

COMPORTAMIENTO DE PARÁMETROS AMBIENTALES EN LAS NAVES DE AÑEJAMIENTO EN LA RONERA CENTRAL “AGUSTÍN RODRÍGUEZ MENA”

BEHAVIOR OF ENVIRONMENTAL PARAMETERS IN THE AGING VESSELS IN THE CENTRAL RUM FACTORY “AGUSTÍN RODRÍGUEZ MENA”

Cesar Augusto Martí Marcelo^{1}, José Antonio Fabelo Falcón², Erenio González Suárez², Aliana Lago Benavides² y Yedier Rodríguez Padrón³*

¹ Ronera Central, Corporación Cuba Ron S.A. Calle 2da, CAI George Washington. Santo Domingo. Villa Clara, Cuba.

² Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Carretera a Camajuaní Km 5 ½. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

³ Empresa Agroindustrial Ceballos. Carretera a Ceballos Km 12 ½, Ciego de Ávila, Cuba.

Recibido: Enero 22, 2018; Revisado: Abril 4, 2018; Aceptado: Junio 5, 2018

RESUMEN

En el presente artículo se hace un detallado énfasis a en la valoración de la humedad relativa en las naves de añejamiento 2 y 4, así como la temperatura dentro de las naves y dentro del barril puesto que no existe un monitoreo paulatino de estas variables que pueden afectar el proceso de añejamiento en la Ronera Central Agustín Rodríguez Mena. Se realizó un muestreo de dichas variables teniendo en cuenta que la nave 2 tiene instalado un sistema de paneles solares en el techo de la misma a diferencia de la 4 que no cuenta con dicha instalación y la nave 2 cuenta con la ubicación de los barriles de forma paletizada y la 4 en sistema de solera entre paños. El análisis fue tomado durante dos semanas donde la influencia de las condiciones climatológicas fue bastante variable por lo que hubo días lluviosos, nublados y soleados. Los análisis de comparación de muestras se realizaron empleando el software Statgraphics Centurion XV para cada una de las variables analizadas con el objetivo de demostrar si existe alguna diferencia estadísticamente significativa.

Palabras clave: añejamiento; barril; parámetros ambientales; ron.

ABSTRACT

In this article, a detailed emphasis is placed on the relative humidity in aging vessels 2 and 4, as well as the temperature inside the sheds and barrel since there is not gradual monitoring of these variables which can affect aging process in Agustín Rodríguez Mena Rum Factory. A sampling of these variables was made taking into account that the shed 2 has installed a system of solar panels on its roof, unlike the 4 that does not have it. The shed 2 has a Palletized form and shed 4 has solera system form in barrels' location. The analysis was taken during two weeks where the influence of the climatological conditions was quite variable so that there were rainy, cloudy and sunny days. Sample comparison analyzes were performed using Statgraphics Centurion XV software for each analyzed variables in order to demonstrate if there were any statistically significant differences.

Key words: aging; barrel; environmental parameters; rum.

1. INTRODUCCIÓN

En la producción del ron cubano, un paso decisivo lo constituye la etapa de añejamiento. Esta comienza inmediatamente después de la destilación del aguardiente, al llenar los barriles con el destilado fresco e incoloro. El tiempo de añejamiento varía de acuerdo al producto que quiere elaborarse y este proceso se puede hacer en varias etapas. La madera utilizada en la confección de los barriles en Cuba es el roble blanco de diferentes especies en dependencia del producto y de la región geográfica donde se produce la bebida alcohólica destilada (Singleton, 1995; Levy-Chiprutny Maranon, 1996; Pino y col., 1996; González-Delgado, 2000; MINAL, 2001; González-Delgado y Morales, 2004).

En este proceso de envejecimiento ocurren un gran número de reacciones dentro del barril que no se conocen con claridad. El proceso se ve afectado por gran cantidad de factores que, a medida que pasa el tiempo, le otorgan al producto una mayor calidad, debido a que el mismo consigue un mejor balance entre el sabor a madera y el impacto etanólico (Cardenas, 2008).

