante, siendo los más empleados, el vapor de agua, el aire o el O₂ y en ocasiones mezcla de ambos. Las principales reacciones que se dan en la gasificación son:



Estas reacciones son las que se dan principalmente cuando el agente de gasificación es el vapor de agua, cuando también se aporta oxígeno como agente de gasificación, las producciones de CO y CO₂ aumenta de manera que se eliminan los alquitranes y asfaltos que se forman durante la reacción⁴:



2.2 Productos obtenidos en la gasificación

La gasificación es un proceso por el cual se obtienen diferentes productos de interés. La conversión de biomasa pasa de una fase líquida/sólida, a una fase de vapor o gas donde el principal producto es, como se ha mencionado anteriormente, el gas de síntesis o syngas, que se trata de una mezcla de gases de H₂ y CO, acompañados de CO₂, y CH₄ aunque debido a la naturaleza de la composición elemental de la biomasa se forman unos subproductos como NH₃, NO_x, SO₂ y H₂S.

2.3 Tecnologías de gasificación

Dentro del proceso de gasificación, existen diferentes tecnologías en función del flujo de biomasa, el flujo de agente gasificante o de syngas, y de la configuración del lecho de biomasa (móvil, fluidizado, o de arrastre). Se van a estudiar diferentes disposiciones tal y como se muestran en las siguientes figuras:

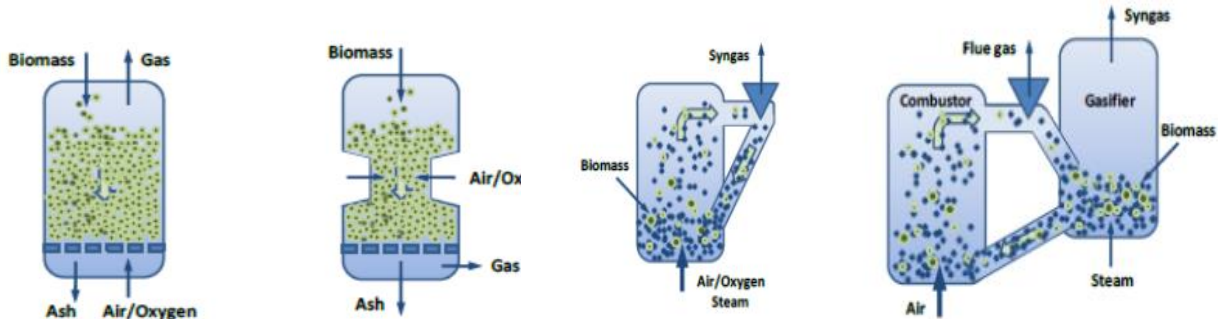


Figura 2: Lecho móvil con flujo

Figura 3: Lecho móvil con flujo descendente

Figura 4: Lecho fluidizado

Figura 5: Lecho dual fluidizado

- Figura 2: Tecnología de lecho móvil con flujo de gas ascendente
- Figura 3: Tecnología de lecho móvil con flujo de gas descendente
- Figura 4: Tecnología de lecho fluidizado
- Figura 5: Tecnología de lecho fluidizado dual

Lecho móvil con flujo ascendente^{6, 7, 8}

Tal y como se muestra en la Figura 2, esta tecnología es de las más simples ya que la biomasa entra por la parte superior y el agente gasificador (vapor/oxígeno), entra por la parte baja del reactor, haciendo que las corrientes entrantes se muevan en direcciones opuestas. Parte de los productos carbonizados que se generan en el proceso de gasificación, se queman para proporcionar calor. El gas rico en metano y alquitrán sale por la parte superior del gasificador, mientras que la ceniza que se crea en el proceso cae a través de una rejilla para su posterior recogida en la parte inferior del gasificador.

Una de las ventajas más destacables de este gasificador, es que presenta una eficiencia térmica más elevada, lo que lo convierte en un modelo adecuado para una gasificación directa, es decir, con aporte directo de oxígeno, además se trata de un equipo de fácil construcción.

La mayor desventaja que presenta el uso de esta tecnología es la producción de alquitranes durante el proceso de pirolisis, por lo que el proceso de limpieza puede volverse complicado y costoso. Este tipo de tecnología se ha empleado en plantas de baja potencia, es decir, para aquellas que producen menos de 1 MW⁹

Lecho móvil con flujo descendente^{6, 7, 8}

En este caso la biomasa se introduce por la parte superior del gasificador (como en el caso anterior), tal y como se muestra en la Figura 3, mientras que el agente gasificador (vapor/oxígeno) también se introduce por la parte superior o por los laterales, de tal modo que ambas corrientes se mueven en la misma dirección. Parte de la biomasa se quema, cayendo a través de la garganta del gasificador para formar un lecho caliente por la que tienen que pasar los gases (zona de reacción). Esto asegura un syngas de bastante calidad, que sale por la base del reactor.

Este tipo de tecnología se caracteriza por conseguir unas corrientes de productos prácticamente libres de alquitranes, lo cual lo convierte en su principal ventaja, y con una elevada conversión del carbono. Al contrario que el ejemplo anterior, la temperatura de salida suele ser elevada debido a que la corriente de salida pasa por la zona de oxidación antes de salir del reactor. El mayor inconveniente de este reactor es que no es apto para trabajar con sólidos con una humedad elevada. Este tipo de tecnologías se ha empleado en plantas de baja potencia⁹ (<1MW).

Lecho fluidizado burbujeante (BFB)¹⁰

Para esta tecnología, la biomasa es introducida en el gasificador por su tercio inferior de manera que se vierte sobre el lecho¹¹. En el fondo del gasificador (Figura 4), se encuentra un lecho de material inerte fino (suele ser de olivino). Los gases de gasificación se introducen por la parte inferior a través del lecho con la suficiente rapidez (1-3 m/s) para agitar el material de tal modo que parece que se encuentra en ebullición, formando un gas de síntesis que sale por la parte superior. Funciona a temperaturas inferiores a 900°C, para evitar que las cenizas se fundan parcialmente y generen problemas de operación. Se puede presurizar a altas presiones (10 bar). Se utiliza en aplicaciones de potencia inferior a 25MW.

Lecho fluidizado circulante (CFB)¹⁰

Ocurre igual que con el lecho burbujeante (BFB) pero con la diferencia de que parte del lecho es arrastrado con el gas de síntesis por la parte superior. El aire fluye a la suficiente rapidez (5-10 m/s que son velocidades superiores al BFB) como para suspender el material en todo el gasificador. La mezcla de syngas y partículas se separa mediante un ciclón que hace que las partículas del lecho vuelvan a este por la parte inferior del gasificador. Las condiciones del propio gasificador favorecen el contacto sólido-gas y una mejor distribución de las temperaturas respecto al BFB, se obtienen mayores conversiones que en los reactores de lecho móvil. Al tener una temperatura uniforme en todo el lecho, la gasificación se produce de manera uniforme, mejorando de ese modo la calidad de los gases generados. Se aplica en plantas con una capacidad de hasta 60MW.



Lecho fluidizado dual (Dual FB)¹²

Este sistema tiene dos cámaras como muestra la Figura 5: un gasificador y una cámara de combustión. La biomasa se introduce en la cámara de gasificación CFB, donde se alimenta el vapor de agua, y se convierte en gas de síntesis, char y coque. El coque se adhiere a las partículas del lecho de olivino, lo que provoca su desfluidización y que caigan a la cámara de combustión, donde se quema con aire, calentando las partículas.

Este material caliente del lecho se devuelve a la cámara de gasificación, proporcionando el calor de reacción. Funciona a temperaturas inferiores a 900°C, para evitar que la fusión parcial de cenizas y su depósito entorpezcan la operación.

Este tipo de reactores pueden ser presurizados, lo que en ciertas ocasiones puede considerarse como una ventaja en función de las presiones de operación de las siguientes etapas del proceso. Estos reactores se caracterizan por tener un funcionamiento eficaz y además producen un gas de síntesis muy limpio.

2.4 Proceso de Fischer-Tropsch¹³

Para poder desarrollar este trabajo, es necesario comprender en que consiste el proceso de Fischer-Tropsch. Se trata de un proceso catalítico que convierte el gas de síntesis en parafinas y olefinas. Los catalizadores empleados son de cobalto, hierro o níquel. Estos catalizadores tienen unas particularidades concretas que hacen que sea necesario una explicación más detallada.

Los catalizadores de cobalto son excelentes para convertir mezclas Co/H_2 en hidrocarburos, principalmente, aquellos de cadena lineal con alquenos isoméricos, mientras que los catalizadores de hierro presentan dificultades en su uso debido a la oxidación y deposición de carbono, lo que provoca una producción de mezclas complejas.

2.5 Cambio climático, el uso de energías y agenda 2030

Para terminar de crear una buena visión general del trabajo, es necesario remarcar el porqué es importante hablar sobre el cambio climático y la importancia del desarrollo de nuevas fuentes de energía. Desde tiempos pasados, la humanidad ha empleado diversas fuentes de energía, principalmente el carbón y los combustibles fósiles, los cuales son altamente contaminantes y perjudiciales tanto para la salud como para el medio ambiente.

El uso de combustibles fósiles supone el 80%¹⁴ de la demanda actual de energía primaria a nivel mundial pero esta clase de recursos son finitos y la sociedad cada vez demanda más cantidad de energía. Este aumento de la demanda y el uso excesivo de petróleo y carbón ha favorecido el aumento de temperatura

de la superficie terrestre, provocando la desaparición de los polos y el cambio de flora y fauna de muchos ecosistemas y la desaparición de la capa de ozono terrestre la cual es fundamental para proteger a los seres vivos de la radiación solar. Por todo ello es que surge la necesidad de buscar fuentes de energía diversas y limpias, como en este caso la gasificación.

En el año 2015, los 193 países miembro de la ONU firmaron la Agenda 2030¹⁵ para el desarrollo sostenible con un total de 17 objetivos y 169 metas que se deben cumplir para el año 2030. De acuerdo a este trabajo y dada la finalidad del mismo, se podría afirmar que la gasificación cumple con un total de 4 objetivos.



Figura 6: Objetivo 7 Agenda 2030

Este objetivo se cumple puesto que la gasificación se trata de un proceso limpio de energía ya que usa en su gran mayoría desechos orgánicos que inicialmente no tienen ninguna utilidad y le da una vida útil.



Figura 7: Objetivo 9 Agenda 2030

Debido a que la gasificación es un proceso industrial esta podría ser una muy buena manera de innovar las instalaciones y de crear una fuente alternativa de energía dentro de las propias industrias y de ese modo utilizar menos cantidad de energía procedente de combustibles fósiles.



Figura 8: Objetivo 12 Agenda 2030

Como la gasificación es una fuente limpia de energía garantiza una producción sostenible de energía.



Figura 9: Objetivo 13 Agenda 2030

Por último, como se está favoreciendo una energía limpia, si se llega a implementar en la industria, mitigaría parte de las emisiones de CO₂ y sería una ayuda para evitar el cambio climático.



Teniendo en cuenta todo lo introducido, en este trabajo fin de grado se procede a realizar una comparación entre las diferentes tecnologías.

3. Objetivos

El presente trabajo de fin de grado tiene como objetivo, el desarrollo y estudio de los modelos de simulación de tecnologías de gasificación para la producción de gas de síntesis apto para su aplicación energética. Por ello, se ha desarrollado un proceso de gasificación para poder alcanzar una razón H_2/CO adecuada para aplicar el proceso de Fischer-Tropsch. Por lo tanto, se han considerado diferentes alimentaciones de biomasa, como los desechos agroforestales (mezclados de cultivos, madera y maíz) y residuos como lodos de depuradora, con una composición elemental prefijada. Las tecnologías a estudiar se basan principalmente en el uso de reactores de lecho móvil, lecho fluidizado y lecho fluidizado con arrastre. Con el estudio de estos casos y sus derivados, se proponen un total de 4 tecnologías para las cuales se analizan la eficiencia energética y la composición del gas de síntesis que se aplica en las diferentes tecnologías.

Para poder realizar una mejor comparación, se trabaja con unas condiciones iniciales de operación en las cuales se fija la composición del alimento y especificaciones de operación iniciales como la temperatura, la presión y se marca como objetivo la razón H_2/CO más adecuada, para poder aplicar el proceso de Fischer-Tropsch y optimizar la relación de caudal agente gasificante/biomasa. La capacidad de realizar este estudio se basa en conocer el funcionamiento de los distintos tipos de reactores y de qué manera se implementan en un modelo de simulación, de ese modo poder estudiar su influencia en la composición del gas de síntesis. Para este trabajo se considera una relación H_2/CO entre 1-3, siendo 2,2 la más deseada de obtener, a partir de temperaturas de gasificación superiores a los $700^\circ C$ para evitar impedimentos cinéticos notables.

Finalmente, para sacar conclusiones sobre el estudio es necesario comparar cómo afectan diferentes condiciones como la humedad inicial de la biomasa a la eficiencia del proceso, de ese modo, ser capaces de detectar qué condiciones son las más adecuadas para optimizar el proceso al máximo.

4. Solución técnica

En este apartado se propone el diseño de modelos de simulación de las diferentes tecnologías empleadas para el proceso de gasificación de biomasa, así como su implementación en el programa de simulación Aspen Plus. Para ello, se explica, en primer lugar, la selección de la biomasa a emplear en el proceso, los tipos de reactores a estudiar y cómo se ha llevado a cabo la modelización, para realizar finalmente



un análisis de eficiencia energética del proceso y poder hacer una comparativa entre las tecnologías para poder escoger la más óptima.

Se realiza el estudio de 4 tecnologías diferentes a través de la propuesta de modelos de simulación de cada una de estas. Se han realizado también dos estudios con aporte de diferentes agentes de gasificación, con oxígeno y con oxígeno + vapor de agua¹⁶ para alguna de las opciones. El aporte directo de oxígeno permite una combustión parcial de la biomasa, pero también se fomenta la formación de sustancias indeseadas como el char, que es el residuo carbonoso, a la vez que el gas de síntesis. Por ello, no se realiza un único aporte de oxígeno sino que se mezcla con vapor de agua. Por otro lado, el aporte de vapor de agua produce un gas de síntesis con mayor contenido de hidrógeno y monóxido de carbono. Cabe destacar que, para que un agente gasificante sea efectivo, este debe estar a altas temperaturas (mayores de 500°C) para favorecer la gasificación. ^{17,18}

4.1 Selección de la biomasa¹⁹

Para poder llevar a cabo este proceso es necesario aportar biomasa como materia prima. Se considera, según la *Directiva 2018/2001*, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables²⁰, la definición de biomasa como la fracción biodegradable de los productos, residuos y desechos de origen biológico procedentes de actividades agrarias, incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal, de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción biodegradable de los residuos, incluidos los residuos industriales y municipales de origen biológico.

Relativo a la gasificación, no existe un tipo de biomasa específico que se deba emplear, si bien se busca que tenga una buena composición elemental, con un alto contenido en carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O) y un bajo contenido de nitrógeno (N) y azufre (S) para conseguir la menor formación posible de productos secundarios o contaminantes como NH₃, NO_x o H₂S. Además, también se buscan fuentes de biomasa que tengan un porcentaje de humedad bajo para evitar el gasto energético en su secado, por lo que se han elegido biomásas con un grado de humedad inferior al 12%. Con ese fin, se han elegido 4 tipos diferentes de biomasa con las cuales realizar el análisis comparativo:

- desechos de cultivo de la Comunidad de Madrid
- desechos de madera
- desechos de maíz
- lodo seco de una depuradora de aguas residuales.

Para la biomasa obtenida de los desechos de cultivos de la Comunidad de Madrid, se realizaron cálculos para determinar su composición elemental, según se muestra a continuación en el punto 4.1.1. Por otro lado, la composición del resto de biomásas (madera, maíz y lodo) se ha tomado de la base de datos Phyllis²¹, donde ya salen expuestos todos los datos para definir el compuesto de biomasa en Aspen con las propiedades deseadas.

4.1.1 Composición elemental de la biomasa de desechos de cultivo de la Comunidad de Madrid.

Para cada una de las fracciones residuales agrarias de la Comunidad de Madrid como pueden ser de los cultivos de cebada, vid u olivo, se ha realizado el balance elemental para carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre, normalizada al 100% para estos cinco elementos.

Los cálculos realizados para la obtención de la biomasa final se muestran en el Apéndice 1, obteniéndose la composición final media recogida en la Tabla 1:

Tabla 1: Composición elemental cosecha.

	%
% C	48,27
% H	6,38
% O	42,81
% N	2,01
% S	0,53

Además del análisis de la composición elemental, también conocido como análisis último, es necesario proporcionar el análisis próximo o inmediato, que se utiliza en los modelos de Aspen Plus para la caracterización de sólidos combustibles, como el carbón, y que también se extiende a la utilización de biomasa. Los parámetros característicos son:

- Cenizas, que es el residuo no combustible de la combustión del sólido.
- Materia volátil, que es el desprendimiento gaseoso de la materia orgánica e inorgánica cuando se somete a un ensayo de termogravimetría a una temperatura elevada
- Carbono fijo, que representa la parte no volátil del carbón y que se determina por diferencia con la materia volátil y las cenizas.

En la Tabla 2 se muestra el análisis próximo el residuo agrícola promedio de la Comunidad de Madrid.

Tabla 2: Valores análisis próximo cosecha.

	Valor
Humedad	10,95
Carbón fijo (base seca)	17,2
Materia volátil (base seca)	79,6
Ceniza (base seca)	3,2

4.1.2 Selección de biomasa de maíz, madera y lodo

En el caso de estas tres biomásas, se ha seguido una serie de criterios como la humedad de la biomasa y la composición elemental a la hora de elegir las. Se ha limitado la selección de biomásas a aquellas que no superaran un máximo 12 % de humedad para evitar un exceso a la hora de gasificar, ya que, como se verá más adelante, cuanto más humedad haya en la biomasa menor será la eficiencia del proceso. A continuación se muestran las tablas con los datos para la biomasa de madera, maíz y lodo obtenidos de la base de datos de Phyllis²¹.

Tabla 3: Valores de composición y análisis próximo para madera, maíz y lodo.

		Madera	Maíz	Lodo Seco
Propiedades	Unidades	Húmedo		
Análisis aproximado				
Humedad	wt%	4,80	6,06	3,00
Contenido en cenizas	wt%	1,22	5,06	43,80
Materia volátil	wt%	85,07	80,86	48,90
Carbón fijo	wt%	13,71	14,08	7,30
Análisis de macroelementos				
Carbón	wt%	49,42	46,82	31,20
Hidrógeno	wt%	6,00	5,74	4,40
Oxígeno	wt%	43,07	41,36	16,20
Nitrógeno	wt%	0,23	0,66	3,10
Azufre	wt%	0,05	0,11	1,10

Total	wt%	100,00	100,00	100,00
Haluros				
Cloruros (mg/kg)		100,00	2661,27	2000,00
Valor calorífico				
Valor calorífico inferior	MJ/kg	18,19	16,85	
Valor calorífico superior	MJ/kg	19,50	18,10	
HHV	MJ/kg	19,57	18,44	13,84

4.2 Modelización en Aspen

Una vez recopilados los datos de composición se construyeron los modelos de simulación de Aspen Plus. Se ha desarrollado un total de seis modelos tecnológicos por cada una de las biomásas estudiadas siendo estos:

- Lecho móvil ascendente (directo e indirecto)
- Lecho móvil descendente
- Lecho fluidizado burbujeante (directo e indirecto)
- Lecho fluidizado dual

La diferencia entre directo e indirecto es el aporte de calor: en el modo denominado “directo” se aporta oxígeno que provoca la combustión del char y parte de la biomasa; el modo “indirecto” implica el calentamiento a través de pared. En cada tecnología, el agente de gasificación es vapor de agua.

En el caso de las seis simulaciones, el primer paso fue definir los componentes involucrados en el proceso (Tabla 4). La biomasa y la ceniza se definen como componentes no convencionales ya que no se encuentran en la base de datos y su modelado se realiza a través de sus análisis próximo y último. El resto de componentes son convencionales y ya se encuentran en la base de datos de Aspen Plus.

Tabla 4: Componentes introducidos en Aspen Plus.

Componente	Tipo de componente	Nombre	Alias
H ₂ O	Convencional	Agua	H ₂ O
CO ₂	Convencional	Dióxido de carbono	CO ₂
O ₂	Convencional	Oxígeno	O ₂
H ₂	Convencional	Hidrógeno	H ₂
CH ₄	Convencional	Metano	CH ₄
C	Convencional	Grafito-Carbono	C
S	Convencional	Azufre	S

CO	Convencional	Monóxido de carbono	CO
N ₂	Convencional	Nitrógeno	N ₂
H ₂ S	Convencional	Ácido sulfhídrico	H ₂ S
SO ₂	Convencional	Dióxido de azufre	SO ₂
NO	Convencional	Óxido de nitrógeno	NO
NO ₂	Convencional	Dióxido de nitrógeno	NO ₂
BIOMASA	No-Convencional		BIOMASA
ASH	No-Convencional		ASH
NH ₃	Convencional	Amoniaco	H ₃ N

El modelo termodinámico de Aspen Plus más adecuado es Peng-Robinson, una ecuación de estado cúbica utilizada para modelar mezclas de gases a alta temperatura, según recomendación del propio programa. Esta ecuación tiene en cuenta las interacciones moleculares entre los componentes de la mezcla, lo que permite una mejor predicción de las propiedades termodinámicas de las sustancias en condiciones no ideales. Además, la ecuación también tiene en cuenta la forma molecular y la polaridad de los componentes de la mezcla.

Los distintos bloques empleados principalmente para los modelos de simulación son los siguientes:

- **RYield**: El bloque RYield (Reactant Yield), se utiliza comúnmente en procesos de producción de petróleo y gas, así como en procesos químicos y petroquímicos. El bloque RYield se utiliza para calcular la cantidad de producto generado a partir de un conjunto de reacciones químicas, teniendo en cuenta la estequiometría de las reacciones, las condiciones de operación y las propiedades termodinámicas de los componentes. El bloque también puede tener en cuenta la conversión de reactantes, así como la separación y purificación de productos. El bloque RYield es uno de los modelos de Aspen Plus que se utilizan para la simulación de procesos químicos complejos debido a su simplicidad o a la facilidad de su adaptación de datos experimentales.
- **RGibbs**: El bloque RGIBBS (Reaction Gibbs Free Energy) en Aspen Plus es un modelo de simulación utilizado para modelar el equilibrio termodinámico de reacciones químicas en un proceso. En particular, el bloque RGibbs minimiza la energía de Gibbs a presión y temperaturas constantes para calcular las condiciones de equilibrio termodinámico de un conjunto de

componentes, así como en sus posibles componentes potenciales sin necesidad de modelar las reacciones que pueden ocurrir en el reactor.

Para finalizar, se han empleado otros bloques de Aspen Plus para mejorar la modelización de cada tecnología, como puede ser el separador o el divisor de corrientes, tanto de materia como de energía.

4.2.1 Lecho móvil ascendente indirecto y directo

El lecho móvil ascendente se modela únicamente con un bloque RYield y un bloque RGibbs (ver Figura 6 y Figura 7).

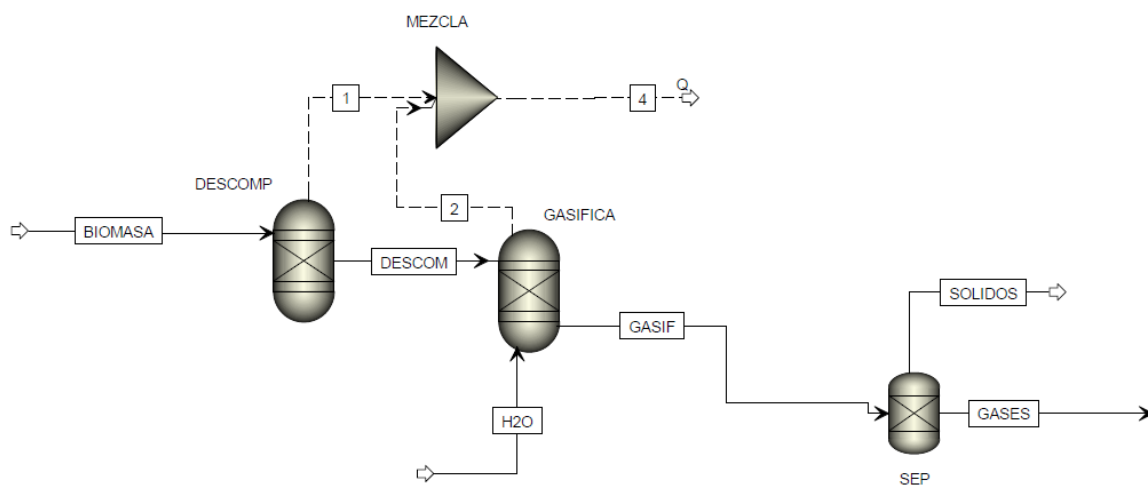


Figura 10: Configuración lecho móvil ascendente con aporte indirecto de O₂ en Aspen Plus.

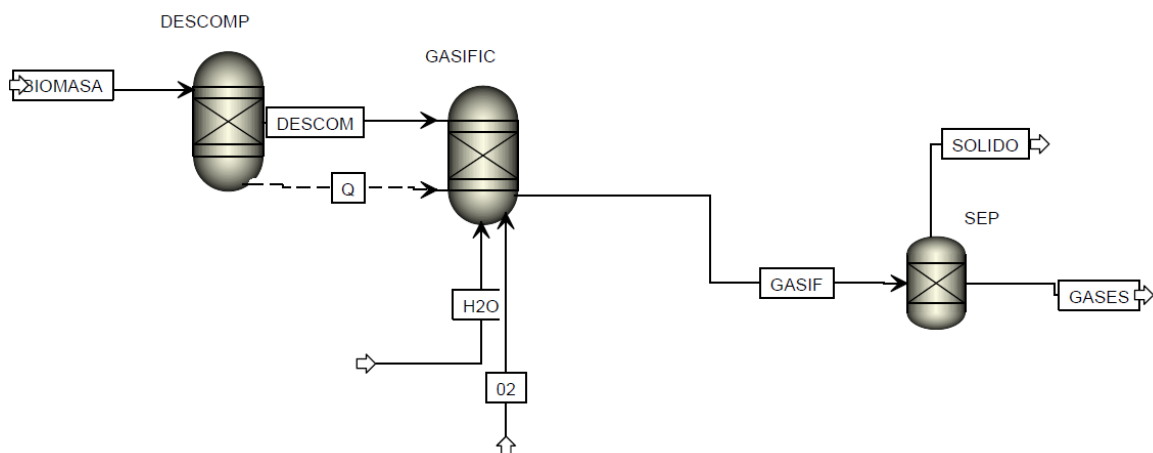


Figura 11: Configuración lecho móvil descendente con aporte directo de O₂ en Aspen Plus.

En ambas simulaciones, se introduce la biomasa en el bloque RYield (DESCOM), que transforma la biomasa en una mezcla de componentes elementales convencionales (C, H, O, etc.) para poder calcular el equilibrio termodinámico de gasificación en el reactor RGibbs (GASIFIC). En el caso del directo, el aporte de calor se realiza a través de la propia combustión parcial de biomasa, por lo que se introduce oxígeno en el gasificador, de tal forma que el balance térmico sea nulo. En el caso indirecto, se calcula el flujo de calor neto del proceso (líneas discontinuas en la Figura 6).

4.2.2 Lecho móvil descendente

Para este modelo se emplean bloques RGibbs y RYield además de mezcladores (de energía), divisores (de materia) y separadores. (Ver Figura 8)

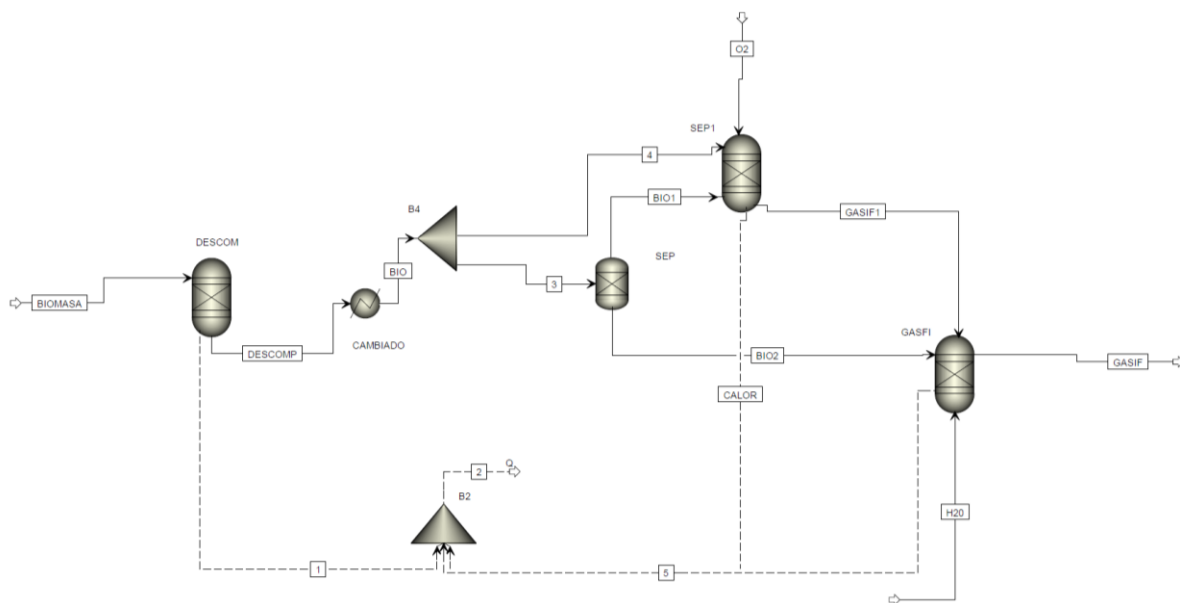


Figura 12: Configuración lecho móvil descendente en Aspen Plus.

