

CAPÍTULO 8

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

8.1 Deficiencias en el equipo

Es conveniente hablar acerca de las deficiencias que presenta el equipo experimental antes de analizar los resultados obtenidos, de ésta manera se podrán comprender mejor los resultados presentados.

Como se ha mencionado en el capítulo 2, el equipo experimental fue diseñado y construido hace aproximadamente mas de un año como resultado de un trabajo de tesis. Por tal motivo el equipo cuenta con ciertas deficiencias de diseño que aun no han sido corregidas y que son la causa de que se tengan ciertos problemas a la hora de realizar experimentos.

A continuación se enuncian algunos de los problemas más significativos que presenta el equipo:

- Uno de los mayores problemas que ha tenido el equipo desde su construcción ha sido la pérdida de la eficiencia de la bomba generadora de vacío. Dicha pérdida se debe al calentamiento del agua que es utilizada por la bomba. Cuando la bomba está generando vacío en la columna, se requiere que el vapor sobrecalentado que ingresa a la columna sea succionado por la bomba y se mezcle con el flujo de agua tomado del tanque. Esto provoca que en un tiempo muy corto el agua que sale de la bomba incremente su

temperatura, provocando que el agua que toma la bomba se caliente de la misma manera debido a que el agua se recircula sin ningún tipo de sistema de enfriamiento. Durante los experimentos realizados se notó que el tiempo aproximado para que el agua de la bomba alcance una temperatura de 60 °C es de aproximadamente una hora. Es conveniente que no se alcancen temperaturas muy elevadas (mayores a 70 °C) ya que esto puede provocar daños a la bomba.

- El agua del tanque de acero inoxidable tarda en alcanzar el mismo nivel que el agua del tinaco, provocando que se llene muy rápido el tinaco hasta que el agua comienza a derramarse. Sin embargo el mayor problema que se puede llegar a tener es que el agua del tanque se acabe, provocando que la bomba ya no pueda succionar agua. Se debe ser muy cuidadoso con este aspecto ya que la bomba y el motor pueden dañarse.
- El vacío generado no suele ser suficiente para algunas condiciones experimentales. Se ha comprobado que a temperaturas altas del agua del tanque, la eficiencia de la bomba aumenta considerablemente, sin embargo, es difícil conservar una cantidad de vacío alto durante mucho tiempo.
- A temperaturas de operación bajas (menores a 90 °C) se pueden llegar a tener problemas con el vapor, ya que puede ocurrir que de un momento a otro su calidad cambie por razones relacionadas con el suministro aunque se esté respetando la temperatura y presión de saturación.
- La temperatura del vapor suele ser complicada de controlar ya que la perilla del termostato del calentador no es congruente con el termómetro bimetálico ubicado antes de la placa de orificio.

- Es complicado realizar lecturas en el manómetro en U de la columna debido a su ubicación y algunas veces a la sensibilidad de tetracloruro de carbono.
- Las lecturas de la altura del lecho suelen ser difíciles de registrar ya que las mirillas no dan una buena visualización del interior.
- La toma de muestras en las pruebas de secado son complicadas debido a que puede haber condensación en el toma-muestras. Para evitarse esto, las tomas deben ser realizadas rápidamente evitando que el vapor se condense en el interior del toma-muestras.
- La regulación del nivel de vacío en la columna es complicado ya que la válvula con la que se regula es de bola y se ha visto que no es la adecuada, se requiere en su lugar una válvula que mantenga flujos más estables como una de globo.
- El proceso de purga del vapor se torna sucio y difícil, ya que no se cuenta con un sistema de desagüe en el lugar de realización de las purgas.
- Los termopares con los que cuenta la columna dan valores erróneos, por lo tanto es necesario cambiarlos.
- El manómetro en U de la placa de orificio se ensucia fácilmente a causa del óxido formado en las tuberías.
- El desensamble y limpieza de la columna es complicado de realizar.
- La extracción de partículas al finalizar las pruebas no es adecuado ya que no es posible extraer las partículas en su totalidad con el flujo de aire, por lo tanto es necesario desensamblar la columna.

8.2 Propiedades de la pimienta

En la sección 7.1 se describió la metodología para obtener los valores de las propiedades de la pimienta. Aquí se presentan los resultados obtenidos para el cálculo de cada una de las propiedades.

Para el cálculo de la densidad de la pimienta se obtuvieron los valores mostrados en la tabla 8.1, en ella se presenta el número de muestras de pimienta tomadas, así como la masa de cada una y el volumen de agua que desplazaron. Finalmente se presenta el valor de densidad obtenido para cada muestra y el promedio de estos valores que dio por resultado la densidad final de la partícula.

Tabla 8.1 Valores de las muestras tomadas para el cálculo de densidad de pimienta.

DENSIDAD DE PIMIENTA			
Muestra	m [g]	V [ml]	ρ [kg/m ³]
1	2.8978	4.5	643.96
2	2.8208	4.8	587.67
3	4.2262	7	603.74
4	2.8270	5	565.40
$r_{\text{prom}} = 600.19 \pm 28$ [kg/m ³]			

Como se explica en la sección 7.1.2, la esfericidad se obtuvo por la medición de tres diámetros de la partícula de pimienta. Las mediciones realizadas a las 15 partículas de

pimienta tomadas aleatoriamente para el cálculo de la esfericidad se presentan en la tabla 8.2 , así como la esfericidad promedio de todas ellas.

Tabla 8.2 Valores de los diámetros y las esfericidades de las muestras tomadas para el cálculo de la esfericidad de la partícula.

ESFERICIDAD				
Partícula	a [m in]	b [m in]	c [m in]	F
1	2.50	2.78	2.92	0.93
2	2.91	2.95	3.08	0.97
3	2.77	2.85	2.95	0.97
4	3.01	3.10	3.24	0.96
5	2.61	2.70	3.00	0.92
6	2.52	2.71	2.86	0.94
7	2.48	2.57	2.77	0.94
8	2.44	2.69	2.90	0.92
9	2.53	2.66	2.75	0.96
10	2.80	2.84	3.12	0.93
11	2.42	2.71	2.79	0.94
12	2.62	2.76	2.84	0.96
13	2.22	2.30	2.45	0.95
14	2.28	2.50	2.57	0.95
15	2.32	3.01	3.11	0.90
F = 0.94 ± 0.019				

Finalmente la determinación del diámetro promedio de la pimienta se obtuvo mediante las mismas 15 partículas seleccionadas para el cálculo de la esfericidad. La tabla 8.3 muestra

los valores de los diámetros de cada partícula de pimienta seleccionada aleatoriamente, así como el diámetro promedio total de la pimienta.

Tabla 8.3 Valores de los diámetros y diámetros promedio de cada muestra para el cálculo del diámetro promedio de la partícula.

DIÁMETRO PROMEDIO				
Partícula	a [m in]	b [m in]	c [m in]	D [m in]
1	2.50	2.78	2.92	2.86
2	2.91	2.95	3.08	2.92
3	2.77	2.85	2.95	2.99
4	3.01	3.10	3.24	2.94
5	2.61	2.70	3.00	2.73
6	2.52	2.71	2.86	2.65
7	2.48	2.57	2.77	2.64
8	2.44	2.69	2.90	2.66
9	2.53	2.66	2.75	2.78
10	2.80	2.84	3.12	2.78
11	2.42	2.71	2.79	2.69
12	2.62	2.76	2.84	2.53
13	2.22	2.30	2.45	2.39
14	2.28	2.50	2.57	2.63
15	2.32	3.01	3.11	2.81
Dp= 2.73 ± 0.15 [m in]				
Dp= 6.94 ± 0.39 [mm]				

Una vez calculados los valores de las propiedades de la pimienta, se compararon con los resultados obtenidos en otros trabajos. En cuanto a la densidad de la pimienta grande se obtuvo un valor de 600.19 kg/m^3 en este trabajo mientras que Patiño [11] reporta un valor de 758.42 kg/m^3 y finalmente Santos *et. al.* [17] encontró una densidad de 668.00 kg/m^3 . Se

puede notar que hubo cierta variación, sin embargo es muy normal que ocurra esto ya que la pimienta se adquirió en distinto tiempo y lugar, por lo cual sus características y propiedades cambian.