La temperatura es un factor de extrema importancia en este estudio, siendo la condición ambiental más influyente. A continuación se muestran algunos efectos de la temperatura en el proceso:

- Al aumentar la temperatura, el líquido contenido en el barril acrecienta su volumen (rones bases o aguardientes). Como el barril se encuentra lleno hasta un 97%, el líquido se difunde a través de los poros de la madera hasta llegar a la capa externa del barril. Luego al disminuir la temperatura ocurre el proceso inverso por lo cual se crea una presión negativa que permite el paso del aire circundante para compensar el sistema (Capiello, 2007).
- Por otra parte el aumento de la temperatura, favorece también la evaporación de la capa de líquido que atravesó la madera. En consecuencia, se amplía la tasa de evaporación incrementando la merma (Capiello, 2007).

Por su parte, la humedad relativa es la cantidad de agua que contiene una masa de aire, en relación con la máxima cantidad de agua (humedad absoluta) que puede admitir bajo esas condiciones sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. Esta humedad relativa por lo general se expresa en por ciento (%) (Perry y Green, 2007).

Es conocida la utilización de la madera y de sus productos derivados como aislantes térmicos en la edificación, principalmente en paredes y cubiertas. La madera y demás materiales celulósicos son malos conductores del calor debido a que estos cuerpos tienen escasez de electrones libres, que son los responsables de una fácil transmisión de esta forma de energía (lo contrario de lo que ocurre en los metales), y también debido a que la madera y sus productos derivados son cuerpos porosos y por consiguiente su amplitud conductora tiene un valor intermedio entre los de sus componentes sólidos y los del aire contenido en los poros (Álvarez, 2010).

La madera es un buen aislante térmico y de alto rendimiento, hasta en las condiciones más desfavorables (gran humedad y temperatura). Su acción aislante es mejor para temperaturas bajas, porque entonces suelen compensarse bastante las influencias de la humedad y temperatura, ya que la conductividad térmica disminuye al descender la temperatura, debido a que es función directa en sólidos no metálicos (Álvarez, 2010). La conductividad térmica de la madera de roble es de $0,209 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (Miliarium, 2008). Lo anterior permite que se pueda considerar que un barril opera en condiciones isotérmicas.

En tal sentido se realiza el estudio de las variables ambientales que inciden en el proceso de añejamiento con el objetivo de establecer los perfiles de comportamiento que permitan favorecer el control del proceso y su optimización.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Selección de los datos.

Las variables analizadas fueron la temperatura dentro de las bodegas y los barriles respectivamente y la humedad relativa dentro del local. Para ambas variables las mediciones se realizaron a diferentes niveles respecto al suelo y a diferentes posiciones respecto al eje longitudinal de las bodegas. Esta metodología de muestreo se realizó en cada una de las bodegas en estudio (nave 2 y nave 4). Para la mejor operación de las variables de codificaron con el siguiente patrón XnRS donde:

- X, variable en estudio (T: Temperatura dentro de la nave ($^{\circ}\text{C}$), Tb: temperatura dentro del barril ($^{\circ}\text{C}$), Hr humedad relativa (%)).
- n, número de la bodega o nave de añejamiento correspondiente.
- R, posición respecto al eje longitudinal (E: entrada de la nave, S: salida de la nave).
- S, posición respecto al suelo (U: arriba, D abajo).

También se tuvo en cuenta que la nave 2 tiene instalado un sistema de paneles solares en el techo a diferencia de la nave 4 que no cuenta con dicha instalación. En este caso los paneles solares actúan como un aislante térmico que influye en cierta medida dentro de la nave. El

análisis fue tomado durante dos semanas donde la influencia de las condiciones climatológicas fue bastante variable por lo que hubo días lluviosos, nublados y soleados. Se realizaron análisis de comparación de muestras empleando el software Statgraphics Centurion XV para cada una de las variables analizadas, con el objetivo de determinar si la variación de estas variables tenía alguna influencia negativa en el proceso de añejamiento.

