CAPÍTULO 8
PRUEBAS EXPERIMENTALES

Introducción

En este capítulo se desarrollaran las pruebas de determinación de porosidad y de secado las cuales tienen que ser controladas y donde se desarrollara un formato para cada tipo de prueba las pruebas cuentan con cierto grado de error el cual debe de ser controlado y no debe ser tal que afecte la credibilidad y veracidad de sus resultados.

Formato de pruebas de determinación de la porosidad

El formato de porosidad debe contener todos los aspectos necesarios para poder realizar las pruebas y contener todos los parámetros necesarios y así minimizar las equivocaciones. Estos formatos ayudaran a obtener los resultados requeridos. La Tabla 8.1 muestra los datos que se utilizaron en la determinación de la porosidad.

Tabla 8.1 Formato para realizar las pruebas de porosidad

# Charola	Masa Humeda [g]	Masa Seca [g]	Peso Charola [g]	P_{atm} [mmHg]	P_{bomba} [mmHg]	P_{abs} [mmHg]	Densidad [g/l]

Vol Agua (Va) H2O [l]	Vol Silica (Vs) [l]	$e = \frac{Va}{Vs + Va}$

El procedimiento para obtener la porosidad es el siguiente:

1. Se lavan las charolas a usar y se ponen en el horno a 100 ºC aproximadamente (las charolas siempre deben ser transportadas con el uso de pinzas nunca con las manos).
2. Se ponen las partículas a medir en un desecador con agua destilada y se crea vacío. El vació es controlable y depende de la bomba de vacío.

3. Se le da un tiempo de operación aproximadamente 30 minutos, que es, dejar reposar a las partículas en vacío.
4. Se rompe el vacío y se le da un tiempo de relajación aproximadamente 10 minutos.
5. Se recogen las partículas y se ponen en un tamiz, el tamiz con las partículas se golpea contra un trapo en la parte inferior para eliminar el exceso de agua superficial.
6. Se debe de pesar la muestra inmediatamente por que va perdiendo humedad al ambiente esto se puede observar al ver como el peso de la charola de humedad va disminuyendo gradualmente.
7. Se coloca la muestra en el horno y se le da aproximadamente 4 hrs para eliminar la humedad.
8. Al sacar la muestra debe ponerse en un desecador para que la muestra no absorba humedad del ambiente y para que se enfríe, y así tomar una muestra valida.

Se exponen los pasos en forma gráfica para su mejor accesibilidad.

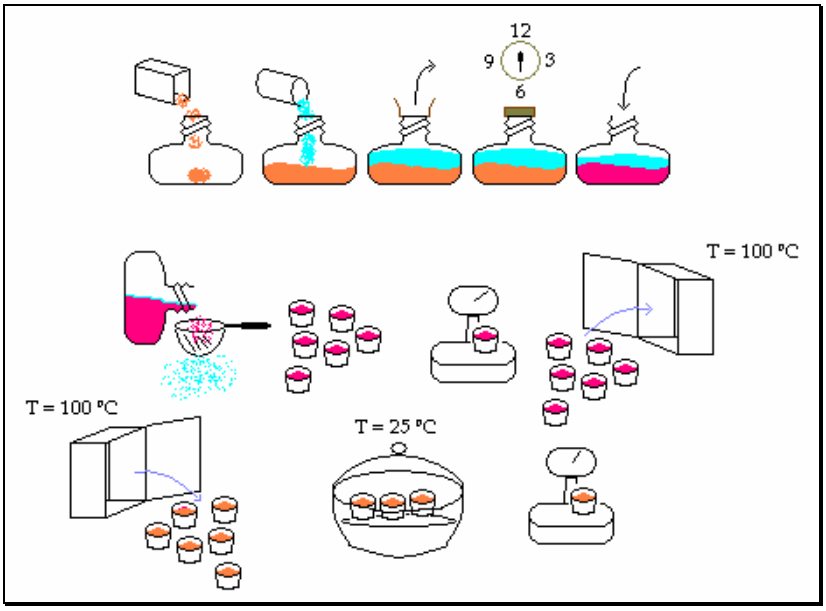


Figura 8.1 Diagrama determinación de la porosidad.

