

Funcionamiento del aparato de laboratorio SBAN en una Universidad Venezolana para el secado de arena

Operation of the laboratory apparatus SBAN in a Venezuelan University for the drying of sand.

¹Mary Carmen Figueredo Rondón, ²Ricardo Roberto González Gutiérrez.
Básico Universidad Politécnica Territorial José Antonio Anzoátegui. El Tigre,
Edo Anzoátegui, Venezuela.
mfiguered33@gmail.com

²Departamento de Ing. Química, Universidad de Camagüey, Ignacio Agramonte Loynaz, Carretera de Circunvalación Norte K m 5 ½. Camagüey. Cuba.
ricardo.gonzalez@reduc.edu.

Resumen— Se logró el funcionamiento del secador para arena ubicado en la Universidad Politécnica Territorial José Antonio Anzoátegui (UPTJAA) en Venezuela con operación discontinua mediante secado directo en un flujo axial desde el ambiente hasta 96°C para una velocidad del aire caliente de hasta 9,1m/s. Los experimentos fueron con arena fina de 5×10^{-4} m a una temperatura de 70°C, velocidad de aire 6,6 m/s y humedad relativa de 80%, se determinó que el equipo cumple con el proceso de secado satisfactoriamente [2,3,4,5], obteniendo una humedad crítica de $X_c = 0.272$ kg agua/kg de base seca, velocidad de secado en el periodo anticrítico $W_c = 0.15$ kg/hr m², humedad de equilibrio $X^* = 0$ kg de agua/kg de base seca.

Palabras claves— Secado, Aparato, laboratorio, Arena

Abstract— The operation of the dryer was achieved for sand located in the Territorial Polytechnic University José Antonio Anzoátegui (UPTJAA) in Venezuela with discontinuous operation by means of direct drying in an axial flow from the atmosphere up to 96°C for a speed of the hot air of up to 9,1m/s. The experiments were with fine sand of 5×10^{-4} m to a temperature of 70°C, speed of air 6,6 m/s and relative humidity of 80%, it was determined that the team fulfills the drying process satisfactorily, obtaining a critical humidity of 0.272 kg water/kg of dry base, drying speed in the period anticrítico $W_c = 0.15$ kg/hr m², balance humidity $X^* = 0$ kg of water/kg of dry base.

Key Word —Drying, Apparatus, laboratory, Sand.

I. INTRODUCCIÓN

Para la puesta en marcha y funcionamiento del equipo de secado [1] de arena se hizo el chequeo y ajuste de todo sus elementos ya que ese equipo no trabajaba desde hace varios años y esto llevó a estudiar la teórica y la práctica relacionada a la parte eléctrica, mecánica y de procesos que tiene esta operación de secado con el equipo de laboratorio SBAN utilizado en la Universidad Politécnica Territorial José Antonio Anzoátegui (UPTJAA) en Venezuela

Este equipo de secado (SBAN) fue diseñado y evaluado para estudiar problemas de mecánica de fluidos, química de superficies, estructuras de sólidos y balance de materia y energía, asociados con el comportamiento general del secado [6]. Además, brinda la posibilidad de estudiar los parámetros que influyen en el secado, como: obtención de curvas de secado, influencia de tamaño de partícula, influencia de la velocidad del aire, influencia de la temperatura del aire, utilización de cartas psicométricas, balance de materia y energía y por último test de secado de sólidos para uso industrial.

El funcionamiento satisfactorio del equipo de secado SBAN es un aporte significativo para la investigación de procesos de secado de materiales para su futura aplicación industrial. Además, contribuye en la enseñanza de las prácticas de laboratorio en la asignatura Operaciones Unitarias en la Universidad Politécnica Territorial “José Antonio Anzoátegui”, El Tigre. También, se puede destacar que este estudio es pertinente porque permite evaluar las características del proceso de secado: La pérdida de humedad en el proceso,

tiempo de secado, temperaturas, velocidad de secado y otros parámetros.

II. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO.

El secado de materiales sólidos [1] consiste generalmente en la separación del líquido de un sólido por evaporización. Este proceso es efectuado mediante métodos mecánicos, aunque, en ocasiones, se emplean métodos naturales, ya que es menos costoso y muchos más sencillos emplear. El secado es un proceso de eliminación de humedad para obtener un producto sólido y seco. La humedad se presenta como una solución líquida dentro de la microestructura del sólido.

Cuando un sólido húmedo es sometido a secado térmico, dos procesos ocurrirán simultáneamente:

- Habrá transferencia de energía (comúnmente como calor) de los alrededores para evaporar la humedad de la superficie
- Habrá transferencia de la humedad interna hacia la superficie del sólido
- Ambos procesos son factores determinantes en la velocidad de secado del sólido. La transferencia de energía en forma de calor, de los alrededores hacia el sólido húmedo, puede ocurrir como resultado de convección, conducción y/o radiación y en algunos casos se puede presentar una combinación de estos efectos [7].