2.2 Diseño de experimentos.

Se realiza un diseño de experimentos con el objetivo de determinar correlaciones entre las variables evaluadas y la posición dentro de cada una de las bodegas, utilizando una selección de superficie respuesta con un modelo factorial de tres corridas de 3^3 . Las variables independientes estudiadas son la posición de los barriles dentro de la nave (entrada, salida, arriba y abajo) y las dependientes son la temperatura y la humedad relativa.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la comparación de las variables de estudio en las diferentes naves:

3.1 Comportamiento de la humedad relativa en la cima y en el suelo respectivamente.

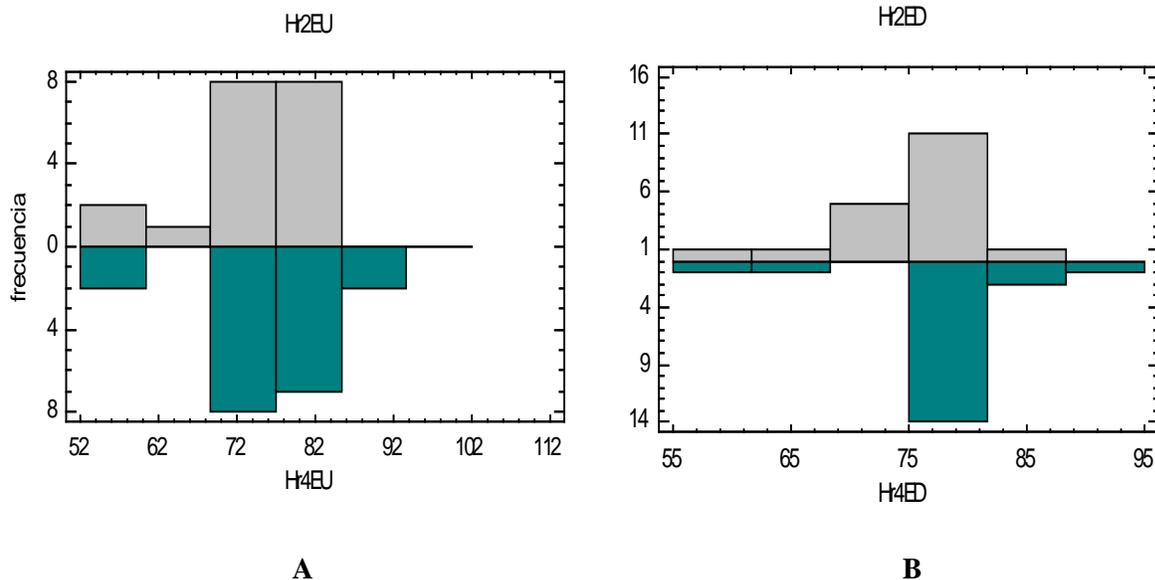


Figura 1. Histograma de frecuencias respecto a la humedad relativa entre la nave 2 y nave 4 A) en la cima B) en el suelo

En la figura 1 se observa que la humedad relativa oscila en un rango en el cual no existen variaciones significativas en el interior de todas las naves indistintamente de la posición; ya sea en la cima o en el suelo de la misma, los valores se encuentran entre 70-85%.