La esfericidad de la pimienta que se obtuvo en este trabajo fue de 0.94, que es un valor intermedio que el que se obtuvo en los trabajos de Patiño [11] y Santos *et. al.* [17] que fueron de 0.98 y 0.88 respectivamente. Por último el diámetro promedio obtenido en este trabajo fue de 6.94 mm que es menor al de los trabajos mencionados anteriormente ya que en ambos se obtuvo un valor de 7.55 mm.

Puede decirse que los resultados son aceptables ya que muestran similitud con los de otros trabajos, cabe mencionar que es difícil poder obtener resultados muy cercanos o iguales debido a los distintos métodos utilizados para la realización de los cálculos. Adicionalmente las propiedades de la partícula de pimienta pueden alterarse dependiendo del lugar donde se haya obtenido.

8.3 Fluidinámica

8.3.1 Velocidad mínima de fluidización

La velocidad mínima de fluidización puede obtenerse de distintas formas. Para este trabajo se obtuvo experimental y teóricamente y después se realizó una comparación para verificar si los resultados son congruentes.

Tabla 8.4 Resultados de velocidad mínima de fluidización para las distintas condiciones experimentales.

P [kPa]	T [°C]	U mf experimental [m/s]	U mf experimental (rango) [m/s]	U mf teórica [m/s]
80	112	1.88	1.61 - 1.88	1.69
80	138	1.97	1.80 - 1.97	1.77
80	154	1.97	1.60 - 1.88	1.74
67	112	1.97	1.75 - 1.97	1.84
67	136	1.83	1.83 - 1.96	1.88
67	151	1.88	1.63 - 2.06	1.90
53	112	1.94	1.80 - 2.12	2.04
53	135	1.74	1.74 - 1.98	2.05
53	154	1.88	1.69 - 1.88	2.04

En la tabla 8.4 se presentan los resultados de velocidad mínima de fluidización obtenidos para cada experimento. Se muestra una columna con la velocidad mínima de fluidización obtenida por medio de las gráficas de diferencia de presión en el lecho contra velocidad, otra columna indica la velocidad mínima de fluidización obtenida mediante las gráficas de altura del lecho contra velocidad. Cabe mencionar que para ésta velocidad se tomó un rango ya que es un poco impreciso identificar el momento preciso en que el lecho cambia de estático a fluidizado. La última velocidad presentada se obtuvo teóricamente mediante la ecuación 3.13

La tabla 8.5 presenta a manera de resumen los valores de caída de presión en el lecho y altura del lecho cuando ocurre la fluidización, es decir, cuando se da la velocidad mínima de fluidización. El efecto que tiene la temperatura sobre la caída de presión en el lecho para cada

nivel de presión es muy notorio, de tal manera que ésta va disminuyendo considerablemente cuando se incrementa la temperatura. Por otro lado el efecto de la presión de trabajo también se hace presente, ya que a presiones de vacío (67 kPa y 53 kPa) la caída de presión es mucho menor, se encuentra en un rango de 692 a 339 Pa, que a presión atmosférica, donde el rango de caída de presión se encuentra entre 907 y 836.

Tabla 8.5 Caída de presión y altura del lecho al inicio de la fluidización para las distintas condiciones experimentales.

P [kPa]	T [°C]	DP_{lecho} [Pa]	L (rango) [cm]
80	112	907.70	8.5 - 10.0
80	138	885.28	8.7 - 10.0
80	154	836.90	8.6 - 9.2
67	112	692.86	9.0 - 10.0
67	136	499.66	8.9 - 9.0
67	151	433.68	8.4 - 10
53	112	641.89	8.4 - 9.5
53	135	572.01	8.8 - 9.5
53	154	339.08	8.9 - 9.3

En cuanto a la altura del lecho se da un rango ya que la lectura de este parámetro es difícil de realizar por la poca visibilidad que se tiene por las mirillas de la columna. Por otro lado es complicado registrar la altura en el momento exacto en que comienza la fluidización. Puede verse que el rango no es tan cerrado y que es muy parecido para todas las condiciones,

sin embargo se aprecia que para la condición de presión más baja el rango se hace más pequeño y además la altura decrece un poco.

A medida que disminuye la presión absoluta, es decir, aumenta la presión de vacío, la velocidad mínima de fluidización aumenta. Esto se debe a que las propiedades del vapor van cambiando con presiones de operación bajas y por consiguiente el fluido se comporta de manera diferente. La tabla 8.6 muestra los cambios observados en las propiedades del vapor para las distintas condiciones experimentales, calculados mediante el promedio aritmético de los valores de densidad y viscosidad respectivamente, de cada medición del experimento.

Tabla 8.6 Cambio de la densidad y viscosidad dinámica para las distintas condiciones experimentales.

Presión [kPa]	Temperatura [°C]	Densidad [Kg/m³]	Viscosidad [Ns²/m]
80	112	0.5140	1.272E-05
80	138	0.4614	1.361E-05
80	154	0.4721	1.420E-05
67	112	0.4285	1.259E-05
67	136	0.4019	1.373E-05
67	151	0.3900	1.415E-05
53	112	0.3398	1.273E-05
53	135	0.3294	1.372E-05
53	154	0.3303	1.450E-05

En general se observa que las velocidades mínimas de fluidización y los rangos obtenidos experimentalmente son congruentes, y esto puede corroborarse con las gráficas de caída de presión en el lecho contra velocidad y altura del lecho contra velocidad que se presentan en el apéndice D. En lo referente a la variación existente entre estas velocidades experimentales con respecto a las temperaturas y presiones de operación, no es sencillo poder analizar un patrón de cambio ya que los valores de velocidad mínima de fluidización son muy cercanos. Esto se debe a que existen ciertas inexactitudes a la hora de registrar los datos durante los experimentos.

8.3.2 Relación entre la velocidad del fluido y la porosidad del lecho

Debido a la gran importancia que tiene la relación existente entre la velocidad del fluido y la porosidad del lecho desde el punto de vista del diseño de un secador por lecho fluidizado, fue necesario analizar dicha relación. Cuando se cuenta con este tipo de gráficas es fácil calcular el tamaño del lecho, las dimensiones del secador, o incluso en caso de que estos parámetros sean conocidos, es posible obtener la velocidad a la que se debe operar el lecho cuando se conoce la altura del lecho. Con esta información también es posible establecer los parámetros necesarios para la construcción de una columna para secar por lecho fluidizado.

En las figuras 8.1 a 8.3 se muestra la comparación de las gráficas de porosidad ϵ contra velocidad u , de los experimentos realizados a una misma presión pero a distintas temperaturas. En ellas se representan las tendencias que se encontraron con sus respectivas ecuaciones.