La presión atmosférica en San Andrés Cholula es aproximadamente 598 mmHg.

La porosidad de las partículas es mostrada a en la Tabla 8.1, de las cuales se observó que tanto el carbón activado, la silica gel azul (Química Meyer) y la pimienta negra cuentan con una porosidad similar, de igual modo la silica gel naranja (Watson & Phillips), la silica gel blanca (Watson & Phillips) y la silica gel blanca (Química Meyer) cuentan con una porosidad similar.

En tanto la piedra pómez cuenta con la porosidad mayor y su humedad puede ser controlada fácilmente.

Tabla 8.2 Comparación Porosidad de Partículas

Partícula	***Porosidad [%]***
Carbón Activado	44.77
Silica Gel Azul (Química Meyer)*	45.16
Pimienta Negra	46.37
Silica Gel Naranja (Watson & Phillips)	55.02
Silica Gel Blanca (Watson & Phillips)	57.85
Silica Gel Blanca (Química Meyer)*	60.38
Piedra Pómez*	73.15

* Partículas usadas en este estudio

De aquí se seleccionaron para las pruebas a: Silica Gel Azul (Química Meyer), Silica Gel Blanca (Química Meyer) y Piedra Pómez.

La Pimienta Negra y el Carbón Activado se realizaron experimentos y no se logró controlar el nivel de humedad. La Silica Gel Naranja (W&P) y la Silica Gel Blanca (W&P) no se ocuparon por el hecho que se contaba con otras Silicas de similar porosidad. En el

caso de las Silicas Blancas, la porosidad es muy semejante por lo que podría comprarse Química Meyer y en el caso de la Silica Gel Naranja (W&P) se cuenta con una porosidad similar por lo que no era necesario el uso de ésta silica además que es difícil la obtención de partículas W&P debido a que su venta es el DF y fueron descartadas de las pruebas en cuanto a costo y accesibilidad.

Formato de pruebas de secado con aire

Las pruebas de secado son realizadas en charolas en condiciones de peso constante y puestas en un desecador.

Las muestras son tomadas paulatinamente mientras el experimento esta siendo ejecutado (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25, 30 ,40 ,50 ,60min), al tomar las muestras son inmediatamente pesadas lo que evita tomar muestras que pierdan o ganen humedad.

Después las metemos en un desecador y al finalizar el experimento todas las muestras en el desecador son llevadas al horno donde tenemos un tiempo de espera de tres horas; después son metidas al desecador nuevamente mientras se enfrían y son llevadas a la balanza analítica y son pesadas finalmente.

Tabla 8.3 Formato de las pruebas experimentales de secado

Promedio Silica Gel Azul, P=398mmHg, T=47°C, Q=1.03 m/s					Base Seca			
Tiempo	Charola	Ch. Vac	Ch + sol hum	Ch + sol seco	kg agua/kg ss	C1+C2 / 2	dX / dt	X / Xo	%Pérdida

Pruebas Experimentales

Todas las pruebas experimentales fueron realizadas con 400g. Las partículas fueron humedecidas en una humedad base seca de 0.3 sin embargo se necesito agregar 1% en el

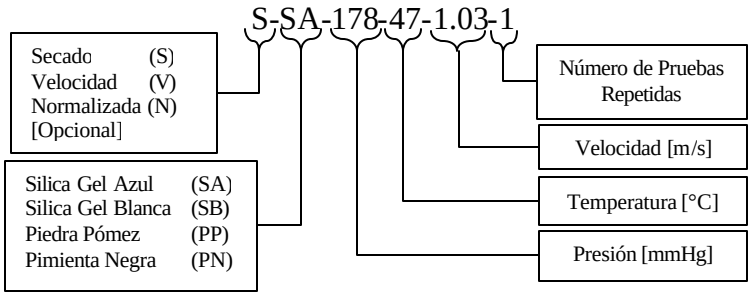
caso de las silicas debido a que sufren una reacción química exotérmica alcanzando una temperatura máxima de 52°C. Después fueron puestas en un bote y sumergidas en agua para su enfriamiento e inmediatamente se realizó la prueba.