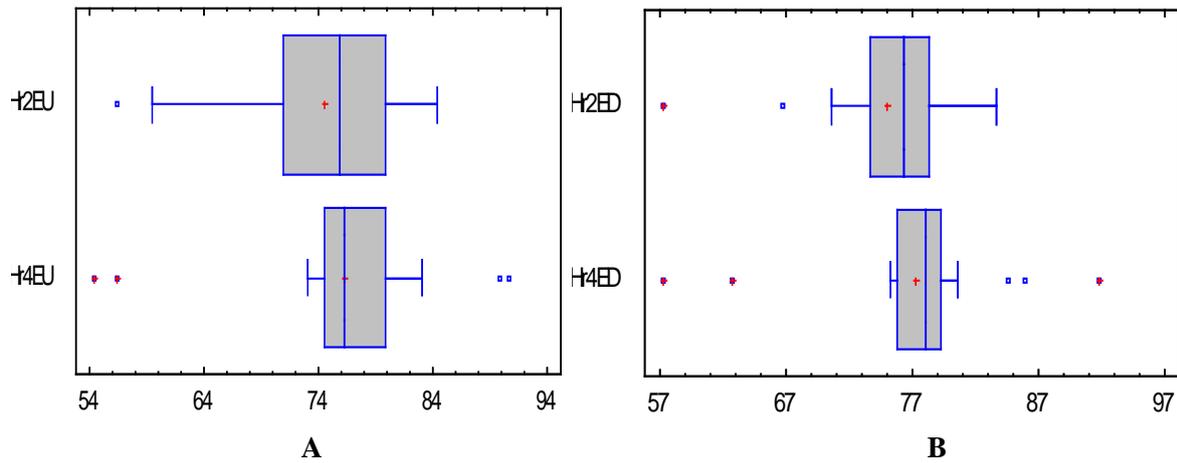


Figura 2. Gráfico de cajas y bigotes respecto a la humedad relativa entre la nave 2 y nave 4
 A) en la cima. B) en el suelo

En la figura 2 se observa el rango de valores más frecuentes y el punto óptimo de operación de la nave, donde se puede apreciar al comparar las dos naves que el comportamiento varía puesto que la nave 2 tiene instalado un sistema de paneles solares que actúan como aislante térmico impidiendo que un excesivo calor o lluvias no influyan directamente sobre el proceso de añejamiento en el interior de las barricas. La nave 4 cuenta con un techo de zinc y esto hace que exista otro comportamiento y la humedad relativa se eleve. A pesar de la forma constructiva de ambas naves no se demuestran comportamientos estadísticamente significativos por lo que el proceso de añejamiento no sufre anomalías por este concepto.

3.2 Comportamiento de la temperatura de la nave a la entrada y a la salida.

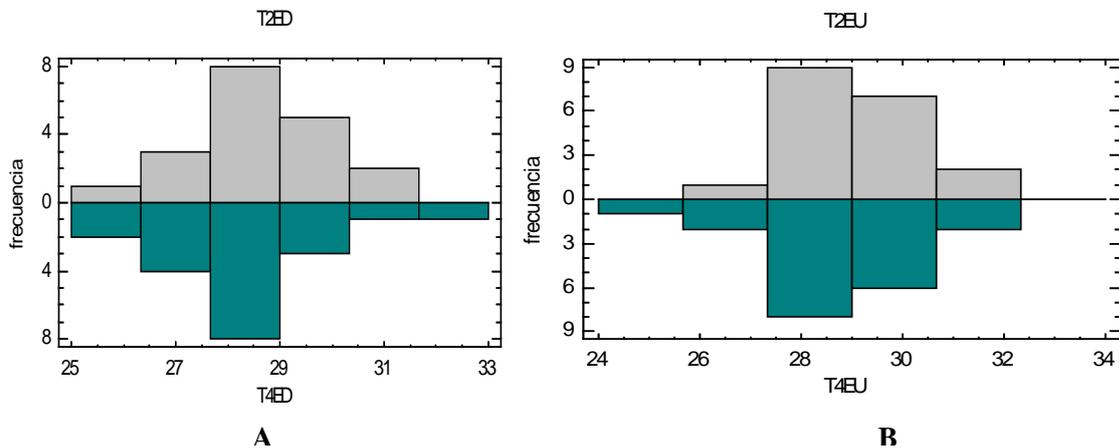


Figura 3. Histograma de frecuencia respecto a la temperatura en la nave 2 y 4
 A) a la entrada, B) a la salida