- El proceso de secado es descrito por diagramas construidos con las siguientes coordenadas:
- Contenido de humedad del material contra el tiempo de secado (Curva de secado).
- Velocidad de secado contra contenido de humedad del material (Curva de velocidad del secado).
- Temperatura del material contra contenido de humedad (curva de temperatura).

Estas curvas son obtenidas bajo condiciones de laboratorio donde se mide el cambio de masa y con el tiempo. En este proceso se consideran algunos parámetros constantes como la temperatura y la velocidad del aire caliente, considerando el aire caliente como el agente de secado y la humedad absoluta de masa en el aire.

- Una curva típica de secado de un material presenta varios períodos [7].

Un secador de sólidos es un aparato que introduciendo aire caliente, este hace evaporar el líquido adherido a un sólido, quitando así la humedad del sólido [2].

El secado de sólidos puede realizarse mediante un método continuo o discontinuo, según si la carga del material que se añade completamente al principio de la operación (método discontinuo) o si se va añadiendo continuamente durante la misma (método continuo) [8]

El equipo que se utiliza para el secado se puede clasificar de acuerdo con el tipo del equipo y por la naturaleza del proceso de secado [5].

Entre los tipos de secadores más utilizados están los discontinuos como [9].

Secadores de bandejas a presión atmosférica o al vacío.

- Discontinuo agitado a presión atmosférica o al vacío.
- Rotatorio a presión atmosférica o al vacío.

Lo anteriormente descrito brinda la importancia del secado de materiales sólidos en este caso la arena que es utilizada para la calibración o funcionamiento de los equipos que se muestra en la tabla 1.1 [4] y además los secadores de bandejas resultan convenientes cuando la capacidad de producción es pequeña. En la industria se utilizan mucho los secadores de sólidos para quitar la humedad a los productos. El secador de bandejas se utiliza para trabajar en discontinuo y con pocas cantidades de material [8].

III. METODOLOGÍA.

En el presente trabajo de evaluación del secado de la arena utilizando el equipo de laboratorio SBAN ubicado en el UPTJAA se consideró que el tipo de investigación adecuado es la documental y experimental.

Según [10] la investigación documental “es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas”

La experimental según los autores [11] “es aquel según el cual el investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas. Su objetivo es describir de qué modo y porque causa se produce o puede producirse un fenómeno. Busca predecir el futuro, elaborar pronósticos que una vez confirmados, se convierten en leyes y generalizaciones tendentes a incrementar el cúmulo de conocimientos pedagógicos y el mejoramiento de la acción educativa”

La documentación del tema estudiado fue basada en la recopilación de información teórica contenidos en medios impresos y electrónicos la cual fue necesaria para desarrollar los objetivos y profundizar los conocimientos. Esta investigación fue complementada con un diseño experimental que permitió a través de ensayos experimentales identificar las causas de inoperatividad del equipo, la verificación de la puesta en marcha del equipo SBAN (Secador de Bandeja) y la evaluación del secado con plátano.

Característica del equipo SBAN [1].

El equipo de secado SBAN está formado básicamente por: túnel de acero inoxidable, ventilador axial, resistencias de calentamiento, sistema de control, bandejas de secado, célula de carga, anemómetro y depósito generador de vapor.

El ventilador de flujo axial está situado a la entrada del túnel de secado, este introduce aire previamente humedecido proveniente del depósito generador de vapor en el túnel de secado. El anemómetro permite medir la velocidad del aire.

Las resistencias, situadas a continuación del ventilador, previo a la entrada del túnel de secado, permiten el calentamiento del aire y la regulación de la temperatura.

El equipo dispone de tres higrómetros estratégicamente situados que nos permite determinar las exigencias de humedad y temperatura óptimas para el proceso de secado. Estos higrómetros están constituidos por dos sensores de temperatura, uno de ellos envuelto en una funda absorbente (bulbo húmedo) y otro (bulbo seco) está directamente colocado en el túnel. Sus medidas junto con la utilización de un diagrama psicrométrico permite conocer el grado de humedad, entalpía, etc. [6].

En las bandejas de secado se colocan los sólidos mojados para su posterior desecación.

En la tabla 1 se muestran las características de operación del equipo secador.

EQUIPO O APARATO	SECADOR DE BANDEJAS
Tipo de operación	Operación discontinua por contacto directo
Tipo de calentamiento	Convección forzada
Voltaje de operación	220 V
Temperatura de operación	Temperatura ambiente
Presión de operación	$1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

Tabla 1. Características de Operación del Secador de Bandejas.