Esta tecnología comienza de la misma manera que el modelo anterior y se introduce la corriente de biomasa en el bloque RYield (DESCOM) para su descomposición elemental. Después, se divide la corriente de biomasa en dos corrientes. La primera de las corrientes va a un separador (SEP) donde con la ayuda de un calculator, se separan los volátiles del carbón fijo. Esta corriente de carbón fijo junto con la primera corriente obtenida en el divisor, van a parar a un bloque RGibbs (SEP1) donde se realiza una combustión parcial del carbono a más de 1000°C, la cantidad de biomasa separada para el reactor de combustión depende del calor necesario en la reacción de gasificación. En Aspen Plus, esto se realiza mediante una especificación de diseño que calcula la ratio del divisor de corrientes de la temperatura de gasificación. La corriente resultante junto con la corriente de volátiles obtenida en el separador se introduce en otro bloque RGibbs (GASFI) para calcular los productos de la gasificación empleando vapor de agua como agente gasificante lo que produce una corriente final de gas de síntesis.

4.2.3 Lecho fluidizado burbujeante indirecto y directo

Para la modelización de esta tecnología (ver Figura 9 y Figura 10), se utiliza el modelo de simulación del lecho móvil ya que la disposición es la misma tanto para un aporte directo como indirecto (es decir se emplean bloques RYield y RGibbs). La diferencia con la tecnología anterior es la configuración del reactor, ya que en este caso se restringe el equilibrio químico de la gasificación. Para ello, se trabaja con la temperatura de approach que en este caso en particular, será la diferencia entre la temperatura de salida del syngas y la temperatura de entrada de la biomasa, haciendo que se modifiquen las composiciones en equilibrio, representando así las restricciones cinéticas en el reactor.

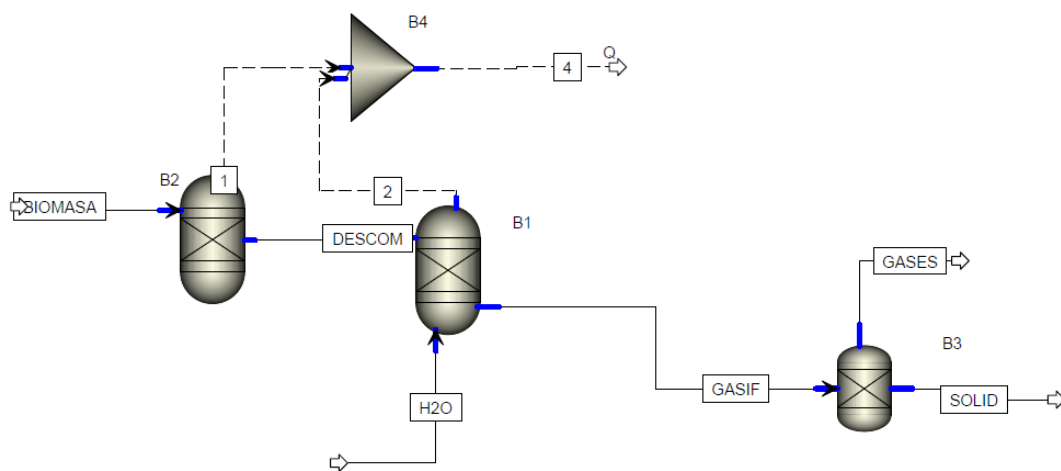


Figura 13: Lecho fluidizado burbujeante indirecto

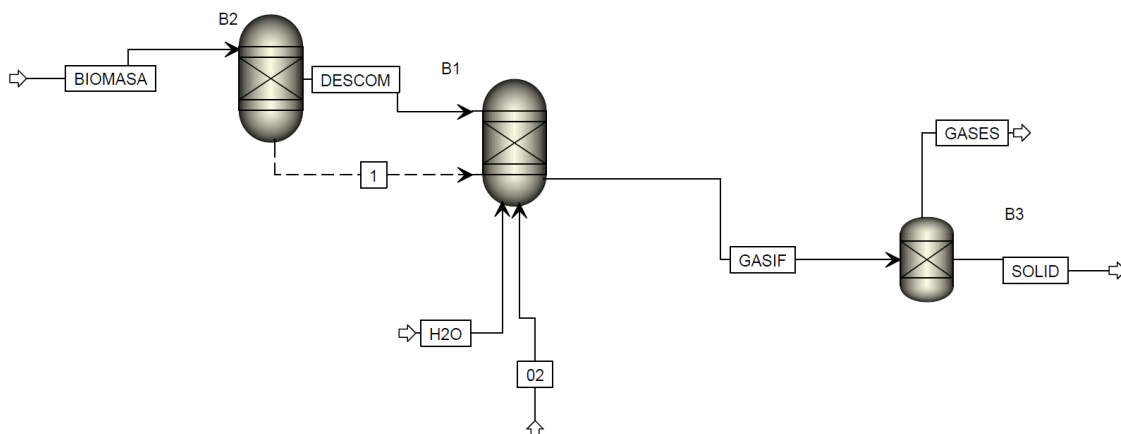


Figura 14: Lecho fluidizado burbujeante directo

4.2.4 Lecho fluidizado dual

La gasificación en lecho fluidizado dual (tal y como se muestra en la Figura 11) es una técnica de gasificación que utiliza dos fluidos para controlar el lecho. El char depositado y el coque formado en las partículas del lecho se quema con aire en la cámara de combustión, calentando de ese modo las partículas.

Este material caliente del lecho se devuelve a la cámara de gasificación, proporcionando el calor de reacción. Funciona a temperaturas inferiores a 900°C para evitar que la fusión parcial de cenizas y su depósito entorpezcan la operación.

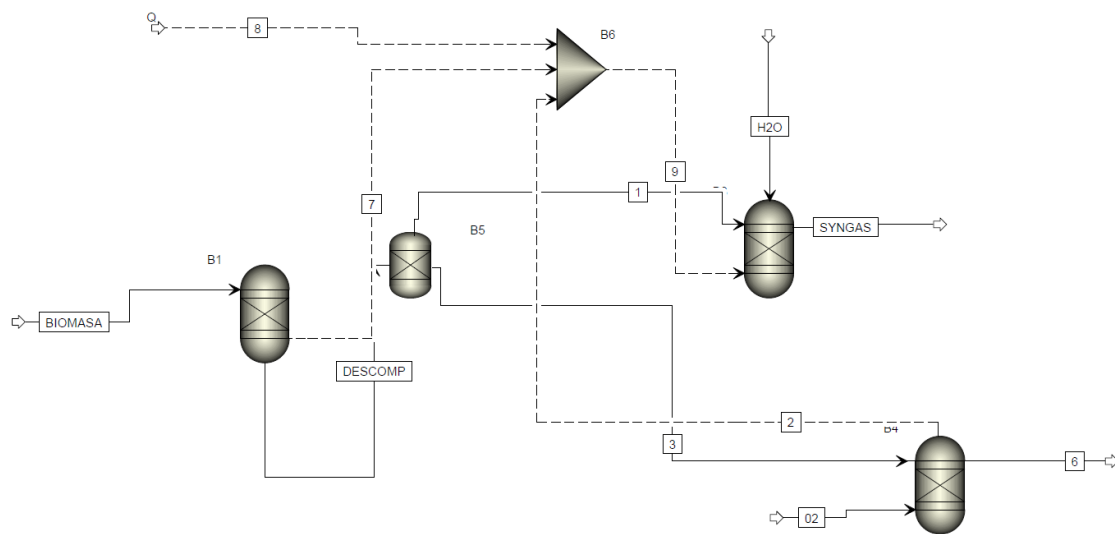


Figura 15: Lecho fluidizado dual

Para modelar el primer lecho de gasificación, se introduce parte de la corriente generada tras la descomposición de la biomasa en el bloque RYield en un bloque RGibbs para simular la gasificación de la biomasa empleando vapor de agua como agente de gasificación.

Para modelar el segundo lecho, también empleamos un RGibbs en el cual se realiza una combustión del coque depositado sobre el material del lecho. Normalmente el material de este lecho es de olivino. Esta combustión se realiza con un exceso de aire.

4.3 Relación H-C

En la modelización de las diferentes opciones tecnológicas y de residuo de partida, se calcula el caudal másico que se debe aportar como agente gasificante a una temperatura de 850°C para conseguir una relación H_2/CO de 2,2, o al menos lo más próximo a ese valor, de la corriente de gas de síntesis obtenida



de la gasificación para facilitar la comparación entre tecnologías y residuos, en una hipotética posterior etapa de Fischer-Tropsch^{22,23}. Esta etapa del proceso se realizaría con la ayuda de un catalizador de cobalto y hierro tal y como se ha explicado anteriormente. Esta síntesis da lugar a hidrocarburos que van desde metano hasta los más pesados dependiendo de las condiciones de operación del proceso.

Para este estudio, se realiza un análisis de sensibilidad en Aspen Plus. Hay que tener en cuenta, que para todas las simulaciones, se realiza la misma aplicación, que se muestra en el anexo 1.3. La siguiente tabla presenta los resultados obtenidos del análisis de sensibilidad realizado a la biomasa de residuos agrícolas para la tecnología de lecho móvil ascendente. Con esta tabla nos ayudaremos para escoger el caudal de agente gasificante fijándose en la última columna (Relación H₂/CO) que más se aproxime al valor fijado de 2,2 y escoger el caudal de la columna caudal másico de agente gasificante que corresponda a ese valor.

Tabla 5: Resultados del análisis de sensibilidad de Aspen Plus

Caso	Caudal másico de agente gasificante (Kg/h)	Temp (°C)	Resultado de corriente de H ₂ (Kmol/h)	Resultado de corriente de CO (Kmol/h)	Relación H ₂ /CO
1	100,00	850,00	287,90	283,64	1,02
2	929,17	850,00	331,29	325,86	1,02
3	1758,33	850,00	374,67	368,09	1,02
4	2587,50	850,00	418,05	410,32	1,02
5	3416,67	850,00	459,21	434,93	1,06
6	4245,83	850,00	484,62	418,97	1,16
7	5075,00	850,00	504,37	402,38	1,25
8	5904,17	850,00	521,62	386,68	1,35
9	6733,33	850,00	537,17	372,04	1,44
10	7562,50	850,00	551,37	358,42	1,54
11	8391,67	850,00	564,45	345,76	1,63
12	9220,83	850,00	576,56	333,96	1,73
13	10050,00	850,00	587,80	322,94	1,82
14	10879,17	850,00	598,29	312,63	1,91
15	11708,33	850,00	608,09	302,97	2,01
16	12537,50	850,00	617,28	293,89	2,10
17	13366,67	850,00	625,92	285,34	2,19
18	13400,00	850,00	626,26	285,01	2,20
19	14195,83	850,00	634,05	277,29	2,29
20	15025,00	850,00	641,73	269,68	2,38
21	15854,17	850,00	648,98	262,48	2,47
22	16683,33	850,00	655,84	255,67	2,57

23	17512,50	850,00	662,35	249,20	2,66
24	18341,67	850,00	668,53	243,05	2,75
25	19170,83	850,00	674,41	237,20	2,84
26	20000,00	850,00	680,00	231,63	2,94

Tras la elección de todos los caudales de agentes gasificantes óptimos para la obtención de la relación de 2,2, se ha realizado el cálculo de la ratio agua/biomasa óptima para la relación más cercana al objetivo marcado.

A continuación, en la Tabla 6 se muestran las ratios escogidos para cada una de las tecnologías y los resultados de relación H₂/CO obtenidos que se presentarán en el siguiente apartado.

Tabla 6: ratio H₂/CO – T(°C) – ratio agua/biomasa

	Cosecha	Madera	Maíz	Lodo
Lecho móvil ascendente (I)	2,2/850/1,17	2,29/850/1,22	2,38/850/1,22	2,33/850/0,73
Lecho móvil ascendente (D)	2,25/850/0,91	2,38/850/0,91	2,53/850/0,75	2,25/850/0,78
Lecho móvil descendente	2,13/850/1,24	2,23/850/1,24	2,13/850/1,93	2,25/850/0,83
Lecho fluidizado burbujeante (I)	1,69/850/1,75	1,74/850/1,75	1,78/850/1,75	2,17/850/1,36
Lecho fluidizado burbujeante (D)	2,18/842/1,66	2,92/846/2,24	3,06/842/2,23	2,67/865/1,37
Lecho dual fluidizado	2,25/850/0,92	2,37/850/1,04	2,27/850/1,17	2,27/850/0,87

Como se puede observar, y a modo de realizar una comparativa fiable, empleamos la temperatura de 850 °C o lo más próximo a esta. Se obtienen las relaciones cercanas a 2,2 que era el objetivo marcado. Cabe destacar que en algunas de las tecnologías estudiadas o bien se queda corta la relación y apenas llega a una relación de 2 y sin embargo en otras se pasa de 3. Esto puede deberse a como está configurada la tecnología y la cantidad de agente gasificante que se emplea, ya que en algunos casos es excesiva debido a que para cumplir con la temperatura a 850°C y obtener esa relación o estar lo más cercana a ella, se debería añadir esa gran cantidad de agente gasificante. Para poder obtener una menor proporción de agente y que las tecnologías se puedan optimizar de mejor manera se podría jugar con la temperatura y regularla de tal manera que se adapte a un menor consumo y a una relación más cercana a lo deseado. Otro factor a tener en cuenta es la propia composición de la biomasa que puede afectar a la hora de obtener los resultados de la gasificación.

4.4 Resultados

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las simulaciones, realizándose tablas comparativas de resultados, según las fuentes de biomasa y las propias tecnologías. Para ello, se han escogido las fracciones molares de las corrientes de salida del gasificador para ver como varía la cantidad

de producto obtenido en función de la tecnología y, de ese modo, poder hacer una comparación entre ellas. A continuación, en la Tabla 7 se muestran los resultados para la biomasa cosecha.

Tabla 7: Resultados de fracciones molares obtenidos a 850°C para cosecha y relación H₂/CO

	Lecho móvil ascendente (I)	Lecho móvil ascendente (D)	Lecho móvil descendente	Lecho fluidizado burbujeante (I)	Lecho fluidizado burbujeante (d)	Lecho fluidizado Dual
T (°C)	850	850	850	850	842	850
H ₂ O	0,277	0,225	0,423	0,447	0,437	0,284
CO ₂	0,115	0,271	0,184	0,064	0,187	0,117
O ₂	2,17E-18	5,033E-25	1,36E-17	5,207E-08	1,026E-17	0
H ₂	0,416	0,316	0,266	0,307	0,256	0,414
CH ₄	9,843E-05	4,454E-02	1,05E-05	9,560E-10	1,079E-05	8,722E-05
C	0	0	3,51E-28	0	0	0
S	4,779E-13	6,629E-17	7,57E-13	3,911E-07	6,121E-13	5,706E-13
CO	0,189	0,140	0,125	0,181	0,118	0,184
N ₂	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002
H ₂ S	7,096E-05	1,063E-04	7,20E-05	4,584E-05	7,103E-05	8,455E-05
SO ₂	9,483E-11	1,998E-13	8,86E-10	1,082E-05	8,470E-10	1,239E-10
NO	1,887E-14	6,394E-19	4,61E-14	1,433E-07	3,710E-14	2,152E-14
NO ₂	1,53E-24	1,507E-31	8,99E-24	1,322E-13	6,654E-24	1,806E-24
NH ₃	3,266E-06	1,467E-05	0	1,540E-07	1,649E-06	0
H ₂ /CO	2,20	2,25	2,13	1,69	2,18	2,25

Como se puede observar en esta tabla, se muestran los resultados obtenidos de la gasificación como fracciones molares de todos los compuestos obtenidos en la corriente de gasificación resultante y a la temperatura de operación especificada (850°C). También se puede observar (marcado en azul) la relación H₂/CO resultante del proceso la cual es importante tener en cuenta para saber si este se ajusta a la relación de Fischer-Trops como se ha marcado en un principio como objetivo.

En la tabla queda representado el valor de la relación para cada tecnología. Estos datos se pueden comparar debido a que las condiciones de operación son similares. En todos los casos se va a representar la temperatura ya que en el caso de lecho fluidizado se establece una temperatura de approach²⁴ y esta puede variar pero se elige la más próxima a 850°C y de ese modo poder hacer la comparativa.

Según los datos obtenidos, en casi todas las tecnologías se consiguen unas relaciones muy cercanas a 2,2 salvo para el lecho fluidizado burbujeante con aporte indirecto que apenas llega a 1,69 de relación molar. Este desajuste se podría explicar debido a que la configuración de la simulación se realiza con la temperatura aproximada y, como se ha explicado antes, esta temperatura se calcula con la diferencia de temperaturas de la corriente de alimentación y la temperatura de salida de la gasificación.

Esta temperatura afecta principalmente a las propiedades de los fluidos, puesto que, las propiedades físicas y químicas de los componentes que circulan hacia el bloque, pueden afectar a la temperatura de equilibrio.

Debido a esta diferencia que se produce, la temperatura no llega a los 850 °C por lo que es insuficiente para realizar una correcta gasificación y se observa cómo la cantidad de agua resultante es demasiado



elevada, por lo que se puede justificar como una falta de conversión del agente gasificante por la ausencia de temperatura necesaria. Para el resto de tecnologías vemos que las relaciones son más próximas al objetivo marcado; sin embargo, se puede observar cómo, sin contar con lo anteriormente explicado, hay dos tecnologías en las que se obtiene una fracción molar de agua elevada, probablemente debido a la reacciones de combustión que se producen en paralelo y evitan un correcto funcionamiento de la gasificación ya que se favorece la combustión de la biomasa, aunque estas sí logran llegar a la relación deseada.

Para explicar esto, hay que fijarse en la propia configuración del sistema para el caso de la tecnología de lecho fluidizado burbujeante con aporte directo de oxígeno. Es imprescindible un exceso de oxígeno, el cual favorece en la combustión que aporta el calor necesario para la formación de compuestos deseados y producir la ratio H_2/CO deseada.

En el caso de lecho móvil descendente, se puede observar una falta de conversión del agente gasificante (vapor de agua) lo cual, puede justificarse debido a la combustión parcial del carbón fijo de la biomasa por lo que no sería necesario el uso de tanta cantidad de agua; sin embargo, es imprescindible para llegar a la relación requerida.

El resto de tecnologías consumen el agua aportada, produciendo un syngas de composición adecuada y con la relación H_2/CO igual a 2,2.

A continuación, se muestra la Tabla 8 con las comparativas de las tecnologías para la madera según los resultados obtenidos en ASPEN.

Tabla 8: Resultados de fracciones molares obtenidos a 850°C para madera y relación H_2/CO

	Lecho móvil ascendente (I)	Lecho móvil ascendente (D)	Lecho móvil descendente	Lecho fluidizado burbujeante (I)	Lecho fluidizado burbujeante (d)	Lecho fluidizado Dual
T (°C)	850	850	850	850	846	850
H ₂ O	0,278	0,218	0,407	0,434	0,513	0,285
CO ₂	0,110	0,247	0,169	0,060	0,162	0,111
O ₂	2,21E-18	4,324E-25	1,04E-17	4,452E-08	1,981E-17	0
H ₂	0,426	0,337	0,292	0,321	0,242	0,424
CH ₄	1,032E-04	5,529E-02	1,53E-05	1,158E-09	4,906E-06	9,115E-05
C	0	0	4,22E-28	0	0	0
S	7,755E-13	1,154E-16	1,14E-12	6,596E-07	1,018E-12	8,748E-13
CO	0,186	0,142	0,131	0,184	0,083	0,179
N ₂	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001
H ₂ S	1,178E-04	1,920E-04	1,19E-04	8,107E-05	9,723E-05	1,329E-04
SO ₂	1,473E-10	2,837E-13	1,02E-09	1,560E-05	2,107E-09	1,823E-10
NO	1,033E-14	3,483E-19	2,25E-14	7,514E-08	2,725E-14	1,148E-14
NO ₂	8,21E-25	7,569E-32	3,84E-24	6,409E-14	6,621E-24	9,435E-25
NH ₃	1,889E-06	9,379E-06	1,09E-06	9,380E-08	7,486E-07	0
H ₂ /CO	2,29	2,38	2,23	1,74	2,92	2,37

De nuevo se pueden observar las fracciones molares de cada compuesto obtenido como resultado de la gasificación a una temperatura de 850°C y resaltando la relación H_2/CO . Se recogen los resultados de

todas las tecnologías para la biomasa de residuos de madera los cuales son bastante uniformes salvo para la tecnología de lecho fluidizado burbujeante, que en el caso de aporte indirecto la relación H₂/CO apenas llega a 1,8 (exactamente 1,7427) de relación molar debido a la falta de conversión del agente gasificante como se explicó para el caso anterior.

A continuación, se muestra la Tabla 9 con los resultados de fracciones molares obtenidas para el maíz y la relación H₂/CO calculada en azul. Se observa un comportamiento muy parecido a los residuos anteriores, por lo que, las explicaciones de las anomalías se pueden interpretar de la misma manera.

Tabla 9 Resultados de fracciones molares obtenidos a 850°C para maíz y relación H₂/CO

	Lecho móvil ascendente (I)	Lecho móvil ascendente (D)	Lecho móvil descendente	Lecho fluidizado burbujeante (I)	Lecho fluidizado burbujeante (D)	Lecho fluidizado Dual
T (°C)	850	850	850	850	842	850
H ₂ O	0,293	0,224	0,396	0,449	0,531	0,269
CO ₂	0,112	0,245	0,172	0,061	0,161	0,109
O ₂	2,55E-18	3,286E-25	9,84E-18	5,018E-08	1,912E-17	0
H ₂	0,418	0,336	0,293	0,313	0,231	0,430
CH ₄	8,749E-05	5,850E-02	1,65E-05	9,877E-10	4,123E-06	1,069E-04
C	0	0	4,54E-28	0	0	0
S	1,643E-12	1,990E-16	2,51E-12	1,367E-06	1,960E-12	1,901E-12
CO	0,176	0,133	0,137	0,176	0,075	0,189
N ₂	0,002	0,003	0,002	0,001	0,001	0,002
H ₂ S	2,448E-04	4,061E-04	2,63E-04	1,637E-04	2,015E-04	2,931E-04
SO ₂	3,599E-10	5,484E-13	2,12E-09	3,643E-05	4,896E-09	3,420E-10
NO	1,899E-14	4,937E-19	3,86E-14	1,363E-07	4,420E-14	1,880E-14
NO ₂	1,62E-24	9,727E-32	6,39E-24	1,234E-13	1,021E-23	1,435E-24
NH ₃	3,146E-06	1,677E-05	1,93E-06	1,541E-07	1,222E-06	0
H ₂ /CO	2,38	2,53	2,13	1,78	3,07	2,27

Como se puede observar en el caso de aporte directo, no se puede fijar una temperatura y como se desea realizar una comparativa, se escoge la temperatura que más se acerca a nuestro parámetro de 850°C en este caso 842°C. Para esta temperatura, la relación resultante es de 3,06, un valor muy por encima del criterio establecido anteriormente. Si se quisiera aplicar esta tecnología para obtener una relación de 2,2, probablemente debería aumentarse la temperatura de operación²⁵ y no se hace puesto que si cada simulación opera a su temperatura óptima, no se podría realizar una comparación puesto que las condiciones iniciales serían diferentes para cada tecnología.

Finalmente se presentan los resultados de las fracciones molares y el resultado de la relación H₂/CO para la última biomasa empleada, que es el lodo, tal y como queda recogido en la Tabla 10:

Tabla 10: Resultados de fracciones molares obtenidos a 850°C para lodo y relación H₂/CO

	Lecho móvil ascendente (I)	Lecho móvil ascendente (D)	Lecho móvil descendente	Lecho fluidizado burbujeante (I)	Lecho fluidizado burbujeante (D)	Lecho fluidizado Dual
T (°C)	850	850	850	850	865	850
H ₂ O	0,200	0,235	0,363	0,432	0,459	0,178
CO ₂	0,078	0,182	0,149	0,048	0,149	0,073
O ₂	8,50E-19	1,517E-22	6,68E-18	3,754E-08	2,940E-17	0
H ₂	0,494	0,386	0,326	0,348	0,275	0,508
CH ₄	2,540E-04	6,010E-03	2,63E-05	1,289E-09	6,752E-06	3,128E-04
C	0	0	5,82E-28	0	0	0
S	2,179E-11	1,046E-13	3,34E-11	1,789E-05	5,275E-11	2,323E-11
CO	0,212	0,171	0,145	0,160	0,103	0,224
N ₂	0,012	0,015	0,013	0,009	0,011	0,014
H ₂ S	3,838E-03	4,756E-03	3,90E-03	2,384E-03	3,337E-03	4,225E-03
SO ₂	1,602E-09	8,202E-11	1,92E-08	3,567E-04	5,839E-08	1,320E-09
NO	2,934E-14	8,104E-17	8,24E-14	2,937E-07	1,825E-13	2,701E-14
NO ₂	1,45E-24	1,664E-28	1,12E-23	2,301E-13	4,873E-23	1,159E-24
NH ₃	1,078E-05	2,355E-05	5,88E-06	4,508E-07	3,860E-06	0,00E+00
H ₂ /CO	2,33	2,25	2,25	2,17	2,67	2,27

Como sería de esperar, la tendencia mostrada en las anteriores tecnologías daría lugar a pensar que para la tecnología lecho fluidizado burbujeante se obtendrían relaciones lejos de lo esperado. Sin embargo, se observa que los resultados de las relaciones son mejores que con el resto de biomásas. La justificación es simple, puesto que debido a la composición del lodo y a su bajo nivel de humedad inicial, (ya que se han elegido lodos secos puesto que los lodos normalmente tienen una humedad por encima del 90%), se favorece los resultados esperados. Esto podría indicar que realizar un proceso de secado previo en la biomasa anterior a la gasificación, puede favorecer la obtención de resultados deseados por lo que, con esta tecnología se obtienen las relaciones más cercanas a las prefijadas.

Otro punto a destacar, es la relación obtenida en la tecnología de lecho fluidizado burbujeante con aporte directo de oxígeno, es mucho más elevada que las relaciones obtenidas para las otras biomásas empleando la misma tecnología, ya que en este caso, la temperatura de operación obtenida (debido a la temperatura de approach) es más elevada que en el resto de casos y supera los 850°C, ya que es la más próxima que se ha podido emplear para poder realizar las comparativas, lo que refuerza la hipótesis de que para este tipo de tecnologías que juegan con la temperatura, a mayor sea esta, mayores serán las relaciones H₂/CO.

Tras haber presentado los resultados obtenidos y haber explicado el porqué de estos, se procede explicar la eficiencia y de ese modo terminar el último punto a tener en cuenta para seleccionar la mejor tecnología, así como los criterios a tener en cuenta a la hora de implementar un proceso de gasificación con las condiciones establecidas.

4.5 Calculo de eficiencias

Tras realizar la simulación de todo el proceso de gasificación para cada tecnología, debemos calcular la eficiencia del proceso, con ese dato se podrá saber si el proceso es óptimo o no^{26, 3}. Por ello, es importante desarrollar más el concepto de eficiencia y explicar por qué es necesario el cálculo de la misma. Puede calcularse atendiendo a diferentes factores que se explicarán a continuación. En el caso de este trabajo se pondrá el foco en la eficiencia de gasificación, a pesar de explicar otros cálculos.

De cara a la optimización, la importancia de conocer la eficiencia radica en poder identificar qué parte del proceso está provocando pérdidas y poder subsanarlo.