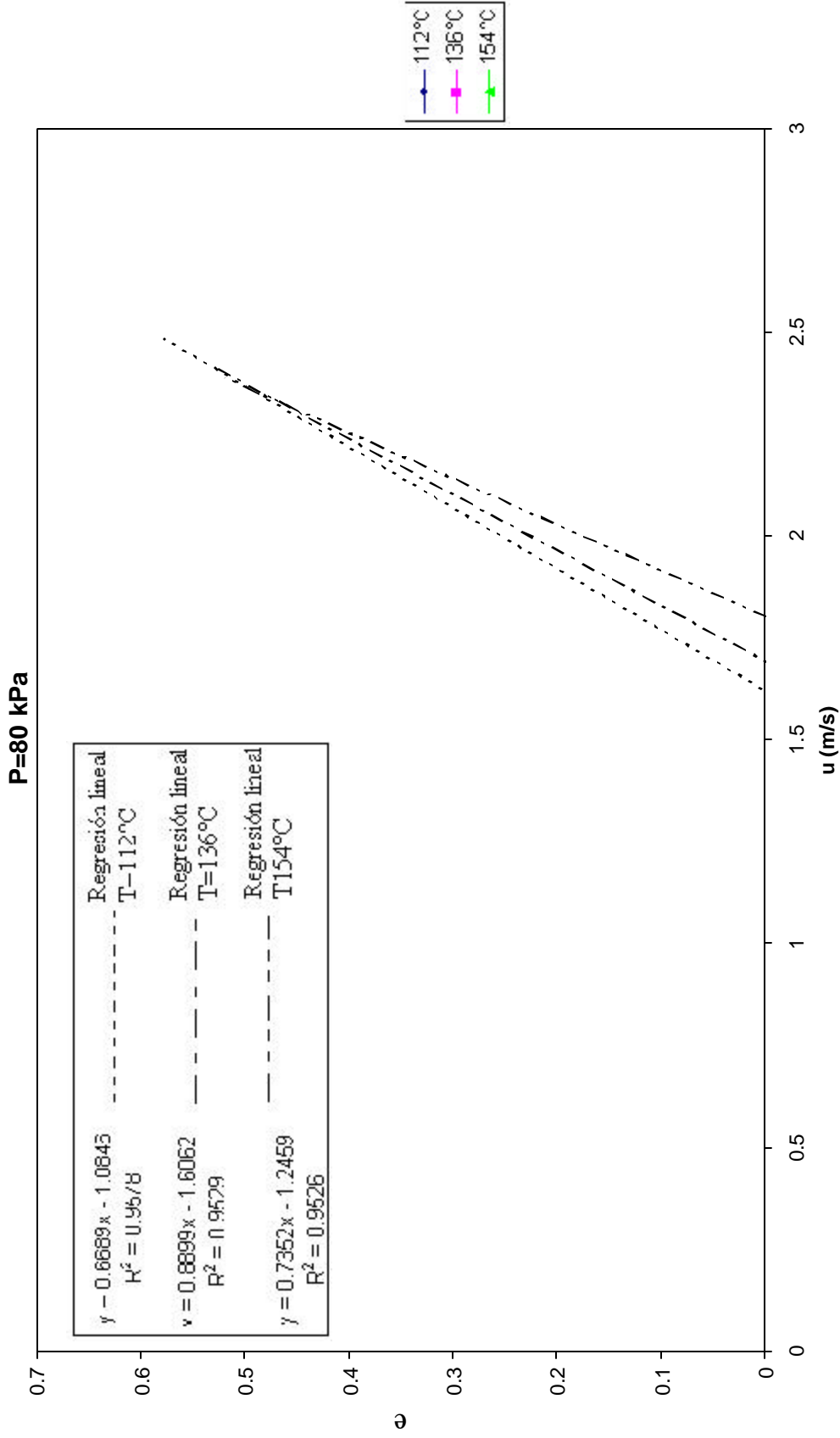


Figura 8.1 Comparación del efecto de la temperatura a presión constante de la relación entre la velocidad de fluidización y la porosidad del lecho, en el fluidizado de pimienta con vapor sobrecalentado.

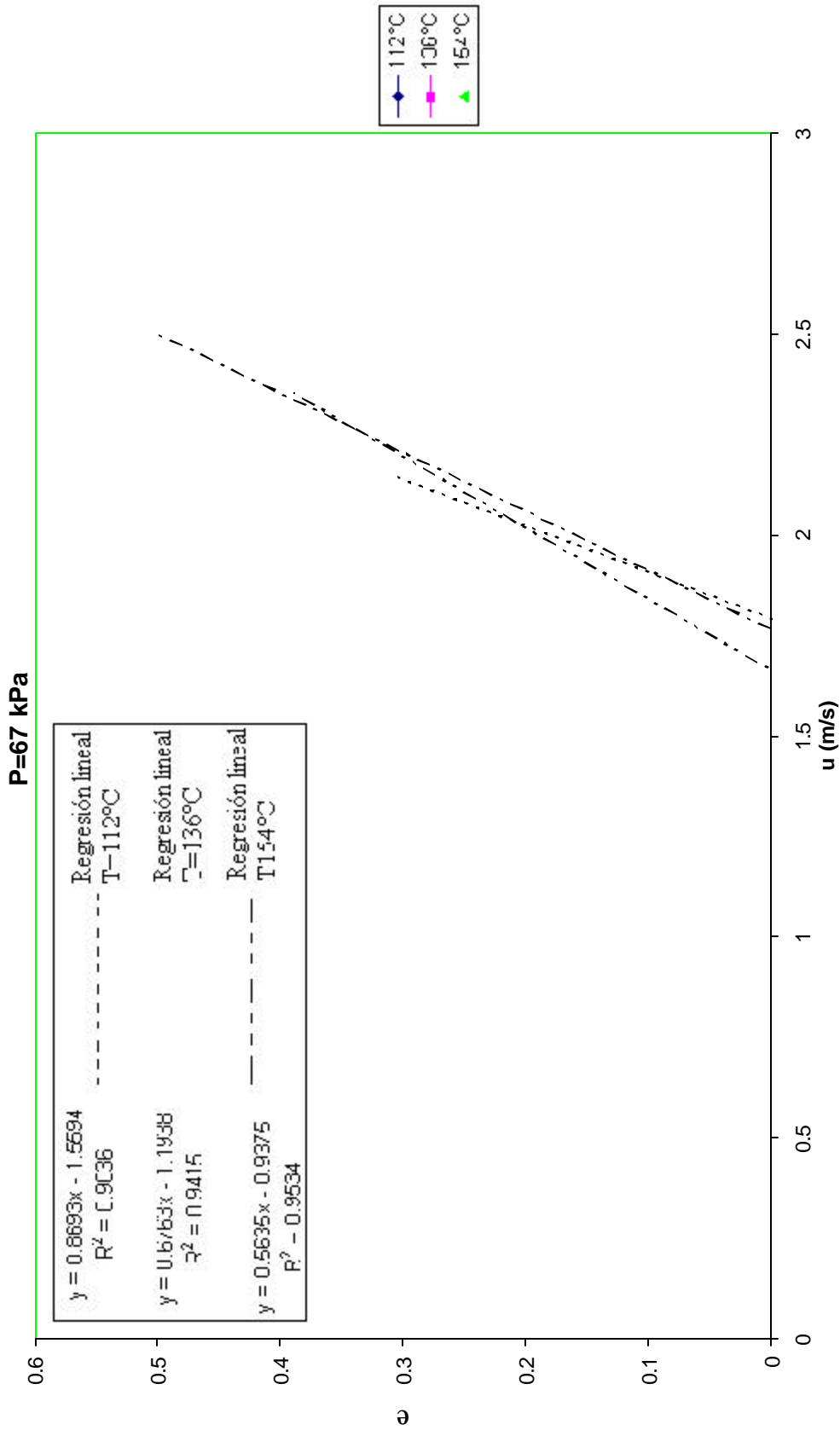


Figura 8.2 Comparación del efecto de la temperatura a presión de vacío constante de la relación entre la velocidad de fluidización y la porosidad del lecho, en el fluidizado de pimienta con vapor sobrecalentado.