En el caso de la piedra pómez se agregó un 2% para obtener una humedad inicial de 0.3

Las pruebas experimentales fueron tomadas en charolas a peso constante consecuentemente se introducía el aire y se prendía la máquina de de fluidización, así mismo se establecían las condiciones con las cuales sería realizada la prueba es esperaba alrededor de 5 a 10 minutos para estabilizar el equipo para después introducir las partículas después se obtuvieron muestras del proceso. De estas pruebas se realizaron gráficas de secado y velocidad de secado.

Clasificación

La clasificación se realizó para clasificar, agrupar y obtener información de las graficas con un código de identificación el cual contiene datos necesarios de las condiciones con las que se realizó dicho experimento como: [Tipo de gráfica] [Patícula] [Presión de Operación] [Temperatura] [Velocidad] [Número de repeticiones].



Así mismo las clasificaciones en ocasiones van separadas por comas; simbolizando que más de una prueba con condiciones semejantes está siendo mostrada.

Tamaño de partículas

El tamaño de partícula fue determinado con el uso de tamices o cribas de las cuales la siguiente tabla muestra las dimensiones propiedades de dichos tamices.

Tabla 8.4 Clasificación de Tamices

Malla No.	Mallas Número US	Mallas por pulgada	Apertura	Abertura Micrones
1	4	4	.187	4760
2	10	9	.0787	2000
3	20	20	.0331	841
4	40	35	.0165	420
5	60	60	.0098	250
6	80	80	.007	177
7	100	100	.0059	94.9

De las partículas con las que contamos actualmente se obtuvieron los siguientes datos:

Silica Gel Blanca
33.5% de partículas que pasaron por la abertura de 2000 micrones

66.5% de partículas que pasaron por la abertura de 841 micrones

Silica Gel Azul
49.4% de partículas que pasaron por la abertura de 2000 micrones

33.8% de partículas que pasaron por la abertura de 841 micrones

15.9% de partículas que pasaron por la abertura de 420 micrones

33.5% de partículas que pasaron por la abertura de 250 micrones

0.80% de partículas que pasaron por la abertura de 177 micrones

Piedra Pómez
57% de partículas que pasaron por la abertura de 2000 micrones

15% de partículas que pasaron por la abertura de 841 micrones

0.9% de partículas que pasaron por la abertura de 420 micrones

Carbón Activado
88.5% de partículas que pasaron por la abertura de 2000 micrones

11.5% de partículas que pasaron por la abertura de 841 micrones

Pimienta negra

100% de partículas que pasaron por la abertura de 4760 micrones

Resultados de las partículas a utilizar

Tabla 8.5 Resultados de Dimensión de Partículas

Partícula			
Piedra Pómez	**Silica Blanca**	**Silica Azul**	Dimensión [unidades]
3.1015	1.1185	1.3140	Diámetro [mm]
1.5508	0.5593	0.6570	Radio [mm]
1.5508E-03	5.5925E-04	6.5700E-04	Radio [m]
2.4048E-06	3.1276E-07	4.3165E-07	Radio^2 [m^2]

Índice de experimentos

Se realizaron varios experimentos durante el proceso de esta tesis de los cuales los primeros fueron desechados debido a que no contaban con la claridad y fiabilidad suficiente para ser presentados en un estudio experimental. Los experimentos expuestos fueron realizados después de adoptar el procedimiento de charolas a peso constante y contar con un horno.