Hay que tener en cuenta que existen diferentes definiciones de eficiencia. Por un lado, está la eficiencia térmica, que es la conversión de la energía química de los combustibles sólidos en energía química y calor sensible de productos gaseosos. Para los gasificadores de biomasa típicos, la eficiencia se reduce al 70-80%. Por otro lado, existe la eficiencia de la gasificación, que es la conversión de la energía química del combustible sólido en energía química de productos gaseosos; para los gasificadores típicos de biomasa, la eficiencia es del 50-60%.²⁷ Esta última es en la que se va a centrar el foco de este trabajo.

Para poder hablar de eficiencia hay que tener en cuentas tres indicadores que ayudan a evaluar el proceso:

- **PCI (Poder calorífico inferior)**

Se trata del poder calorífico después de deducir el calor latente del agua que se ha vaporizado en la combustión. Al final del proceso de gasificación, el vapor producido sigue a altas temperaturas lo que provoca la dificultad para liberar el calor latente de vaporización por lo que se usa el poder calorífico más bajo. Se calcula de la siguiente manera:

$$PCI = (126.3 V_{CO} + 127.5 V_{H_2} + 398.2 V_{CH_4}) \times 10^{-3} (\text{MJ/kg})$$

Donde V_{CO} , V_{H_2} , y V_{CH_4} son el porcentaje de volumen de CO, H₂ y CH₄.

- **η_c (Eficiencia de la conversión del carbono)**

Se expresa como el carbón que es posible transformar en gas en el proceso de gasificación procedente de la biomasa. Se calcula como:

$$\eta_c = \frac{12(V_{CO_2} + V_{CO} + V_{CH_4})}{22.4 \times \left(\frac{298}{273}\right) \times z_{carbono}}$$

Donde z_{carbon} es el contenido de carbono en la biomasa que se alimenta.

- **η (Eficiencia de la gasificación)**

Esta eficiencia hace referencia al porcentaje de energía trasferida al syngas producido desde la biomasa inicial. Se calcula como:

$$\eta = \frac{PCI}{PCI_b} \times 100\%$$

Donde PCI_b es el bajo poder calorífico de la biomasa y PCI es el del syngas, todo expresado en MJ/kg.

Estos son los parámetros más usados a la hora de calcular la eficiencia. En este trabajo se emplea para el cálculo de la misma la eficiencia de gasificación y de ese modo valorar si el proceso al usar este tipo de tecnologías es eficiente o no, en lo que este trabajo se centra principalmente es en la relación H₂/CO producido en el proceso.

A continuación, se detalla el proceso de cálculo empleando como método de partida la biomasa cosecha. Para ello se busca un PCI_b de manera bibliográfica puesto que al no obtener la información de esta biomasa a través de la base de datos de Phyllis no disponemos del PCI. Se concreta que el valor de PCI para esta biomasa es de 17,74 MJ/Kg sacado de bibliografía²⁸ de otros estudios similares.

Para cada tecnología, se ha recogido el PCI que se obtiene de cada corriente de producto. Este dato no es necesario calcularlo ya que el propio ASPEN lo calcula en sus resultados al simular.

Tras recoger los datos en la Tabla 11, se calcula la eficiencia mostrada como porcentaje para cada tecnología, empleando cosecha como materia prima.

Tabla 11: Eficiencias cosecha

Poder calorífico inferior de la biomasa	17,74 MJ/Kg	
PCI de las diferentes tecnologías	PCI (MJ/Kg)	% Eficiencia
Lecho móvil ascendente (I)	9,505	53,58
Lecho móvil ascendente (D)	7,112	40,09
Lecho móvil descendente	3,063	17,27
Lecho fluidizado burbujeante (I)	7,554	42,58
Lecho fluidizado burbujeante (D)	4,771	26,89
Lecho fluidizado dual	9,339	52,64



Como se puede observar, las eficiencias²⁹ se encuentran en torno al 40-50%, las cuales no son especialmente altas, son incluso más bajas de lo esperado teniendo en cuenta que la eficiencia debe estar en torno al 50-60%, tal y como se ha mencionado anteriormente. En el caso de las eficiencias obtenidas para las tecnologías de lecho móvil descendente y lecho fluidizado burbujeante con aporte directo, son demasiado bajas (entre el 17-27%) por lo que se puede concluir que aunque los resultados obtenidos no son próximos a los cálculos teóricos y aunque sean buenos en cuanto a la obtención de productos, las relaciones molares no lo son tanto para las eficiencias obtenidas por lo que para este tipo de biomasa se podría descartar el uso de estas dos tecnologías.

El principal motivo de esta baja eficiencia puede ser la gran cantidad de vapor de agua que se aporta como agente gasificante, por lo que una solución que se podría implementar en el caso de querer emplear esta tecnología, es bajar los caudales de H₂O y variar las condiciones iniciales de operación como la temperatura y la presión.

En cuanto al resto de tecnologías se observan resultados por encima del 40% por lo que, aunque no sean datos muy elevados, estas pueden ser consideradas adecuadas. Según los datos obtenidos para esta biomasa, las mejores tecnologías a emplear son lecho móvil ascendente con aporte indirecto de oxígeno y lecho fluidizado dual con eficiencias por encima del 50%.

Continuamos con la eficiencia de la biomasa de madera, el valor de PCI de la madera se ha obtenido de las tablas de la base de datos de Phyllis (ver Anexo 7.2), donde se especifica este dato por lo que no hace falta buscar en bibliografía. De la misma forma, para el resto de biomásas restantes no es necesario consultar otros documentos bibliográficos.

A continuación, se realiza el mismo cálculo para los desechos de madera tal y como queda recogido en la Tabla 12,

Tabla 12: Eficiencias madera

Poder calorífico inferior de la biomasa	18,19 MJ/Kg	
PCI de las diferentes tecnologías	PCI (MJ/Kg)	% Eficiencia
Lecho móvil ascendente (I)	9,78	53,74
Lecho móvil ascendente (D)	8,15	44,81
Lecho móvil descendente	5,66	31,11
Lecho fluidizado burbujeante (I)	7,98	43,87
Lecho fluidizado burbujeante (D)	4,27	23,48
Lecho fluidizado dual	9,63	52,94

Al igual que en el caso anterior, las menos eficientes son la tecnología de lecho móvil descendente y la tecnología de lecho fluidizado burbujeante, aunque en este caso se consiguen rendimientos algo mayores, pero se siguen considerando bajos. Esto es debido, a que los caudales de agente gasificante son algo menores que en el caso anterior, lo cual queda reflejado en la eficiencia. Para el resto de las tecnologías se obtienen rendimientos más elevados, lo cual quiere decir que para estas condiciones, el uso de esta biomasa es eficiente.

Nuevamente los equipos que consiguen un mayor rendimiento son lecho móvil ascendente con aporte indirecto de oxígeno y lecho fluidizado dual llegando casi al 60%, lo cual hace que el proceso se vuelva de los más eficientes entre los que se han probado y bajo estas condiciones, merece la pena implementarlo ya que se acerca al 60% de eficiencia teórica.

Seguidamente el cálculo de eficiencia para el maíz queda recogido en la Tabla 13:

Tabla 13: Eficiencias Maíz

Poder calorífico inferior de la biomasa		16,85 MJ/Kg
PCI de las diferentes tecnologías	PCI (MJ/Kg)	% Eficiencia
Lecho móvil ascendente (I)	9,43	55,96
Lecho móvil ascendente (D)	8,21	48,72
Lecho móvil descendente	5,72	33,95
Lecho fluidizado burbujeante (I)	7,68	45,58
Lecho fluidizado burbujeante (D)	4,01	23,80
Lecho fluidizado dual	9,94	58,99

Al igual que en el caso de la madera, las eficiencias obtenidas son superiores por lo que el uso de estas tecnologías para este tipo de biomasa es mejor, exceptuando las dos tecnologías mencionadas anteriormente, aunque se obtienen eficiencias más elevadas que en el resto de los casos. El sistema de lecho móvil descendente también obtiene una eficiencia más alta que en el resto de los casos, por lo que se puede considerar que utilizando esta biomasa y esta tecnología se obtiene una eficiencia superior, aunque si lo que se quiere es obtener eficiencias más elevadas, merece la pena implementar otra tecnología y no está. Por otro lado, para el lecho fluidizado burbujeante con aporte indirecto apenas llega a 25% de eficiencia, lo cual es un resultado excesivamente bajo y no interesa la implementación de esta tecnología.

Para el resto de tecnologías, se observa como en varios casos se supera el 60% de eficiencia lo cual indica que, para nuestras condiciones de operación y llegar a los requisitos establecidos, este proceso es eficiente, incluso más de lo esperado, sobre todo para las tecnologías de lecho móvil ascendente con aporte indirecto de oxígeno y lecho fluidizado dual.

Por último, se estudia el caso del lodo donde se obtienen las mejores eficiencias llegando a superar incluso el 80%, tal y como se puede observar en la tabla 14. Esto se puede deber principalmente a la composición del lodo y a la baja humedad inicial de este. Hay que recordar que el lodo se había secado y retirado la humedad previamente, mejorando las condiciones de gasificación del producto haciendo que todos los procesos sean óptimos.

Tabla 14: Eficiencias Lodo

Poder calorífico inferior de la biomasa		15,4 MJ/Kg
PCI de las diferentes tecnologías	PCI (MJ/Kg)	% Eficiencia
Lecho móvil ascendente (I)	12,59	81,78
Lecho móvil ascendente (D)	8,09	52,52
Lecho móvil descendente	6,65	43,18
Lecho fluidizado burbujeante (I)	8,5	55,16
Lecho fluidizado burbujeante (D)	5,23	33,98
Lecho fluidizado dual	13,26	86,08

Al igual que ocurría con las otras biomásas, las mejores tecnologías a emplear son lecho móvil ascendente y lecho fluidizado dual, ya que, en ambos casos la eficiencia supera el 80% convirtiéndolas en las mejores tecnologías.

Para el resto de las tecnologías, que oscilan entre el 40-55%, se obtienen eficiencias buenas teniendo en cuenta que las teóricas oscilaran entre el 50-60%, pero no lo suficiente en comparación con las dos primeras mencionadas.

Cabe destacar, que para cada tecnología se podría optimizar el proceso tanto variando la temperatura como variando los caudales de agente gasificante, haciendo una buena selección de la biomasa y hasta puede que un tratamiento previo para eliminar humedad inicial haciendo que el PCI sea más elevado teniendo en cuenta siempre las limitaciones de cada tecnología.

4.6 Discusión de resultados

Para finalizar con este trabajo, se realiza una discusión de todos los resultados obtenidos. En la Figura 12 se comparan las eficiencias obtenidas para cada biomasa y tecnología.

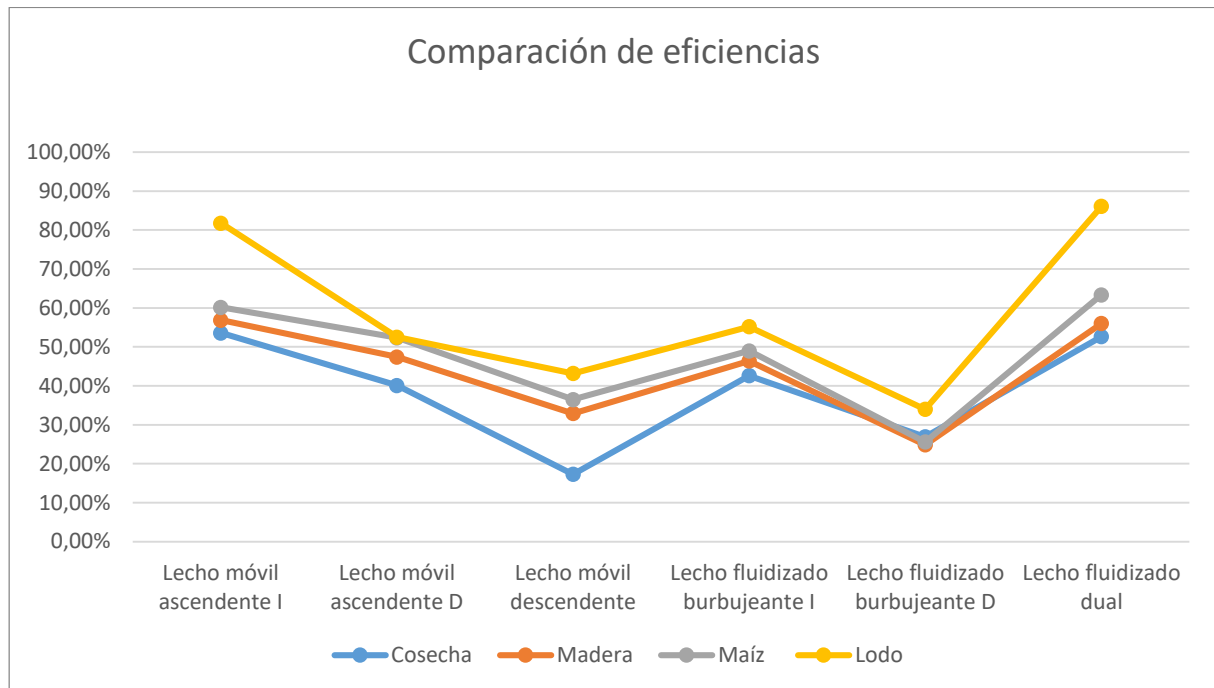


Figura 16: Eficiencia de las biomásas para cada tecnología

Se puede observar, que por lo general para cada tecnología, se obtienen eficiencias parecidas con cada biomasa. Las tecnologías con mayor eficiencia son lecho móvil ascendente con aporte indirecto y lecho fluidizado dual. La principal justificación es la propia disposición de las tecnologías y que el agente gasificante es H_2O lo que provoca que se favorezca más la gasificación frente a la combustión que se produce con un aporte de O_2 .

Por otro lado, se puede ver cómo el lodo es la biomasa que mayores eficiencias obtiene, no solo para las tecnologías mencionadas anteriormente, sino para todas las disposiciones estudiadas en este trabajo. La conclusión que se puede sacar es que no solo la tecnología y su disposición es importante, sino que también la elección de la biomasa y los tratamientos previos son importantes para obtener buenos resultados.

Del mismo modo que se han mencionado las tecnologías más eficientes, hay que destacar también que las tecnologías menos eficientes como son el lecho móvil descendente y lecho fluidizado burbujeante con aporte directo. En ambas tecnologías se puede observar cómo se realiza un aporte directo de O_2 en el caso del lecho fluidizado o de una combustión previa del carbón fijo, lo cual influye en los productos obtenidos ya que predominan el CO_2 en el caso de la combustión o del residuo sólido en el caso de la combustión previa y dificultara la formación de syngas que es realmente el producto de interés.

Por tanto, se puede concluir que las tecnologías más eficientes son las de lecho móvil ascendente y lecho fluidizado dual, siendo el modo indirecto la mejor de las opciones. Por otro lado, se puede afirmar que las peores tecnologías y con las que se obtienen peores eficiencias son las tecnologías de lecho móvil descendente y de lecho burbujeante (en especial el aporte directo de oxígeno), debido a su disposición no son las tecnologías con las que se van a obtener las mayores eficiencias.

Tras analizar la eficiencia entre las diferentes tecnologías, se debe tener en cuenta otro factor que puede influir en el proceso como es la composición inicial de la biomasa. Para ello, se emplea un análisis de la humedad inicial que contiene la propia biomasa para ver cómo estos dos factores afectan de manera directa a la eficiencia.

Se comienza comparando la humedad inicial presente en la biomasa con la eficiencia obtenida para cada tecnología y para cada tipo de biomasa, tal y como se muestra en la Figura 13.

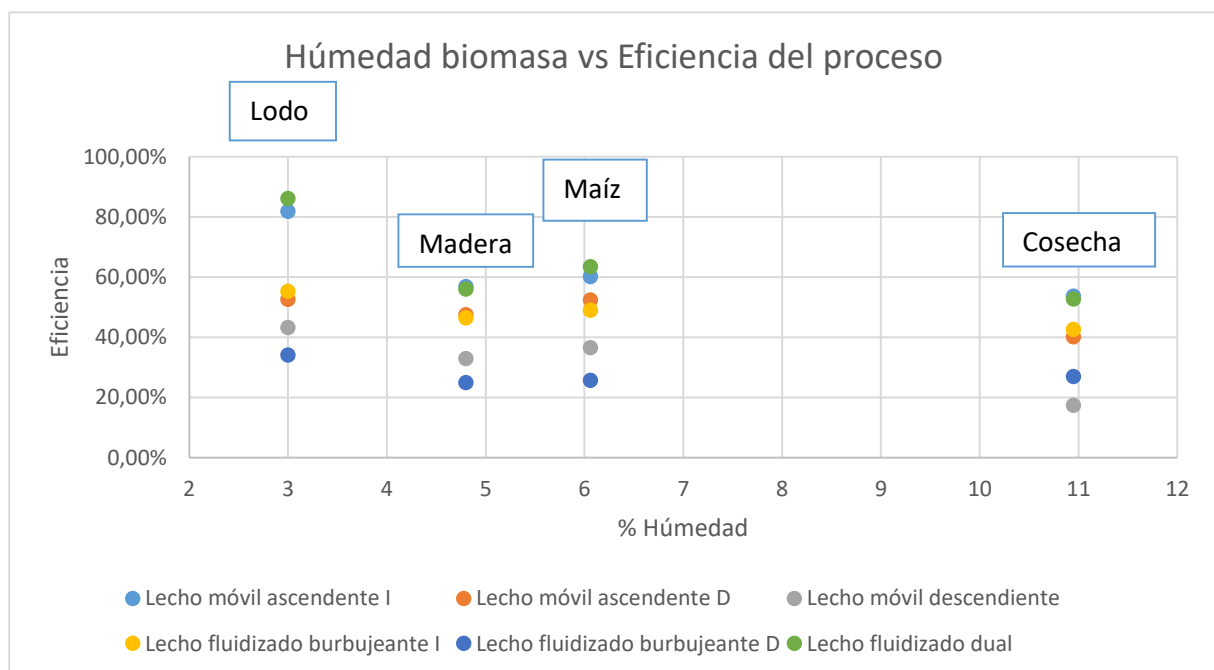


Figura 17: Humedad inicial de la biomasa vs eficiencia del proceso

En busca de una correcta interpretación de la gráfica se recuerda que cada columna de puntos representa una de las biomasa, siguiendo el siguiente orden: lodo, madera, maíz y, por último, cosecha. A su vez cada color representa una de las tecnologías que se ha estudiado.

Se puede deducir tras observar la gráfica cómo la humedad inicial de la biomasa afecta de manera significativa a la eficiencia obtenida en el proceso. Por tanto, se deduce que, a menor porcentaje de humedad inicial contenida en la biomasa, más altas serán las eficiencias lo cual quiere decir que, en caso



de querer implementar alguna de estas tecnologías, convendría realizar un tratamiento previo de secado de la biomasa para eliminar la mayor cantidad de humedad posible.

Ya que el lodo es una biomasa que se ha tratado previamente y se ha quedado con una humedad muy baja (3%) es con la que se obtienen mayores eficiencias para todas las tecnologías. Por otro lado, se puede observar que para la cosecha, se obtienen las peores eficiencias ya que es la biomasa con mayor grado de humedad inicial (en torno a un 11%).

Finalmente es importante discutir la importancia de la implementación de estas tecnologías en la vida real ya que con su uso se pueden obtener numerosos recursos como metano, naftas (tras el proceso Fisher-Tropsch), etanol, tolueno... Puesto que se usan residuos orgánicos y tras la implementación de una de estas tecnologías se puede reducir la producción de estos residuos y ayudar a su gestión y limpieza.

5. Conclusiones

En el presente trabajo, se han valorado las diferentes tecnologías que se pueden implementar en un proceso de gasificación a través de simulaciones con el programa ASPEN PLUS y cómo el uso de diferentes tecnologías puede afectar a la obtención de resultados. Para poder sacar conclusiones fiables, se han establecido unos mismos criterios para todas las tecnologías como la temperatura de operación o la cantidad de biomasa que se introduce inicialmente en el proceso.

Debido a estudio de las diferentes tecnologías y el posterior cálculo de las eficiencias, podemos sacar las siguientes conclusiones:

1. Es muy importante tener claro la selección inicial de la biomasa para poder optimizar el proceso al máximo, habiendo sido el lodo previamente secado, la biomasa más indicada.
2. Cuanto menor es la humedad inicial de la biomasa, más eficiente será el proceso, debido a que es mejor añadir el agua como vapor a mayor temperatura ya que el proceso de gasificación será óptimo de esa manera.
3. Las tecnologías que presentan una mayor eficiencia en el proceso son los modelos de lecho móvil ascendente y la de lecho fluidizado dual, mientras que las que presentan peores eficiencias son las de lecho fluidizado burbujeante y la de lecho móvil descendente.
4. Salvo con el lodo, debido a las buenas condiciones que presenta la propia biomasa inicialmente, el resto de las biomosas no son muy eficientes, ya que en la mayoría de casos la eficiencia oscila entre el 40-50% por debajo de la eficiencia teórica establecida previamente por lo que se puede concluir que de por sí la gasificación no es un proceso muy eficiente y que debe ayudarse de otros procesos para optimizar al máximo.
5. Debido a la eficiencias obtenidas, para aquellas que se encuentran dentro del rango teórico esperado, puede ser una buena manera de gestionar residuos orgánicos e implantarlos en diferentes industrias para tener una fuente alternativa a los combustibles fósiles que sea limpia.

6. Bibliografía

- (1) *Statistical Review of World Energy 2020 | Noticias | Home.*
https://www.bp.com/es_es/spain/home/noticias/notas-de-prensa/statistical-review-of-world-energy-2020.html (accessed 2020-12-15).
- (2) *Co-gasification of woody biomass with organic and waste matrices in a down-draft gasifier: An experimental and modeling approach | Elsevier Enhanced Reader.*
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114566>.
- (3) Kozlov, A.; Marchenko, O.; Solomin, S. The Modern State of Wood Biomass Gasification Technologies and Their Economic Efficiency. *Energy Procedia* **2019**, *158*, 1004–1008.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.244>.
- (4) Gao, N.; Śliz, M.; Quan, C.; Bieniek, A.; Magdziarz, A. Biomass CO₂ Gasification with CaO Looping for Syngas Production in a Fixed-Bed Reactor. *Renewable Energy* **2021**, *167*, 652–661.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.134>.
- (5) *Chemical reactions of organic compounds in supercritical water gasification and oxidation | Elsevier Enhanced Reader.* <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116634>.
- (6) Peña, J.; Martínez, P.; Cortés, M.; Chirivi, N.; Geney, L. M. Uso energético de la biomasa a través del proceso de gasificación. *Revista de Investigación* **2017**, *10* (2), 165–181.
<https://doi.org/10.29097/2011-639X.89>.
- (7) Xiang, X.; Gong, G.; Wang, C.; Cai, N.; Zhou, X.; Li, Y. Exergy Analysis of Updraft and Downdraft Fixed Bed Gasification of Village-Level Solid Waste. *International Journal of Hydrogen Energy* **2021**, *46* (1), 221–233. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.09.247>.
- (8) Anca-Couce, A.; Archan, G.; Buchmayr, M.; Essl, M.; Hochenauer, C.; Scharler, R. Modelling Fuel Flexibility in Fixed-Bed Biomass Conversion with a Low Primary Air Ratio in an Updraft Configuration. *Fuel* **2021**, *296*, 120687. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120687>.
- (9) *Proposal and investigation of a high-efficiency coal-fired power generation system enabled by chemical recuperative supercritical water coal gasification | Elsevier Enhanced Reader.*
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126598>.
- (10) Pérez, N. P.; Pedroso, D. T.; Machin, E. B.; Antunes, J. S.; Tuna, C. E.; Silveira, J. L. Geometrical Characteristics of Sugarcane Bagasse for Being Used as Fuel in Fluidized Bed Technologies. *Renewable Energy* **2019**, *143*, 1210–1224. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.082>.
- (11) Ministerio de Industria de España, I. *Energía de La Biomasa.* **2007**.
- (12) Arora, P.; Hoadley, A.; Mahajani, S. M.; Ganesh, A. Modelling and Optimisation of Dual Fluidisation Bed Gasifiers for Production of Chemicals. *Chemical Engineering Transactions* **2015**, *45*, 1111–1116. <https://doi.org/10.3303/CET1545186>.
- (13) Chavez, J. A.; Korswagen, R. P. COMPUESTOS CARBENICOS y SU IMPLICANCIA EN EL MECANISMO DEL PROCESO FISCHER-TROPSCH. *Revista de Química* **1987**, *1* (1), 15–22.
- (14) Nations, U. *El papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible | Naciones Unidas.* United Nations. <https://www.un.org/es/chronicle/article/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible> (accessed 2024-02-27).
- (15) *La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.* Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/> (accessed 2024-02-27).
- (16) Ventajas Tecnologías de Gasificación.
- (17) Molino, A.; Chianese, S.; Musmarra, D. Biomass Gasification Technology: The State of the Art Overview. *Journal of Energy Chemistry* **2016**, *25* (1), 10–25.
<https://doi.org/10.1016/j.jechem.2015.11.005>.
- (18) Tezer, Ö.; Karabağ, N.; Öngen, A.; Çolpan, C. Ö.; Ayol, A. Biomass Gasification for Sustainable Energy Production: A Review. *International Journal of Hydrogen Energy* **2022**, *47* (34), 15419–15433. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.02.158>.
- (19) Arauz, P. G. POTENCIAL DE BIOMASA EN LA comunidad de madrid. 27.

- (20) DIRECTIVA (UE) 2018/ 2001 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO - de 11 de diciembre de 2018 - relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. 128.
- (21) *Phyllis2 - Database for the physico-chemical composition of (treated) lignocellulosic biomass, micro- and macroalgae, various feedstocks for biogas production and biochar*. <https://phyllis.nl/> (accessed 2023-01-23).
- (22) *Staging and path optimization of Fischer-Tropsch synthesis | Elsevier Enhanced Reader*. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2022.08.033>.
- (23) Zhang, M.; Liu, J.; Zhang, Y.; Wang, L.; Li, J.; Hong, J. Preparation of Highly Dispersed Silicon Spheres Supported Cobalt-Based Catalysts and Their Catalytic Performance for Fischer-Tropsch Synthesis. *Journal of Fuel Chemistry and Technology* **2023**, 51 (5), 608–615. [https://doi.org/10.1016/S1872-5813\(22\)60078-1](https://doi.org/10.1016/S1872-5813(22)60078-1).
- (24) Esmaili, E.; Mahinpey, N.; Lim, C. J. Modified Equilibrium Modelling of Coal Gasification with in Situ CO₂ Capture Using Sorbent CaO: Assessment of Approach Temperature. *Chemical Engineering Research and Design* **2013**, 91 (7), 1361–1369. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2013.02.015>.
- (25) Chen, J.; Wang, Q.; Xu, Z.; E, J.; Leng, E.; Zhang, F.; Liao, G. Process in Supercritical Water Gasification of Coal: A Review of Fundamentals, Mechanisms, Catalysts and Element Transformation. *Energy Conversion and Management* **2021**, 237, 114122. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114122>.
- (26) Li, X.; Yan, P.; Ma, C.; Wang, J. Structural Design and Optimization of a Solar Spouted Bed Reactor of Biomass Gasification. *Applied Thermal Engineering* **2021**, 194, 117058. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117058>.
- (27) 4.3: *Gasificación*. LibreTexts Español. [https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingenier%C3%ADa_Biol%C3%B3gica/Combustibles_ternativos_a_partir_de_fuentes_de_biomasa_\(Toraman\)/04%3A_Uso_de_Biomasa_en_Tecnolog%C3%ADas_T%C3%A9rmicas/4.03%3A_Gasificaci%C3%B3n](https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingenier%C3%ADa_Biol%C3%B3gica/Combustibles_ternativos_a_partir_de_fuentes_de_biomasa_(Toraman)/04%3A_Uso_de_Biomasa_en_Tecnolog%C3%ADas_T%C3%A9rmicas/4.03%3A_Gasificaci%C3%B3n) (accessed 2023-11-05).
- (28) *LHV coshea*. <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/38656/Magne%20Sejas%20Angelica%20Rocio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- (29) Mitianiec, W. Study of Increasing Thermodynamic Efficiency and Hydrogen Amount in the Process of Solid Fuels and Biomass Gasification. *International Journal of Hydrogen Energy* **2022**. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.03.191>.