Dentro de los servicios requeridos está el suministro eléctrico Monofásico 220 V, 50 Hz y 9 kW. Las dimensiones y pesos son: Dimensiones del equipo 0,20mx0,32mx0,40m aproximadamente, volumen del embarque aproximadamente $1,5 \text{ m}^3$, peso neto de 190 kg aproximadamente, peso bruto es de 230 kg aproximadamente y las bandejas de 0,3 kg, cuatro bandejas de 0,33mx0,25mx0,025m aproximadamente cada una.

Los componentes presente son: célula de carga con *display*, sondas Pt 100 con tres bulbos húmedos, depósito de vapor. El sistema mecánico de control de nivel de agua en el depósito mediante una boya que abre o cierra la entrada y válvula de seguridad. El depósito dispone de una tapa que no conviene abrir (Sólo abrir en caso de reparación); dos válvulas, una de salida en la parte inferior y otra de entrada en la parte superior. La válvula de entrada es de flotador, de modo que esta corta el flujo de agua al depósito cuando este se llena. Si cuando comienza a producir vapor no hay

nada conectado a esta válvula, conviene hacerlo como por ejemplo con un tapón suministrado o similar: Dos tomas superiores son las salidas de vapor que a través de unos tubos de goma llegan al bastidor del equipo; panel de control de temperatura, peso y velocidad del ventilador.

Principios de funcionamiento [1].

El funcionamiento satisfactorio del secador de bandeja depende del mantenimiento de una temperatura constante y una velocidad de aire uniforme sobre todo el material que se esté secando.

La circulación de aire comprende velocidades entre 0 y 9,2 m/s para mejorar el coeficiente de transferencia de calor en la superficie y evitar la formación de bolsas de aire estancada. El medio de calentamiento usual es vapor o aire caliente generado eléctricamente, trabajando con una temperatura máxima de 100°C.

Este secador es de tipo bandejas estacionarias y se carga sobre bastidores fijo dentro del secador.

Existen sondas de temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo en varios puntos del secador y esta se leen en el display del panel de control. Además, en este panel también se controla la temperatura deseada, se controla la velocidad del ventilador y muestra el peso del material húmedo.

Identificación de los problemas operacionales presente en el funcionamiento del equipo de secado SBAN para su posterior puesta en marcha [1].

Se determinó, mediante la revisión y verificación del equipo que la inoperatividad de la misma se debía a las siguientes desviaciones o fallas detectadas:

- Al panel de control le hacía falta el regulador de velocidad del ventilador o potenciómetro por lo cual se procedió a verificar los circuitos que controlaban el mismo pudiéndose observar que el circuito que hace funcionar el encendido, regulación de velocidad y apagado estaba dañado.
- Ausencia de un conector del lado izquierdo, para conectar una de las mangueras que van del depósito al secador.
- Para poner en funcionamiento el equipo de secado se requiere de energía eléctrica de 220V y al realizar mediciones de la fuente de energía se pudo observar que la alimentación de electricidad 220V que se encuentra en el laboratorio posee fluctuaciones por lo que afecta el buen funcionamiento del equipo ya que se requiere que la alimentación de energía eléctrica sea la adecuada y permanezca constante.
- Al realizar el chequeo de los displays que conforman el panel de control como son: el regulador de la resistencia del bastidor, regulador de la resistencia del depósito, indicador de temperatura y la célula de carga se detectó que estos funcionaban con voltaje 110V no siendo compatible con el voltaje requerido para el funcionamiento adecuado del equipo.
- Al poner en marcha el funcionamiento del equipo se observó que las mangueras que conectan el depósito al secador no eran las adecuadas y se encontraban dañadas y al depósito le hacían falta tornillos en la tapa por lo que

ocasionaba que fugara vapor por las mangueras y por los orificios de los tornillos faltantes; impidiendo un buen flujo de vapor del depósito al secador.

- Con la identificación de las causas de la inoperatividad del equipo, primeramente se propuso la realización de un análisis de reemplazo, para determinar la factibilidad del mismo, lo que determina qué tan costoso resultaría para la institución adquirir un equipo nuevo igual al ya existente. Por lo que para la resolución de la inoperatividad del equipo, se procede a la adquisición de los accesorios y repuestos necesarios, ya determinados con anterioridad.