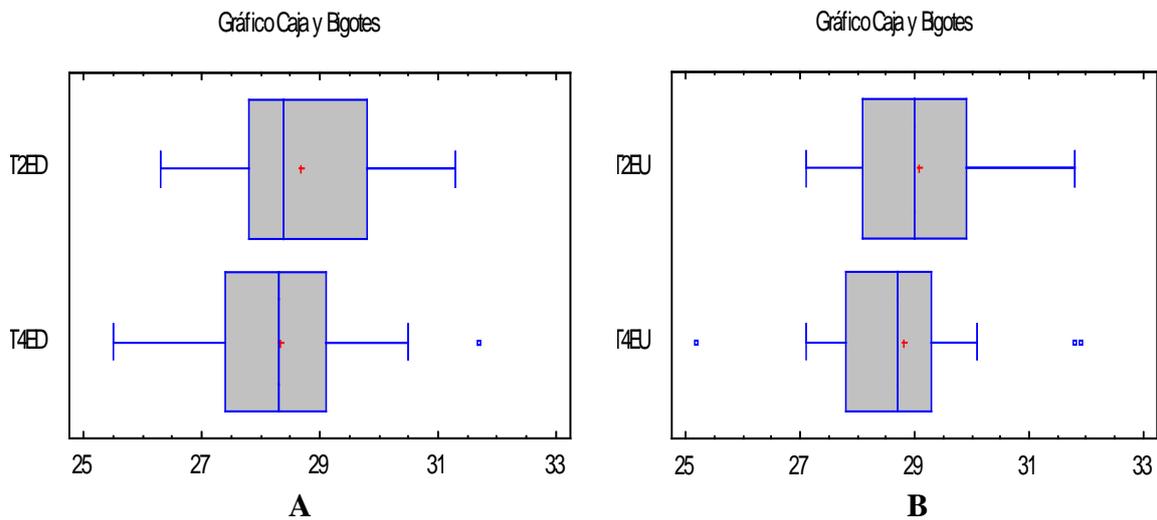


Figura 4. Gráfico de cajas y bigotes respecto a la temperatura de las naves 2 y 4
A) en la cima, B) en el suelo

Se puede apreciar en las figuras 3 y 4 que existe una diferencia relativa entre las temperaturas a la entrada de la nave y a la salida de la misma, en esto incide que la puerta de la salida de la nave se mantiene cerrada y por lo tanto las temperaturas en esta zona no varían, mientras que en la entrada se mantiene abierta la puerta durante todo el día para facilitar las operaciones del proceso, lo que trae consigo una variación de temperaturas debido a las condiciones ambientales que estén presentes en ese momento.

3.3. Comportamiento de la temperatura del barril a la entrada de la nave en alturas diferentes.

En las figuras 5 y 6 se puede apreciar el comportamiento de la temperatura dentro del barril en diferentes alturas del almacenamiento en la nave, pudiendo comprobar que se comportan de manera estable en todos los niveles en el mismo instante de la medición, aunque suelen variar un grado en el transcurso del día; esto se debe a que la madera del barril actúa como aislante térmico.