Tabla 8.6 Índice de Experimentos Realizados

Experimento	Partícula	Presión [mmHg]	Temperatura [ºC]	Velocidad [m/s]	Porosidad [%]
PP-398-47-1.03	Piedra Pómez	398	47	1.03	73.15
PP-298-47-1.03	Piedra Pómez	298	47	1.03	73.15
PP-178-47-1.03	Piedra Pómez	178	47	1.03	73.15
SA-398-47-1.03-1	Silica Gel Azul	398	47	1.03	45.16
SA-398-47-1.03-2	Silica Gel Azul	398	47	1.03	45.16
SA-398-47-1.03-3	Silica Gel Azul	398	47	1.03	45.16
SA-298-47-1.03-1	Silica Gel Azul	298	47	1.03	45.16
SA-298-47-1.03-2	Silica Gel Azul	298	47	1.03	45.16
SA-178-47-1.03-1	Silica Gel Azul	178	47	1.03	45.16
SA-178-47-1.03-2	Silica Gel Azul	178	47	1.03	45.16
SB-398-47-1.03-1	Silica Gel Blanca	398	47	1.03	60.38
SB-398-47-1.03-2	Silica Gel Blanca	398	47	1.03	60.38
SB-298-47-1.03-1	Silica Gel Blanca	298	47	1.03	60.38
SB-298-47-1.03-2	Silica Gel Blanca	298	47	1.03	60.38
SB-178-47-1.03-1	Silica Gel Blanca	178	47	1.03	60.38
SB-178-47-1.03-2	Silica Gel Blanca	178	47	1.03	60.38
PP-298-30-1.03	Silica Gel Blanca	298	30	1.03	60.38
SA-298-30-1.03	Silica Gel Azul	298	30	1.03	45.16

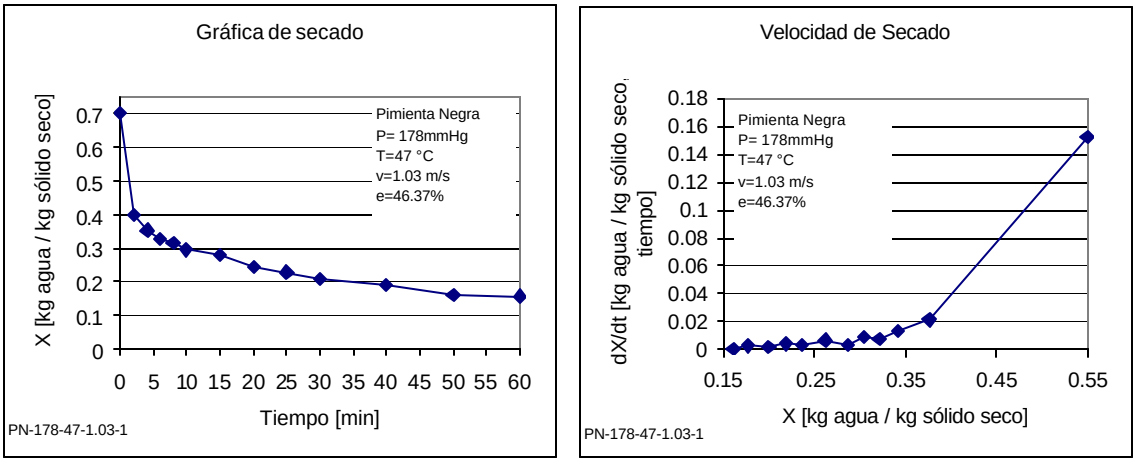
SB-298-30-1.03	Silica Gel Blanca	298	30	1.03	60.38
PP-298-40-1.03	Piedra Pómez	298	40	1.03	73.15
SA-298-40-1.03	Silica Gel Azul	298	40	1.03	45.16
SB-298-40-1.03	Silica Gel Blanca	298	40	1.03	60.38
PP-398-47-1.28	Piedra Pómez	398	47	1.28	73.15
SA-398-47-1.28	Silica Gel Azul	398	47	1.28	45.16
SB-398-47-1.28	Silica Gel Blanca	398	47	1.28	60.38
PN-178-47-1.03-1	Pimienta Negra	178	47	1.03	46.37
PN-178-47-1.03-2	Pimienta Negra	178	47	1.03	46.37

Pruebas Experimentales

Se presentarán las pruebas realizadas en el secado según el índice de comparación presentado en la sección anterior 8.4.3 (*Tabla 8.6)*. Para buscar un experimento en particular sírvase de buscarlo en el índice de experimentos ubicado en la página 3 de este trabajo, así mismo se encuentra en la sección Apéndice.