Metodología operacional

El equipo de secado SBAN es un equipo de operación discontinua por contacto directo y su método de operación para realizar un experimento con cualquier material es la siguiente:

- El equipo debe ser conectado a una corriente de 220V para luego ser encendido mediante un interruptor ubicado en la consola de control.
- Se establece la temperatura deseada en el displays que corresponde a la resistencia del bastidor, este equipo trabaja hasta una temperatura de $96 \pm 0,1^\circ\text{C}$.
- Las sondas de bulbo húmedo son empapados con agua destilada y colocados de forma que el aire circule libremente entre ellas (lateral paralelo a las paredes del túnel).
- Se pesan las bandejas vacías, son llenadas con el material húmedo y seco lo colocan en la cámara de carga.
- Luego se conecta el ventilador, regulándolo desde la consola de control a la velocidad de aire caliente deseada, se puede trabajar en un rango de velocidad entre 0m/s hasta 9,2m/s. Conviene tener en cuenta que el flujo de aire impulsado por el ventilador puede afectar a la célula de carga haciendo oscilar las medidas de peso ,por lo tanto se debe apagar momentáneamente el ventilador cuando se requiera tomar una medida de la célula de carga.
- La velocidad del aire se mide mediante el anemómetro a la salida de la tobera y el tiempo mediante un cronómetro.
- En estas condiciones se comienza a tomar nota de los parámetros de estudios: temperatura del bastidor, velocidad del ventilador, temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, peso del material húmedo, tiempo desecado.
- El uso de vapor procedente del depósito es opcional. A la horade apagar el equipo conviene seguirlos siguientes pasos:
 - Corta la resistencia de inmersión para que deje de producir vapor.
 - Dejar un rato conectadas las resistencias del bastidor y el ventilador para eliminar el vapor y humedad residual.
 - Luego se corta la resistencia del bastidor manteniendo el ventilador en funcionamiento durante un tiempo para enfriar el equipo.
 - Finalmente se desconecta la consola de control con el interruptor de apagado y se desenchufa de la alimentación de

corriente eléctrica.

Para verificar la puesta en marcha se realiza un ensayo cualitativo de secado para observar el comportamiento del equipo y con estas condiciones se logra trazar el diagrama de flujo del proceso de secado en la Figura 1.



Fig.1. Diagrama de flujo para el funcionamiento del secador de bandeja Edibon, Modelo SBAN

En este diagrama se puede observar como intervienen las materias primas en el proceso y las unidades de procesos del sistema.

Puesta en marcha y evaluación del equipo de secado SBAN utilizando arena como muestra de referencia [1]

Para validar el funcionamiento del equipo de secado se efectúan pruebas con material de arena fina por su fácil acceso y manejo. Se realizan varias pruebas de secado de arena que permiten los ajustes necesarios para optimizar la operatividad del equipo. Conforme a esto se realiza el siguiente procedimiento:

- Se tamiza la muestra de arena con tamiz N° 35 ASTM (Sistema Americano de Testeo de materiales) de 0,5 mm (5x10-4m). De acuerdo a esto, se determina que el tipo de arena a secar es arena natural tipo fina.
- La muestra total de arena se pesa y se divide en cuatro partes iguales. Esto para colocar de manera uniforme la misma cantidad de arena en cada bandeja del equipo.
- Se agrega agua destilada para humedecer las cuatro muestras, la misma cantidad para cada bandeja.
- Se introducen las cuatro bandejas en el equipo (previamente calentado).
- El peso total de la arena húmeda en las bandejas reflejado en el panel de control, es igual al peso de la masa inicial de la arena, el cual es de: 2,032 kg.
- Se ajusta el potenciómetro para que la velocidad del ventilador fuese de aproximadamente 6,6 m/s.
- Se establecen las mediciones de variables para un período de tiempo de cinco minutos (300s).
- Se determina que el área de secado es 0,33 m².
- Se toma los datos de temperaturas reflejados en el panel de control durante todo el proceso.
- Con los datos de temperatura se determinan las propiedades del aire (Diagrama de Mollier) para el proceso de

secado en la sección antes y después de la bandeja. La humedad relativa se calculada resultando 79-80% y se utiliza la tabla de propiedades para el agua saturada [12].

○ Los datos se tabulan mostrándose en las tablas 2 y 3.
○ Considerando las ecuaciones (1) y (2) se calcula la humedad y la humedad libre del material ,en la ecuación (3) para la velocidad media de secado y la ecuaciones (4) y (5) para el período proscrito se presentan los resultados en la tabla 4 y 5 con las figuras 2 a la 5.

$$X = (W - W_c) / W_c \quad (1)$$

$$X_{\text{libre}} = X - X^* \quad (2)$$

$$W = - (S \, dX) / Ad\theta \quad (3)$$

$$\Theta_a = S (X_f - X_c) / A W_c \quad (4)$$

$$\Theta_p = S(X_c - X_f) \ln W_c / W_f / A(W_c - W_f) \quad (5)$$

IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN [1].