P = 53 kPa

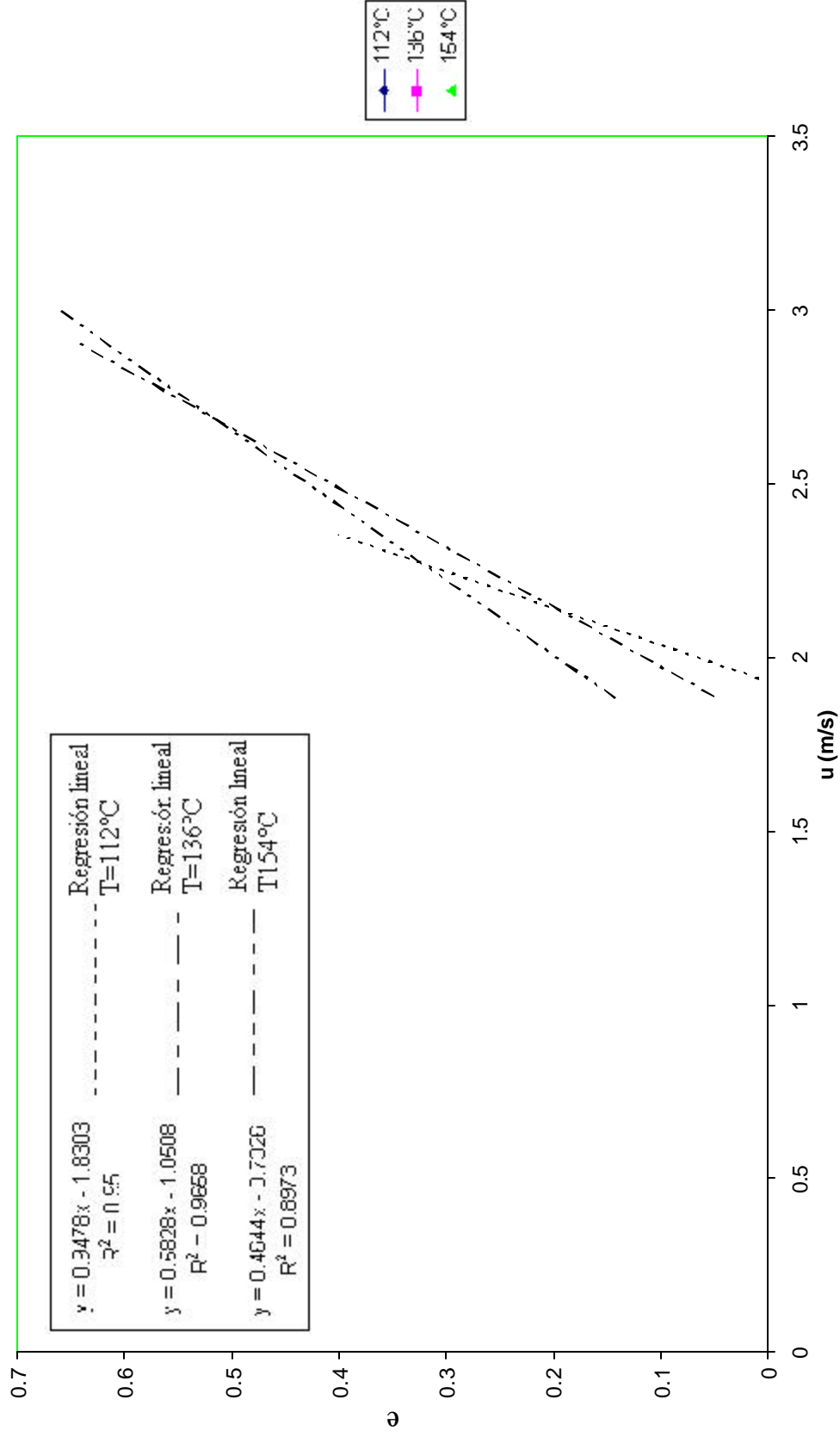


Figura 8.3 Comparación del efecto de la temperatura a presión de vacío constante de la relación entre la velocidad de fluidización y la porosidad del lecho, en el fluidizado de pimienta con vapor sobrecalentado.

De la figura 8.1 puede decirse que al trabajar a presión atmosférica, las tendencias son muy parecidas y se ve claramente que en los puntos graficados la tendencia lineal es adecuada, sin embargo también puede notarse una muy ligera tendencia logarítmica a velocidades altas. Se nota claramente que la temperatura más baja dio menores velocidades de fluidización cuando la porosidad del lecho comenzó a incrementarse.

En la figura 8.2 ocurre algo muy parecido que en la figura 8.1, con la diferencia de que a este nivel de vacío las líneas se entrelazan continuamente y es difícil describir un comportamiento definido.

Finalmente la figura 8.3 muestra una tendencia más definida que la que se puede inferir tendrían las otras dos figuras. En este caso se utilizó la misma tendencia lineal, sin embargo es más fácil darse cuenta que la posible tendencia que seguirían las curvas en caso de contar con más puntos sería logarítmica. Para este nivel de vacío la temperatura no parece tener influencia sobre las velocidades y porosidades del lecho.

8.3.3 Comparación de resultados obtenidos

Al comparar los resultados obtenidos en este trabajo con los mostrados por Patiño [11], se notó que los valores de las velocidades mínimas de fluidización son en general superiores. La tabla 8.7 compara los valores de velocidad mínima de fluidización en ambos trabajos para partículas de pimienta grande y en las condiciones similares empleadas para ambos estudios.

Tabla 8.7 Comparación de velocidades mínimas de fluidización experimentales utilizando vapor sobrecalentado para distintas condiciones de presión y temperatura al emplear partículas de pimienta grande.

P	T	Este trabajo	Patiño [11]
		U_{mf} experimental	U_{mf} experimental
[kPa]	[°C]	[m/s]	[m/s]
80	112	1.88	1.31
80	138	1.97	1.43
80	154	1.97	1.56
67	136	1.83	1.49
53	135	1.74	1.66

Para el caso cuando la presión de trabajo es la atmosférica, puede notarse que en ambos trabajos se presenta un incremento cuando la temperatura aumenta, mientras que al analizar el efecto del vacío nos es fácil precisar la tendencia.

La variación existente entre ambos resultados puede deberse a la forma de determinar la velocidad mínima de fluidización en ambos trabajos. En el estudio realizado por Patiño [11] el cálculo se hizo mediante la regresión lineal de la sección de la gráfica de ΔP vs u que

presenta una alta caída de presión, es decir, la parte que maneja velocidades menores. La otra sección de la gráfica se ajusta a una línea con pendiente cero. De esta forma el valor de las abscisas correspondiente a la intersección las dos líneas mencionadas es el valor de la velocidad mínima de fluidización. Esta manera de realizar el cálculo de la velocidad mínima de fluidización es bueno siempre y cuando no exista una amplia diferencia entre los valores estimados y la regresión (R^2).

Otro elemento que pudo haber sido causa de las diferencias encontradas, es la adecuada selección de las fórmulas para realizar los cálculos. En este trabajo se seleccionaron las fórmulas (mencionadas en el capítulo 3 y en el capítulo 7) en base al análisis del proceso y del equipo, sin embargo no se pudo realizar una comparación entre las fórmulas utilizadas por Patiño [11], debido a que en ese trabajo no se proporciona la información completa acerca de las fórmulas utilizadas. De esta manera los resultados obtenidos se consideran confiables por lo antes mencionado y adicionalmente por la realización por duplicado e incluso triplicado de las pruebas experimentales.

8.4 Secado

8.4.1 Humedad inicial

La humedad inicial de las pruebas de secado es un factor que puede tener un impacto en los resultados obtenidos, en los experimentos realizados en este trabajo las humedades iniciales y los tiempos de hidratación de las partículas que se obtuvieron se muestran en la tabla 8.8.

Tabla 8.8 Tiempo de hidratación y humedad inicial en base seca de la pimienta antes de cada experimento de secado.