7. Anexos

7.1 Tablas composición de la Biomasa

Tabla 15: Composición de la biomasa cosecha

Toneladas en 2017		wt % C	wt % H	wt % O	wt % N	wt % S	%
F. no citricos	0.5	/	/	/	/	/	/
Viñedo	18.7	46.59	5.85	43.9	0.83	0.04	97.21
Olivar	20.9	40.68	5.73	40.95	0.59	0.07	88.02
Trigo	23	46.02	5.5	41.44	1.65	0.1	94.71
Cebada	86.8	46.79	5.53	41.94	0.41	0.06	94.73
Maiz	82.7	46.82	5.74	41.36	0.66	0.11	94.69
Patata	4.9	/	/	/	/	/	/
Alfalfa	80.4	45.09	4.97	35.61	3.3	0.16	89.13
Melón	9.1	35.5	4.37	30.96	4.62	0.17	75.62
Lechuga	0.8	/	/	/	/	/	/
Col	2.3	/	/	/	/	/	/
Tomate	6	30	4.5	24.05	3.4	2.6	64.55
Coliflor	0.1	/	/	/	/	/	/
Cebolla	19.4	38.24	5	21.27	0.57	0.16	65.24
Alcachofa	0.5	/	/	/	/	/	/
Ajo	12.6	37.85	4.97	43.12	0.49	0.22	86.65
Sorgo	47.3	39.46	7.51	43	1.1	0.22	91.29
406.9 T/año							

Madera:

Tabla 16: Composición biomasa madera

Phyllis2		TNO innovation for life									
https://phyllis.nl/Biomass/View/700											
wood, poplar (#700)											
ID-number	#700										
Material	wood, poplar										
Classification	ECN Phyllis classification > untreated wood > poplar > wood, poplar NTA 8003 classification > [100] hout > [110] vers hout > [120] loofhout > [122] zacht loofhout										
Submitter organisation	ECN (Netherlands)										
Literature	http://rredc.nrel.gov:80/biomass/doe/nrel/comp/alki/appendix.html (1998). Link obsolete. Instead, try http://www.nrel.gov/rredc/biomass_resource.html										
Values											
Property	Unit	Value ar	dry	daf	Std dev	Det lim	Lab	Date	Method	Remarks	
Main biomass properties											
Proximate analysis											
Moisture content	wt%	4,80									
Ash content	wt%	1,16	1,22								
Volatile matter	wt%	80,99	85,07	86,12							
Fixed carbon	wt%	13,05	13,71	13,88					Calculated		
Ultimate analysis (macroelements)											
Carbon	wt%	47,05	49,42	50,03					Measured		
Hydrogen	wt%	5,71	6,00	6,07					Measured		
Oxygen	wt%	41,00	43,07	43,60					Calculated		
Nitrogen	wt%	0,22	0,23	0,23					Measured		
Sulphur	wt%	0,05	0,05	0,05					Measured		
Total (with halides)	wt%	100,00	100,00	100,00					Calculated		
Halides											
Chlorine (Cl)	mg/kg	95,2	100,0	101,2					Measured		
Heating value											
Net calorific value (LHV)	MJ/kg	17,20	18,19	18,41							
Gross calorific value (HHV)	MJ/kg	18,56	19,50	19,74							
HHVMilne	MJ/kg	18,63	19,57	19,81					Calculated		
Ash Properties											
Ash composition											
P2O5	wt% (ash)			14,81							
SiO2	wt% (ash)			9,22							
Al2O3	wt% (ash)			3,26							
CaO	wt% (ash)			47,28							
MgO	wt% (ash)			11,58							
Na2O	wt% (ash)			0,10							
K2O	wt% (ash)			24,37							

Como se puede observar tenemos los datos de interés para programar la biomasa en aspen como es la humedad (por debajo del 12%) el contenido en ceniza, la materia volátil y el carbón fijo (usaremos los datos que aparecen en la columna ar). También debemos fijarnos en la composición elemental de Carbono, Hidrogeno, Oxigeno, Azufre y Nitrógeno.

Esto mismo, se aplicara para las otras dos biomosas.

Maíz:

Tabla 17: Composición biomasa maíz

Phyllis2		TNO innovation for life									
https://phyllis.nl/Biomass/View/704											
corn stover (#704)											
ID-number	#704										
Material	corn stover										
Classification	ECN Phyllis classification > straw (stalk/cob/ear) > maize/corn > corn stover NTA 8003 classification > [200] biomassa uit land- en tuinbouw > [240] gewassen > [241] mais										
Submitter organisation	ECN (Netherlands)										
Literature	http://rredc.nrel.gov:80/biomass/doe/nrel/comp/alki/appendix.html (1998). Link obsolete. Instead, try http://www.nrel.gov/rredc/biomass_resource.html										
Values											
Property	Unit	Value ar	dry	daf	Std dev	Det lim	Lab	Date	Method	Remarks	
Main biomass properties											
Proximate analysis											
Moisture content	wt%	6,06									
Ash content	wt%	4,75	5,06								
Volatile matter	wt%	75,96	80,86	85,17							
Fixed carbon	wt%	13,23	14,08	14,83					Calculated		
Ultimate analysis (macroelements)											
Carbon	wt%	43,98	46,82	49,31					Measured		
Hydrogen	wt%	5,39	5,74	6,04					Measured		
Oxygen	wt%	38,85	41,36	43,56					Calculated		
Nitrogen	wt%	0,62	0,66	0,70					Measured		
Sulphur	wt%	0,10	0,11	0,11					Measured		
Total (with halides)	wt%	100,00	100,00	100,00					Calculated		
Halides											
Chlorine (Cl)	mg/kg	2.500,0	2.661,3	2.803,0					Measured		
Heating value											
Net calorific value (LHV)	MJ/kg	15,68	16,85	17,75							
Gross calorific value (HHV)	MJ/kg	17,00	18,10	19,06							
HHVMilne	MJ/kg	17,32	18,44	19,42					Calculated		
Ash Properties											
Ash composition											
P2O5	wt% (ash)			8,68							
SiO2	wt% (ash)			54,04							
Al2O3	wt% (ash)			1,99							
CaO	wt% (ash)			8,66							
MgO	wt% (ash)			6,11							
Na2O	wt% (ash)			0,15							
K2O	wt% (ash)			20,67							

Lodo:

Tabla 18: Composición biomasa lodo

Phyllis2		TNO innovation for life									
https://phyllis.nl/Biomass/View/1168											
sewage sludge (#1168)											
ID-number	#1168										
Material	sewage sludge										
Classification	ECN Phyllis classification > sludge > sewage > sewage sludge NTA 8003 classification > [400] slib > [410] zuiveringslib RWZI										
Submitter organisation	ECN (Netherlands)										
Submission date	1998-03-18										
Literature	W. van Daalen and J. van Doorn: Brandstoffen uit reststromen voor circulerend wervelbedvergassing (in Dutch), Haarlem, the Netherlands, NV Afvalzorg Noord-Holland, 36 p. (1997).										
Values											
Property	Unit	Value ar	dry	daf	Std dev	Det lim	Lab	Date	Method	Remarks	
Main biomass properties											
Proximate analysis											
Moisture content	wt%	3,00									
Ash content	wt%	42,49	43,80								
Volatile matter	wt%	47,43	48,90	87,01							
Fixed carbon	wt%	7,08	7,30	12,99					Calculated		
Ultimate analysis (macroelements)											
Carbon	wt%	30,26	31,20	55,52					Measured		
Hydrogen	wt%	4,27	4,40	7,83					Measured		
Oxygen	wt%	15,71	16,20	28,83					Measured		
Nitrogen	wt%	3,01	3,10	5,52					Measured		
Sulphur	wt%	1,07	1,10	1,96					Measured		
Total (with halides)	wt%	100,00	100,00	100,00					Calculated		
Halides											
Chlorine (Cl)	mg/kg	1.940,0	2.000,0	3.558,7					Measured		
Heating value											
HHVMilne	MJ/kg	13,42	13,84	24,62					Calculated		



7.2 Tablas análisis de sensibilidad

- Tablas cosecha

Lecho móvil ascendente directo:

Row/Case	Status	VARY 1 H2O MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	VARY 2 O2 MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	TEMP C	H2FLO W KMOL/H R	COFLO W KMOL/H R	CO2FLO W KMOL/H R	H2FLO W/C OFLOW
1	OK	5000,00	3000,00	850,00	180,36	36,60	236,63	4,93
2	OK	5000,00	3444,44	850,00	230,72	70,54	247,11	3,27
3	OK	5000,00	3888,89	850,00	270,17	110,67	251,94	2,44
4	OK	5000,00	4333,33	850,00	302,12	155,06	252,90	1,95
5	OK	5000,00	4777,78	850,00	341,37	197,33	241,83	1,73
6	OK	5000,00	5222,22	850,00	294,44	291,01	166,78	1,01
7	OK	5000,00	5666,67	850,00	219,07	356,81	100,98	0,61
8	OK	5000,00	6111,11	850,00	218,85	356,25	101,54	0,61
9	OK	5000,00	6555,56	850,00	218,67	355,70	102,09	0,61
10	OK	5000,00	7000,00	850,00	218,48	355,19	102,60	0,62
11	OK	5555,56	3000,00	850,00	174,78	31,06	244,07	5,63
12	OK	5555,56	3444,44	850,00	228,95	62,83	256,51	3,64
13	OK	5555,56	3888,89	850,00	271,49	101,22	262,91	2,68
14	OK	5555,56	4333,33	850,00	305,94	144,18	265,16	2,12
15	OK	5555,56	4777,78	850,00	348,96	184,68	253,22	1,89
16	OK	5555,56	5222,22	850,00	314,30	271,12	186,66	1,16
17	OK	5555,56	5666,67	850,00	222,00	351,88	105,91	0,63
18	OK	5555,56	6111,11	850,00	221,69	351,40	106,39	0,63
19	OK	5555,56	6555,56	850,00	221,49	350,87	106,92	0,63
20	OK	5555,56	7000,00	850,00	221,28	350,37	107,42	0,63
21	OK	6111,11	3000,00	850,00	168,16	26,11	250,95	6,44
22	OK	6111,11	3444,44	850,00	226,15	55,71	265,40	4,06
23	OK	6111,11	3888,89	850,00	271,82	92,32	273,39	2,94
24	OK	6111,11	4333,33	850,00	310,88	132,99	275,52	2,34
25	OK	6111,11	4777,78	850,00	355,67	172,54	264,00	2,06
26	OK	6111,11	5222,22	850,00	333,90	251,38	206,37	1,33
27	OK	6111,11	5666,67	850,00	224,79	347,08	110,71	0,65
28	OK	6111,11	6111,11	850,00	224,37	346,69	111,10	0,65



29	OK	6111,11	6555,56	850,00	224,14	346,18	111,61	0,65
30	OK	6111,11	7000,00	850,00	223,91	345,70	112,09	0,65
31	OK	6666,67	3000,00	850,00	160,57	21,71	257,30	7,40
32	OK	6666,67	3444,44	850,00	222,35	49,15	273,78	4,52
33	OK	6666,67	3888,89	850,00	271,20	83,96	283,40	3,23
34	OK	6666,67	4333,33	850,00	315,39	122,16	284,77	2,58
35	OK	6666,67	4777,78	850,00	361,52	160,91	274,18	2,25
36	OK	6666,67	5222,22	850,00	352,73	232,09	225,54	1,52
37	OK	6666,67	5666,67	850,00	227,45	342,38	115,41	0,66
38	OK	6666,67	6111,11	850,00	226,91	342,10	115,69	0,66
39	OK	6666,67	6555,56	850,00	226,64	341,63	116,16	0,66
40	OK	6666,67	7000,00	850,00	226,39	341,16	116,63	0,66
41	OK	7222,22	3000,00	850,00	152,08	17,84	263,13	8,53
42	OK	7222,22	3444,44	850,00	217,60	43,14	281,68	5,04
43	OK	7222,22	3888,89	850,00	269,65	76,12	292,94	3,54
44	OK	7222,22	4333,33	850,00	318,87	111,93	293,31	2,85
45	OK	7222,22	4777,78	850,00	366,52	149,79	283,77	2,45
46	OK	7222,22	5222,22	850,00	369,75	213,87	243,46	1,73
47	OK	7222,22	5666,67	850,00	230,01	337,78	120,01	0,68
48	OK	7222,22	6111,11	850,00	229,31	337,64	120,15	0,68
49	OK	7222,22	6555,56	850,00	229,00	337,20	120,59	0,68
50	OK	7222,22	7000,00	850,00	228,73	336,75	121,04	0,68
51	OK	7777,78	3000,00	850,00	142,74	14,45	268,44	9,88
52	OK	7777,78	3444,44	850,00	211,94	37,63	289,11	5,63
53	OK	7777,78	3888,89	850,00	267,21	68,79	302,03	3,88
54	OK	7777,78	4333,33	850,00	321,36	102,29	301,17	3,14
55	OK	7777,78	4777,78	850,00	370,68	139,16	292,78	2,66
56	OK	7777,78	5222,22	850,00	383,96	197,31	259,43	1,95
57	OK	7777,78	5666,67	850,00	232,50	333,24	124,55	0,70
58	OK	7777,78	6111,11	850,00	231,58	333,29	124,50	0,69
59	OK	7777,78	6555,56	850,00	231,23	332,88	124,91	0,69
60	OK	7777,78	7000,00	850,00	230,94	332,45	125,34	0,69
61	OK	8333,33	3000,00	850,00	132,64	11,51	273,23	11,52
62	OK	8333,33	3444,44	850,00	205,41	32,62	296,08	6,30
63	OK	8333,33	3888,89	850,00	264,24	61,84	310,28	4,27
64	OK	8333,33	4333,33	850,00	322,87	93,22	308,34	3,46
65	OK	8333,33	4777,78	850,00	374,00	129,03	301,21	2,90
66	OK	8333,33	5222,22	850,00	395,23	182,48	273,37	2,17
67	OK	8333,33	5666,67	850,00	234,98	328,71	129,08	0,71
68	OK	8333,33	6111,11	850,00	233,73	329,04	128,75	0,71
69	OK	8333,33	6555,56	850,00	233,33	328,67	129,12	0,71
70	OK	8333,33	7000,00	850,00	233,02	328,26	129,53	0,71
71	OK	8888,89	3000,00	850,00	121,85	8,99	277,50	13,55
72	OK	8888,89	3444,44	850,00	198,07	28,08	302,61	7,05
73	OK	8888,89	3888,89	850,00	262,51	54,68	315,21	4,80
74	OK	8888,89	4333,33	850,00	323,42	84,72	314,86	3,82



75	OK	8888,89	4777,78	850,00	376,49	119,38	309,07	3,15
76	OK	8888,89	5222,22	850,00	404,07	169,09	285,63	2,39
77	OK	8888,89	5666,67	850,00	237,54	324,10	133,69	0,73
78	OK	8888,89	6111,11	850,00	235,77	324,88	132,91	0,73
79	OK	8888,89	6555,56	850,00	235,33	324,56	133,23	0,73
80	OK	8888,89	7000,00	850,00	234,99	324,18	133,61	0,72
81	OK	9444,44	3000,00	850,00	110,42	6,85	281,21	16,11
82	OK	9444,44	3444,44	850,00	189,96	23,98	308,70	7,92
83	OK	9444,44	3888,89	850,00	259,75	48,14	319,43	5,40
84	OK	9444,44	4333,33	850,00	323,05	76,77	320,73	4,21
85	OK	9444,44	4777,78	850,00	378,17	110,22	316,36	3,43
86	OK	9444,44	5222,22	850,00	411,01	156,82	296,56	2,62
87	OK	9444,44	5666,67	850,00	240,57	319,09	138,70	0,75
88	OK	9444,44	6111,11	850,00	237,71	320,82	136,97	0,74
89	OK	9444,44	6555,56	850,00	237,21	320,55	137,24	0,74
90	OK	9444,44	7000,00	850,00	236,85	320,18	137,61	0,74
91	OK	10000,00	3000,00	850,00	98,45	5,07	284,33	19,41
92	OK	10000,00	3444,44	850,00	181,36	20,25	313,81	8,96
93	OK	10000,00	3888,89	850,00	255,98	42,19	322,95	6,07
94	OK	10000,00	4333,33	850,00	321,76	69,35	325,97	4,64
95	OK	10000,00	4777,78	850,00	379,04	101,53	323,09	3,73
96	OK	10000,00	5222,22	850,00	416,42	145,46	306,44	2,86
97	OK	10000,00	5666,67	850,00	247,30	310,82	146,97	0,80
98	OK	10000,00	6111,11	850,00	239,56	316,84	140,95	0,76
99	OK	10000,00	6555,56	850,00	239,00	316,62	141,17	0,75
100	OK	10000,00	7000,00	850,00	238,60	316,28	141,51	0,75
101	OK	6000,00	4400,00	850,00	317,07	140,87	272,19	2,25

Lecho móvil descendiente:

Row/Case	Status	VARY 1 H2O MIXED TOTAL MASSFLOW KG/HR	H2FLOW KMOL/HR	COFLOW KMOL/HR	H2FLOW/C OFLOW
1	OK	1000,00	258,88	340,62	0,76
2	OK	1789,47	270,66	318,16	0,85
3	OK	2578,95	280,10	297,70	0,94
4	OK	3368,42	287,54	278,96	1,03
5	OK	4157,89	293,23	261,74	1,12
6	OK	4947,37	297,38	245,86	1,21
7	OK	5736,84	300,17	231,15	1,30
8	OK	6526,32	301,76	217,49	1,39
9	OK	7315,79	302,27	204,77	1,48
10	OK	8105,26	301,81	192,89	1,56
11	OK	8894,74	300,48	181,78	1,65
12	OK	9684,21	298,36	171,35	1,74
13	OK	10473,68	295,52	161,55	1,83
14	OK	11263,16	292,03	152,31	1,92
15	OK	12052,63	287,95	143,60	2,01
16	OK	12842,11	283,32	135,36	2,09
17	OK	13631,58	278,19	127,56	2,18
18	OK	14000,00	275,63	124,07	2,22
19	OK	14421,05	272,59	120,17	2,27
20	OK	15210,53	266,57	113,15	2,36
21	OK	16000,00	260,16	106,47	2,44



Lecho fluidizado burbujeante indirecto:

Row/Case	Status	VARY 1 H2O MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	TEMP C	H2FLOW KMOL/HR	COFLOW KMOL/HR	H2FLOW/C OFLOW
1	OK	100,00	850,00	305,19	309,04	0,99
2	OK	2625,56	850,00	445,30	449,21	0,99
3	OK	5151,11	850,00	477,78	434,09	1,10
4	OK	7676,67	850,00	499,31	412,56	1,21
5	OK	10202,22	850,00	518,02	393,86	1,32
6	OK	12727,78	850,00	534,54	377,35	1,42
7	OK	15253,33	850,00	549,32	362,58	1,52
8	OK	17778,89	850,00	562,67	349,24	1,61
9	OK	20000,00	850,00	573,42	338,51	1,69
10	OK	20304,44	850,00	574,83	337,10	1,71
11	OK	22830,00	850,00	585,98	325,97	1,80



Lecho fluidizado burbujeante directo:

Row/Case	Status	VARY 1 H2O MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	VARY 2 O2 MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	TEMP C	H2FLOW KMOL/H R	COFLOW KMOL/H R	H2FLOW/C OFLOW
1	OK	100,00	10,00	96,84	0,00	0,00	6818610,08
2	OK	100,00	1120,00	486,67	76,49	10,56	7,25
3	OK	100,00	2230,00	609,85	163,76	87,27	1,88
4	OK	100,00	3340,00	671,75	209,08	201,09	1,04
5	OK	100,00	4450,00	716,36	237,72	328,24	0,72
6	OK	100,00	5560,00	1140,15	197,12	367,24	0,54
7	OK	100,00	6670,00	1672,14	138,82	356,23	0,39
8	OK	100,00	7780,00	2145,30	98,21	327,81	0,30
9	OK	100,00	8890,00	2512,66	71,89	291,84	0,25
10	OK	100,00	10000,00	2678,82	59,65	267,13	0,22
11	OK	2311,11	10,00	95,05	0,02	0,00	236288,08
12	OK	2311,11	1120,00	450,90	79,15	6,89	11,48
13	OK	2311,11	2230,00	571,94	189,70	66,18	2,87
14	OK	2311,11	3340,00	633,37	254,53	166,42	1,53
15	OK	2311,11	4450,00	683,61	299,72	280,38	1,07
16	OK	2311,11	5560,00	1057,78	240,32	324,03	0,74
17	OK	2311,11	6670,00	1501,07	171,07	323,94	0,53
18	OK	2311,11	7780,00	1908,08	122,99	302,91	0,41
19	OK	2311,11	8890,00	2266,50	88,49	269,48	0,33
20	OK	2311,11	10000,00	2498,12	68,37	238,13	0,29
21	OK	4522,22	10,00	93,99	0,08	0,00	48346,41
22	OK	4522,22	1120,00	424,55	79,18	4,87	16,27
23	OK	4522,22	2230,00	542,67	205,50	51,33	4,00
24	OK	4522,22	3340,00	604,33	288,27	138,79	2,08
25	OK	4522,22	4450,00	670,99	352,68	233,93	1,51
26	OK	4522,22	5560,00	994,49	277,93	286,41	0,97
27	OK	4522,22	6670,00	1375,46	200,17	294,82	0,68
28	OK	4522,22	7780,00	1732,56	145,64	280,21	0,52
29	OK	4522,22	8890,00	2059,41	105,17	251,62	0,42
30	OK	4522,22	10000,00	2325,32	76,95	217,22	0,35
31	OK	6733,33	10,00	104,27	0,21	0,00	18994,65
32	OK	6733,33	1120,00	404,06	78,23	3,64	21,52
33	OK	6733,33	2230,00	518,88	214,74	40,67	5,28



34	OK	6733,33	3340,00	580,69	313,20	116,72	2,68
35	OK	6733,33	4450,00	657,95	393,72	196,16	2,01
36	OK	6733,33	5560,00	943,52	311,06	253,28	1,23
37	OK	6733,33	6670,00	1278,36	226,78	268,21	0,85
38	OK	6733,33	7780,00	1596,78	166,67	259,12	0,64
39	OK	6733,33	8890,00	1893,22	121,26	235,31	0,52
40	OK	6733,33	10000,00	2158,76	86,88	202,21	0,43
41	OK	8944,44	10,00	120,25	0,42	0,00	10244,30
42	OK	8944,44	1120,00	387,54	76,98	2,84	27,14
43	OK	8944,44	2230,00	498,94	219,73	32,86	6,69
44	OK	8944,44	3340,00	564,28	338,77	94,66	3,58
45	OK	8944,44	4450,00	644,73	426,01	165,17	2,58
46	OK	8944,44	5560,00	901,01	340,33	223,99	1,52
47	OK	8944,44	6670,00	1200,43	251,18	243,80	1,03
48	OK	8944,44	7780,00	1488,05	186,31	239,42	0,78
49	OK	8944,44	8890,00	1758,67	136,60	219,93	0,62
50	OK	8944,44	10000,00	2009,41	97,66	189,98	0,51
51	OK	11155,56	10,00	132,49	0,72	0,00	6606,52
52	OK	11155,56	1120,00	373,88	75,70	2,29	33,06
53	OK	11155,56	2230,00	482,26	223,47	26,55	8,42
54	OK	11155,56	3340,00	551,21	361,18	75,39	4,79
55	OK	11155,56	4450,00	631,58	451,61	139,59	3,24
56	OK	11155,56	5560,00	864,63	366,21	198,09	1,85
57	OK	11155,56	6670,00	1136,05	273,55	221,43	1,24
58	OK	11155,56	7780,00	1398,60	204,67	221,00	0,93
59	OK	11155,56	8890,00	1647,52	151,17	205,33	0,74
60	OK	11155,56	10000,00	1881,45	108,48	178,81	0,61
61	OK	13366,67	10,00	142,16	1,09	0,00	4760,76
62	OK	13366,67	1120,00	362,69	75,17	1,88	40,01
63	OK	13366,67	2230,00	469,38	231,75	20,08	11,54
64	OK	13366,67	3340,00	538,87	377,27	60,71	6,21
65	OK	13366,67	4450,00	618,72	471,94	118,42	3,99
66	OK	13366,67	5560,00	832,88	389,07	175,20	2,22
67	OK	13366,67	6670,00	1081,66	294,03	200,94	1,46
68	OK	13366,67	7780,00	1323,41	221,83	203,81	1,09
69	OK	13366,67	8890,00	1553,99	164,98	191,50	0,86
70	OK	13366,67	10000,00	1772,39	119,00	168,20	0,71
71	OK	15577,78	10,00	149,99	1,52	0,00	3693,13
72	OK	15577,78	1120,00	355,10	78,38	1,49	52,52
73	OK	15577,78	2230,00	457,92	237,20	15,62	15,18
74	OK	15577,78	3340,00	527,33	388,74	49,46	7,86
75	OK	15577,78	4450,00	606,28	488,06	100,86	4,84
76	OK	15577,78	5560,00	804,74	409,23	155,00	2,64
77	OK	15577,78	6670,00	1034,87	312,74	182,24	1,72
78	OK	15577,78	7780,00	1259,13	237,83	187,80	1,27
79	OK	15577,78	8890,00	1474,00	178,03	178,41	1,00



80	OK	15577,78	10000,00	1678,63	129,11	158,05	0,82
81	OK	17788,89	10,00	156,46	2,01	0,00	3016,17
82	OK	17788,89	1120,00	348,75	81,32	1,23	66,14
83	OK	17788,89	2230,00	447,72	240,92	12,47	19,33
84	OK	17788,89	3340,00	516,59	396,87	40,76	9,74
85	OK	17788,89	4450,00	594,38	500,77	86,27	5,80
86	OK	17788,89	5560,00	779,52	426,97	137,22	3,11
87	OK	17788,89	6670,00	994,01	329,78	165,20	2,00
88	OK	17788,89	7780,00	1203,36	252,71	172,91	1,46
89	OK	17788,89	8890,00	1404,68	190,33	166,07	1,15
90	OK	17788,89	10000,00	1597,15	138,79	148,37	0,94
91	OK	20000,00	10,00	161,89	2,55	0,00	2556,45
92	OK	20000,00	1120,00	343,33	84,12	1,04	80,73
93	OK	20000,00	2230,00	438,61	243,55	10,16	23,97
94	OK	20000,00	3340,00	506,64	402,57	33,97	11,85
95	OK	20000,00	4450,00	583,04	510,73	74,14	6,89
96	OK	20000,00	5560,00	756,69	442,54	121,59	3,64
97	OK	20000,00	6670,00	957,90	345,26	149,71	2,31
98	OK	20000,00	7780,00	1154,39	266,51	159,10	1,68
99	OK	20000,00	8890,00	1343,89	201,91	154,45	1,31
100	OK	20000,00	10000,00	1525,61	148,00	139,14	1,06
101	OK	13367,00	5600,00	841,87	385,15	176,64	2,18

Lecho fluidizado dual:

Row/Case	Status	VARY 1 H2O MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	H2FLOW KMOL/HR	COFLOW KMOL/HR	H2FLOW/C OFLOW
1	OK	1000,00	306,43	353,62	0,87
2	OK	1675,86	370,81	363,22	1,02
3	OK	2351,71	395,04	351,29	1,12
4	OK	3027,57	412,21	337,48	1,22
5	OK	3703,43	426,95	324,25	1,32
6	OK	4379,29	440,18	311,87	1,41
7	OK	5055,14	452,23	300,36	1,51
8	OK	5731,00	463,31	289,65	1,60
9	OK	6406,86	473,56	279,67	1,69
10	OK	7082,71	483,07	270,35	1,79
11	OK	7758,57	491,94	261,64	1,88
12	OK	8434,43	500,23	253,48	1,97
13	OK	9110,29	507,99	245,81	2,07
14	OK	9786,14	515,28	238,60	2,16
15	OK	10462,00	522,15	231,80	2,25



- Tablas madera

Lecho móvil ascendente indirecto:

Row/Case	Status	VARY 1 H2O MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	TEMP C	H2FLOW KMOL/HR	COFLOW KMOL/HR	H2FLOW/C OFLOW
1	OK	100,00	850,00	325,08	287,21	1,13
2	OK	929,17	850,00	368,46	329,43	1,12
3	OK	1758,33	850,00	411,85	371,66	1,11
4	OK	2587,50	850,00	455,23	413,89	1,10
5	OK	3416,67	850,00	498,18	448,22	1,11
6	OK	4245,83	850,00	526,14	434,17	1,21
7	OK	5075,00	850,00	546,42	418,19	1,31
8	OK	5904,17	850,00	563,85	402,77	1,40
9	OK	6733,33	850,00	579,51	388,27	1,49
10	OK	7562,50	850,00	593,81	374,71	1,58
11	OK	8391,67	850,00	607,00	362,04	1,68
12	OK	9220,83	850,00	619,22	350,19	1,77
13	OK	10050,00	850,00	630,60	339,09	1,86
14	OK	10879,17	850,00	641,23	328,68	1,95
15	OK	11708,33	850,00	651,19	318,89	2,04
16	OK	12537,50	850,00	660,54	309,67	2,13
17	OK	13366,67	850,00	669,35	300,98	2,22
18	OK	14000,00	850,00	675,74	294,66	2,29
19	OK	14195,83	850,00	677,66	292,76	2,31
20	OK	15025,00	850,00	685,51	284,99	2,41
21	OK	15854,17	850,00	692,94	277,62	2,50
22	OK	16683,33	850,00	699,99	270,63	2,59
23	OK	17512,50	850,00	706,68	263,99	2,68
24	OK	18341,67	850,00	713,04	257,66	2,77
25	OK	19170,83	850,00	719,10	251,64	2,86
26	OK	20000,00	850,00	724,88	245,89	2,95