Según lo presentado anteriormente para lograr la puesta en marcha de dicho equipo se realizó un diagnóstico detectándose las siguientes fallas: ausencia regulador de velocidad del ventilador, incompatibilidad de los displays (regulador de la resistencia del bastidor, regulador de la resistencia del depósito, indicador de temperatura y la célula de carga) con el voltaje 220V requerido para el funcionamiento del mismo, carencia de ciertos accesorios del equipo como: mangueras, tornillos, abrazaderas, etc. Para dar solución a estas fallas se elabora y sustituye un regulador de velocidad de aire, los displays se adaptan para funcionar con corriente 220V, también se colocan y reemplazan las mangueras de PVC de alta presión de 1/2" (0,0127m), tornillos de hierro grado 5 de 3/16" (0,0047m), La llave de paso de 1/2" (0,0127m) del depósito de agua y conector hembra tipo espiga de 3/8" (0,0095m) de bronce.

Para validar la puesta en marcha y funcionamiento del equipo se obtuvieron curvas de secado de arena fina de 0,5 mm (5×10^{-4} m) con un peso total de arena húmeda inicial 2,032 kg, velocidad de aire caliente de 6,6 m/s y temperatura constante de 70°C. Esta muestra de arena húmeda cubre un área total de superficie de contacto con el aire $0,33 \text{ m}^2$

A continuación, se muestran en la tabla 2 y 3 los parámetros experimentales obtenidos en dicho proceso de secado de la arena.

		en 3 (°C)		
	1	entrada		
	2	antes de la zona de secado		
	3	después de la zona de secado		

Tabla 2. Datos experimentales de temperaturas presente durante el proceso de secado.

Propiedades	Entrada	Antes de la sección de secado	Después de la sección de secado
Temperatura ambiente (°C)	30	65,9	59,6
Temperatura bulbo húmedo (°C)	26,92	60,98	59,6
Humedad relativa (%)	80	80	80
Punto de rocío: (°C)	25,98	60,73	54,63
Presión Atmosférica (mbar)	1010	1010	1010
Presión de Saturación (mbar)	42,46	260,64	195,77
Presión de vapor (mbar)	33,59	206,17	154,86
Humedad absoluta (kg /kg.)	0,0213	0,1588	0,1122
Entalpía (KJ/kg.)	84,65	482,76	352,75
Volumen específico (m3/kg.)	0,89	1,2	1,11

Tabla 3. Propiedades del aire en las secciones antes y después de las bandejas del secador de acuerdo a la carta psicrométrica para el aire húmedo.

La arena húmeda inicial es de 2,032 kg, arena seca inicial de 1,588 kg, el área de secado de las bandejas de $0,00825 \text{ m}^2$ y área de secado de $0,33 \text{ m}^2$

Canal	Código	Identificación	Error	°C
1	ST2	Temperatura bulbo seco en 1 (°C)	± 0,1	30,00
2	ST3	Temperatura bulbo húmedo en 1 (°C)	± 0,1	27,06
3	ST5	Temperatura bulbo húmedo en 2 (°C)	± 0,1	60,98
4	ST6	Temperatura bulbo seco en 2 (°C)	± 0,1	65,90
5	ST7	Temperatura bulbo húmedo en 3 (°C)	± 0,1	54,97
6	ST8	Temperatura bulbo seco	± 0,1	59,60