Se realizaron pruebas con pimienta negra, sin embargo el control en la humedad es demasiado complicado. También se realizaron experimentos con carbón activado; debido a que esta partícula es poco densa al perder humedad ocurre el fenómeno de elutriación y las partículas son depositadas en el sistema de vacío provocando problemas mecánicos. Otra partícula fueron pequeños cilindros de PVC los cuales no contaban con un buen control de la humedad, así como presentar problemas en el horno para su secado completo y la toma del peso posteriormente.

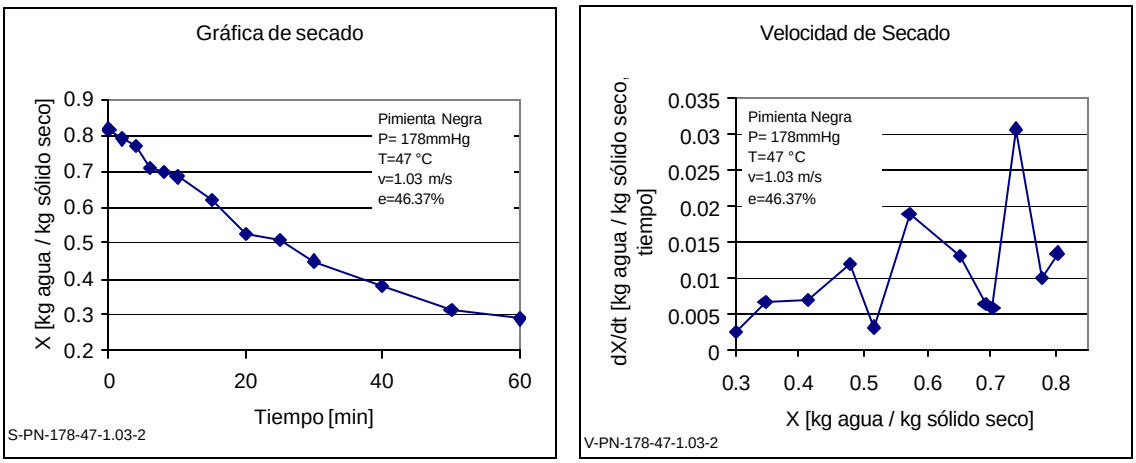
La figura 8.2 muestra una prueba realizada con pimienta negra en la cual se puede observar una alta humedad de 0.7 *kg agua / kg sólido seco* esta humedad no pudo ser controlada aunque se contaba con una porosidad de 46% aproximadamente. Se puede observar que el punto inicial se debe a la pérdida de humedad en la superficie, una segunda observación revela que no cuenta con un periodo de velocidad constante.



a) b)

Figura 8.2 Grafica de secado y velocidad de secado para la pimienta negra

La figura 8.2 muestra una partícula orgánica la cual cuenta con una cáscara permeable la cual conserva y no permite la transferencia de agua hacia el exterior. Debido a la atrición esta cáscara es desprendida de la pimienta provocando variaciones del sistema y es por eso el cual es difícil el obtener una humedad inicial igual, esto explica la diferencia con la silica gel azul dado que cuenta con una porosidad semejante el secado es completamente diferente.



a) b)

Figura 8.3 Grafica de secado y velocidad de secado para la pimienta negra

La figura 8.3 muestra una segunda prueba con pimienta negra, sin embargo se pueden observar más problemas debido a la cáscara permeable. La humedad inicial es mayor a 0.8 *kg agua / kg sólido seco*, esto no significa que tenga una muy alta porosidad, significa que el espacio entre la cáscara y la pimienta esta siendo llenado con agua. Finalmente se concluye que en ésta partícula no puede ser controlada la humedad y es por eso que no se usará en este estudio.

Las figuras 8.4 a 8.9 muestran graficas típicas de secado elaboradas en este trabajo. Se muestran unas graficas representativas con presión de operación de 178 mmHg, con una temperatura de 30°C y con una velocidad de 1.28 m/s.