Lecho móvil ascendente directo:

Row/Cas e	Statu s	VARY 1 H2O MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	VARY 2 O2 MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	TEMP C	H2FLOW KMOL/H R	COFLOW KMOL/H R	CO2FLO W KMOL/H R	H2FLOW/ C OFLOW
1	OK	5000,00	3000,00	850,00	290,45	105,10	226,71	2,76
2	OK	5000,00	3444,44	850,00	325,01	148,08	228,50	2,19
3	OK	5000,00	3888,89	850,00	353,84	194,29	227,47	1,82
4	OK	5000,00	4333,33	850,00	393,63	236,40	215,51	1,67
5	OK	5000,00	4777,78	850,00	336,08	336,35	133,10	1,00
6	OK	5000,00	5222,22	850,00	277,69	387,32	82,13	0,72
7	OK	5000,00	5666,67	850,00	277,70	386,64	82,81	0,72
8	OK	5000,00	6111,11	850,00	277,63	386,04	83,41	0,72
9	OK	5000,00	6555,56	850,00	277,51	385,51	83,94	0,72
10	OK	5000,00	7000,00	850,00	277,35	385,02	84,43	0,72
11	OK	5555,56	3000,00	850,00	290,78	96,18	237,39	3,02
12	OK	5555,56	3444,44	850,00	327,87	137,72	240,44	2,38
13	OK	5555,56	3888,89	850,00	359,15	182,59	240,30	1,97
14	OK	5555,56	4333,33	850,00	402,24	223,15	227,60	1,80
15	OK	5555,56	4777,78	850,00	356,00	316,42	153,03	1,13
16	OK	5555,56	5222,22	850,00	280,39	382,60	86,85	0,73
17	OK	5555,56	5666,67	850,00	280,34	381,96	87,49	0,73
18	OK	5555,56	6111,11	850,00	280,26	381,38	88,07	0,73
19	OK	5555,56	6555,56	850,00	280,12	380,86	88,59	0,74
20	OK	5555,56	7000,00	850,00	279,95	380,38	89,07	0,74
21	OK	6111,11	3000,00	850,00	290,17	87,79	247,62	3,31
22	OK	6111,11	3444,44	850,00	329,84	127,88	251,94	2,58
23	OK	6111,11	3888,89	850,00	366,20	170,25	251,32	2,15
24	OK	6111,11	4333,33	850,00	410,04	210,36	239,14	1,95
25	OK	6111,11	4777,78	850,00	375,82	296,55	172,88	1,27
26	OK	6111,11	5222,22	850,00	282,97	377,98	91,47	0,75
27	OK	6111,11	5666,67	850,00	282,84	377,40	92,04	0,75
28	OK	6111,11	6111,11	850,00	282,74	376,84	92,61	0,75
29	OK	6111,11	6555,56	850,00	282,59	376,33	93,11	0,75
30	OK	6111,11	7000,00	850,00	282,40	375,87	93,58	0,75
31	OK	6666,67	3000,00	850,00	288,65	79,91	257,39	3,61
32	OK	6666,67	3444,44	850,00	330,94	118,52	263,00	2,79



33	OK	6666,67	3888,89	850,00	372,30	158,48	261,67	2,35
34	OK	6666,67	4333,33	850,00	417,06	198,05	250,13	2,11
35	OK	6666,67	4777,78	850,00	395,33	276,86	192,53	1,43
36	OK	6666,67	5222,22	850,00	285,42	373,47	95,98	0,76
37	OK	6666,67	5666,67	850,00	285,21	372,96	96,48	0,76
38	OK	6666,67	6111,11	850,00	285,08	372,43	97,02	0,77
39	OK	6666,67	6555,56	850,00	284,92	371,93	97,52	0,77
40	OK	6666,67	7000,00	850,00	284,72	371,47	97,98	0,77
41	OK	7222,22	3000,00	850,00	286,25	72,53	266,73	3,95
42	OK	7222,22	3444,44	850,00	331,20	109,63	273,64	3,02
43	OK	7222,22	3888,89	850,00	377,45	147,26	271,37	2,56
44	OK	7222,22	4333,33	850,00	423,30	186,19	260,58	2,27
45	OK	7222,22	4777,78	850,00	413,99	257,67	211,58	1,61
46	OK	7222,22	5222,22	850,00	287,78	369,04	100,41	0,78
47	OK	7222,22	5666,67	850,00	287,46	368,63	100,82	0,78
48	OK	7222,22	6111,11	850,00	287,30	368,12	101,33	0,78
49	OK	7222,22	6555,56	850,00	287,12	367,64	101,81	0,78
50	OK	7222,22	7000,00	850,00	286,91	367,19	102,26	0,78
51	OK	7777,78	3000,00	850,00	282,99	65,63	275,64	4,31
52	OK	7777,78	3444,44	850,00	330,64	101,21	283,88	3,27
53	OK	7777,78	3888,89	850,00	381,69	136,59	280,44	2,79
54	OK	7777,78	4333,33	850,00	428,78	174,78	270,50	2,45
55	OK	7777,78	4777,78	850,00	430,84	239,55	229,39	1,80
56	OK	7777,78	5222,22	850,00	290,07	364,67	104,77	0,80
57	OK	7777,78	5666,67	850,00	289,60	364,40	105,05	0,79
58	OK	7777,78	6111,11	850,00	289,40	363,91	105,54	0,80
59	OK	7777,78	6555,56	850,00	289,20	363,45	106,00	0,80
60	OK	7777,78	7000,00	850,00	288,98	363,01	106,44	0,80
61	OK	8333,33	3000,00	850,00	278,93	59,19	284,15	4,71
62	OK	8333,33	3444,44	850,00	329,87	93,02	293,21	3,55
63	OK	8333,33	3888,89	850,00	385,03	126,44	288,88	3,05
64	OK	8333,33	4333,33	850,00	433,49	163,83	279,90	2,65
65	OK	8333,33	4777,78	850,00	445,08	222,98	245,38	2,00
66	OK	8333,33	5222,22	850,00	292,30	360,35	109,09	0,81
67	OK	8333,33	5666,67	850,00	291,62	360,25	109,19	0,81
68	OK	8333,33	6111,11	850,00	291,39	359,80	109,65	0,81
69	OK	8333,33	6555,56	850,00	291,17	359,35	110,10	0,81
70	OK	8333,33	7000,00	850,00	290,94	358,92	110,52	0,81
71	OK	8888,89	3000,00	850,00	274,07	53,20	292,27	5,15
72	OK	8888,89	3444,44	850,00	330,63	84,40	299,87	3,92
73	OK	8888,89	3888,89	850,00	387,49	116,82	296,72	3,32
74	OK	8888,89	4333,33	850,00	437,45	153,32	288,77	2,85
75	OK	8888,89	4777,78	850,00	456,63	207,99	259,51	2,20
76	OK	8888,89	5222,22	850,00	294,54	356,03	113,42	0,83
77	OK	8888,89	5666,67	850,00	293,55	356,20	113,25	0,82
78	OK	8888,89	6111,11	850,00	293,28	355,78	113,67	0,82



79	OK	8888,89	6555,56	850,00	293,04	355,35	114,10	0,82
80	OK	8888,89	7000,00	850,00	292,80	354,93	114,51	0,82
81	OK	9444,44	3000,00	850,00	268,46	47,63	300,00	5,64
82	OK	9444,44	3444,44	850,00	330,40	76,35	305,85	4,33
83	OK	9444,44	3888,89	850,00	389,09	107,70	303,95	3,61
84	OK	9444,44	4333,33	850,00	440,65	143,25	297,12	3,08
85	OK	9444,44	4777,78	850,00	465,93	194,32	272,08	2,40
86	OK	9444,44	5222,22	850,00	296,90	351,59	117,85	0,84
87	OK	9444,44	5666,67	850,00	295,39	352,22	117,23	0,84
88	OK	9444,44	6111,11	850,00	295,07	351,84	117,60	0,84
89	OK	9444,44	6555,56	850,00	294,81	351,43	118,02	0,84
90	OK	9444,44	7000,00	850,00	294,55	351,03	118,42	0,84
91	OK	10000,0	3000,00	850,00	262,18	42,46	307,27	6,18
92	OK	10000,0	3444,44	850,00	329,23	68,87	311,16	4,78
93	OK	10000,0	3888,89	850,00	389,84	99,08	310,60	3,93
94	OK	10000,0	4333,33	850,00	443,12	133,62	304,96	3,32
95	OK	10000,0	4777,78	850,00	473,45	181,71	283,43	2,61
96	OK	10000,0	5222,22	850,00	299,88	346,62	122,83	0,87
97	OK	10000,0	5666,67	850,00	297,14	348,32	121,13	0,85
98	OK	10000,0	6111,11	850,00	296,77	347,99	121,46	0,85
99	OK	10000,0	6555,56	850,00	296,49	347,60	121,85	0,85
100	OK	10000,0	7000,00	850,00	296,21	347,21	122,24	0,85
101	OK	5555,00	3444,00	850,00	327,83	137,69	240,43	2,38

Lecho móvil descendente

Row/Case	Status	VARY 1 H2O MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	H2FLOW KMOL/HR	COFLOW KMOL/HR	H2FLOW/C OFLOW
1	OK	1000,00	317,22	383,25	0,83
2	OK	1789,47	334,57	364,79	0,92
3	OK	2578,95	350,03	347,88	1,01
4	OK	3368,42	363,87	332,34	1,09
5	OK	4157,89	376,30	318,00	1,18
6	OK	4947,37	387,47	304,73	1,27
7	OK	5736,84	397,55	292,41	1,36
8	OK	6526,32	406,64	280,94	1,45
9	OK	7315,79	414,84	270,23	1,54
10	OK	8105,26	422,25	260,21	1,62
11	OK	8894,74	428,94	250,82	1,71
12	OK	9684,21	434,98	241,99	1,80
13	OK	10473,68	440,43	233,68	1,88
14	OK	11263,16	445,33	225,84	1,97
15	OK	12052,63	449,74	218,43	2,06
16	OK	12842,11	453,69	211,41	2,15
17	OK	13600,00	457,09	205,02	2,23
18	OK	13631,58	457,22	204,76	2,23
19	OK	14421,05	460,37	198,45	2,32
20	OK	15210,53	463,16	192,45	2,41
21	OK	16000,00	465,62	186,74	2,49



Lecho fluidizado burbujeante indirecto

Row/Case	Status	VARY 1 H2O MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	TEMP C	H2FLOW KMOL/HR	COFLOW KMOL/HR	H2FLOW/C OFLOW
1	OK	100,00	850,00	344,61	312,62	1,10
2	OK	2311,11	850,00	467,27	435,34	1,07
3	OK	4522,22	850,00	517,12	453,93	1,14
4	OK	6733,33	850,00	536,24	434,82	1,23
5	OK	8944,44	850,00	553,18	417,89	1,32
6	OK	11155,56	850,00	568,39	402,69	1,41
7	OK	13366,67	850,00	582,17	388,92	1,50
8	OK	15577,78	850,00	594,77	376,34	1,58
9	OK	17788,89	850,00	606,35	364,78	1,66
10	OK	20000,00	850,00	617,07	354,08	1,74



Lecho fluidizado burbujeante directo:

Row/Case	Status	VARY 1 H2O MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	VARY 2 O2 MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	TEMP C	H2FLOW KMOL/HR	COFLOW KMOL/HR	H2FLOW/ C OFLOW
1	OK	100,00	10,00	443,72	60,53	3,72	16,27
2	OK	100,00	1120,00	593,67	172,97	61,61	2,81
3	OK	100,00	2230,00	663,87	231,51	166,04	1,39
4	OK	100,00	3340,00	712,61	267,09	288,09	0,93
5	OK	100,00	4450,00	818,80	290,99	397,35	0,73
6	OK	100,00	5560,00	1363,01	223,58	399,96	0,56
7	OK	100,00	6670,00	1864,62	169,20	385,21	0,44
8	OK	100,00	7780,00	2308,71	127,11	358,58	0,35
9	OK	100,00	8890,00	2634,25	98,96	327,98	0,30
10	OK	100,00	10000,00	2779,49	85,03	307,04	0,28
11	OK	3422,22	10,00	399,34	59,01	2,16	27,34
12	OK	3422,22	1120,00	539,67	195,25	40,46	4,83
13	OK	3422,22	2230,00	608,49	284,18	123,95	2,29
14	OK	3422,22	3340,00	653,28	341,71	231,80	1,47
15	OK	3422,22	4450,00	788,33	371,27	318,24	1,17
16	OK	3422,22	5560,00	1195,47	279,47	344,07	0,81
17	OK	3422,22	6670,00	1588,74	213,18	341,09	0,62
18	OK	3422,22	7780,00	1951,23	162,69	322,61	0,50
19	OK	3422,22	8890,00	2275,78	123,39	293,83	0,42
20	OK	3422,22	10000,00	2504,21	97,76	264,71	0,37
21	OK	6744,44	10,00	370,58	56,99	1,44	39,65
22	OK	6744,44	1120,00	502,40	203,32	28,17	7,22
23	OK	6744,44	2230,00	570,63	315,94	94,47	3,34
24	OK	6744,44	3340,00	619,70	401,10	182,87	2,19
25	OK	6744,44	4450,00	756,93	431,70	257,44	1,68
26	OK	6744,44	5560,00	1084,52	327,90	295,64	1,11
27	OK	6744,44	6670,00	1409,10	252,25	301,95	0,84
28	OK	6744,44	7780,00	1714,87	194,53	290,65	0,67
29	OK	6744,44	8890,00	1999,40	148,39	267,68	0,55
30	OK	6744,44	10000,00	2250,70	112,34	237,33	0,47
31	OK	10066,67	10,00	350,07	55,35	1,05	52,71
32	OK	10066,67	1120,00	474,19	204,66	20,61	9,93
33	OK	10066,67	2230,00	541,79	335,29	73,17	4,58



34	OK	10066,67	3340,00	600,47	453,38	137,91	3,29
35	OK	10066,67	4450,00	727,37	479,10	209,22	2,29
36	OK	10066,67	5560,00	1003,50	369,97	253,57	1,46
37	OK	10066,67	6670,00	1280,76	287,40	266,78	1,08
38	OK	10066,67	7780,00	1545,72	223,56	261,48	0,85
39	OK	10066,67	8890,00	1795,79	171,98	243,96	0,70
40	OK	10066,67	10000,00	2029,17	129,62	217,41	0,60
41	OK	13388,89	10,00	334,61	54,20	0,82	66,13
42	OK	13388,89	1120,00	452,46	207,08	14,80	14,00
43	OK	13388,89	2230,00	522,51	361,40	51,23	7,05
44	OK	13388,89	3340,00	582,44	488,71	105,24	4,64
45	OK	13388,89	4450,00	700,27	516,61	170,56	3,03
46	OK	13388,89	5560,00	940,49	406,39	217,15	1,87
47	OK	13388,89	6670,00	1183,32	318,97	235,20	1,36
48	OK	13388,89	7780,00	1417,54	250,13	234,79	1,07
49	OK	13388,89	8890,00	1640,53	193,93	221,95	0,87
50	OK	13388,89	10000,00	1851,93	146,92	199,73	0,74
51	OK	16711,11	10,00	325,11	57,30	0,64	89,86
52	OK	16711,11	1120,00	435,93	213,93	10,09	21,19
53	OK	16711,11	2230,00	505,36	376,66	37,09	10,16
54	OK	16711,11	3340,00	565,70	512,37	81,37	6,30
55	OK	16711,11	4450,00	675,60	546,22	139,51	3,92
56	OK	16711,11	5560,00	889,31	437,73	185,79	2,36
57	OK	16711,11	6670,00	1106,06	347,20	206,96	1,68
58	OK	16711,11	7780,00	1316,31	274,42	210,43	1,30
59	OK	16711,11	8890,00	1517,77	214,26	201,54	1,06
60	OK	16711,11	10000,00	1710,19	163,36	183,22	0,89
61	OK	20033,33	10,00	318,89	62,01	0,51	120,48
62	OK	20033,33	1120,00	422,27	218,13	7,32	29,81
63	OK	20033,33	2230,00	490,25	385,52	27,71	13,91
64	OK	20033,33	3340,00	550,30	527,95	63,81	8,27
65	OK	20033,33	4450,00	653,19	569,41	114,59	4,97
66	OK	20033,33	5560,00	846,43	464,57	158,93	2,92
67	OK	20033,33	6670,00	1042,79	372,29	181,87	2,05
68	OK	20033,33	7780,00	1233,87	296,52	188,30	1,57
69	OK	20033,33	8890,00	1417,85	233,02	182,68	1,28
70	OK	20033,33	10000,00	1594,39	178,78	167,77	1,07
71	OK	23355,56	10,00	313,99	66,55	0,44	152,99
72	OK	23355,56	1120,00	410,81	221,09	5,56	39,75
73	OK	23355,56	2230,00	476,96	390,60	21,32	18,32
74	OK	23355,56	3340,00	536,22	537,98	50,77	10,60
75	OK	23355,56	4450,00	632,85	587,41	94,61	6,21
76	OK	23355,56	5560,00	809,70	487,43	136,05	3,58
77	OK	23355,56	6670,00	989,69	394,47	159,69	2,47
78	OK	23355,56	7780,00	1165,10	316,51	168,29	1,88
79	OK	23355,56	8890,00	1334,61	250,25	165,35	1,51



80	OK	23355,56	10000,00	1497,78	193,14	153,38	1,26
81	OK	26677,78	10,00	310,03	70,98	0,38	186,95
82	OK	26677,78	1120,00	401,07	223,45	4,39	50,96
83	OK	26677,78	2230,00	465,22	393,45	16,82	23,40
84	OK	26677,78	3340,00	523,37	544,20	40,99	13,28
85	OK	26677,78	4450,00	614,39	601,21	78,60	7,65
86	OK	26677,78	5560,00	777,68	506,81	116,63	4,35
87	OK	26677,78	6670,00	944,24	413,97	140,19	2,95
88	OK	26677,78	7780,00	1106,64	334,52	150,28	2,23
89	OK	26677,78	8890,00	1263,96	266,03	149,50	1,78
90	OK	26677,78	10000,00	1415,77	206,43	140,02	1,47
91	OK	30000,00	10,00	306,77	75,34	0,34	222,02
92	OK	30000,00	1120,00	392,67	225,56	3,56	63,34
93	OK	30000,00	2230,00	454,81	394,99	13,57	29,12
94	OK	30000,00	3340,00	511,67	547,82	33,56	16,32
95	OK	30000,00	4450,00	597,64	611,64	65,74	9,30
96	OK	30000,00	5560,00	749,44	523,20	100,21	5,22
97	OK	30000,00	6670,00	904,75	431,05	123,11	3,50
98	OK	30000,00	7780,00	1056,15	350,66	134,13	2,61
99	OK	30000,00	8890,00	1203,07	280,41	135,07	2,08
100	OK	30000,00	10000,00	1345,14	218,69	127,70	1,71
101	OK	20033,00	5560,00	846,44	464,57	158,94	2,92



Lecho fluidizado dual:

Row/Case	Status	VARY 1 H2O MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	H2FLOW KMOL/HR	COFLOW KMOL/HR	H2FLOW/C OFLOW	TEMP C
1	OK	1000,00	299,58	360,11	0,83	849,97
2	OK	2357,14	442,28	388,37	1,14	850,00
3	OK	3714,29	480,12	363,02	1,32	850,00
4	OK	5071,43	507,34	338,35	1,50	850,03
5	OK	6428,57	530,19	316,56	1,67	850,02
6	OK	7785,71	549,95	297,36	1,85	850,02
7	OK	9142,86	567,29	280,35	2,02	850,01
8	OK	10500,00	582,67	265,20	2,20	850,01
9	OK	11857,00	596,41	251,61	2,37	850,01
10	OK	11857,14	596,41	251,61	2,37	850,01
11	OK	13214,29	608,78	239,35	2,54	850,00
12	OK	14571,43	619,97	228,24	2,72	850,00
13	OK	15928,57	630,14	218,13	2,89	850,00
14	OK	17285,71	639,44	208,87	3,06	850,00
15	OK	18642,86	647,97	200,38	3,23	850,00
16	OK	20000,00	655,82	192,56	3,41	850,00



- Tablas maíz

Lecho móvil ascendente indirecto

Row/Case	Status	VARY 1 H2O MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	TEMP C	H2FLOW KMOL/HR	COFLOW KMOL/HR	H2FLOW/C OFLOW
1	OK	100,00	850,00	311,85	276,75	1,13
2	OK	929,17	850,00	355,24	318,98	1,11
3	OK	1758,33	850,00	398,62	361,21	1,10
4	OK	2587,50	850,00	442,00	403,43	1,10
5	OK	3416,67	850,00	482,00	422,21	1,14
6	OK	4245,83	850,00	506,16	406,81	1,24
7	OK	5075,00	850,00	525,12	390,94	1,34
8	OK	5904,17	850,00	541,70	375,89	1,44
9	OK	6733,33	850,00	556,66	361,85	1,54
10	OK	7562,50	850,00	570,33	348,77	1,64
11	OK	8391,67	850,00	582,93	336,60	1,73
12	OK	9220,83	850,00	594,59	325,24	1,83
13	OK	10050,00	850,00	605,44	314,62	1,92
14	OK	10879,17	850,00	615,56	304,69	2,02
15	OK	11708,33	850,00	625,02	295,36	2,12
16	OK	12537,50	850,00	633,90	286,60	2,21
17	OK	13366,67	850,00	642,25	278,34	2,31
18	OK	14000,00	850,00	648,30	272,35	2,38
19	OK	14195,83	850,00	650,12	270,55	2,40
20	OK	15025,00	850,00	657,54	263,19	2,50
21	OK	15854,17	850,00	664,56	256,23	2,59
22	OK	16683,33	850,00	671,21	249,63	2,69
23	OK	17512,50	850,00	677,52	243,36	2,78
24	OK	18341,67	850,00	683,51	237,40	2,88
25	OK	19170,83	850,00	689,21	231,73	2,97
26	OK	20000,00	850,00	694,64	226,33	3,07



Lecho móvil ascendente directo

Row/Case	Status	VARY 1 H2O MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	VARY 2 O2 MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	TEMP C	H2FLOW KMOL/H R	COFLOW KMOL/H R	CO2FLOW KMOL/H R	H2FLOW/ C OFLOW
1	OK	5000,00	3000,00	850,00	312,33	134,30	217,20	2,33
2	OK	5000,00	3444,44	850,00	342,36	179,84	216,70	1,90
3	OK	5000,00	3888,89	850,00	382,57	221,61	205,75	1,73
4	OK	5000,00	4333,33	850,00	334,22	316,14	129,70	1,06
5	OK	5000,00	4777,78	850,00	273,96	368,91	76,93	0,74
6	OK	5000,00	5222,22	850,00	273,88	368,21	77,64	0,74
7	OK	5000,00	5666,67	850,00	273,76	367,60	78,25	0,74
8	OK	5000,00	6111,11	850,00	273,59	367,06	78,79	0,75
9	OK	5000,00	6555,56	850,00	273,37	366,57	79,27	0,75
10	OK	5000,00	7000,00	850,00	273,13	366,12	79,73	0,75
11	OK	5555,56	3000,00	850,00	314,58	124,29	228,86	2,53
12	OK	5555,56	3444,44	850,00	346,86	168,55	229,48	2,06
13	OK	5555,56	3888,89	850,00	390,91	208,52	217,65	1,87
14	OK	5555,56	4333,33	850,00	354,10	296,23	149,61	1,20
15	OK	5555,56	4777,78	850,00	276,57	364,29	81,55	0,76
16	OK	5555,56	5222,22	850,00	276,44	363,63	82,21	0,76
17	OK	5555,56	5666,67	850,00	276,29	363,04	82,80	0,76
18	OK	5555,56	6111,11	850,00	276,11	362,51	83,33	0,76
19	OK	5555,56	6555,56	850,00	275,89	362,03	83,81	0,76
20	OK	5555,56	7000,00	850,00	275,64	361,59	84,26	0,76
21	OK	6111,11	3000,00	850,00	315,92	114,79	240,07	2,75
22	OK	6111,11	3444,44	850,00	353,36	156,52	240,32	2,26
23	OK	6111,11	3888,89	850,00	398,40	195,92	228,97	2,03
24	OK	6111,11	4333,33	850,00	373,82	276,42	169,39	1,35
25	OK	6111,11	4777,78	850,00	279,05	359,78	86,06	0,78
26	OK	6111,11	5222,22	850,00	278,85	359,18	86,66	0,78
27	OK	6111,11	5666,67	850,00	278,68	358,61	87,23	0,78
28	OK	6111,11	6111,11	850,00	278,48	358,09	87,75	0,78
29	OK	6111,11	6555,56	850,00	278,25	357,62	88,22	0,78
30	OK	6111,11	7000,00	850,00	278,00	357,18	88,66	0,78
31	OK	6666,67	3000,00	850,00	316,36	105,81	250,83	2,99
32	OK	6666,67	3444,44	850,00	359,03	145,00	250,38	2,48



33	OK	6666,67	3888,89	850,00	405,08	183,81	239,73	2,20
34	OK	6666,67	4333,33	850,00	392,98	256,93	188,80	1,53
35	OK	6666,67	4777,78	850,00	281,41	355,37	90,47	0,79
36	OK	6666,67	5222,22	850,00	281,12	354,84	91,00	0,79
37	OK	6666,67	5666,67	850,00	280,93	354,29	91,55	0,79
38	OK	6666,67	6111,11	850,00	280,72	353,79	92,05	0,79
39	OK	6666,67	6555,56	850,00	280,48	353,33	92,51	0,79
40	OK	6666,67	7000,00	850,00	280,22	352,90	92,95	0,79
41	OK	7222,22	3000,00	850,00	315,92	97,31	261,16	3,25
42	OK	7222,22	3444,44	850,00	363,72	134,06	259,75	2,71
43	OK	7222,22	3888,89	850,00	410,94	172,18	249,91	2,39
44	OK	7222,22	4333,33	850,00	410,74	238,28	207,23	1,72
45	OK	7222,22	4777,78	850,00	283,68	351,04	94,81	0,81
46	OK	7222,22	5222,22	850,00	283,28	350,61	95,23	0,81
47	OK	7222,22	5666,67	850,00	283,06	350,09	95,76	0,81
48	OK	7222,22	6111,11	850,00	282,83	349,60	96,24	0,81
49	OK	7222,22	6555,56	850,00	282,58	349,15	96,70	0,81
50	OK	7222,22	7000,00	850,00	282,31	348,72	97,12	0,81
51	OK	7777,78	3000,00	850,00	314,64	89,29	271,08	3,52
52	OK	7777,78	3444,44	850,00	367,44	123,69	268,46	2,97
53	OK	7777,78	3888,89	850,00	415,99	161,02	259,55	2,58
54	OK	7777,78	4333,33	850,00	426,04	221,08	223,96	1,93
55	OK	7777,78	4777,78	850,00	285,87	346,77	99,07	0,82
56	OK	7777,78	5222,22	850,00	285,32	346,48	99,37	0,82
57	OK	7777,78	5666,67	850,00	285,07	345,98	99,86	0,82
58	OK	7777,78	6111,11	850,00	284,82	345,51	100,34	0,82
59	OK	7777,78	6555,56	850,00	284,55	345,06	100,78	0,82
60	OK	7777,78	7000,00	850,00	284,28	344,65	101,19	0,82
61	OK	8333,33	3000,00	850,00	313,46	81,39	279,75	3,85
62	OK	8333,33	3444,44	850,00	370,22	113,87	276,52	3,25
63	OK	8333,33	3888,89	850,00	420,25	150,33	268,63	2,80
64	OK	8333,33	4333,33	850,00	438,49	205,55	238,71	2,13
65	OK	8333,33	4777,78	850,00	288,02	342,54	103,30	0,84
66	OK	8333,33	5222,22	850,00	287,25	342,43	103,41	0,84
67	OK	8333,33	5666,67	850,00	286,96	341,97	103,87	0,84
68	OK	8333,33	6111,11	850,00	286,70	341,51	104,33	0,84
69	OK	8333,33	6555,56	850,00	286,42	341,08	104,76	0,84
70	OK	8333,33	7000,00	850,00	286,13	340,67	105,17	0,84
71	OK	8888,89	3000,00	850,00	313,45	73,22	285,87	4,28
72	OK	8888,89	3444,44	850,00	372,08	104,60	283,94	3,56
73	OK	8888,89	3888,89	850,00	423,72	140,11	277,16	3,02
74	OK	8888,89	4333,33	850,00	448,44	191,50	251,74	2,34
75	OK	8888,89	4777,78	850,00	290,19	338,29	107,55	0,86
76	OK	8888,89	5222,22	850,00	289,09	338,47	107,37	0,85
77	OK	8888,89	5666,67	850,00	288,76	338,04	107,80	0,85
78	OK	8888,89	6111,11	850,00	288,47	337,61	108,24	0,85