N°	Tiempo h	Peso Total kg	Humedad Total kg	Xs kg Sh/kg Ss	%Xs %	XL kg Sh/kg Ss	Xm kg agua/kg Ss	(-) dX /dt kg Sh / h .kg Ss	Wm kg/h.m ²	l/Wm h.m ² /kg.
1	0,00	2,0320	0,440	0,2796	27,96	-	-	-	-	-
2	0,08	2,0080	0,420	0,264	26,4	0,18	0,27	0,1814	0,15	6,879
3	0,17	1,9850	0,397	0,250	25,0	0,09	0,26	0,1738	0,14	7,178
4	0,25	1,9650	0,377	0,237	23,7	0,05	0,24	0,1511	0,11	8,734
5	0,33	1,9400	0,352	0,222	22,1	0,05	0,23	0,1889	0,13	7,880
6	0,42	1,9180	0,330	0,208	20,7	0,03	0,21	0,1662	0,10	9,552
7	0,50	1,8980	0,310	0,195	19,5	0,03	0,20	0,1511	0,09	11,185
8	0,58	1,8750	0,287	0,181	18,0	0,02	0,19	0,1738	0,10	10,505
9	0,67	1,8480	0,260	0,164	16,3	0,03	0,17	0,2040	0,10	9,878
10	0,75	1,8260	0,238	0,145	14,9	0,02	0,16	0,1662	0,08	12,123
11	0,83	1,8070	0,219	0,138	13,7	0,01	0,14	0,1436	0,06	16,666
12	0,92	1,7840	0,196	0,123	12,34	0,02	0,13	0,1738	0,07	15,383
13	1,00	1,7630	0,175	0,110	11,0	0,01	0,12	0,1587	0,05	18,870
14	1,08	1,7470	0,159	0,100	10,0	0,01	0,11	0,1209	0,04	27,259
15	1,17	1,7260	0,138	0,087	8,7	0,01	0,09	0,1587	0,04	23,929
16	1,25	1,7080	0,120	0,076	7,6	0,01	0,08	0,1360	0,03	32,105
17	1,33	1,6790	0,091	0,057	5,7	0,01	0,07	0,2191	0,04	26,278
18	1,42	1,6600	0,072	0,045	4,5	0,01	0,05	0,1436	0,02	50,693
19	1,50	1,6440	0,056	0,035	3,5	0,01	0,04	0,1209	0,01	77,397
20	1,58	1,6310	0,043	0,027	2,7	0,01	0,03	0,0982	0,01	124,057
21	1,67	1,6150	0,027	0,017	1,7	0,01	0,02	0,1209	0,01	160,527
22	1,75	1,6080	0,020	0,013	1,3	0,00	0,01	0,0529	0,00	495,342
23	1,83	1,6000	0,012	0,008	0,8	0,00	0,01	0,0605	0,00	722,3746
24	1,92	1,5950	0,007	0,004	0,4	0,00	0,01	0,0378	0,00	1.981,37
25	2,00	1,5880	0,000	0,000	0,0	0,00	0,00	0,0529	0,00	0,0000
26	2,08	1,5880	0,000	0,000	0,0	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000
27	2,17	1,5880	0,000	0,000	0,0	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000

Tabla 2. Datos experimentales y resultados de los cálculos del proceso de secado de arena fina a una velocidad constante de aire caliente de 6,6m/s.

Con los datos de las columnas humedad libre (X_{libre}) y tiempo en hora se obtiene la figura 2 obteniendo curva de pérdida de humedad a través del tiempo, la figura 3 la velocidad de secado de la arena con la humedad, la figura 4. los tiempos de secado con su humedad y la figura 5 la velocidad con la humedad.

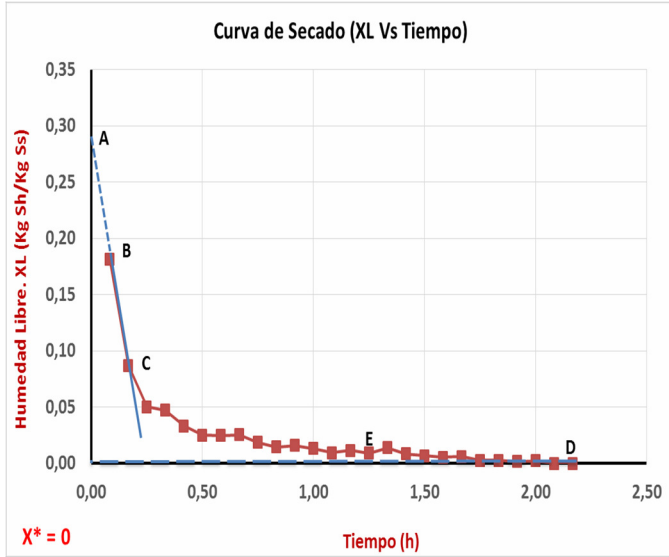


Figura 2. Presentación de las características y etapas de la curva experimental de la humedad libre con respecto al tiempo para el proceso de secado de la arena.

periodo BC donde la velocidad de secado es constante, el punto C que señala el punto crítico, el punto E de instauración, el periodo CE primer tramo con velocidad decreciente y el periodo ED el segundo tramo con velocidad decreciente.

Vista de los periodos de secado.

AB =Período de calentamiento del sólido.

BC =Período de Velocidad Constante.

C =Contenido crítico de Humedad.

CD=Período de Velocidad Decreciente

E=Punto de insaturación.

CE=1er período de Secado con velocidad decreciente

DE=2do período de Secado con velocidad decreciente.

En la figura 3 representa la curva de velocidad media versus humedad y se determina gráficamente la humedad crítica $X_c = 0.272$ kg de agua /kg de sólido seco y la humedad en equilibrio $X^* = 0$ en kg de agua/kg de sólido seco, también se puede visualizar los dos períodos de velocidad anticrítico (línea punteada azul) y período postcrítico (línea sólida azul), comportamiento referente a los materiales granulares.