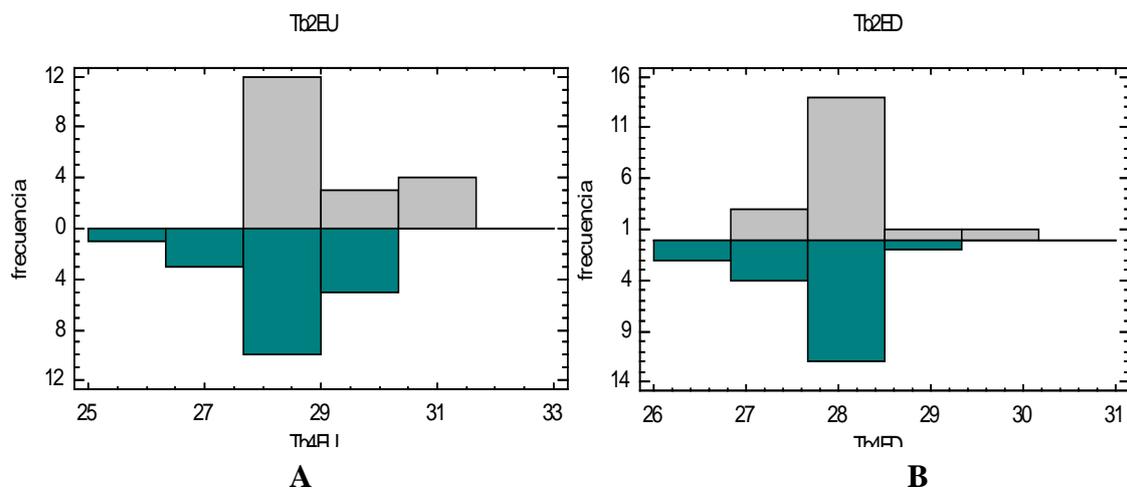


Figura 5. Histograma de frecuencia respecto a la temperatura dentro del barril
A) en la cima, B) en el suelo

Los análisis muestran que, en cada nave, el intervalo contiene el valor de 0, es decir, no hay diferencia significativa entre las medias de las dos muestras de datos, con un nivel

de confianza del 95,0%. Debido a que el margen de error es mayor ó igual que 0,05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las medianas.

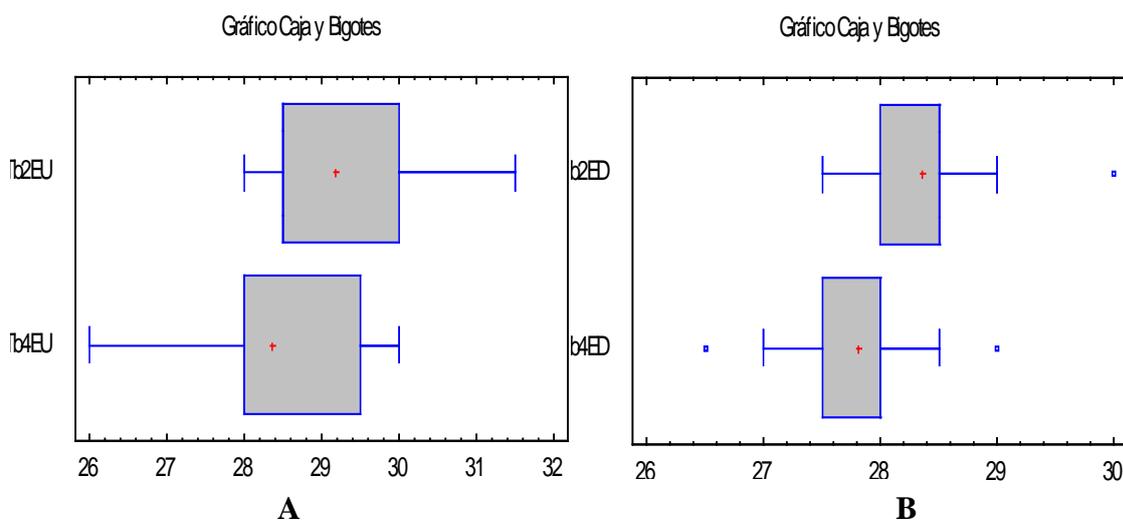


Figura 6. Gráfica de cajas y bigotes respecto a la temperatura dentro del barril
A) en la cima, B) en el suelo

3.4. Diseño de Experimentos

Se realiza un diseño de experimentos con el objetivo de demostrar si existe alguna correlación entre las variables evaluadas utilizando una selección de superficie respuesta con un modelo factorial de tres corridas de 3^3 . Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 1. Análisis de varianza para la temperatura

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón -F</i>	<i>Valor-P</i>
A:P	0,44	1	0,44	0,42	0,53
B:H	8,50	1	8,50	8,03	0,02
AA	4,48	1	4,48	4,23	0,06
AB	0,66	1	0,66	0,62	0,45
BB	0,67	1	0,67	0,63	0,44
bloques	1,18	1	1,18	1,11	0,31
Error total	11,64	11	1,06	-	-
Total (corr.)	27,56	17	-	-	-

Donde:

A: término empleado por el software para designar la variable posición (P).