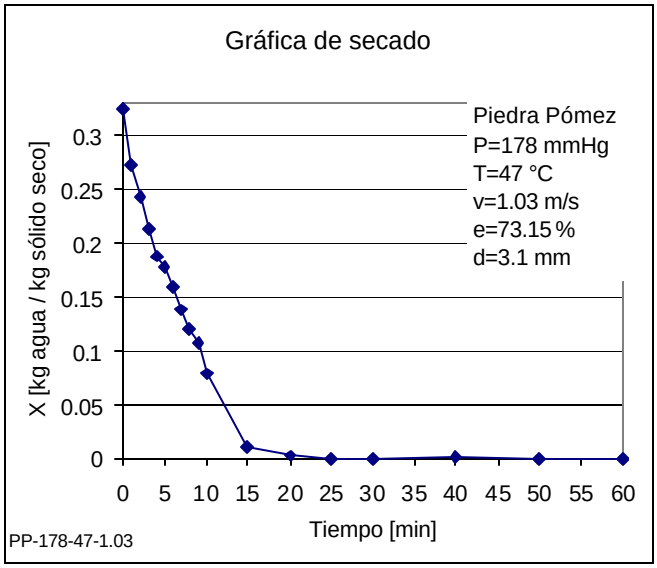


Figura 8.4 Grafica de secado para la piedra pómez

En la Figura 8.4 se muestra una gráfica típica de secado para la piedra pómez. Se puede observar claramente que el periodo de velocidad constante predomina durante toda la prueba finalizando a los 15 min consecuentemente de 15 a 25 min se considera el periodo de velocidad decreciente. Posteriormente se ha alcanzado la humedad de equilibrio 0.0 kg agua / kg sólido seco·min.

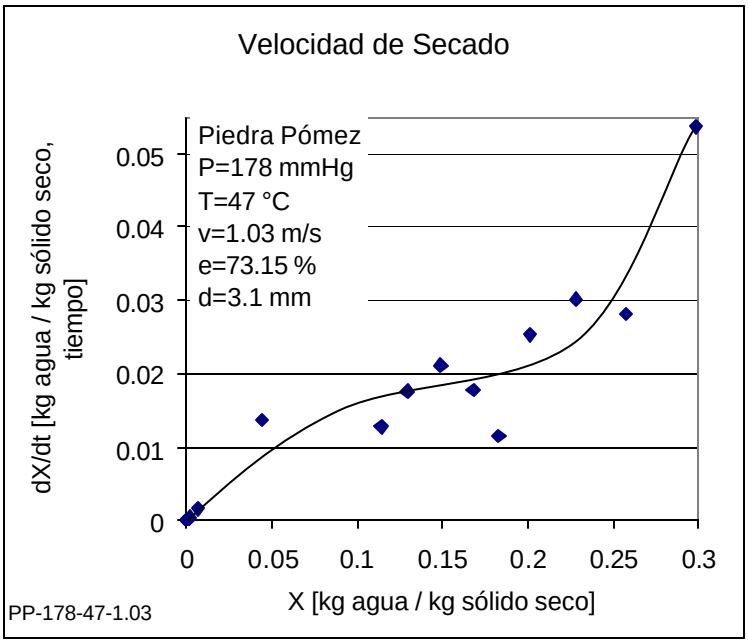


Figura 8.5 Grafica de velocidad de secado para la piedra pómez

La Figura 8.5 muestra la grafica de velocidad de secado en función de la humedad se puede observar que existe una velocidad muy alta del lado derecho correspondiente a 0.054 kg/kg,min y 0.3 kg/kg de humedad base seca. Este punto se debe a la humedad libre no incorporada a la partícula como se observa el periodo de velocidad constante predomina. No se observa el comportamiento lineal teórica esto se debe a que se trata de resultados experimentales los cuales son susceptibles a variación.

La Figura 8.6 muestra el secado de silica gel azul en la cual la temperatura es 30°C, el secado no decrece a cero (humedad de equilibrio) se puede observar el punto inicial (0 min) el cual está por encima del periodo de velocidad constante debido a la humedad libre no incorporada al sistema.