79	OK	8888,89	6555,56	850,00	288,18	337,19	108,66	0,85
80	OK	8888,89	7000,00	850,00	287,88	336,79	109,06	0,85
81	OK	9444,44	3000,00	850,00	312,41	65,66	291,29	4,76
82	OK	9444,44	3444,44	850,00	373,04	95,86	290,74	3,89
83	OK	9444,44	3888,89	850,00	426,41	130,35	285,16	3,27
84	OK	9444,44	4333,33	850,00	456,43	178,61	263,40	2,56
85	OK	9444,44	4777,78	850,00	292,54	333,89	111,96	0,88
86	OK	9444,44	5222,22	850,00	290,83	334,59	111,25	0,87
87	OK	9444,44	5666,67	850,00	290,45	334,20	111,64	0,87
88	OK	9444,44	6111,11	850,00	290,14	333,79	112,06	0,87
89	OK	9444,44	6555,56	850,00	289,84	333,38	112,46	0,87
90	OK	9444,44	7000,00	850,00	289,53	332,99	112,86	0,87
91	OK	10000,00	3000,00	850,00	310,39	58,68	296,02	5,29
92	OK	10000,00	3444,44	850,00	373,13	87,63	296,93	4,26
93	OK	10000,00	3888,89	850,00	428,33	121,04	292,62	3,54
94	OK	10000,00	4333,33	850,00	462,86	166,64	273,99	2,78
95	OK	10000,00	4777,78	850,00	295,84	328,64	117,20	0,90
96	OK	10000,00	5222,22	850,00	292,48	330,79	115,05	0,88
97	OK	10000,00	5666,67	850,00	292,06	330,44	115,40	0,88
98	OK	10000,00	6111,11	850,00	291,73	330,04	115,80	0,88
99	OK	10000,00	6555,56	850,00	291,41	329,65	116,19	0,88
100	OK	10000,00	7000,00	850,00	291,09	329,27	116,57	0,88
101	OK	5555,00	3000,00	850,00	314,58	124,30	228,85	2,53



Lecho móvil descendente

Row/Case	Status	VARY 1 H2O MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	VARY 2 O2 MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	H2FLOW KMOL/HR	COFLOW KMOL/HR	H2FLOW/C OFLOW
1	OK	1000,00	0,00	298,39	355,50	0,84
2	OK	1000,00	526,32	298,39	355,50	0,84
3	OK	1000,00	1052,63	298,39	355,50	0,84
4	OK	1000,00	1578,95	298,39	355,50	0,84
5	OK	1000,00	2105,26	298,39	355,50	0,84
6	OK	1000,00	2631,58	298,39	355,50	0,84
7	OK	1000,00	3157,89	298,39	355,50	0,84
8	OK	1000,00	3684,21	298,39	355,50	0,84
9	OK	1000,00	4210,53	298,39	355,50	0,84
10	OK	1000,00	4736,84	298,39	355,50	0,84
11	OK	1000,00	5263,16	298,39	355,50	0,84
12	OK	1000,00	5789,47	298,39	355,50	0,84
13	OK	1000,00	6315,79	298,39	355,50	0,84
14	OK	1000,00	6842,11	298,39	355,50	0,84
15	OK	1000,00	7368,42	298,39	355,50	0,84
16	OK	1000,00	7894,74	298,39	355,50	0,84
17	OK	1000,00	8421,05	298,39	355,50	0,84
18	OK	1000,00	8947,37	298,39	355,50	0,84
19	OK	1000,00	9473,68	298,39	355,50	0,84
20	OK	1000,00	10000,00	298,39	355,50	0,84
21	OK	1789,47	0,00	315,06	337,56	0,93
22	OK	1789,47	526,32	315,06	337,56	0,93
23	OK	1789,47	1052,63	315,06	337,56	0,93
24	OK	1789,47	1578,95	315,06	337,56	0,93
25	OK	1789,47	2105,26	315,06	337,56	0,93
26	OK	1789,47	2631,58	315,06	337,56	0,93
27	OK	1789,47	3157,89	315,06	337,56	0,93
28	OK	1789,47	3684,21	315,06	337,56	0,93
29	OK	1789,47	4210,53	315,06	337,56	0,93
30	OK	1789,47	4736,84	315,06	337,56	0,93
31	OK	1789,47	5263,16	315,06	337,56	0,93
32	OK	1789,47	5789,47	315,06	337,56	0,93
33	OK	1789,47	6315,79	315,06	337,56	0,93
34	OK	1789,47	6842,11	315,06	337,56	0,93



35	OK	1789,47	7368,42	315,06	337,56	0,93
36	OK	1789,47	7894,74	315,06	337,56	0,93
37	OK	1789,47	8421,05	315,06	337,56	0,93
38	OK	1789,47	8947,37	315,06	337,56	0,93
39	OK	1789,47	9473,68	315,06	337,56	0,93
40	OK	1789,47	10000,00	315,06	337,56	0,93
41	OK	2578,95	0,00	329,85	321,20	1,03
42	OK	2578,95	526,32	329,85	321,20	1,03
43	OK	2578,95	1052,63	329,85	321,20	1,03
44	OK	2578,95	1578,95	329,85	321,20	1,03
45	OK	2578,95	2105,26	329,85	321,20	1,03
46	OK	2578,95	2631,58	329,85	321,20	1,03
47	OK	2578,95	3157,89	329,85	321,20	1,03
48	OK	2578,95	3684,21	329,85	321,20	1,03
49	OK	2578,95	4210,53	329,85	321,20	1,03
50	OK	2578,95	4736,84	329,85	321,20	1,03
51	OK	2578,95	5263,16	329,85	321,20	1,03
52	OK	2578,95	5789,47	329,85	321,20	1,03
53	OK	2578,95	6315,79	329,85	321,20	1,03
54	OK	2578,95	6842,11	329,85	321,20	1,03
55	OK	2578,95	7368,42	329,85	321,20	1,03
56	OK	2578,95	7894,74	329,85	321,20	1,03
57	OK	2578,95	8421,05	329,85	321,20	1,03
58	OK	2578,95	8947,37	329,85	321,20	1,03
59	OK	2578,95	9473,68	329,85	321,20	1,03
60	OK	2578,95	10000,00	329,85	321,20	1,03
61	OK	3368,42	0,00	343,02	306,22	1,12
62	OK	3368,42	526,32	343,02	306,22	1,12
63	OK	3368,42	1052,63	343,02	306,22	1,12
64	OK	3368,42	1578,95	343,02	306,22	1,12
65	OK	3368,42	2105,26	343,02	306,22	1,12
66	OK	3368,42	2631,58	343,02	306,22	1,12
67	OK	3368,42	3157,89	343,02	306,22	1,12
68	OK	3368,42	3684,21	343,02	306,22	1,12
69	OK	3368,42	4210,53	343,02	306,22	1,12
70	OK	3368,42	4736,84	343,02	306,22	1,12
71	OK	3368,42	5263,16	343,02	306,22	1,12
72	OK	3368,42	5789,47	343,02	306,22	1,12
73	OK	3368,42	6315,79	343,02	306,22	1,12
74	OK	3368,42	6842,11	343,02	306,22	1,12
75	OK	3368,42	7368,42	343,02	306,22	1,12
76	OK	3368,42	7894,74	343,02	306,22	1,12
77	OK	3368,42	8421,05	343,02	306,22	1,12
78	OK	3368,42	8947,37	343,02	306,22	1,12
79	OK	3368,42	9473,68	343,02	306,22	1,12
80	OK	3368,42	10000,00	343,02	306,22	1,12

81	OK	4157,89	0,00	354,78	292,44	1,21
82	OK	4157,89	526,32	354,78	292,44	1,21
83	OK	4157,89	1052,63	354,78	292,44	1,21
84	OK	4157,89	1578,95	354,78	292,44	1,21
85	OK	4157,89	2105,26	354,78	292,44	1,21
86	OK	4157,89	2631,58	354,78	292,44	1,21
87	OK	4157,89	3157,89	354,78	292,44	1,21
88	OK	4157,89	3684,21	354,78	292,44	1,21
89	OK	4157,89	4210,53	354,78	292,44	1,21
90	OK	4157,89	4736,84	354,78	292,44	1,21
91	OK	4157,89	5263,16	354,78	292,44	1,21
92	OK	4157,89	5789,47	354,78	292,44	1,21
93	OK	4157,89	6315,79	354,78	292,44	1,21
94	OK	4157,89	6842,11	354,78	292,44	1,21
95	OK	4157,89	7368,42	354,78	292,44	1,21
96	OK	4157,89	7894,74	354,78	292,44	1,21
97	OK	4157,89	8421,05	354,78	292,44	1,21
98	OK	4157,89	8947,37	354,78	292,44	1,21
99	OK	4157,89	9473,68	354,78	292,44	1,21
100	OK	4157,89	10000,00	354,78	292,44	1,21
101	OK	4947,37	0,00	365,31	279,73	1,31
102	OK	4947,37	526,32	365,31	279,73	1,31
103	OK	4947,37	1052,63	365,31	279,73	1,31
104	OK	4947,37	1578,95	365,31	279,73	1,31
105	OK	4947,37	2105,26	365,31	279,73	1,31
106	OK	4947,37	2631,58	365,31	279,73	1,31
107	OK	4947,37	3157,89	365,31	279,73	1,31
108	OK	4947,37	3684,21	365,31	279,73	1,31
109	OK	4947,37	4210,53	365,31	279,73	1,31
110	OK	4947,37	4736,84	365,31	279,73	1,31
111	OK	4947,37	5263,16	365,31	279,73	1,31
112	OK	4947,37	5789,47	365,31	279,73	1,31
113	OK	4947,37	6315,79	365,31	279,73	1,31
114	OK	4947,37	6842,11	365,31	279,73	1,31
115	OK	4947,37	7368,42	365,31	279,73	1,31
116	OK	4947,37	7894,74	365,31	279,73	1,31
117	OK	4947,37	8421,05	365,31	279,73	1,31
118	OK	4947,37	8947,37	365,31	279,73	1,31
119	OK	4947,37	9473,68	365,31	279,73	1,31
120	OK	4947,37	10000,00	365,31	279,73	1,31
121	OK	5736,84	0,00	374,74	267,96	1,40
122	OK	5736,84	526,32	374,74	267,96	1,40
123	OK	5736,84	1052,63	374,74	267,96	1,40
124	OK	5736,84	1578,95	374,74	267,96	1,40
125	OK	5736,84	2105,26	374,74	267,96	1,40
126	OK	5736,84	2631,58	374,74	267,96	1,40



127	OK	5736,84	3157,89	374,74	267,96	1,40
128	OK	5736,84	3684,21	374,74	267,96	1,40
129	OK	5736,84	4210,53	374,74	267,96	1,40
130	OK	5736,84	4736,84	374,74	267,96	1,40
131	OK	5736,84	5263,16	374,74	267,96	1,40
132	OK	5736,84	5789,47	374,74	267,96	1,40
133	OK	5736,84	6315,79	374,74	267,96	1,40
134	OK	5736,84	6842,11	374,74	267,96	1,40
135	OK	5736,84	7368,42	374,74	267,96	1,40
136	OK	5736,84	7894,74	374,74	267,96	1,40
137	OK	5736,84	8421,05	374,74	267,96	1,40
138	OK	5736,84	8947,37	374,74	267,96	1,40
139	OK	5736,84	9473,68	374,74	267,96	1,40
140	OK	5736,84	10000,00	374,74	267,96	1,40
141	OK	6526,32	0,00	383,20	257,03	1,49
142	OK	6526,32	526,32	383,20	257,03	1,49
143	OK	6526,32	1052,63	383,20	257,03	1,49
144	OK	6526,32	1578,95	383,20	257,03	1,49
145	OK	6526,32	2105,26	383,20	257,03	1,49
146	OK	6526,32	2631,58	383,20	257,03	1,49
147	OK	6526,32	3157,89	383,20	257,03	1,49
148	OK	6526,32	3684,21	383,20	257,03	1,49
149	OK	6526,32	4210,53	383,20	257,03	1,49
150	OK	6526,32	4736,84	383,20	257,03	1,49
151	OK	6526,32	5263,16	383,20	257,03	1,49
152	OK	6526,32	5789,47	383,20	257,03	1,49
153	OK	6526,32	6315,79	383,20	257,03	1,49
154	OK	6526,32	6842,11	383,20	257,03	1,49
155	OK	6526,32	7368,42	383,20	257,03	1,49
156	OK	6526,32	7894,74	383,20	257,03	1,49
157	OK	6526,32	8421,05	383,20	257,03	1,49
158	OK	6526,32	8947,37	383,20	257,03	1,49
159	OK	6526,32	9473,68	383,20	257,03	1,49
160	OK	6526,32	10000,00	383,20	257,03	1,49
161	OK	7315,79	0,00	390,80	246,85	1,58
162	OK	7315,79	526,32	390,80	246,85	1,58
163	OK	7315,79	1052,63	390,80	246,85	1,58
164	OK	7315,79	1578,95	390,80	246,85	1,58
165	OK	7315,79	2105,26	390,80	246,85	1,58
166	OK	7315,79	2631,58	390,80	246,85	1,58
167	OK	7315,79	3157,89	390,80	246,85	1,58
168	OK	7315,79	3684,21	390,80	246,85	1,58
169	OK	7315,79	4210,53	390,80	246,85	1,58
170	OK	7315,79	4736,84	390,80	246,85	1,58
171	OK	7315,79	5263,16	390,80	246,85	1,58
172	OK	7315,79	5789,47	390,80	246,85	1,58



173	OK	7315,79	6315,79	390,80	246,85	1,58
174	OK	7315,79	6842,11	390,80	246,85	1,58
175	OK	7315,79	7368,42	390,80	246,85	1,58
176	OK	7315,79	7894,74	390,80	246,85	1,58
177	OK	7315,79	8421,05	390,80	246,85	1,58
178	OK	7315,79	8947,37	390,80	246,85	1,58
179	OK	7315,79	9473,68	390,80	246,85	1,58
180	OK	7315,79	10000,00	390,80	246,85	1,58
181	OK	8105,26	0,00	397,61	237,34	1,68
182	OK	8105,26	526,32	397,61	237,34	1,68
183	OK	8105,26	1052,63	397,61	237,34	1,68
184	OK	8105,26	1578,95	397,61	237,34	1,68
185	OK	8105,26	2105,26	397,61	237,34	1,68
186	OK	8105,26	2631,58	397,61	237,34	1,68
187	OK	8105,26	3157,89	397,61	237,34	1,68
188	OK	8105,26	3684,21	397,61	237,34	1,68
189	OK	8105,26	4210,53	397,61	237,34	1,68
190	OK	8105,26	4736,84	397,61	237,34	1,68
191	OK	8105,26	5263,16	397,61	237,34	1,68
192	OK	8105,26	5789,47	397,61	237,34	1,68
193	OK	8105,26	6315,79	397,61	237,34	1,68
194	OK	8105,26	6842,11	397,61	237,34	1,68
195	OK	8105,26	7368,42	397,61	237,34	1,68
196	OK	8105,26	7894,74	397,61	237,34	1,68
197	OK	8105,26	8421,05	397,61	237,34	1,68
198	OK	8105,26	8947,37	397,61	237,34	1,68
199	OK	8105,26	9473,68	397,61	237,34	1,68
200	OK	8105,26	10000,00	397,61	237,34	1,68
201	OK	8894,74	0,00	403,72	228,45	1,77
202	OK	8894,74	526,32	403,72	228,45	1,77
203	OK	8894,74	1052,63	403,72	228,45	1,77
204	OK	8894,74	1578,95	403,72	228,45	1,77
205	OK	8894,74	2105,26	403,72	228,45	1,77
206	OK	8894,74	2631,58	403,72	228,45	1,77
207	OK	8894,74	3157,89	403,72	228,45	1,77
208	OK	8894,74	3684,21	403,72	228,45	1,77
209	OK	8894,74	4210,53	403,72	228,45	1,77
210	OK	8894,74	4736,84	403,72	228,45	1,77
211	OK	8894,74	5263,16	403,72	228,45	1,77
212	OK	8894,74	5789,47	403,72	228,45	1,77
213	OK	8894,74	6315,79	403,72	228,45	1,77
214	OK	8894,74	6842,11	403,72	228,45	1,77
215	OK	8894,74	7368,42	403,72	228,45	1,77
216	OK	8894,74	7894,74	403,72	228,45	1,77
217	OK	8894,74	8421,05	403,72	228,45	1,77
218	OK	8894,74	8947,37	403,72	228,45	1,77



219	OK	8894,74	9473,68	403,72	228,45	1,77
220	OK	8894,74	10000,00	403,72	228,45	1,77
221	OK	9684,21	0,00	409,20	220,11	1,86
222	OK	9684,21	526,32	409,20	220,11	1,86
223	OK	9684,21	1052,63	409,20	220,11	1,86
224	OK	9684,21	1578,95	409,20	220,11	1,86
225	OK	9684,21	2105,26	409,20	220,11	1,86
226	OK	9684,21	2631,58	409,20	220,11	1,86
227	OK	9684,21	3157,89	409,20	220,11	1,86
228	OK	9684,21	3684,21	409,20	220,11	1,86
229	OK	9684,21	4210,53	409,20	220,11	1,86
230	OK	9684,21	4736,84	409,20	220,11	1,86
231	OK	9684,21	5263,16	409,20	220,11	1,86
232	OK	9684,21	5789,47	409,20	220,11	1,86
233	OK	9684,21	6315,79	409,20	220,11	1,86
234	OK	9684,21	6842,11	409,20	220,11	1,86
235	OK	9684,21	7368,42	409,20	220,11	1,86
236	OK	9684,21	7894,74	409,20	220,11	1,86
237	OK	9684,21	8421,05	409,20	220,11	1,86
238	OK	9684,21	8947,37	409,20	220,11	1,86
239	OK	9684,21	9473,68	409,20	220,11	1,86
240	OK	9684,21	10000,00	409,20	220,11	1,86
241	OK	10473,68	0,00	414,11	212,27	1,95
242	OK	10473,68	526,32	414,11	212,27	1,95
243	OK	10473,68	1052,63	414,11	212,27	1,95
244	OK	10473,68	1578,95	414,11	212,27	1,95
245	OK	10473,68	2105,26	414,11	212,27	1,95
246	OK	10473,68	2631,58	414,11	212,27	1,95
247	OK	10473,68	3157,89	414,11	212,27	1,95
248	OK	10473,68	3684,21	414,11	212,27	1,95
249	OK	10473,68	4210,53	414,11	212,27	1,95
250	OK	10473,68	4736,84	414,11	212,27	1,95
251	OK	10473,68	5263,16	414,11	212,27	1,95
252	OK	10473,68	5789,47	414,11	212,27	1,95
253	OK	10473,68	6315,79	414,11	212,27	1,95
254	OK	10473,68	6842,11	414,11	212,27	1,95
255	OK	10473,68	7368,42	414,11	212,27	1,95
256	OK	10473,68	7894,74	414,11	212,27	1,95
257	OK	10473,68	8421,05	414,11	212,27	1,95
258	OK	10473,68	8947,37	414,11	212,27	1,95
259	OK	10473,68	9473,68	414,11	212,27	1,95
260	OK	10473,68	10000,00	414,11	212,27	1,95
261	OK	11263,16	0,00	418,48	204,88	2,04
262	OK	11263,16	526,32	418,48	204,88	2,04
263	OK	11263,16	1052,63	418,48	204,88	2,04
264	OK	11263,16	1578,95	418,48	204,88	2,04

265	OK	11263,16	2105,26	418,48	204,88	2,04
266	OK	11263,16	2631,58	418,48	204,88	2,04
267	OK	11263,16	3157,89	418,48	204,88	2,04
268	OK	11263,16	3684,21	418,48	204,88	2,04
269	OK	11263,16	4210,53	418,48	204,88	2,04
270	OK	11263,16	4736,84	418,48	204,88	2,04
271	OK	11263,16	5263,16	418,48	204,88	2,04
272	OK	11263,16	5789,47	418,48	204,88	2,04
273	OK	11263,16	6315,79	418,48	204,88	2,04
274	OK	11263,16	6842,11	418,48	204,88	2,04
275	OK	11263,16	7368,42	418,48	204,88	2,04
276	OK	11263,16	7894,74	418,48	204,88	2,04
277	OK	11263,16	8421,05	418,48	204,88	2,04
278	OK	11263,16	8947,37	418,48	204,88	2,04
279	OK	11263,16	9473,68	418,48	204,88	2,04
280	OK	11263,16	10000,00	418,48	204,88	2,04
281	OK	12052,63	0,00	422,38	197,91	2,13
282	OK	12052,63	526,32	422,38	197,91	2,13
283	OK	12052,63	1052,63	422,38	197,91	2,13
284	OK	12052,63	1578,95	422,38	197,91	2,13
285	OK	12052,63	2105,26	422,38	197,91	2,13
286	OK	12052,63	2631,58	422,38	197,91	2,13
287	OK	12052,63	3157,89	422,38	197,91	2,13
288	OK	12052,63	3684,21	422,38	197,91	2,13
289	OK	12052,63	4210,53	422,38	197,91	2,13
290	OK	12052,63	4736,84	422,38	197,91	2,13
291	OK	12052,63	5263,16	422,38	197,91	2,13
292	OK	12052,63	5789,47	422,38	197,91	2,13
293	OK	12052,63	6315,79	422,38	197,91	2,13
294	OK	12052,63	6842,11	422,38	197,91	2,13
295	OK	12052,63	7368,42	422,38	197,91	2,13
296	OK	12052,63	7894,74	422,38	197,91	2,13
297	OK	12052,63	8421,05	422,38	197,91	2,13
298	OK	12052,63	8947,37	422,38	197,91	2,13
299	OK	12052,63	9473,68	422,38	197,91	2,13
300	OK	12052,63	10000,00	422,38	197,91	2,13
301	OK	12842,11	0,00	425,84	191,33	2,23
302	OK	12842,11	526,32	425,84	191,33	2,23
303	OK	12842,11	1052,63	425,84	191,33	2,23
304	OK	12842,11	1578,95	425,84	191,33	2,23
305	OK	12842,11	2105,26	425,84	191,33	2,23
306	OK	12842,11	2631,58	425,84	191,33	2,23
307	OK	12842,11	3157,89	425,84	191,33	2,23
308	OK	12842,11	3684,21	425,84	191,33	2,23
309	OK	12842,11	4210,53	425,84	191,33	2,23
310	OK	12842,11	4736,84	425,84	191,33	2,23

311	OK	12842,11	5263,16	425,84	191,33	2,23
312	OK	12842,11	5789,47	425,84	191,33	2,23
313	OK	12842,11	6315,79	425,84	191,33	2,23
314	OK	12842,11	6842,11	425,84	191,33	2,23
315	OK	12842,11	7368,42	425,84	191,33	2,23
316	OK	12842,11	7894,74	425,84	191,33	2,23
317	OK	12842,11	8421,05	425,84	191,33	2,23
318	OK	12842,11	8947,37	425,84	191,33	2,23
319	OK	12842,11	9473,68	425,84	191,33	2,23
320	OK	12842,11	10000,00	425,84	191,33	2,23
321	OK	13631,58	0,00	428,90	185,10	2,32
322	OK	13631,58	526,32	428,90	185,10	2,32
323	OK	13631,58	1052,63	428,90	185,10	2,32
324	OK	13631,58	1578,95	428,90	185,10	2,32
325	OK	13631,58	2105,26	428,90	185,10	2,32
326	OK	13631,58	2631,58	428,90	185,10	2,32
327	OK	13631,58	3157,89	428,90	185,10	2,32
328	OK	13631,58	3684,21	428,90	185,10	2,32
329	OK	13631,58	4210,53	428,90	185,10	2,32
330	OK	13631,58	4736,84	428,90	185,10	2,32
331	OK	13631,58	5263,16	428,90	185,10	2,32
332	OK	13631,58	5789,47	428,90	185,10	2,32
333	OK	13631,58	6315,79	428,90	185,10	2,32
334	OK	13631,58	6842,11	428,90	185,10	2,32
335	OK	13631,58	7368,42	428,90	185,10	2,32
336	OK	13631,58	7894,74	428,90	185,10	2,32
337	OK	13631,58	8421,05	428,90	185,10	2,32
338	OK	13631,58	8947,37	428,90	185,10	2,32
339	OK	13631,58	9473,68	428,90	185,10	2,32
340	OK	13631,58	10000,00	428,90	185,10	2,32
341	OK	14421,05	0,00	431,58	179,19	2,41
342	OK	14421,05	526,32	431,58	179,19	2,41
343	OK	14421,05	1052,63	431,58	179,19	2,41
344	OK	14421,05	1578,95	431,58	179,19	2,41
345	OK	14421,05	2105,26	431,58	179,19	2,41
346	OK	14421,05	2631,58	431,58	179,19	2,41
347	OK	14421,05	3157,89	431,58	179,19	2,41
348	OK	14421,05	3684,21	431,58	179,19	2,41
349	OK	14421,05	4210,53	431,58	179,19	2,41
350	OK	14421,05	4736,84	431,58	179,19	2,41
351	OK	14421,05	5263,16	431,58	179,19	2,41
352	OK	14421,05	5789,47	431,58	179,19	2,41
353	OK	14421,05	6315,79	431,58	179,19	2,41
354	OK	14421,05	6842,11	431,58	179,19	2,41
355	OK	14421,05	7368,42	431,58	179,19	2,41
356	OK	14421,05	7894,74	431,58	179,19	2,41

357	OK	14421,05	8421,05	431,58	179,19	2,41
358	OK	14421,05	8947,37	431,58	179,19	2,41
359	OK	14421,05	9473,68	431,58	179,19	2,41
360	OK	14421,05	10000,00	431,58	179,19	2,41
361	OK	15210,53	0,00	433,93	173,58	2,50
362	OK	15210,53	526,32	433,93	173,58	2,50
363	OK	15210,53	1052,63	433,93	173,58	2,50
364	OK	15210,53	1578,95	433,93	173,58	2,50
365	OK	15210,53	2105,26	433,93	173,58	2,50
366	OK	15210,53	2631,58	433,93	173,58	2,50
367	OK	15210,53	3157,89	433,93	173,58	2,50
368	OK	15210,53	3684,21	433,93	173,58	2,50
369	OK	15210,53	4210,53	433,93	173,58	2,50
370	OK	15210,53	4736,84	433,93	173,58	2,50
371	OK	15210,53	5263,16	433,93	173,58	2,50
372	OK	15210,53	5789,47	433,93	173,58	2,50
373	OK	15210,53	6315,79	433,93	173,58	2,50
374	OK	15210,53	6842,11	433,93	173,58	2,50
375	OK	15210,53	7368,42	433,93	173,58	2,50
376	OK	15210,53	7894,74	433,93	173,58	2,50
377	OK	15210,53	8421,05	433,93	173,58	2,50
378	OK	15210,53	8947,37	433,93	173,58	2,50
379	OK	15210,53	9473,68	433,93	173,58	2,50
380	OK	15210,53	10000,00	433,93	173,58	2,50
381	OK	16000,00	0,00	435,95	168,25	2,59
382	OK	16000,00	526,32	435,95	168,25	2,59
383	OK	16000,00	1052,63	435,95	168,25	2,59
384	OK	16000,00	1578,95	435,95	168,25	2,59
385	OK	16000,00	2105,26	435,95	168,25	2,59
386	OK	16000,00	2631,58	435,95	168,25	2,59
387	OK	16000,00	3157,89	435,95	168,25	2,59
388	OK	16000,00	3684,21	435,95	168,25	2,59
389	OK	16000,00	4210,53	435,95	168,25	2,59
390	OK	16000,00	4736,84	435,95	168,25	2,59
391	OK	16000,00	5263,16	435,95	168,25	2,59
392	OK	16000,00	5789,47	435,95	168,25	2,59
393	OK	16000,00	6315,79	435,95	168,25	2,59
394	OK	16000,00	6842,11	435,95	168,25	2,59
395	OK	16000,00	7368,42	435,95	168,25	2,59
396	OK	16000,00	7894,74	435,95	168,25	2,59
397	OK	16000,00	8421,05	435,95	168,25	2,59
398	OK	16000,00	8947,37	435,95	168,25	2,59
399	OK	16000,00	9473,68	435,95	168,25	2,59
400	OK	16000,00	10000,00	435,95	168,25	2,59
401	OK	12052,00	10000,00	422,38	197,92	2,13