Experimento	Tiempo de hidratación [horas]	Humedad inicial base seca [g de agua/g sólido seco]
T _{entrada} =101°C T _{lecho} = 92°C P= 40 kPa	24	0.746
T _{entrada} =110°C T _{lecho} = 101°C P= 40 kPa	24	0.744
T _{entrada} =120°C T _{lecho} = 103°C P= 40 kPa	36	0.783
T _{entrada} =104°C T _{lecho} = 98°C P= 80 kPa	20	0.689
T _{entrada} =114°C T _{lecho} = 108°C P= 80 kPa	30	0.880
T _{entrada} =121°C T _{lecho} = 116°C P= 80 kPa	20	0.637

8.4.2 Curvas de secado

En las figuras 8.4, 8.5 y 8.6 se comparan las curvas de secado obtenidas para las distintas condiciones experimentales, concretamente se compara el efecto que tuvo la presión de vacío sobre la presión atmosférica en condiciones similares de temperatura. A pesar de que se aprecia la falta de datos en periodos más largos de tiempo, sí es posible observar la tendencia que siguen las curvas. La duración de la prueba de secado dependió del corto tiempo que se logró mantener el vacío dentro de la columna, ya que, como se mencionó en la sección 8.1, después de un tiempo (aproximadamente una hora sin contar el tiempo requerido para

estabilizar las condiciones del experimento), el vacío se comienza a perder. La humedad final que conservan las muestras pudo haber sido menor que la observada en las figuras 8.4 a la 8.6 ya que para poder obtener valores más precisos es necesario aumentar el tiempo de secado. Cabe mencionar que la presión de vacío utilizada ($P_{\text{abs}} = 40 \text{ kPa}$) es considerada alta para las condiciones del equipo.

Las figuras 8.4 y 8.6, es decir, los experimentos que manejaron las temperaturas más bajas y las más altas, no muestran un comportamiento muy diferente cuando se trabajó a presiones de vacío y a presión atmosférica. El comportamiento es muy similar, sin embargo en la figura 8.4 se puede ver que al final de la prueba (alrededor del minuto 25), el experimento que manejó la presión de vacío comienza a secar un poco más rápido que el que manejó la presión atmosférica, aunque la diferencia es muy pequeña. Por otro lado en la figura 8.6 se puede notar que la mayor parte del tiempo de la prueba (hasta el minuto 36 aproximadamente), el experimento que manejó la presión atmosférica secó más rápido que el que manejó la presión de vacío. Este dato refleja que cuando se trabajó a temperaturas elevadas (alrededor de 120°C) el efecto del vacío no fue tan predominante como lo fue el efecto de la temperatura.

Finalmente en la figura 8.5 se muestra la prueba que manejó la temperatura intermedia, y en ella sí se puede ver claramente el efecto que tuvo el vacío sobre el secado de la pimienta, es decir, se aprecia que al trabajar con presiones de vacío la remoción de la humedad se dio en un menor tiempo.

P=80kPa (atm), T ent.=104°C, T lecho=99°C, u=2.50m/s
P=40kPa (vacío), T ent.=101°C, T lecho=92°C, u=2.95m/s

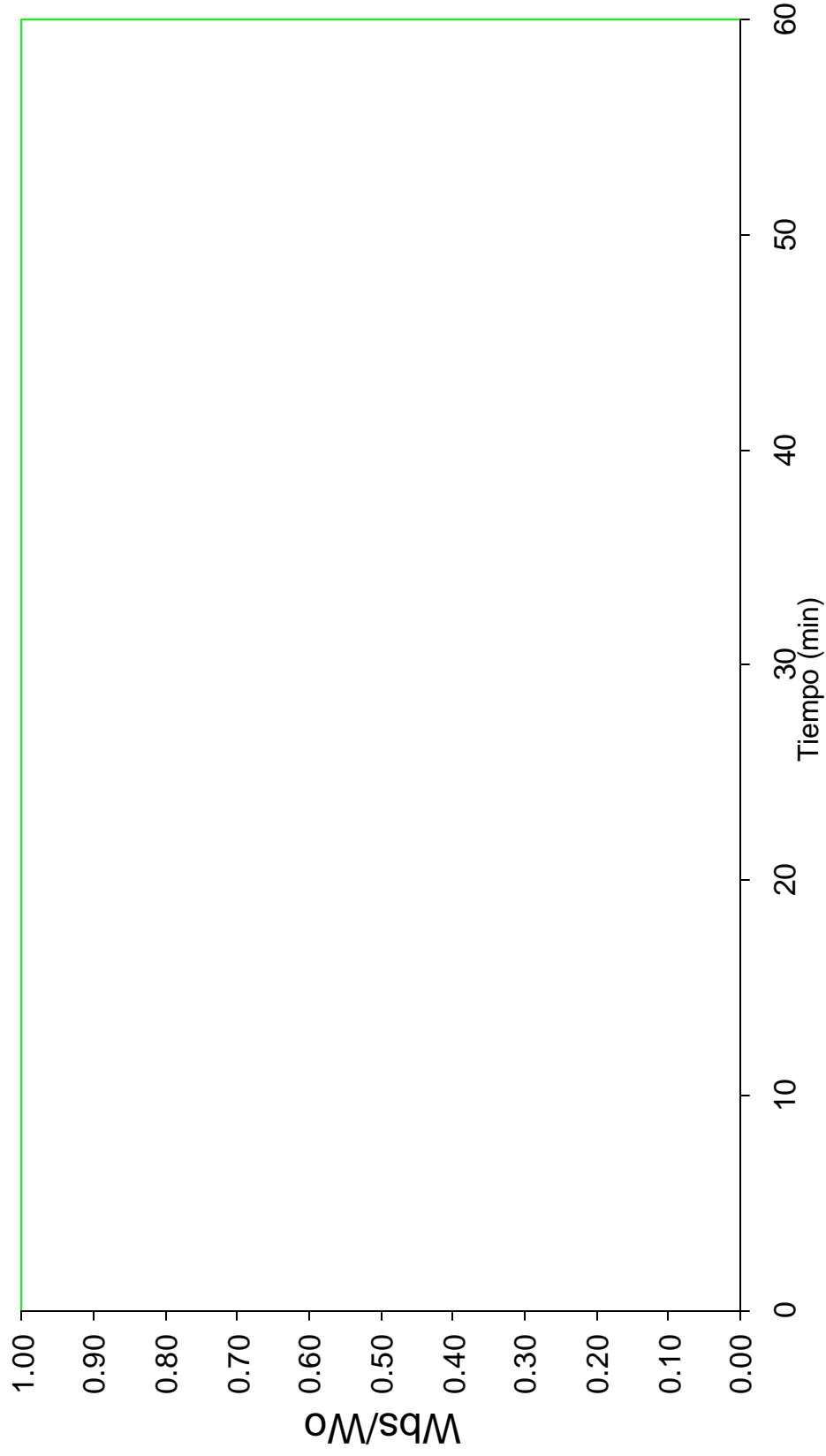


Figura 8.4 Comparación del efecto de la presión de operación sobre la fracción de agua removida en pimienta secada en lecho fluidizado en condiciones similares de temperatura.

P=80kPa (atm), T ent.=114°C, T lecho= 109°C, u=2.43m/s
P=40kPa (vacío), T ent.=110°C, T lecho= 101°C, u=2.90m/s