Se determina gráficamente y utilizándolas ecuaciones (4) y (5) los tiempos de secado como se muestra en la siguiente figura 4.

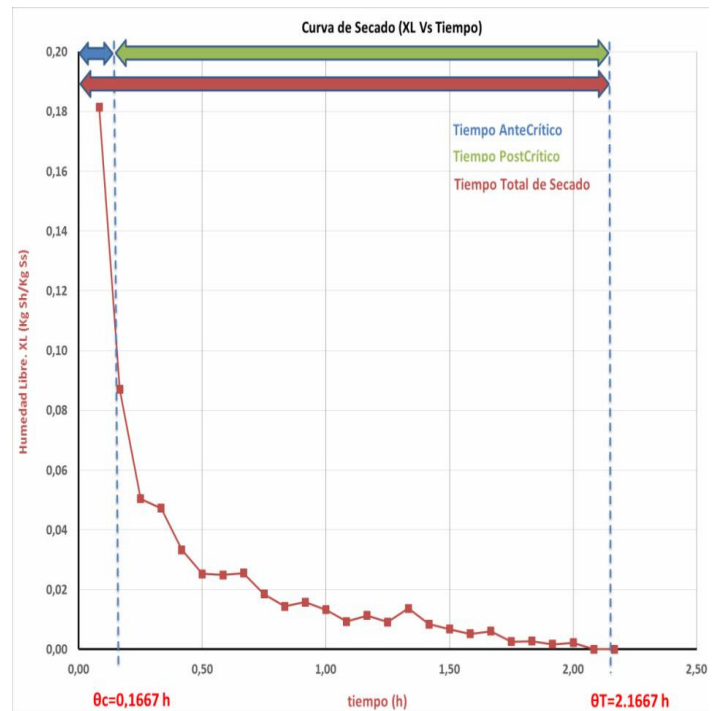


Figura 4. Representación gráfica de los resultados de los tiempos de los procesos de secado.

Se determina en la figura 4 que el tiempo anticrítico $\theta_a = 0.167$ h (601.2 s) y desde X_i hasta X^* es el tiempo total, $\theta_t = 2.16$ h (78012 s).

La siguiente tabla 5 muestra de manera resumida los tiempos de secado presente en los períodos y la figura 5.

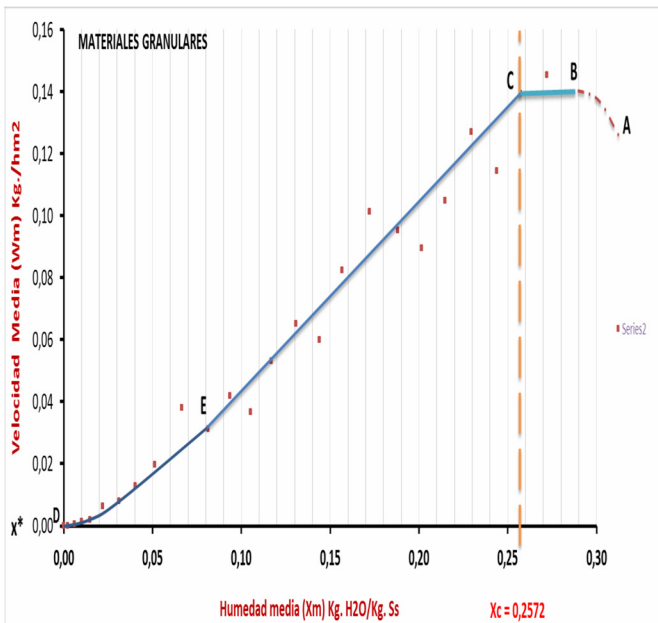


Figura 3. Curva experimental de velocidad de secado de la arena

La gráfica de la figura 2 muestra la curva de humedad media frente al tiempo de secado y se puede observar los periodos de secado: periodo AB donde ocurre calentamiento del sólido, el

Tiempo de secado(h)	
Período	Resultado
Antecrítico	0,1667
Postcrítico	2,0000
TOTAL	2,1667