Lecho fluidizado burbujeante indirecto

Row/Case	Status	VARY 1 H2O MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	TEMP C	H2FLOW KMOL/HR	COFLOW KMOL/HR	H2FLOW/C OFLOW
1	OK	100,00	850,00	330,53	301,17	1,10
2	OK	2311,11	850,00	453,20	423,89	1,07
3	OK	4522,22	850,00	492,86	428,35	1,15
4	OK	6733,33	850,00	511,61	409,61	1,25
5	OK	8944,44	850,00	528,16	393,08	1,34
6	OK	11155,56	850,00	542,97	378,28	1,44
7	OK	13366,67	850,00	556,37	364,92	1,52
8	OK	15577,78	850,00	568,59	352,74	1,61
9	OK	17788,89	850,00	579,80	341,56	1,70
10	OK	20000,00	850,00	590,16	331,25	1,78



Lecho fluidizado burbujeante directo

Row/Case	Status	VARY 1 H2O MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	VARY 2 O2 MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	TEMP C	H2FLOW KMOL/HR	COFLOW KMOL/HR	H2FLOW/C OFLOW
1	OK	100,00	10,00	387,20	32,36	0,98	33,19
2	OK	100,00	1120,00	576,87	152,03	47,11	3,23
3	OK	100,00	2230,00	654,87	215,04	147,47	1,46
4	OK	100,00	3340,00	706,06	251,87	268,42	0,94
5	OK	100,00	4450,00	845,01	270,68	370,56	0,73
6	OK	100,00	5560,00	1398,07	201,35	372,35	0,54
7	OK	100,00	6670,00	1899,37	149,03	355,94	0,42
8	OK	100,00	7780,00	2338,94	109,54	327,17	0,33
9	OK	100,00	8890,00	2638,02	84,91	296,64	0,29
10	OK	100,00	10000,00	2762,67	73,09	276,81	0,26
11	OK	2311,11	10,00	360,31	32,03	0,68	46,95
12	OK	2311,11	1120,00	538,05	165,63	34,33	4,82
13	OK	2311,11	2230,00	615,11	250,93	119,27	2,10
14	OK	2311,11	3340,00	663,38	303,43	230,07	1,32
15	OK	2311,11	4450,00	819,30	323,60	317,85	1,02
16	OK	2311,11	5560,00	1270,57	238,05	335,64	0,71
17	OK	2311,11	6670,00	1695,29	177,63	327,10	0,54
18	OK	2311,11	7780,00	2080,69	132,17	303,93	0,43
19	OK	2311,11	8890,00	2405,00	98,76	272,24	0,36
20	OK	2311,11	10000,00	2585,21	80,47	246,70	0,33
21	OK	4522,22	10,00	341,23	31,70	0,52	61,27
22	OK	4522,22	1120,00	508,70	172,05	25,92	6,64
23	OK	4522,22	2230,00	585,26	275,94	97,51	2,83
24	OK	4522,22	3340,00	632,94	343,72	197,84	1,74
25	OK	4522,22	4450,00	793,63	367,11	274,17	1,34
26	OK	4522,22	5560,00	1176,38	271,16	302,53	0,90
27	OK	4522,22	6670,00	1545,46	203,73	300,81	0,68
28	OK	4522,22	7780,00	1886,63	153,08	282,89	0,54
29	OK	4522,22	8890,00	2195,62	113,58	254,04	0,45
30	OK	4522,22	10000,00	2422,31	87,22	223,74	0,39
31	OK	6733,33	10,00	326,87	31,51	0,42	75,74
32	OK	6733,33	1120,00	485,24	174,43	20,17	8,65
33	OK	6733,33	2230,00	561,14	293,13	80,65	3,63
34	OK	6733,33	3340,00	615,66	384,50	164,01	2,34



35	OK	6733,33	4450,00	769,31	403,78	237,17	1,70
36	OK	6733,33	5560,00	1102,96	301,19	272,50	1,11
37	OK	6733,33	6670,00	1429,76	227,91	276,52	0,82
38	OK	6733,33	7780,00	1735,88	172,58	263,27	0,66
39	OK	6733,33	8890,00	2020,06	128,57	238,30	0,54
40	OK	6733,33	10000,00	2263,83	95,24	206,87	0,46
41	OK	8944,44	10,00	315,65	31,49	0,35	90,07
42	OK	8944,44	1120,00	465,85	174,51	16,11	10,83
43	OK	8944,44	2230,00	540,87	304,66	67,49	4,51
44	OK	8944,44	3340,00	602,26	418,82	134,46	3,11
45	OK	8944,44	4450,00	746,65	434,99	205,54	2,12
46	OK	8944,44	5560,00	1043,48	328,46	245,23	1,34
47	OK	8944,44	6670,00	1337,10	250,40	253,97	0,99
48	OK	8944,44	7780,00	1615,01	190,86	244,82	0,78
49	OK	8944,44	8890,00	1875,92	143,07	223,63	0,64
50	OK	8944,44	10000,00	2114,43	104,77	193,95	0,54
51	OK	11155,56	10,00	306,62	31,61	0,30	104,08
52	OK	11155,56	1120,00	449,43	173,30	13,15	13,18
53	OK	11155,56	2230,00	526,11	321,45	52,94	6,07
54	OK	11155,56	3340,00	589,41	444,88	110,89	4,01
55	OK	11155,56	4450,00	725,62	461,63	178,36	2,59
56	OK	11155,56	5560,00	993,85	353,16	220,52	1,60
57	OK	11155,56	6670,00	1260,82	271,30	233,04	1,16
58	OK	11155,56	7780,00	1515,57	208,02	227,47	0,91
59	OK	11155,56	8890,00	1756,33	156,92	209,72	0,75
60	OK	11155,56	10000,00	1981,82	114,91	182,79	0,63
61	OK	13366,67	10,00	299,19	31,85	0,27	117,63
62	OK	13366,67	1120,00	436,38	177,13	9,99	17,72
63	OK	13366,67	2230,00	513,21	334,73	41,47	8,07
64	OK	13366,67	3340,00	577,16	464,61	92,03	5,05
65	OK	13366,67	4450,00	706,10	484,36	154,99	3,13
66	OK	13366,67	5560,00	951,49	375,50	198,18	1,89
67	OK	13366,67	6670,00	1196,62	290,70	213,63	1,36
68	OK	13366,67	7780,00	1432,00	224,17	211,15	1,06
69	OK	13366,67	8890,00	1655,52	170,10	196,49	0,87
70	OK	13366,67	10000,00	1867,17	125,00	172,42	0,72
71	OK	15577,78	10,00	294,85	33,76	0,24	138,78
72	OK	15577,78	1120,00	425,40	181,03	7,68	23,57
73	OK	15577,78	2230,00	501,39	343,78	33,06	10,40
74	OK	15577,78	3340,00	565,55	479,45	76,89	6,24
75	OK	15577,78	4450,00	687,96	503,72	134,90	3,73
76	OK	15577,78	5560,00	914,68	395,65	178,03	2,22
77	OK	15577,78	6670,00	1141,63	308,64	195,68	1,58
78	OK	15577,78	7780,00	1360,55	239,34	195,85	1,22
79	OK	15577,78	8890,00	1569,24	182,59	183,91	0,99
80	OK	15577,78	10000,00	1768,10	134,79	162,54	0,83



81	OK	17788,89	10,00	292,67	36,93	0,22	167,03
82	OK	17788,89	1120,00	415,85	183,91	6,09	30,17
83	OK	17788,89	2230,00	490,60	349,95	26,79	13,06
84	OK	17788,89	3340,00	554,60	490,54	64,70	7,58
85	OK	17788,89	4450,00	671,10	520,14	117,63	4,42
86	OK	17788,89	5560,00	882,23	413,77	159,90	2,59
87	OK	17788,89	6670,00	1093,82	325,21	179,11	1,82
88	OK	17788,89	7780,00	1298,58	253,58	181,51	1,40
89	OK	17788,89	8890,00	1494,45	194,42	171,98	1,13
90	OK	17788,89	10000,00	1681,82	144,20	153,10	0,94
91	OK	20000,00	10,00	290,87	40,04	0,20	195,76
92	OK	20000,00	1120,00	407,48	186,19	4,96	37,51
93	OK	20000,00	2230,00	480,76	354,15	22,05	16,06
94	OK	20000,00	3340,00	544,30	498,73	54,84	9,09
95	OK	20000,00	4450,00	655,41	534,02	102,80	5,20
96	OK	20000,00	5560,00	853,28	430,02	143,64	2,99
97	OK	20000,00	6670,00	1051,74	340,45	163,86	2,08
98	OK	20000,00	7780,00	1244,21	266,91	168,12	1,59
99	OK	20000,00	8890,00	1428,87	205,57	160,70	1,28
100	OK	20000,00	10000,00	1606,00	153,19	144,08	1,06
101	OK	20000,00	5500,00	842,44	435,42	141,99	3,07



Lecho fluidizado dual

Row/Case	Status	VARY 1 H2O MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	H2FLOW KMOL/HR	COFLOW KMOL/HR	H2FLOW/C OFLOW
1	OK	1000,00	304,09	347,99	0,87
2	OK	1675,86	390,83	370,71	1,05
3	OK	2351,71	425,59	364,83	1,17
4	OK	3027,57	444,55	351,96	1,26
5	OK	3703,43	459,94	338,96	1,36
6	OK	4379,29	473,53	326,60	1,45
7	OK	5055,14	485,87	315,02	1,54
8	OK	5731,00	497,20	304,20	1,63
9	OK	6406,86	507,68	294,07	1,73
10	OK	7082,71	517,42	284,60	1,82
11	OK	7758,57	526,50	275,71	1,91
12	OK	8434,43	535,01	267,36	2,00
13	OK	9110,29	542,99	259,51	2,09
14	OK	9786,14	550,49	252,11	2,18
15	OK	10462,00	557,56	245,12	2,27



- Tablas Lodo

Lecho móvil ascendente indirecto

Row/Case	Status	VARY 1 H2O MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	TEMP C	H2FLOW KMOL/HR	COFLOW KMOL/HR	H2FLOW/C OFLOW
1	OK	100,00	850,00	237,54	112,50	2,11
2	OK	929,17	850,00	280,89	154,87	1,81
3	OK	1758,33	850,00	324,25	197,19	1,64
4	OK	2587,50	850,00	367,61	239,48	1,54
5	OK	3416,67	850,00	410,98	281,76	1,46
6	OK	4245,83	850,00	441,03	274,34	1,61
7	OK	5075,00	850,00	458,30	261,12	1,76
8	OK	5904,17	850,00	472,46	248,55	1,90
9	OK	6733,33	850,00	484,84	236,99	2,05
10	OK	7562,50	850,00	495,91	226,42	2,19
11	OK	8391,67	850,00	505,92	216,73	2,33
12	OK	8392,00	850,00	505,92	216,73	2,33
13	OK	9220,83	850,00	515,04	207,83	2,48
14	OK	10050,00	850,00	523,39	199,64	2,62
15	OK	10879,17	850,00	531,08	192,07	2,76
16	OK	11708,33	850,00	538,18	185,06	2,91
17	OK	12537,50	850,00	544,77	178,55	3,05
18	OK	13366,67	850,00	550,90	172,48	3,19
19	OK	14195,83	850,00	556,61	166,82	3,34
20	OK	15025,00	850,00	561,95	161,51	3,48
21	OK	15854,17	850,00	566,95	156,54	3,62
22	OK	16683,33	850,00	571,65	151,87	3,76
23	OK	17512,50	850,00	576,07	147,47	3,91
24	OK	18341,67	850,00	580,24	143,32	4,05
25	OK	19170,83	850,00	584,18	139,39	4,19
26	OK	20000,00	850,00	587,91	135,68	4,33



Lecho móvil ascendente directo

Row/Ca se	Status	VARY 1 H2O MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	VARY 2 O2 MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	TEMP C	H2FLOW KMOL/H R	COFLO W KMOL/H R	CO2FLO W KMOL/H R	H2FLOW /C OFLOW
1	OK	5000,00	3000,00	850,00	228,55	63,88	166,40	3,58
2	OK	5000,00	3444,44	850,00	278,43	99,62	164,67	2,79
3	OK	5000,00	3888,89	850,00	319,11	141,60	150,29	2,25
4	OK	5000,00	4333,33	850,00	227,06	241,62	55,25	0,94
5	OK	5000,00	4777,78	850,00	226,24	240,97	55,90	0,94
6	OK	5000,00	5222,22	850,00	225,74	240,36	56,51	0,94
7	OK	5000,00	5666,67	850,00	225,26	239,84	57,03	0,94
8	OK	5000,00	6111,11	850,00	224,78	239,38	57,49	0,94
9	OK	5000,00	6555,56	850,00	224,31	238,95	57,92	0,94
10	OK	5000,00	7000,00	850,00	223,84	238,56	58,31	0,94
11	OK	5555,56	3000,00	850,00	226,33	56,38	176,00	4,01
12	OK	5555,56	3444,44	850,00	282,17	89,24	173,39	3,16
13	OK	5555,56	3888,89	850,00	325,51	129,65	160,86	2,51
14	OK	5555,56	4333,33	850,00	229,22	237,69	59,18	0,96
15	OK	5555,56	4777,78	850,00	228,18	237,24	59,63	0,96
16	OK	5555,56	5222,22	850,00	227,66	236,66	60,21	0,96
17	OK	5555,56	5666,67	850,00	227,17	236,15	60,72	0,96
18	OK	5555,56	6111,11	850,00	226,70	235,70	61,17	0,96
19	OK	5555,56	6555,56	850,00	226,22	235,29	61,59	0,96
20	OK	5555,56	7000,00	850,00	225,75	234,90	61,97	0,96
21	OK	6111,11	3000,00	850,00	225,40	48,59	182,75	4,64
22	OK	6111,11	3444,44	850,00	284,62	79,62	181,22	3,57
23	OK	6111,11	3888,89	850,00	330,74	118,39	170,61	2,79
24	OK	6111,11	4333,33	850,00	231,49	233,61	63,26	0,99
25	OK	6111,11	4777,78	850,00	229,94	233,61	63,26	0,98
26	OK	6111,11	5222,22	850,00	229,40	233,06	63,81	0,98
27	OK	6111,11	5666,67	850,00	228,90	232,57	64,30	0,98
28	OK	6111,11	6111,11	850,00	228,43	232,13	64,74	0,98
29	OK	6111,11	6555,56	850,00	227,95	231,72	65,15	0,98
30	OK	6111,11	7000,00	850,00	227,48	231,34	65,53	0,98
31	OK	6666,67	3000,00	850,00	223,81	41,35	187,78	5,41
32	OK	6666,67	3444,44	850,00	285,83	70,73	188,19	4,04



33	OK	6666,67	3888,89	850,00	334,84	107,80	179,58	3,11
34	OK	6666,67	4333,33	850,00	235,24	227,94	68,93	1,03
35	OK	6666,67	4777,78	850,00	231,55	230,07	66,80	1,01
36	OK	6666,67	5222,22	850,00	230,98	229,56	67,31	1,01
37	OK	6666,67	5666,67	850,00	230,48	229,09	67,79	1,01
38	OK	6666,67	6111,11	850,00	229,99	228,66	68,22	1,01
39	OK	6666,67	6555,56	850,00	229,51	228,26	68,61	1,01
40	OK	6666,67	7000,00	850,00	229,04	227,88	68,99	1,01
41	OK	7222,22	3000,00	850,00	220,82	34,94	191,83	6,32
42	OK	7222,22	3444,44	850,00	285,84	62,56	194,32	4,57
43	OK	7222,22	3888,89	850,00	337,84	97,85	187,79	3,45
44	OK	7222,22	4333,33	850,00	241,49	218,18	78,69	1,11
45	OK	7222,22	4777,78	850,00	233,02	226,61	70,26	1,03
46	OK	7222,22	5222,22	850,00	232,41	226,14	70,73	1,03
47	OK	7222,22	5666,67	850,00	231,90	225,69	71,18	1,03
48	OK	7222,22	6111,11	850,00	231,41	225,27	71,60	1,03
49	OK	7222,22	6555,56	850,00	230,93	224,88	71,99	1,03
50	OK	7222,22	7000,00	850,00	230,45	224,52	72,36	1,03
51	OK	7777,78	3000,00	850,00	216,50	29,32	194,98	7,39
52	OK	7777,78	3444,44	850,00	284,67	55,07	199,65	5,17
53	OK	7777,78	3888,89	850,00	339,76	88,4	195,25	3,84
54	OK	7777,78	4333,33	850,00	248,08	207,64	89,23	1,19
55	OK	7777,78	4777,78	850,00	234,37	223,24	73,64	1,05
56	OK	7777,78	5222,22	850,00	233,72	222,81	74,06	1,05
57	OK	7777,78	5666,67	850,00	233,19	222,38	74,49	1,05
58	OK	7777,78	6111,11	850,00	232,69	221,97	74,90	1,05
59	OK	7777,78	6555,56	850,00	232,21	221,59	75,28	1,05
60	OK	7777,78	7000,00	850,00	231,72	221,23	75,64	1,05
61	OK	8333,33	3000,00	850,00	210,97	24,41	197,27	8,64
62	OK	8333,33	3444,44	850,00	282,38	48,25	204,19	5,85
63	OK	8333,33	3888,89	850,00	340,63	79,86	201,99	4,27
64	OK	8333,33	4333,33	850,00	260,08	193,23	103,64	1,35
65	OK	8333,33	4777,78	850,00	235,61	219,93	76,94	1,07
66	OK	8333,33	5222,22	850,00	234,91	219,56	77,32	1,07
67	OK	8333,33	5666,67	850,00	234,36	219,15	77,73	1,07
68	OK	8333,33	6111,11	850,00	233,86	218,75	78,12	1,07
69	OK	8333,33	6555,56	850,00	233,36	218,39	78,49	1,07
70	OK	8333,33	7000,00	850,00	232,87	218,03	78,84	1,07
71	OK	8888,89	3000,00	850,00	204,31	20,16	198,79	10,13
72	OK	8888,89	3444,44	850,00	279,01	42,06	207,99	6,63
73	OK	8888,89	3888,89	850,00	340,47	71,78	208,01	4,74
74	OK	8888,89	4333,33	850,00	278,65	174,24	122,63	1,60
75	OK	8888,89	4777,78	850,00	236,76	216,69	80,19	1,09
76	OK	8888,89	5222,22	850,00	235,99	216,38	80,49	1,09
77	OK	8888,89	5666,67	850,00	235,43	215,99	80,88	1,09
78	OK	8888,89	6111,11	850,00	234,91	215,61	81,26	1,09



79	OK	8888,89	6555,56	850,00	234,41	215,25	81,62	1,09
80	OK	8888,89	7000,00	850,00	233,91	214,91	81,96	1,09
81	OK	9444,44	3000,00	850,00	196,64	16,52	199,61	11,90
82	OK	9444,44	3444,44	850,00	274,60	36,49	211,07	7,53
83	OK	9444,44	3888,89	850,00	339,31	64,29	213,33	5,28
84	OK	9444,44	4333,33	850,00	298,48	154,37	142,50	1,93
85	OK	9444,44	4777,78	850,00	237,83	213,50	83,37	1,11
86	OK	9444,44	5222,22	850,00	236,98	213,27	83,60	1,11
87	OK	9444,44	5666,67	850,00	236,39	212,91	83,97	1,11
88	OK	9444,44	6111,11	850,00	235,86	212,54	84,33	1,11
89	OK	9444,44	6555,56	850,00	235,35	212,19	84,68	1,11
90	OK	9444,44	7000,00	850,00	234,85	211,86	85,01	1,11
91	OK	10000,00	3000,00	850,00	188,04	13,42	199,79	14,01
92	OK	10000,00	3444,44	850,00	269,23	31,49	213,47	8,55
93	OK	10000,00	3888,89	850,00	337,17	57,38	217,99	5,88
94	OK	10000,00	4333,33	850,00	318,36	134,47	162,40	2,37
95	OK	10000,00	4777,78	850,00	238,83	210,36	86,51	1,14
96	OK	10000,00	5222,22	850,00	237,87	210,22	86,65	1,13
97	OK	10000,00	5666,67	850,00	237,25	209,89	86,98	1,13
98	OK	10000,00	6111,11	850,00	236,71	209,54	87,33	1,13
99	OK	10000,00	6555,56	850,00	236,19	209,20	87,67	1,13
100	OK	10000,00	7000,00	850,00	235,69	208,88	87,99	1,13
101	OK	5000,00	3889,00	850,00	319,11	141,62	150,29	2,25



Lecho móvil descendente

Row/Case	Status	VARY 1 H2O MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	VARY 2 O2 MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	H2FLOW KMOL/HR	COFLOW KMOL/HR	H2FLOW/C OFLOW
1	OK	1000,00	0,00	247,81	247,80	1,00
2	OK	1000,00	714,29	247,81	247,80	1,00
3	OK	1000,00	1428,57	247,81	247,80	1,00
4	OK	1000,00	2142,86	247,81	247,80	1,00
5	OK	1000,00	2857,14	247,81	247,80	1,00
6	OK	1000,00	3571,43	247,81	247,80	1,00
7	OK	1000,00	4285,71	247,81	247,80	1,00
8	OK	1000,00	5000,00	247,81	247,80	1,00
9	OK	1000,00	5714,29	247,81	247,80	1,00
10	OK	1000,00	6428,57	247,81	247,80	1,00
11	OK	1000,00	7142,86	247,81	247,80	1,00
12	OK	1000,00	7857,14	247,81	247,80	1,00
13	OK	1000,00	8571,43	247,81	247,80	1,00
14	OK	1000,00	9285,71	247,81	247,80	1,00
15	OK	1000,00	10000,00	247,81	247,80	1,00
16	OK	1789,47	0,00	263,49	230,92	1,14
17	OK	1789,47	714,29	263,49	230,92	1,14
18	OK	1789,47	1428,57	263,49	230,92	1,14
19	OK	1789,47	2142,86	263,49	230,92	1,14
20	OK	1789,47	2857,14	263,49	230,92	1,14
21	OK	1789,47	3571,43	263,49	230,92	1,14
22	OK	1789,47	4285,71	263,49	230,92	1,14
23	OK	1789,47	5000,00	263,49	230,92	1,14
24	OK	1789,47	5714,29	263,49	230,92	1,14
25	OK	1789,47	6428,57	263,49	230,92	1,14
26	OK	1789,47	7142,86	263,49	230,92	1,14
27	OK	1789,47	7857,14	263,49	230,92	1,14
28	OK	1789,47	8571,43	263,49	230,92	1,14
29	OK	1789,47	9285,71	263,49	230,92	1,14
30	OK	1789,47	10000,00	263,49	230,92	1,14
31	OK	2578,95	0,00	276,73	215,99	1,28
32	OK	2578,95	714,29	276,73	215,99	1,28
33	OK	2578,95	1428,57	276,73	215,99	1,28
34	OK	2578,95	2142,86	276,73	215,99	1,28

35	OK	2578,95	2857,14	276,73	215,99	1,28
36	OK	2578,95	3571,43	276,73	215,99	1,28
37	OK	2578,95	4285,71	276,73	215,99	1,28
38	OK	2578,95	5000,00	276,73	215,99	1,28
39	OK	2578,95	5714,29	276,73	215,99	1,28
40	OK	2578,95	6428,57	276,73	215,99	1,28
41	OK	2578,95	7142,86	276,73	215,99	1,28
42	OK	2578,95	7857,14	276,73	215,99	1,28
43	OK	2578,95	8571,43	276,73	215,99	1,28
44	OK	2578,95	9285,71	276,73	215,99	1,28
45	OK	2578,95	10000,00	276,73	215,99	1,28
46	OK	3368,42	0,00	288,01	202,71	1,42
47	OK	3368,42	714,29	288,01	202,71	1,42
48	OK	3368,42	1428,57	288,01	202,71	1,42
49	OK	3368,42	2142,86	288,01	202,71	1,42
50	OK	3368,42	2857,14	288,01	202,71	1,42
51	OK	3368,42	3571,43	288,01	202,71	1,42
52	OK	3368,42	4285,71	288,01	202,71	1,42
53	OK	3368,42	5000,00	288,01	202,71	1,42
54	OK	3368,42	5714,29	288,01	202,71	1,42
55	OK	3368,42	6428,57	288,01	202,71	1,42
56	OK	3368,42	7142,86	288,01	202,71	1,42
57	OK	3368,42	7857,14	288,01	202,71	1,42
58	OK	3368,42	8571,43	288,01	202,71	1,42
59	OK	3368,42	9285,71	288,01	202,71	1,42
60	OK	3368,42	10000,00	288,01	202,71	1,42
61	OK	4157,89	0,00	297,66	190,82	1,56
62	OK	4157,89	714,29	297,66	190,82	1,56
63	OK	4157,89	1428,57	297,66	190,82	1,56
64	OK	4157,89	2142,86	297,66	190,82	1,56
65	OK	4157,89	2857,14	297,66	190,82	1,56
66	OK	4157,89	3571,43	297,66	190,82	1,56
67	OK	4157,89	4285,71	297,66	190,82	1,56
68	OK	4157,89	5000,00	297,66	190,82	1,56
69	OK	4157,89	5714,29	297,66	190,82	1,56
70	OK	4157,89	6428,57	297,66	190,82	1,56
71	OK	4157,89	7142,86	297,66	190,82	1,56
72	OK	4157,89	7857,14	297,66	190,82	1,56
73	OK	4157,89	8571,43	297,66	190,82	1,56
74	OK	4157,89	9285,71	297,66	190,82	1,56
75	OK	4157,89	10000,00	297,66	190,82	1,56
76	OK	4947,37	0,00	305,94	180,11	1,70
77	OK	4947,37	714,29	305,94	180,11	1,70
78	OK	4947,37	1428,57	305,94	180,11	1,70
79	OK	4947,37	2142,86	305,94	180,11	1,70
80	OK	4947,37	2857,14	305,94	180,11	1,70



81	OK	4947,37	3571,43	305,94	180,11	1,70
82	OK	4947,37	4285,71	305,94	180,11	1,70
83	OK	4947,37	5000,00	305,94	180,11	1,70
84	OK	4947,37	5714,29	305,94	180,11	1,70
85	OK	4947,37	6428,57	305,94	180,11	1,70
86	OK	4947,37	7142,86	305,94	180,11	1,70
87	OK	4947,37	7857,14	305,94	180,11	1,70
88	OK	4947,37	8571,43	305,94	180,11	1,70
89	OK	4947,37	9285,71	305,94	180,11	1,70
90	OK	4947,37	10000,00	305,94	180,11	1,70
91	OK	5736,84	0,00	313,04	170,41	1,84
92	OK	5736,84	714,29	313,04	170,41	1,84
93	OK	5736,84	1428,57	313,04	170,41	1,84
94	OK	5736,84	2142,86	313,04	170,41	1,84
95	OK	5736,84	2857,14	313,04	170,41	1,84
96	OK	5736,84	3571,43	313,04	170,41	1,84
97	OK	5736,84	4285,71	313,04	170,41	1,84
98	OK	5736,84	5000,00	313,04	170,41	1,84
99	OK	5736,84	5714,29	313,04	170,41	1,84
100	OK	5736,84	6428,57	313,04	170,41	1,84
101	OK	5736,84	7142,86	313,04	170,41	1,84
102	OK	5736,84	7857,14	313,04	170,41	1,84
103	OK	5736,84	8571,43	313,04	170,41	1,84
104	OK	5736,84	9285,71	313,04	170,41	1,84
105	OK	5736,84	10000,00	313,04	170,41	1,84
106	OK	6526,32	0,00	319,14	161,58	1,98
107	OK	6526,32	714,29	319,14	161,58	1,98
108	OK	6526,32	1428,57	319,14	161,58	1,98
109	OK	6526,32	2142,86	319,14	161,58	1,98
110	OK	6526,32	2857,14	319,14	161,58	1,98
111	OK	6526,32	3571,43	319,14	161,58	1,98
112	OK	6526,32	4285,71	319,14	161,58	1,98
113	OK	6526,32	5000,00	319,14	161,58	1,98
114	OK	6526,32	5714,29	319,14	161,58	1,98
115	OK	6526,32	6428,57	319,14	161,58	1,98
116	OK	6526,32	7142,86	319,14	161,58	1,98
117	OK	6526,32	7857,14	319,14	161,58	1,98
118	OK	6526,32	8571,43	319,14	161,58	1,98
119	OK	6526,32	9285,71	319,14	161,58	1,98
120	OK	6526,32	10000,00	319,14	161,58	1,98
121	OK	7315,79	0,00	324,37	153,50	2,11
122	OK	7315,79	714,29	324,37	153,50	2,11
123	OK	7315,79	1428,57	324,37	153,50	2,11
124	OK	7315,79	2142,86	324,37	153,50	2,11
125	OK	7315,79	2857,14	324,37	153,50	2,11
126	OK	7315,79	3571,43	324,37	153,50	2,11