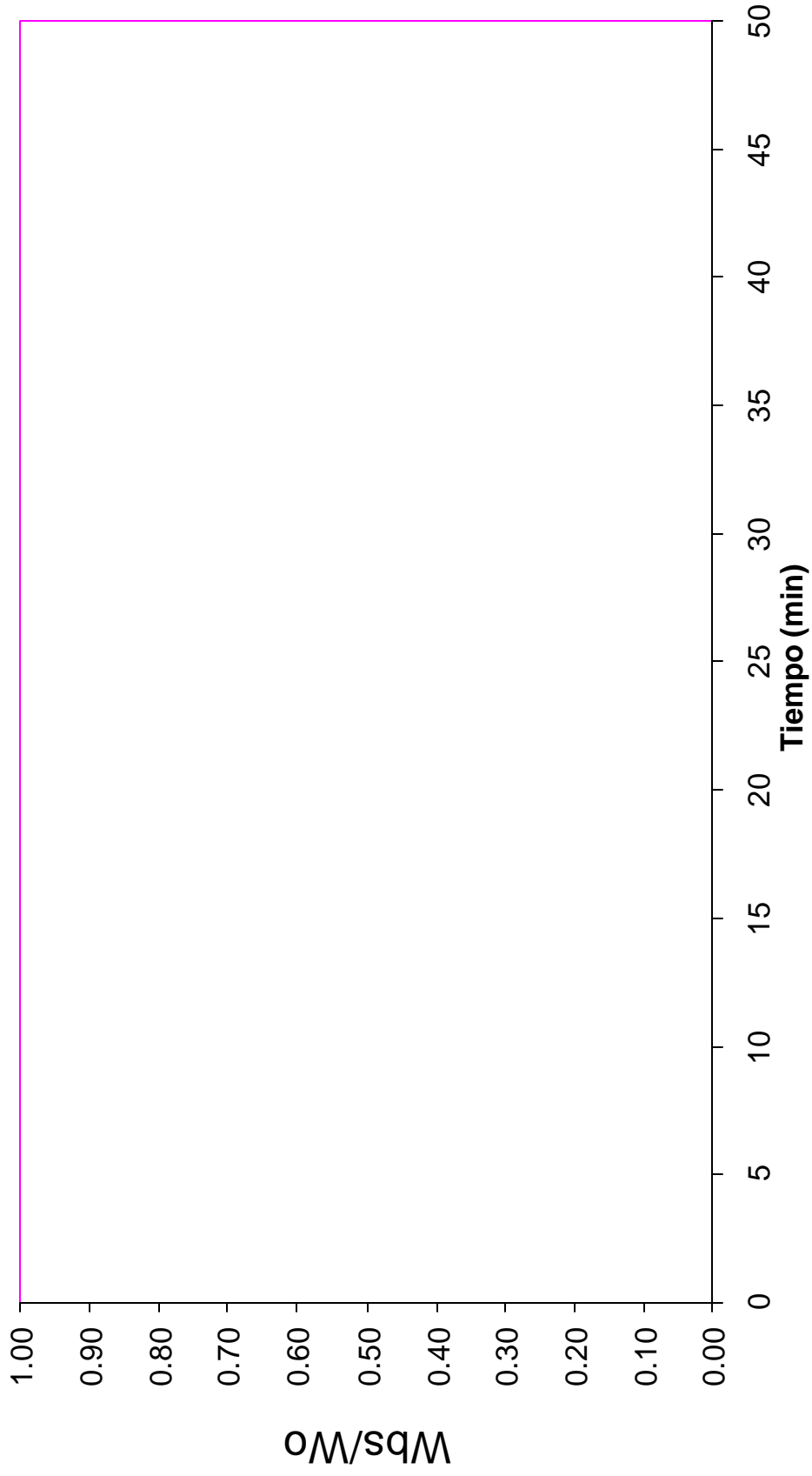


Figura 8.5 Comparación del efecto de la presión de operación sobre la fracción de agua removida en pimienta secada en lecho fluidizado en condiciones similares de temperatura.

P=80kPa (atm), T ent.=121°C, T lecho=109°C, u=2.61m/s
P=40kPa (vacío), T ent.=120°C, T lecho= 103°C, u=2.94m/s

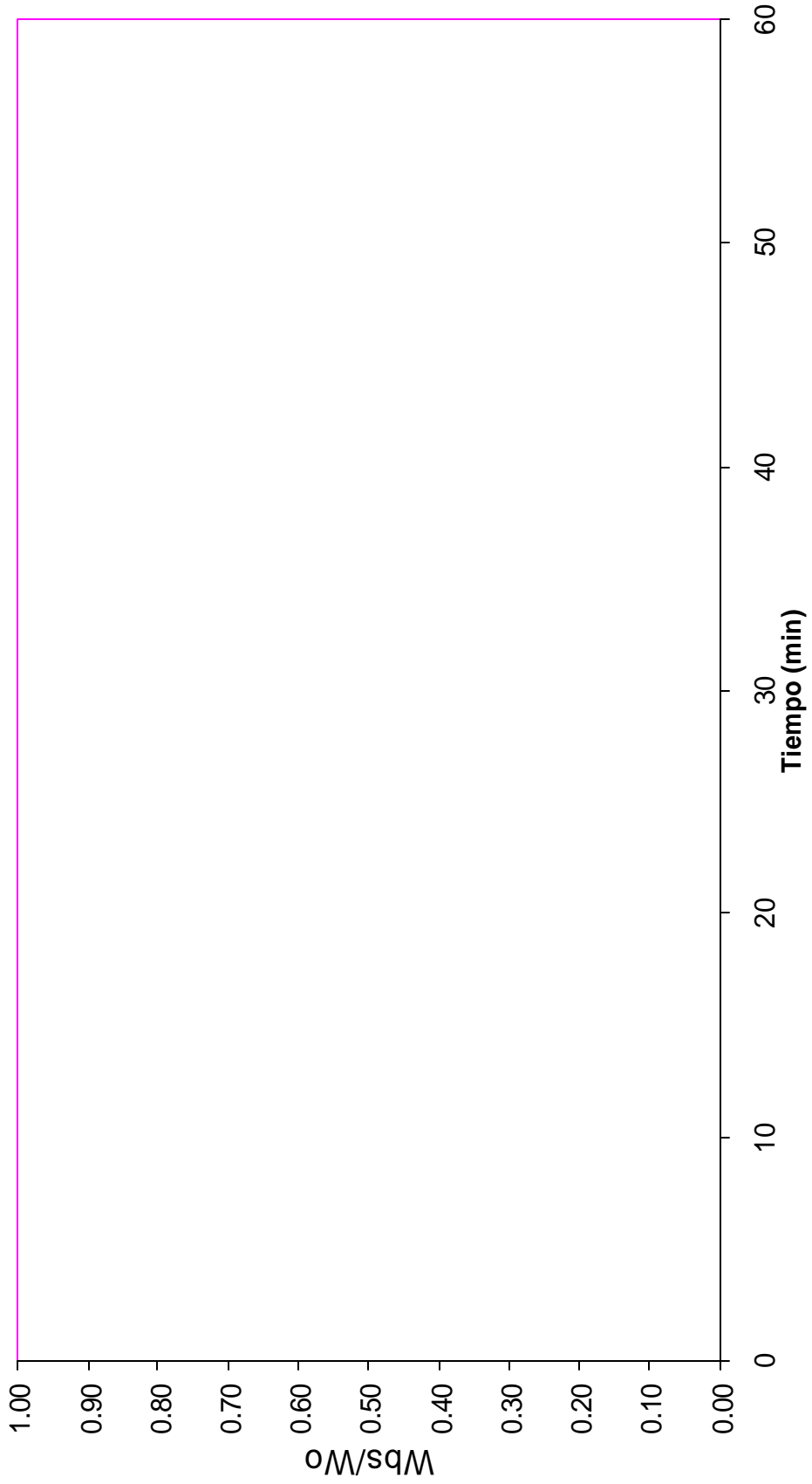


Figura 8.6 Comparación del efecto de la presión de operación sobre la fracción de agua removida en pimienta secada en lecho fluidizado en condiciones similares de temperatura.

Tabla 8.9 Comparación de la variación del tiempo de secado (min) con respecto al porcentaje de humedad a las distintas condiciones de trabajo en las pruebas de secado.

Tiempo (min)						
% Humedad (Wbs/Wo)						
	P=40kPa (vacío)			P=80kPa (atmosférica)		
	T _{entrada} =101°C T _{lecho} = 92°C	T _{entrada} =110°C T _{lecho} = 101°C	T _{entrada} =120°C T _{lecho} = 103°C	T _{entrada} =104°C T _{lecho} = 99°C	T _{entrada} =114°C T _{lecho} = 109°C	T _{entrada} =121°C T _{lecho} = 116°C
80	9.04	3.62	4.56	3.69	11.49	3.41
70	11.33	5.38	5.69	8.57	18.81	5.12
60	13.54	7.02	6.81	15.97	21.11	6.82
50	19.27	8.66	9.25	22.35	23.40	8.53
40	24.22	11.11	14.90	28.36	26.55	11.44
30	34.47	18.70	23.27	48.99	31.63	19.21
20	45.05	26.98	33.07	71.38	41.67	30.06
10	53.36	36.27	39.33	93.77	61.53	41.76

La tabla 8.9 presenta más detalladamente el tiempo que se requiere para remover distintos porcentajes de humedad para cada condición experimental. Dentro de las pruebas a presión de vacío, la que manejó la menor temperatura presenta tiempos mayores, pero para el caso de las otras dos temperaturas ocurrió un fenómeno distinto. Los tiempos son menores al trabajar con la temperatura intermedia que con la más alta. Esto puede ser muy distinto a lo esperado debido a que deben considerarse factores como el tiempo que se dejaron humedecer

las partículas y por consiguiente la humedad inicial de las partículas. Para el caso de las pruebas a presión atmosférica se pueden ver que los valores del tiempo son en general mayores, excepto cuando se trabajó con la temperatura más alta, que como ya se explicó ocurre un fenómeno distinto.