B: término empleado por el software para designar la variable altura (H).

AA: término empleado por el software para designar la interacción cuadrática de la posición.

AB: término empleado por el software para designar la interacción de las dos variables independientes; posición y altura.

BB: término empleado por el software para designar la interacción cuadrática de la altura.

Gl: grados de libertad

P: posición horizontal

H: posición vertical

R-cuadrada = 57,7762 %

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 40,183 %

Error estándar del est. = 1,02862

Error absoluto medio = 0,573457

Estadístico Durbin-Watson = 2,18166 (P=0,5386)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,092282

La tabla ANOVA muestra los valores P siendo el correspondiente a la variable altura el único que presenta un indicador menor que 0,05, por tanto, es este quien solo es representativo en el modelo con el cual se puede reducir el mismo a la ecuación (2).

Tabla 2. Coeficiente de regresión para la temperatura

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	28,4778
A:P	0,191667
B:H	0,841667
AA	1,05833
AB	-0,2875
BB	0,408333

La ecuación del modelo ajustado es la 1:

$$T = 28,4778 + 0,191667 * P + 0,841667 * H + 1,05833 * P^2 - 0,2875 * P * H + 0,408333 * H^2 \quad (1)$$

en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales, como solo tiene importancia la altura la ecuación se reduce a la ecuación 2:

$$T = 28,4778 + 0,841667 * H \quad (2)$$

3.5. Optimización de la temperatura

Después del análisis realizado de hace necesario optimizar la temperatura pues este parámetro incide directamente en el proceso de añejamiento, en ocasiones retrasando o acelerándolo.

Meta: maximizar T

Valor óptimo = 30,8819 °C

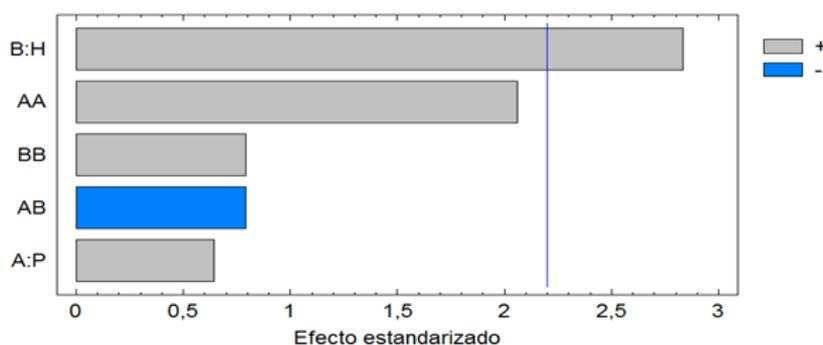


Figura 7. Diagrama de Pareto Estandarizado para la temperatura

Este diagrama obtenido como respuesta del diseño de experimentos anterior muestra el comportamiento de las temperaturas a largo de toda la nave en diferentes posiciones dando a conocer los valores más puntuales y con ello su incidencia en el proceso. Se puede apreciar que la altura es un valor a considerar, pero no es estadísticamente significativo.