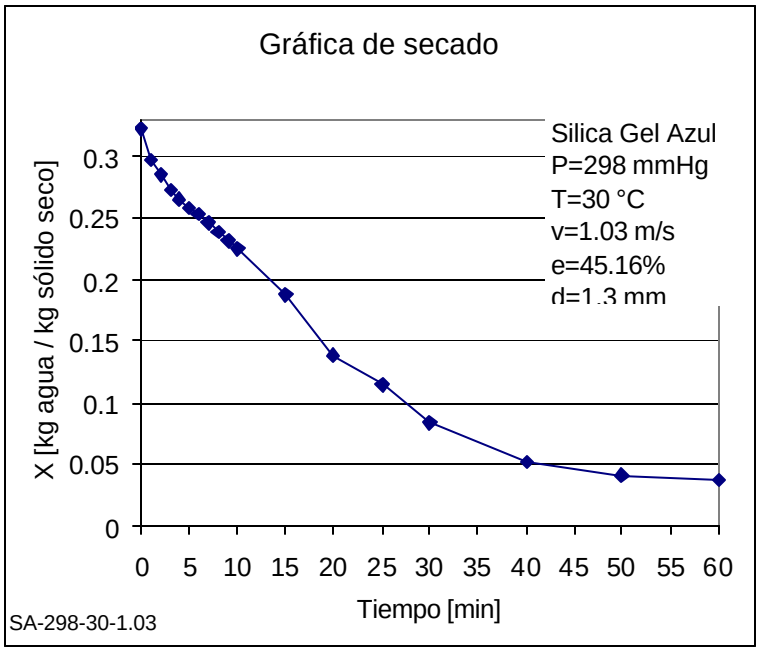


Figura 8.6 Grafica de secado para la Silica Gel Azul

La Figura 8.7 muestra la velocidad de secado para la silica gel azul de la prueba de la figura 8.6 en esta figura puede observarse en comparación a la figura 8.5 que la velocidad de secado es menor.

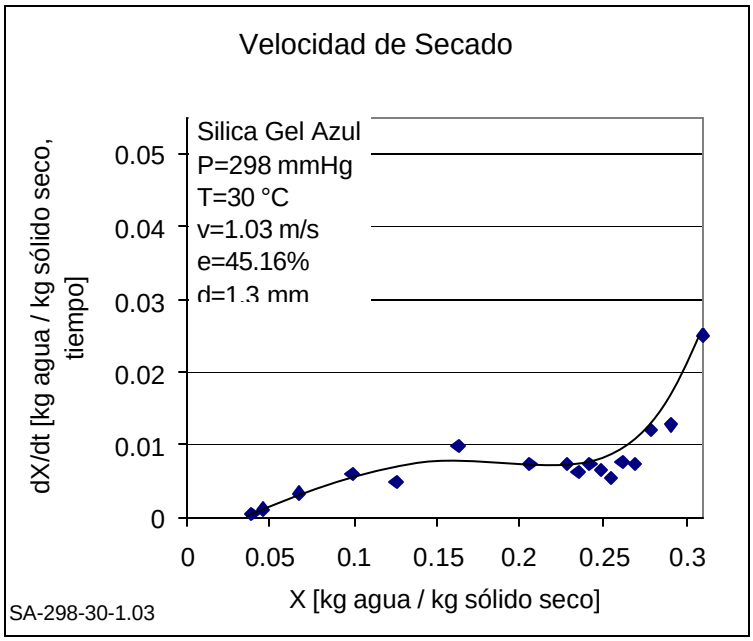


Figura 8.7 Grafica de velocidad desecado para Silica Gel Azul

El periodo de velocidad decreciente es más grande y no decrece a la humedad de equilibrio 0.0 kg agua / kg sólido seco·min.

También se observa un punto máximo el cual es la remoción de humedad no incorporada al sistema.