8.4.3 Velocidad de secado

El comportamiento experimental en cuanto a la velocidad de secado se puede ver en las figuras 8.7, 8.8 y 8.9. Lo que muestran dichas figuras es muy similar a lo mencionado en las curvas de secado. En la figura 8.7 y 8.9 se muestran las curvas de secado de las pruebas que manejaron la menor y mayor temperatura respectivamente. La comparación realizada entre los experimentos a distintas presiones de trabajo comprueba lo ocurrido en las curvas de secado y además para estos casos se aprecia que existe una diferencia en la humedad inicial de la partícula lo cual produce que al inicio de la prueba las curvas de velocidad de secado se vean distintas, sin embargo a un punto en que las curvas son muy similares. Por lo tanto el efecto de la presión de operación es casi nulo. Por otro lado la figura 8.8 sí muestra el efecto de la presión de vacío en el proceso de secado, notándose que a presiones de vacío se removió más humedad a una mayor velocidad que a presión atmosférica.

Como ya se mencionó en la sección 8.3.1, es importante tomar en cuenta que el factor que parece tener una mayor influencia sobre estas pruebas de secado es la humedad inicial, y se debe evitar tener grandes variaciones de esta, sin embargo puede llegar a ser difícil tener la misma humedad inicial para todas las pruebas, por lo tanto debe procurarse que al menos sean muy parecidas.

P=80kPa (atm), T ent.=104°C, T lecho= 99°C, u=2.50m/s
P=40kPa (vacío), T ent.=101°C, T lecho=92°C, u=2.95m/s

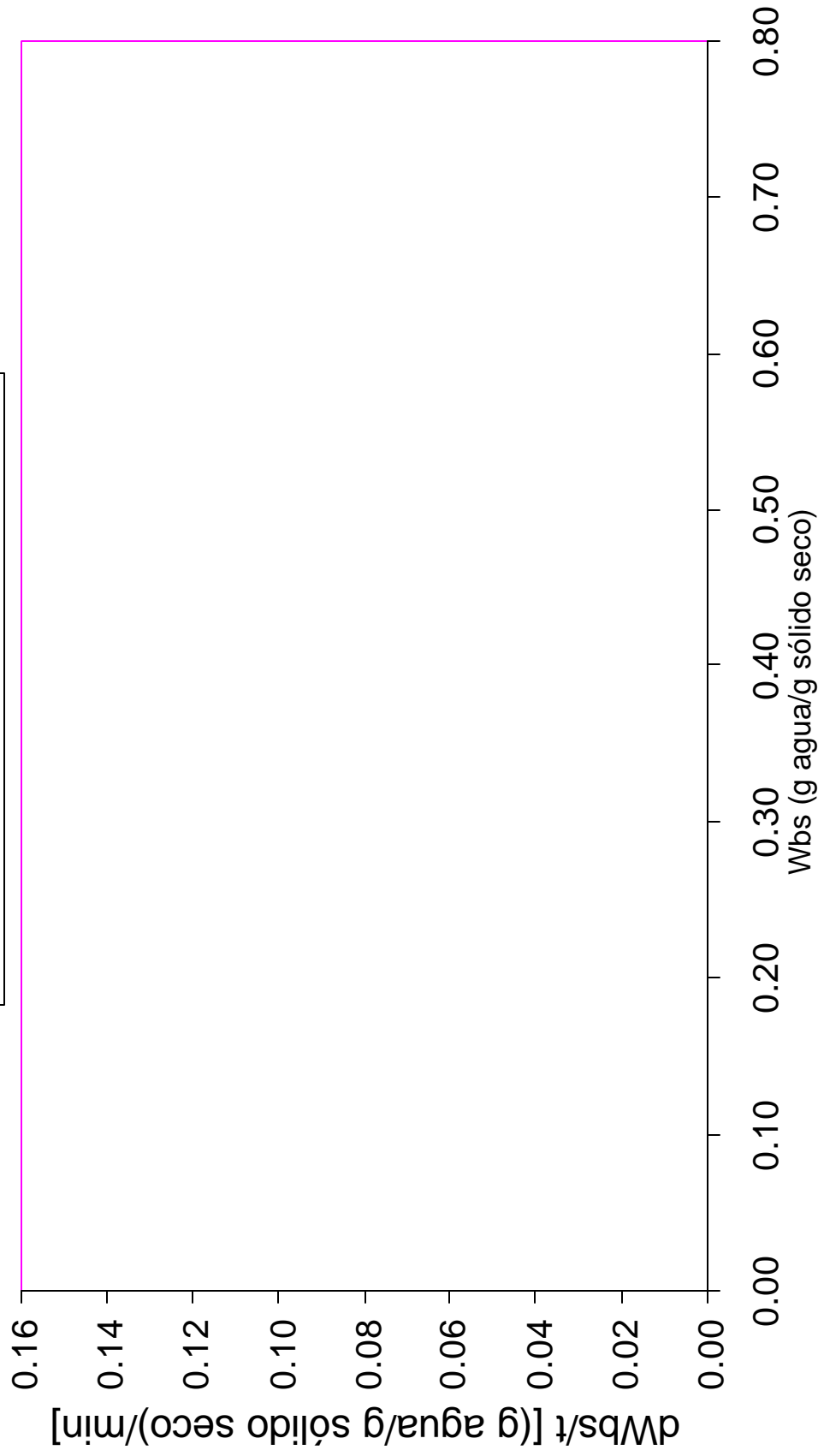


Figura 8.7 Comparación del efecto de la presión de operación sobre la velocidad de secado de pimienta secada en lecho fluidizado a temperaturas del vapor sobrecalentado similares.

P=80kPa (atm), T ent.=114°C, T lecho=109°C, u=2.43m/s
P=40kPa (vacío), T ent.=110°C, T lecho=101°C, u=2.90m/s