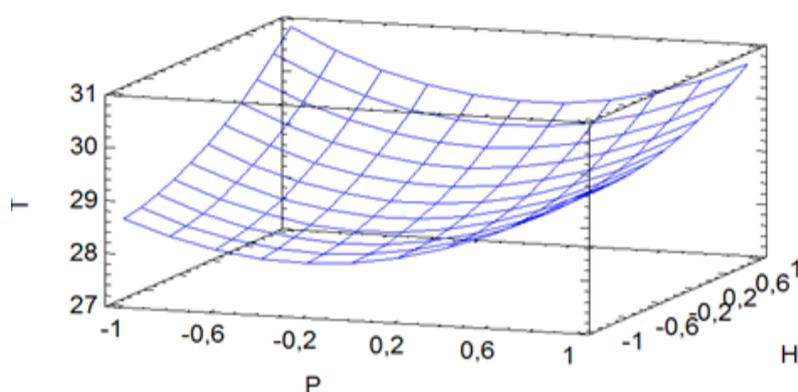


Figura 8. Superficie respuesta estimada para la temperatura

La figura 8 muestra una maya donde se hace coincidir en cada punto la posición y la altura con respecto al rango de temperatura expuesto. Se puede apreciar que la temperatura aumenta 27-31⁰C en los extremos de la nave (entrada y salida) siendo más notable a la entrada.

4. CONCLUSIONES

1. La temperatura dentro de la nave permanece prácticamente constante 31⁰C según datos tomados en diferentes lugares de la nave y bajo diferentes condiciones climatológicas dentro del período estudiado.
2. La temperatura dentro del barril se comporta uniformemente, debido a las propiedades térmicas de la madera de roble, el cual actúa como aislante moderado que permite amortiguar diferencias térmicas durante el día.
3. No existe diferencia estadísticamente significativa en cuanto a la temperatura y la humedad relativa tomada en diferentes puntos de las naves. A pesar que la nave de añejamiento 2 tiene los barriles de aguardiente en sistema paletizado con un campo de paneles solares instalados en el techo de la nave y la nave 4 tiene

implementado el sistema de solera entre paños y malas condiciones de construcción.

REFERENCIAS

- Álvarez, H., La Madera como aislante térmico., AITM. Madrid, 2010, pp. 1-4.
- Cardenas, P.E., Reducción del porcentaje de merma de etanol en el proceso de añejamiento para la elaboración de ron., Tesis presentada en opción del Título de Ingeniero Químico, Universidad Simón Bolívar, Venezuela, 2008.
- Capiello, E., Informe Técnico realizado a la empresa C.A. Ron Santa Teresa., Capítulo IV, Procesamiento y Añejamiento, 2007, pp.15-20.
- González-Delgado, J.C., El añejamiento del ron en grandes lotes de barriles. Efecto del tiempo y otras variables sobre algunas características físicoquímicas., Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Químicas, Especialidad Ciencias Alimentarias en la Universidad de La Habana, Cuba, 2011.
- González-Delgado, J.C.; Morales, A., El añejamiento natural y tradicional en Cuba., Memorias del Primer Festival Internacional del Ron, La Habana, 6-9 de Junio, 2004, pp. 23-38.
- Levy-Chiprut, G., y Maranon, A.M., Análisis estadístico de las variaciones en los parámetros característicos del ron cubano durante el añejamiento., Alimentaria, Vol. 269, 1996, pp. 87-89.
- Miliarium., Propiedades térmicas de los materiales., 2008, [Online]. Disponible en: <http://www.miliarium.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp>
- MINAL., Resolución 135/01., Gaceta Oficial de la República de Cuba, octubre 30, 2001, pp. 1599-1600.
- Perry, R.H. y Green, D.W., Chemical Engineers, Handbook., 8th Edition, Mc Graw Hill. 2007, pp. 29-39.
- Pino, J.A., Pérez, J., Nuñez de Villavicencio, M., Componentes volátiles del ron: Influencia del tiempo de añejamiento y tipo de barril., Tecnología de alimentos, Vol. 31, No. 5, 1996, pp. 5-10.
- Singleton, V.L., Maturation of wines and spirits. Comparisons, facts and hypotheses., American Journal of Enology and Viticulture, Vol. 46, No. 1, 1995, pp. 98-115.