Tabla 5. Tiempos experimentales de secado de arena

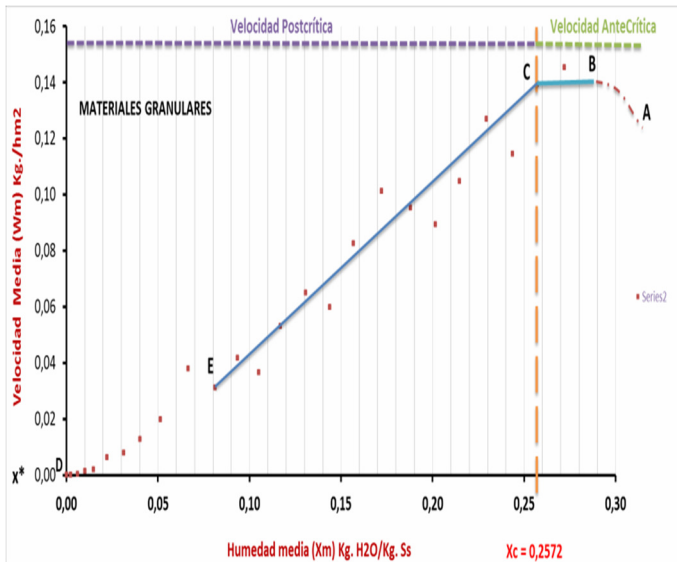


Figura 5. Determinación gráfica de los períodos de velocidad de secado.

Para el tiempo postcrítico se obtiene por diferencia de la tabla 5 anterior $\theta_p = 2h$ (7200 s), y los periodos de la velocidad de secado con sus humedades media y sus periodos de tiempo en la figura 5.

V. CONCLUSIONES

1. Se logra la puesta en marcha del secador de bandeja (SBAN) operando de manera discontinua mediante secado directo en un flujo axial. El equipo trabaja en un rango de temperatura desde el ambiente hasta 96°C, con un control del ventilador de 0m/s a 9,2m/s y realiza secado de materiales de manera satisfactoria.
2. Las pruebas experimentales realizadas con arena determinaron que el equipo cumple con la operación unitaria de secado, donde se observa las etapas de secado en la curva de humedad versus tiempo a una temperatura de 70°C y velocidad de aire caliente 6,6m/s, obteniéndose humedad crítica $X_c = 0,272$ kg de agua/kg de base seca, velocidad de secado en el periodo anticrítico $W_c = 0,15$ kg/hm², Humedad de equilibrio $X^* = 0$ kg de agua/kg de base seca demostrándose que el equipo trabaja satisfactoriamente.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los directivos y técnicos del Laboratorio de Procesos Químicos en la Universidad Territorial José Antonio Anzoátegui, en cuyas instalaciones se realizó éste trabajo.

REFERENCIAS

- [1] M.C Figueredo." Evaluación del secado de la Manihot Esculenta Crantz "yuca" en la producción de harina utilizando el equipo de laboratorio SBAN ubicado en el UPTJAA". Tesis de maestría .Universidad Politécnica Territorial José Antonio Anzoátegui. Tigre, Venezuela ,2014.
- [2] .P Maupoey., A.Grau, JBaviera. y Sorolla A. "Introducción al Secado de Alimentos por aire caliente". Editorial Verbo Divino. España: Universidad Politécnica de Valencia,2013.p 15-68.
- [3] J Merino "Implementación de un equipo de secado para alimentos". Trabajo de grado Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil. Ecuador, 2006.
- [4] R (Ed.) Perry., D. (Ed) Green y, J. (Ed.) Maloney, "Perry Manual del Ingeniero Químico". (6ta. Ed.) México, Editorial: Mc Graw Hill. Sección 20. 2003.pp 40-62.
- [5] R.Treybal. "Operaciones de Transferencia de Masa". (2da. ed.) Editorial Mc Graw Hill. España,1998.pp 25-53.
- [6] Edibon, S.A. . "Catálogo del Equipo, Secador de Bandejas Modelo SBAN". Madrid, España,2000.pp 15-29.
- [7] J. L Patiño . "Estudio experimental de las hidrodinámicas de un lecho fluidizado al vacío empleando vapor sobrecalentado" Tesis Ingeniería Mecánica. Departamento de Ingeniería Mecánica, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla. Derechos Reservados ,2004.
- [8] .Universidad Politécnica de Cataluña. "Tipos de Secadores de sólidos" Disponible en: <http://epsem.upc.edu/~assecadordesolidos/catella/introduccio%20tipus.html>. Consulta: 05/02/2014.
- [9] Mc Cabe W, Smith J. y Harriot P. . "Operaciones Unitarias en Ingeniería química". (4ta. Ed.). Mc Graw Hill. España ,1998.pp 35-51.
- [10] F Arias., "Introducción a la metodología científica" Cuarta Edición: Editorial Episteme. Caracas, Venezuela. 2004.pp 16-28.
- [11] S .Palella. y, F Martins. "Metodología de la Investigación cuantitativa". Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Caracas. 2004.pp 14-32.
- [12] Cabrera C, Sáez G. y Meza L. "Determinación de la curva de secado para frijol (Phaseolus vulgaris) Banano (Musa Sapientum)". Disponible en: http://www.cec.uchile.cl/~roroman/cap_07/mollier02.htm Consultado: 05/04/2014.