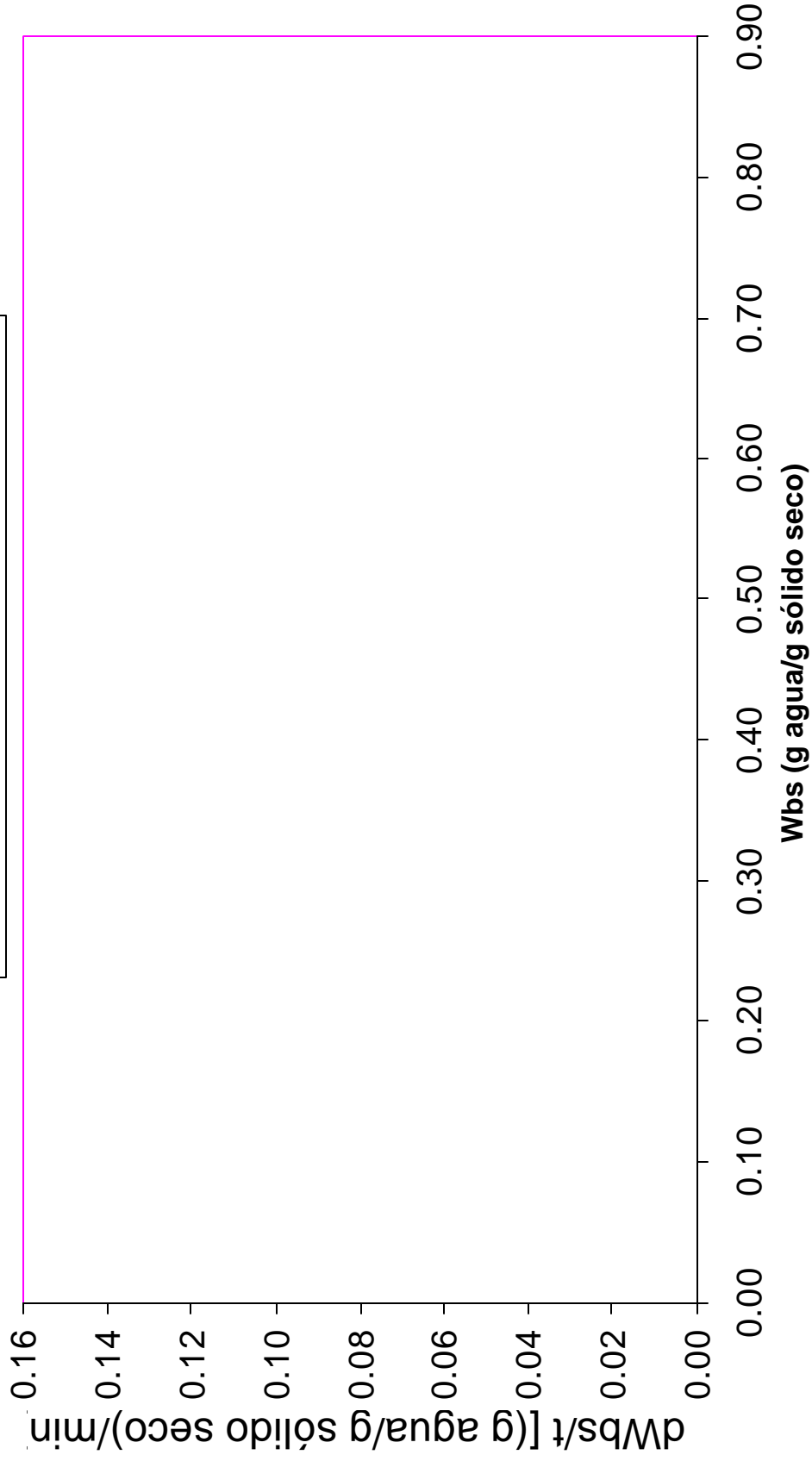


Figura 8.8 Comparación del efecto de la presión de operación sobre la velocidad de secado de pimienta secada en lecho fluidizado a temperaturas del vapor sobrecalentado similares.

P=80kPa (atm), T ent.=121°C, T lecho= 109°C, u=2.61m/s
P=40kPa (vacío), T ent.=120°C, T lecho=103°C, u=2.94m/s

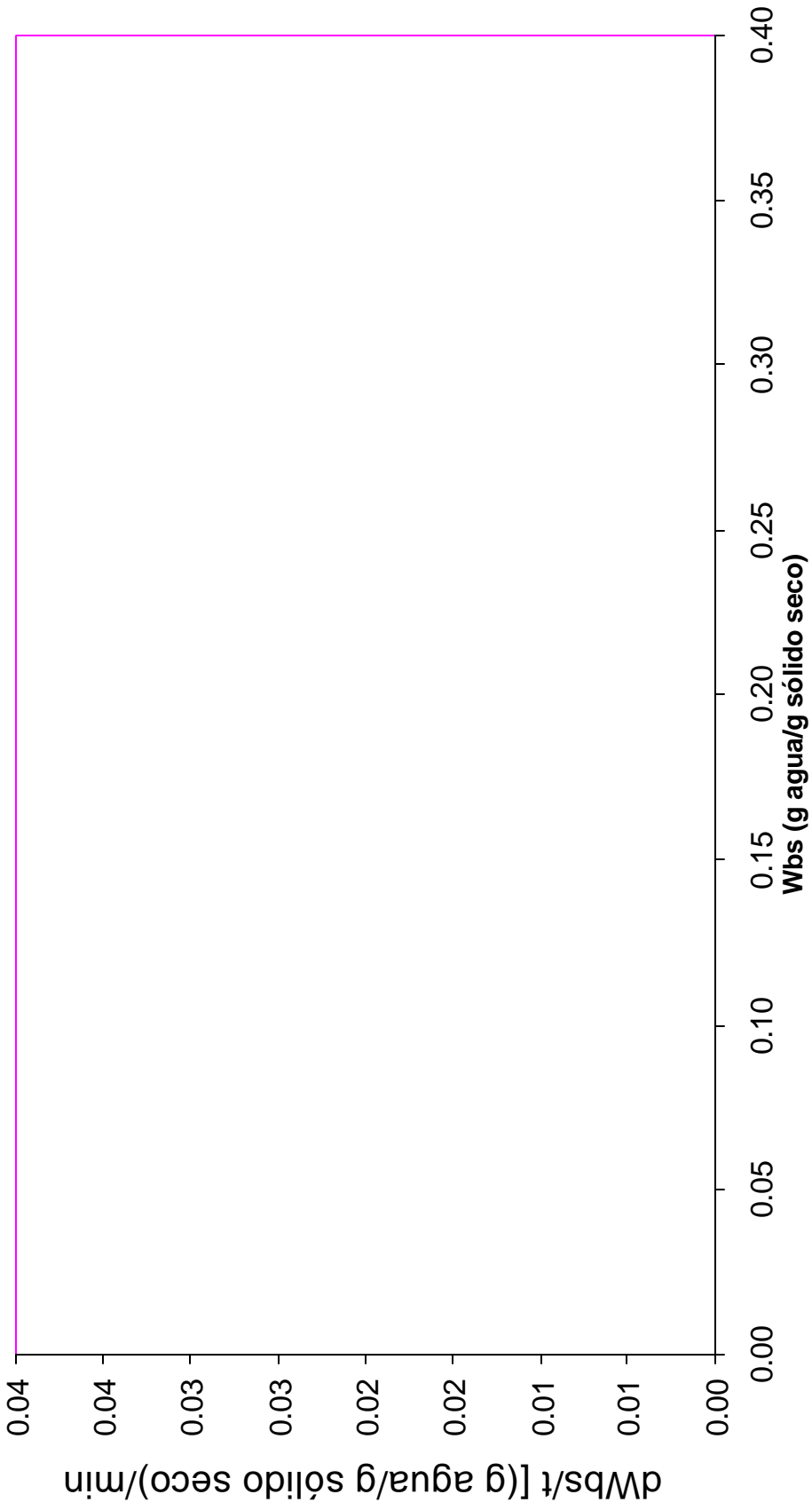


Figura 8.9 Comparación del efecto de la presión de operación sobre la velocidad de secado de pimienta secada en lecho fluidizado a temperaturas del vapor sobrecalentado similares.

8.4.4 Comparación con otros trabajos

La comparación de los resultados obtenidos por Cabrera [12] acerca de las pruebas de secado a vacío y empleando vapor sobrecalentado, puede hacerse desde un punto de vista general ya que, aunque hay similitud en las condiciones experimentales, no la hay en las partículas utilizadas. En ese trabajo de tesis se utilizó pimienta en grano chica, mientras que en este trabajo pimienta en grano grande. Es posible establecer una comparación desde el punto de vista que ambas partículas tienen geometrías similares aunque dimensiones distintas. Para el caso de la pimienta chica la esfericidad que se manejó en aquel trabajo fue de 0.95, mientras que para la pimienta grande se encontró una esfericidad de 0.94. Otro factor importante es que en este trabajo se realizaron experimentos de secado a presión atmosférica mientras que en el trabajo con el cual se está comparando no se hicieron. El punto de comparación que puede hacerse es en cuanto al efecto de la temperatura y puede decirse que en ambos trabajos la humedad se incrementa un poco justo al momento de iniciar la prueba cuando se manejan temperaturas relativamente bajas.