En las figuras 8.6 y 8.7 puede observarse la variación del secado esto es debido a la humedad relativa del aire la cual fluctúa debido al compresor de aire al cual le agregan agua y aceite. La silica gel fue diseñada para captar toda la humedad posible por lo que absorbe la humedad circulante.

Las siguientes figuras 8.8 y 8.9 muestran la tercer partícula con una velocidad de aire 1.28m/s esta velocidad corresponde a 625 lpm con una temperatura de 47°C y a una presión absoluta de 398mmHg.

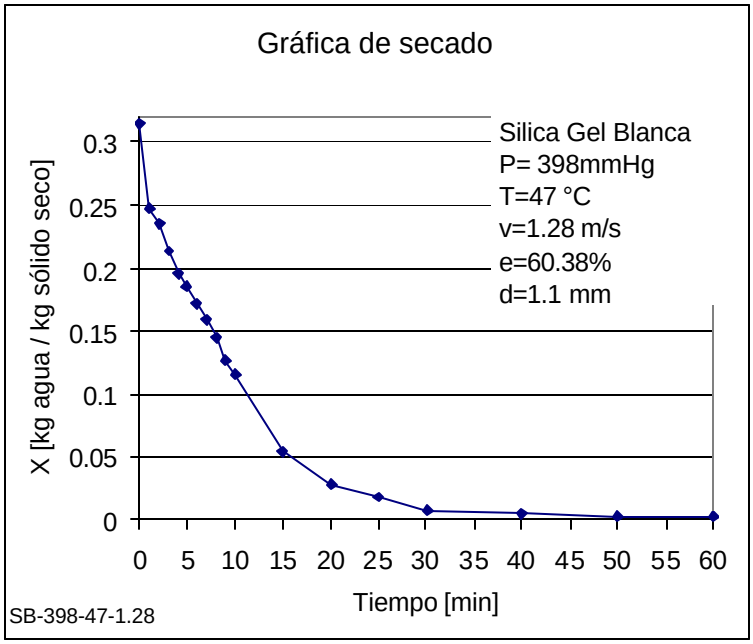


Figura 8.8 Grafica de secado para la Silica Gel Blanca

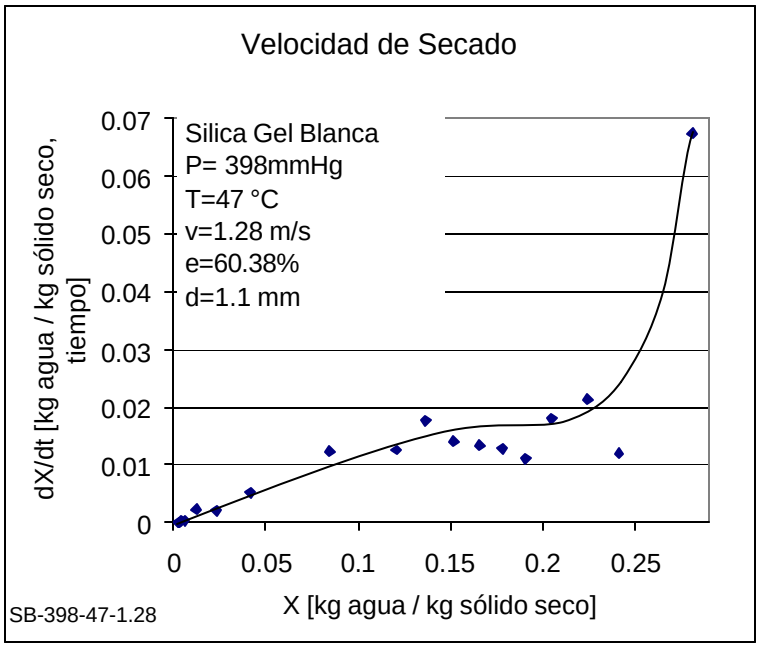


Figura 8.9 Gráfica de secado para Silica Gel Blanca

Las graficas muestran el punto inicial como en las graficas anteriores teniendo la misma explicación que es la remoción de humedad libre a su vez se observa que la silica alcanza la humedad de equilibrio 0.0 *kg agua / kg sólido seco·min*.