127	OK	7315,79	4285,71	324,37	153,50	2,11
128	OK	7315,79	5000,00	324,37	153,50	2,11
129	OK	7315,79	5714,29	324,37	153,50	2,11
130	OK	7315,79	6428,57	324,37	153,50	2,11
131	OK	7315,79	7142,86	324,37	153,50	2,11
132	OK	7315,79	7857,14	324,37	153,50	2,11
133	OK	7315,79	8571,43	324,37	153,50	2,11
134	OK	7315,79	9285,71	324,37	153,50	2,11
135	OK	7315,79	10000,00	324,37	153,50	2,11
136	OK	8105,26	0,00	328,83	146,10	2,25
137	OK	8105,26	714,29	328,83	146,10	2,25
138	OK	8105,26	1428,57	328,83	146,10	2,25
139	OK	8105,26	2142,86	328,83	146,10	2,25
140	OK	8105,26	2857,14	328,83	146,10	2,25
141	OK	8105,26	3571,43	328,83	146,10	2,25
142	OK	8105,26	4285,71	328,83	146,10	2,25
143	OK	8105,26	5000,00	328,83	146,10	2,25
144	OK	8105,26	5714,29	328,83	146,10	2,25
145	OK	8105,26	6428,57	328,83	146,10	2,25
146	OK	8105,26	7142,86	328,83	146,10	2,25
147	OK	8105,26	7857,14	328,83	146,10	2,25
148	OK	8105,26	8571,43	328,83	146,10	2,25
149	OK	8105,26	9285,71	328,83	146,10	2,25
150	OK	8105,26	10000,00	328,83	146,10	2,25
151	OK	8894,74	0,00	332,63	139,27	2,39
152	OK	8894,74	714,29	332,63	139,27	2,39
153	OK	8894,74	1428,57	332,63	139,27	2,39
154	OK	8894,74	2142,86	332,63	139,27	2,39
155	OK	8894,74	2857,14	332,63	139,27	2,39
156	OK	8894,74	3571,43	332,63	139,27	2,39
157	OK	8894,74	4285,71	332,63	139,27	2,39
158	OK	8894,74	5000,00	332,63	139,27	2,39
159	OK	8894,74	5714,29	332,63	139,27	2,39
160	OK	8894,74	6428,57	332,63	139,27	2,39
161	OK	8894,74	7142,86	332,63	139,27	2,39
162	OK	8894,74	7857,14	332,63	139,27	2,39
163	OK	8894,74	8571,43	332,63	139,27	2,39
164	OK	8894,74	9285,71	332,63	139,27	2,39
165	OK	8894,74	10000,00	332,63	139,27	2,39
166	OK	9684,21	0,00	335,83	132,96	2,53
167	OK	9684,21	714,29	335,83	132,96	2,53
168	OK	9684,21	1428,57	335,83	132,96	2,53
169	OK	9684,21	2142,86	335,83	132,96	2,53
170	OK	9684,21	2857,14	335,83	132,96	2,53
171	OK	9684,21	3571,43	335,83	132,96	2,53
172	OK	9684,21	4285,71	335,83	132,96	2,53

173	OK	9684,21	5000,00	335,83	132,96	2,53
174	OK	9684,21	5714,29	335,83	132,96	2,53
175	OK	9684,21	6428,57	335,83	132,96	2,53
176	OK	9684,21	7142,86	335,83	132,96	2,53
177	OK	9684,21	7857,14	335,83	132,96	2,53
178	OK	9684,21	8571,43	335,83	132,96	2,53
179	OK	9684,21	9285,71	335,83	132,96	2,53
180	OK	9684,21	10000,00	335,83	132,96	2,53
181	OK	10473,68	0,00	338,50	127,11	2,66
182	OK	10473,68	714,29	338,50	127,11	2,66
183	OK	10473,68	1428,57	338,50	127,11	2,66
184	OK	10473,68	2142,86	338,50	127,11	2,66
185	OK	10473,68	2857,14	338,50	127,11	2,66
186	OK	10473,68	3571,43	338,50	127,11	2,66
187	OK	10473,68	4285,71	338,50	127,11	2,66
188	OK	10473,68	5000,00	338,50	127,11	2,66
189	OK	10473,68	5714,29	338,50	127,11	2,66
190	OK	10473,68	6428,57	338,50	127,11	2,66
191	OK	10473,68	7142,86	338,50	127,11	2,66
192	OK	10473,68	7857,14	338,50	127,11	2,66
193	OK	10473,68	8571,43	338,50	127,11	2,66
194	OK	10473,68	9285,71	338,50	127,11	2,66
195	OK	10473,68	10000,00	338,50	127,11	2,66
196	OK	11263,16	0,00	340,71	121,68	2,80
197	OK	11263,16	714,29	340,71	121,68	2,80
198	OK	11263,16	1428,57	340,71	121,68	2,80
199	OK	11263,16	2142,86	340,71	121,68	2,80
200	OK	11263,16	2857,14	340,71	121,68	2,80
201	OK	11263,16	3571,43	340,71	121,68	2,80
202	OK	11263,16	4285,71	340,71	121,68	2,80
203	OK	11263,16	5000,00	340,71	121,68	2,80
204	OK	11263,16	5714,29	340,71	121,68	2,80
205	OK	11263,16	6428,57	340,71	121,68	2,80
206	OK	11263,16	7142,86	340,71	121,68	2,80
207	OK	11263,16	7857,14	340,71	121,68	2,80
208	OK	11263,16	8571,43	340,71	121,68	2,80
209	OK	11263,16	9285,71	340,71	121,68	2,80
210	OK	11263,16	10000,00	340,71	121,68	2,80
211	OK	12052,63	0,00	342,49	116,61	2,94
212	OK	12052,63	714,29	342,49	116,61	2,94
213	OK	12052,63	1428,57	342,49	116,61	2,94
214	OK	12052,63	2142,86	342,49	116,61	2,94
215	OK	12052,63	2857,14	342,49	116,61	2,94
216	OK	12052,63	3571,43	342,49	116,61	2,94
217	OK	12052,63	4285,71	342,49	116,61	2,94
218	OK	12052,63	5000,00	342,49	116,61	2,94

219	OK	12052,63	5714,29	342,49	116,61	2,94
220	OK	12052,63	6428,57	342,49	116,61	2,94
221	OK	12052,63	7142,86	342,49	116,61	2,94
222	OK	12052,63	7857,14	342,49	116,61	2,94
223	OK	12052,63	8571,43	342,49	116,61	2,94
224	OK	12052,63	9285,71	342,49	116,61	2,94
225	OK	12052,63	10000,00	342,49	116,61	2,94
226	OK	12842,11	0,00	343,90	111,87	3,07
227	OK	12842,11	714,29	343,90	111,87	3,07
228	OK	12842,11	1428,57	343,90	111,87	3,07
229	OK	12842,11	2142,86	343,90	111,87	3,07
230	OK	12842,11	2857,14	343,90	111,87	3,07
231	OK	12842,11	3571,43	343,90	111,87	3,07
232	OK	12842,11	4285,71	343,90	111,87	3,07
233	OK	12842,11	5000,00	343,90	111,87	3,07
234	OK	12842,11	5714,29	343,90	111,87	3,07
235	OK	12842,11	6428,57	343,90	111,87	3,07
236	OK	12842,11	7142,86	343,90	111,87	3,07
237	OK	12842,11	7857,14	343,90	111,87	3,07
238	OK	12842,11	8571,43	343,90	111,87	3,07
239	OK	12842,11	9285,71	343,90	111,87	3,07
240	OK	12842,11	10000,00	343,90	111,87	3,07
241	OK	13631,58	0,00	344,96	107,43	3,21
242	OK	13631,58	714,29	344,96	107,43	3,21
243	OK	13631,58	1428,57	344,96	107,43	3,21
244	OK	13631,58	2142,86	344,96	107,43	3,21
245	OK	13631,58	2857,14	344,96	107,43	3,21
246	OK	13631,58	3571,43	344,96	107,43	3,21
247	OK	13631,58	4285,71	344,96	107,43	3,21
248	OK	13631,58	5000,00	344,96	107,43	3,21
249	OK	13631,58	5714,29	344,96	107,43	3,21
250	OK	13631,58	6428,57	344,96	107,43	3,21
251	OK	13631,58	7142,86	344,96	107,43	3,21
252	OK	13631,58	7857,14	344,96	107,43	3,21
253	OK	13631,58	8571,43	344,96	107,43	3,21
254	OK	13631,58	9285,71	344,96	107,43	3,21
255	OK	13631,58	10000,00	344,96	107,43	3,21
256	OK	14421,05	0,00	345,71	103,27	3,35
257	OK	14421,05	714,29	345,71	103,27	3,35
258	OK	14421,05	1428,57	345,71	103,27	3,35
259	OK	14421,05	2142,86	345,71	103,27	3,35
260	OK	14421,05	2857,14	345,71	103,27	3,35
261	OK	14421,05	3571,43	345,71	103,27	3,35
262	OK	14421,05	4285,71	345,71	103,27	3,35
263	OK	14421,05	5000,00	345,71	103,27	3,35
264	OK	14421,05	5714,29	345,71	103,27	3,35

265	OK	14421,05	6428,57	345,71	103,27	3,35
266	OK	14421,05	7142,86	345,71	103,27	3,35
267	OK	14421,05	7857,14	345,71	103,27	3,35
268	OK	14421,05	8571,43	345,71	103,27	3,35
269	OK	14421,05	9285,71	345,71	103,27	3,35
270	OK	14421,05	10000,00	345,71	103,27	3,35
271	OK	15210,53	0,00	346,17	99,35	3,48
272	OK	15210,53	714,29	346,17	99,35	3,48
273	OK	15210,53	1428,57	346,17	99,35	3,48
274	OK	15210,53	2142,86	346,17	99,35	3,48
275	OK	15210,53	2857,14	346,17	99,35	3,48
276	OK	15210,53	3571,43	346,17	99,35	3,48
277	OK	15210,53	4285,71	346,17	99,35	3,48
278	OK	15210,53	5000,00	346,17	99,35	3,48
279	OK	15210,53	5714,29	346,17	99,35	3,48
280	OK	15210,53	6428,57	346,17	99,35	3,48
281	OK	15210,53	7142,86	346,17	99,35	3,48
282	OK	15210,53	7857,14	346,17	99,35	3,48
283	OK	15210,53	8571,43	346,17	99,35	3,48
284	OK	15210,53	9285,71	346,17	99,35	3,48
285	OK	15210,53	10000,00	346,17	99,35	3,48
286	OK	16000,00	0,00	346,38	95,66	3,62
287	OK	16000,00	714,29	346,38	95,66	3,62
288	OK	16000,00	1428,57	346,38	95,66	3,62
289	OK	16000,00	2142,86	346,38	95,66	3,62
290	OK	16000,00	2857,14	346,38	95,66	3,62
291	OK	16000,00	3571,43	346,38	95,66	3,62
292	OK	16000,00	4285,71	346,38	95,66	3,62
293	OK	16000,00	5000,00	346,38	95,66	3,62
294	OK	16000,00	5714,29	346,38	95,66	3,62
295	OK	16000,00	6428,57	346,38	95,66	3,62
296	OK	16000,00	7142,86	346,38	95,66	3,62
297	OK	16000,00	7857,14	346,38	95,66	3,62
298	OK	16000,00	8571,43	346,38	95,66	3,62
299	OK	16000,00	9285,71	346,38	95,66	3,62
300	OK	16000,00	10000,00	346,38	95,66	3,62
301	OK	8105,00	1430,00	328,83	146,10	2,25



Lecho fluidizado burbujeante indirecto

Row/Case	Status	VARY 1 H2O MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	TEMP C	H2FLOW KMOL/HR	COFLOW KMOL/HR	H2FLOW/C OFLOW
1	OK	100,00	850,00	251,06	121,24	2,07
2	OK	2311,11	850,00	373,73	243,96	1,53
3	OK	4522,22	850,00	436,45	287,29	1,52
4	OK	6733,33	850,00	451,45	272,38	1,66
5	OK	8944,44	850,00	464,62	259,42	1,79
6	OK	11155,56	850,00	476,36	247,99	1,92
7	OK	13366,67	850,00	486,97	237,78	2,05
8	OK	15577,78	850,00	496,66	228,59	2,17
9	OK	15600,00	850,00	496,75	228,50	2,17
10	OK	17788,89	850,00	505,56	220,25	2,30
11	OK	20000,00	850,00	513,80	212,62	2,42



Lecho fluidizado burbujeante directo

Row/Cas e	Status	VARY 1 H2O MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	VARY 2 O2 MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	TEMP C	H2FLOW KMOL/H R	COFLOW KMOL/H R	H2FLOW/ C OFLOW
1	OK	100,00	10,00	161,40	0,55	0,00	7981,09
2	OK	100,00	1120,00	560,56	109,47	20,30	5,39
3	OK	100,00	2230,00	674,91	177,96	110,86	1,61
4	OK	100,00	3340,00	747,43	211,42	228,86	0,92
5	OK	100,00	4450,00	1200,07	185,75	259,82	0,71
6	OK	100,00	5560,00	1746,44	132,12	246,39	0,54
7	OK	100,00	6670,00	2198,37	93,04	224,55	0,41
8	OK	100,00	7780,00	2558,44	62,69	193,38	0,32
9	OK	100,00	8890,00	2712,84	48,79	171,42	0,28
10	OK	100,00	10000,00	2768,24	41,65	157,36	0,26
11	OK	2311,11	10,00	179,34	1,20	0,00	2955,48
12	OK	2311,11	1120,00	510,31	116,21	14,09	8,25
13	OK	2311,11	2230,00	617,56	212,70	86,69	2,45
14	OK	2311,11	3340,00	685,97	269,27	190,21	1,42
15	OK	2311,11	4450,00	1096,68	222,61	222,95	1,00
16	OK	2311,11	5560,00	1557,53	158,51	219,06	0,72
17	OK	2311,11	6670,00	1950,91	114,40	202,73	0,56
18	OK	2311,11	7780,00	2304,24	76,88	173,92	0,44
19	OK	2311,11	8890,00	2518,18	55,25	146,86	0,38
20	OK	2311,11	10000,00	2598,35	45,37	130,55	0,35
21	OK	4522,22	10,00	188,94	1,93	0,00	1874,89
22	OK	4522,22	1120,00	476,21	117,77	10,25	11,49
23	OK	4522,22	2230,00	579,88	234,66	68,46	3,43
24	OK	4522,22	3340,00	664,89	318,52	148,89	2,14
25	OK	4522,22	4450,00	1019,15	253,99	191,57	1,33
26	OK	4522,22	5560,00	1418,09	181,68	195,21	0,93
27	OK	4522,22	6670,00	1767,09	132,50	183,55	0,72
28	OK	4522,22	7780,00	2091,57	90,41	158,99	0,57
29	OK	4522,22	8890,00	2344,54	60,51	128,91	0,47
30	OK	4522,22	10000,00	2456,76	46,42	109,01	0,43
31	OK	6733,33	10,00	195,03	2,72	0,00	1439,43
32	OK	6733,33	1120,00	450,60	117,05	7,78	15,05
33	OK	6733,33	2230,00	552,23	250,77	53,67	4,67



34	OK	6733,33	3340,00	645,76	353,35	117,56	3,01
35	OK	6733,33	4450,00	957,89	280,98	164,58	1,71
36	OK	6733,33	5560,00	1310,02	202,57	173,96	1,16
37	OK	6733,33	6670,00	1625,16	148,26	166,13	0,89
38	OK	6733,33	7780,00	1919,27	103,08	145,94	0,71
39	OK	6733,33	8890,00	2180,42	66,67	116,28	0,57
40	OK	6733,33	10000,00	2330,33	46,48	91,93	0,51
41	OK	8944,44	10,00	199,26	3,54	0,00	1209,81
42	OK	8944,44	1120,00	430,65	117,72	5,75	20,46
43	OK	8944,44	2230,00	533,24	270,50	38,29	7,06
44	OK	8944,44	3340,00	627,71	378,46	93,56	4,04
45	OK	8944,44	4450,00	907,61	304,21	141,33	2,15
46	OK	8944,44	5560,00	1223,33	221,46	154,90	1,43
47	OK	8944,44	6670,00	1511,72	162,24	150,24	1,08
48	OK	8944,44	7780,00	1779,14	114,77	133,98	0,86
49	OK	8944,44	8890,00	2030,06	73,85	106,83	0,69
50	OK	8944,44	10000,00	2211,67	46,67	78,87	0,59
51	OK	11155,56	10,00	202,38	4,39	0,00	1069,40
52	OK	11155,56	1120,00	415,41	122,35	3,95	30,97
53	OK	11155,56	2230,00	516,37	282,62	28,16	10,04
54	OK	11155,56	3340,00	610,69	396,64	75,07	5,28
55	OK	11155,56	4450,00	865,16	324,17	121,36	2,67
56	OK	11155,56	5560,00	1151,92	238,48	137,79	1,73
57	OK	11155,56	6670,00	1418,23	174,90	135,80	1,29
58	OK	11155,56	7780,00	1663,33	125,47	122,87	1,02
59	OK	11155,56	8890,00	1898,82	81,26	98,77	0,82
60	OK	11155,56	10000,00	2096,78	47,82	69,43	0,69
61	OK	13366,67	10,00	208,33	5,86	0,01	1042,28
62	OK	13366,67	1120,00	403,04	125,65	2,90	43,35
63	OK	13366,67	2230,00	501,46	290,09	21,31	13,61
64	OK	13366,67	3340,00	594,75	409,76	60,76	6,74
65	OK	13366,67	4450,00	828,55	341,26	104,25	3,27
66	OK	13366,67	5560,00	1091,81	253,77	122,47	2,07
67	OK	13366,67	6670,00	1339,26	186,59	122,72	1,52
68	OK	13366,67	7780,00	1566,04	135,19	112,51	1,20
69	OK	13366,67	8890,00	1786,11	88,43	91,40	0,97
70	OK	13366,67	10000,00	1985,93	50,24	62,80	0,80
71	OK	15577,78	10,00	215,25	7,94	0,01	1076,75
72	OK	15577,78	1120,00	392,77	128,30	2,23	57,44
73	OK	15577,78	2230,00	488,28	294,70	16,56	17,80
74	OK	15577,78	3340,00	579,91	419,15	49,63	8,45
75	OK	15577,78	4450,00	796,49	355,83	89,66	3,97
76	OK	15577,78	5560,00	1040,31	267,43	108,78	2,46
77	OK	15577,78	6670,00	1271,35	197,45	110,92	1,78
78	OK	15577,78	7780,00	1483,13	143,93	102,87	1,40
79	OK	15577,78	8890,00	1688,95	95,20	84,52	1,13



80	OK	15577,78	10000,00	1882,67	53,53	57,82	0,93
81	OK	17788,89	10,00	220,78	10,18	0,01	1116,69
82	OK	17788,89	1120,00	384,09	130,62	1,79	73,11
83	OK	17788,89	2230,00	476,59	297,53	13,16	22,60
84	OK	17788,89	3340,00	566,18	425,76	40,92	10,40
85	OK	17788,89	4450,00	768,07	368,21	77,24	4,77
86	OK	17788,89	5560,00	995,54	279,59	96,61	2,89
87	OK	17788,89	6670,00	1212,18	207,51	100,25	2,07
88	OK	17788,89	7780,00	1411,55	151,71	93,92	1,62
89	OK	17788,89	8890,00	1604,48	101,51	78,09	1,30
90	OK	17788,89	10000,00	1789,45	57,14	53,62	1,07
91	OK	20000,00	10,00	225,30	12,55	0,01	1160,27
92	OK	20000,00	1120,00	376,64	132,77	1,47	90,23
93	OK	20000,00	2230,00	466,16	299,26	10,68	28,01
94	OK	20000,00	3340,00	553,51	430,32	34,07	12,63
95	OK	20000,00	4450,00	742,64	378,71	66,70	5,68
96	OK	20000,00	5560,00	956,16	290,38	85,82	3,38
97	OK	20000,00	6670,00	1160,12	216,78	90,61	2,39
98	OK	20000,00	7780,00	1348,99	158,64	85,66	1,85
99	OK	20000,00	8890,00	1530,35	107,36	72,08	1,49
100	OK	20000,00	10000,00	1706,31	60,74	49,82	1,22
101	OK	11156,00	4450,00	865,15	324,18	121,35	2,67

Lecho fluidizado dual

Row/Case	Status	VARY 1 H2O MIXED TOTAL MA SSFLOW KG/HR	H2FLOW KMOL/HR	COFLOW KMOL/HR	H2FLOW/C OFLOW
1	OK	1000,00	91,79	171,14	0,54
2	OK	1675,86	203,46	208,15	0,98
3	OK	2351,71	311,62	243,29	1,28
4	OK	3027,57	390,90	263,32	1,48
5	OK	3703,43	416,68	256,46	1,62
6	OK	4379,29	431,45	245,71	1,76
7	OK	5055,14	443,55	235,25	1,89
8	OK	5731,00	454,18	225,46	2,01
9	OK	6406,86	463,76	216,40	2,14
10	OK	7082,00	472,47	208,03	2,27
11	OK	7082,71	472,48	208,03	2,27
12	OK	7758,57	480,48	200,26	2,40
13	OK	8434,43	487,87	193,05	2,53
14	OK	9110,29	494,71	186,34	2,65
15	OK	9786,14	501,07	180,09	2,78
16	OK	10462,00	507,00	174,24	2,91

7.3 Tablas comparativa de resultados para cada tecnología

Lecho móvil ascendente indirecto

	Cosecha	Madera	Maiz	Lodo
T(°C)	850	850	850	850
H2O	0,277	0,278	0,293	0,20014612
CO2	0,115	0,110	0,112	0,07798081
O2	2,17E-18	2,21E-18	2,55E-18	8,50E-19
H2	0,416	0,426	0,418	0,49385809
CH4	9,843E-05	1,032E-04	8,749E-05	0,00025403
C	0	0	0	0
S	4,779E-13	7,755E-13	1,643E-12	2,18E-11
CO	0,189	0,186	0,176	0,21155789
N2	0,002	0,001	0,002	0,01235401
H2S	7,096E-05	1,178E-04	2,448E-04	0,00383828
SO2	9,483E-11	1,473E-10	3,599E-10	1,60E-09
NO	1,887E-14	1,033E-14	1,899E-14	2,93E-14
NO2	1,53E-24	8,21E-25	1,62E-24	1,45E-24
NH3	3,266E-06	1,889E-06	3,146E-06	1,08E-05
H2/CO	2,197	2,293	2,380	2,334

Lecho móvil ascendente directo

	Cosecha	Madera	Maiz	Lodo
T(°C)	850	850	850	850
H2O	0,22539376	0,21803817	0,22407533	0,23482015
CO2	0,27106789	0,24708854	0,24475175	0,18178679
O2	5,033E-25	4,324E-25	3,286E-25	1,517E-22
H2	0,31575636	0,3369094	0,33643773	0,38599991
CH4	4,454E-02	5,529E-02	5,850E-02	6,010E-03
C	0	0	0	0
S	6,629E-17	1,154E-16	1,990E-16	1,046E-13
CO	0,14029045	0,14150515	0,13293402	0,17130005
N2	0,00283144	0,00096254	0,00287368	0,01530337
H2S	1,063E-04	1,920E-04	4,061E-04	4,756E-03
SO2	1,998E-13	2,837E-13	5,484E-13	8,202E-11
NO	6,394E-19	3,483E-19	4,937E-19	8,104E-17
NO2	1,507E-31	7,569E-32	9,727E-32	1,664E-28
NH3	1,467E-05	9,379E-06	1,677E-05	2,355E-05
H2/CO	2,251	2,381	2,531	2,253

Lecho móvil descendente

	Cosecha	Madera	Maiz	Lodo
T(°C)	850	850	850	850
H2O	0,42339719	0,4071298	0,39620374	0,36341006
CO2	0,18403279	0,1689774	0,17179036	0,1494067
O2	1,36E-17	1,04E-17	9,84E-18	6,68E-18
H2	0,26573693	0,29212562	0,29270269	0,32590854
CH4	1,05E-05	1,53E-05	1,65E-05	2,63E-05
C	3,51E-28	4,22E-28	4,54E-28	5,82E-28
S	7,57E-13	1,14E-12	2,51E-12	3,34E-11
CO	0,12482728	0,13103044	0,1371551	0,14479965
N2	0,00192327	0,00060095	0,0018665	0,01254581
H2S	7,20E-05	1,19E-04	2,63E-04	3,90E-03
SO2	8,86E-10	1,02E-09	2,12E-09	1,92E-08
NO	4,61E-14	2,25E-14	3,86E-14	8,24E-14
NO2	8,99E-24	3,84E-24	6,39E-24	1,12E-23
NH3	0	1,09E-06	1,93E-06	5,88E-06
H2/CO	2,129	2,229	2,134	2,251

Lecho fluidizado burbujeante indirecto

	Cosecha	Madera	Maiz	Lodo
T(°C)	850	850	850	850
H2O	0,44719088	0,43353226	0,44857103	0,4316637
CO2	0,06376132	0,06008503	0,06081196	0,04795857
O2	5,207E-08	4,452E-08	5,018E-08	3,75E-08
H2	0,30651915	0,32138112	0,31319262	0,34845274
CH4	9,560E-10	1,158E-09	9,877E-10	1,29E-09
C	0	0	0	0
S	3,911E-07	6,596E-07	1,367E-06	1,79E-05
CO	0,181	0,184	0,176	0,16028501
N2	0,0015236	0,00049009	0,00142997	0,00888103
H2S	4,584E-05	8,107E-05	1,637E-04	0,0023836
SO2	1,082E-05	1,560E-05	3,643E-05	0,00035668
NO	1,433E-07	7,514E-08	1,363E-07	2,94E-07
NO2	1,322E-13	6,409E-14	1,234E-13	2,30E-13
NH3	1,540E-07	9,380E-08	1,541E-07	4,51E-07
H2/CO	1,694	1,743	1,782	2,174

Lecho fluidizado burbujeante directo

	Cosecha	Madera	Maiz	Lodo
T(°C)	842	846	842	865
H2O	0,43701081	0,51340729	0,53067012	0,45887217
CO2	0,187	0,162	0,161	0,1489449
O2	1,026E-17	1,981E-17	1,912E-17	2,94E-17
H2	0,25633657	0,24173289	0,23108186	0,27510883
CH4	1,079E-05	4,906E-06	4,123E-06	6,75E-06
C	0	0	0	0
S	6,121E-13	1,018E-12	1,960E-12	5,28E-11
CO	0,11756241	0,08270068	0,07535696	0,10298374
N2	0,00189637	0,00048935	0,00142957	0,01074288
H2S	7,103E-05	9,723E-05	2,015E-04	0,0033368
SO2	8,470E-10	2,107E-09	4,896E-09	5,84E-08
NO	3,710E-14	2,725E-14	4,420E-14	1,83E-13
NO2	6,654E-24	6,621E-24	1,021E-23	4,87E-23
NH3	1,649E-06	7,486E-07	1,222E-06	3,86E-06
H2/CO	2,180	2,923	3,066	2,671

Lecho fluidizado dual

	Cosecha	Madera	Maiz	Lodo
T(°C)	850	850	850	850
H2O	0,28374179	0,28493877	0,26866255	0,17807679
CO2	0,11656228	0,11123438	0,10929685	0,07256096
O2	0	0	0	0
H2	0,41363793	0,42404282	0,43036259	0,50768164
CH4	8,722E-05	9,115E-05	1,069E-04	0,00031276
C	0	0	0	0
S	5,706E-13	8,748E-13	1,901E-12	2,32E-11
CO	0,18362806	0,17889086	0,18919798	0,22353785
N2	0,00225816	0,00066916	0,00208004	0,01360491
H2S	8,455E-05	1,329E-04	2,931E-04	0,00422508
SO2	1,239E-10	1,823E-10	3,420E-10	1,32E-09
NO	2,152E-14	1,148E-14	1,880E-14	2,70E-14
NO2	1,806E-24	9,435E-25	1,435E-24	1,16E-24
NH3	0	0	0	0
H2/CO	2,253	2,370	2,275	2,271