

# CONTROL DEL PROCESO DE MOLIENDA MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE BOX-JENKINS EN LA EMPRESA AZUCARERA "PAQUITO ROSALES", SU INFLUENCIA EN EL COSTO DE LA PRODUCCIÓN

*Lic. Adriana Cabrera-Milanés<sup>I</sup>, Dra. Bismayda Gómez-Avilés<sup>II</sup>*

*[adrianac@eco.uo.edu.cu](mailto:adrianac@eco.uo.edu.cu)*

*<sup>I</sup>Facultad Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba; <sup>II</sup>Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias Empresariales, Universidad de Sancti Spiritus, Cuba*

## Resumen

Las empresas agroindustriales azucareras tienen como propósito la reducción de gastos operacionales en todas las etapas del proceso productivo, para influir de manera directa, en los costos fabriles. Tal aspecto se refleja en el proceso de redimensionamiento de la industria azucarera, pues dentro de sus objetivos se incluye afianzar la competitividad del sector a nivel mundial, mediante la mejora del control del proceso productivo. En el trabajo se parte de un análisis del control del proceso tradicional, así como del control estadístico del proceso. Se realiza la modelación de las características de la variable Pol de Bagazo mediante la metodología ARIMA, en la Empresa Azucarera "Paquito Rosales". La identificación de los outliers, en el gráfico de control de los residuos del modelo seleccionado y su tratamiento, mediante el análisis de intervención, permite atenuar los efectos de estos, reducir la variabilidad del proceso y obtener indicadores fabriles y económicos deseados

Palabras clave: control, proceso, residuos, ARIMA, costo.

## Abstract

The sugar agroindustrial companies have as purpose the reduction of costs in all the stages of the productive process. Such aspect is reflected in the process of enhancing of the sugar industry, because within its strategic objectives they are included the consolidation of the competitiveness from the sugar sector at a worldwide level, by means the improvement of the process. The work begins with an analysis of the traditional process, as well as the statistical control of the process. It is carried out the modelling of the characteristics of the variable Pol of Bagasse by means of the methodology of ARIMA, in the Sugar Company "Paquito Rosales". The outliers are also detected in the graphics of control of the residuals of the pattern selected ARIMA, that which allows to evaluate the quantity of the effect of the variability of the process and to determine the effect of these in the cost of the production.

Key words: control, process, residual, ARIMA, cost.

## Introducción

Un aspecto importante que se le confiere al proceso de producción de azúcar es el control de proceso, elemento que a nivel internacional es objeto de investigación en las industrias de procesos.

El tema de la reducción de los gastos fabriles, incide en el costo de la producción, y es de vital importancia para lograr que las industrias desarrollen sus operaciones con eficiencia; es por eso que el control estadístico de proceso debe ser utilizado, este permite reducir la variabilidad del proceso productivo.

La industria azucarera cubana necesita aplicar este método de análisis y control, con el objetivo de adaptarse a las nuevas condiciones que exige el mercado mundial. En este sentido, se reconoce como una importante dirección de trabajo, la siguiente: "Aumentar de forma gradual la producción de azúcar y derivados de la caña hasta lograr los ingresos en divisas que permitan financiar los gastos totales de operaciones, más el valor de las inversiones que se ejecuten, realizando finalmente un aporte neto para el país"<sup>1</sup>.

El estudio realizado en la Empresa Azucarera "Paquito Rosales", evidencia que se obtienen elevados costos de producción fabril, y gastos departamentales. Gómez Avilés (2006) demuestra la carencia de un enfoque científico en la toma de decisiones oportunas durante el proceso de producción que limita la posibilidad de evaluar la efectividad de los resultados a obtener ante mejoras que se ejecuten.

Todo lo anterior se manifiesta en un insuficiente control y estimación de los parámetros del proceso de producción de azúcar; y que Gómez Avilés (2006), lo atribuye a que las técnicas de control se basan en la operatividad, con análisis de variables limitadas para la definición de objetivos.

La situación problemática que llevó a la realización del presente trabajo se fundamenta en lo anterior expuesto. Se pretende como **objetivo**, aplicar las series de tiempo para realizar el control de proceso de

producción en la etapa de molienda en la Empresa Azucarera "Paquito Rosales", con el propósito de evaluar la variabilidad en el proceso productivo (utilizando variables tecnológicas del proceso) y su incidencia en la reducción del costo de la producción.

Para el desarrollo de la investigación se tomó como **objeto de estudio** la Empresa Azucarera "Paquito Rosales" de la Provincia de Santiago de Cuba. Y como **campo de acción**, estudio de las variables tecnológicas relacionadas con el proceso de molienda, así como la influencia de estas en el costo de la producción.

## Desarrollo

### *Control estadístico del proceso de molienda, su influencia en el costo de la producción*

Tradicionalmente en procesos de producción en masas, se controlaba la calidad de la pieza acabada mediante inspecciones del producto final del proceso, aceptando o rechazando cada producción, basado en criterios de especificaciones.

Mientras que el control estadístico de proceso utiliza herramientas estadísticas para observar el rendimiento del proceso de producción, y de esta forma prever desviaciones importantes que puedan resultar producciones deficientes.

Para realizar el Control de Proceso Estadístico es importante conocer los distintos tipos de variaciones entre las que se encuentran las de "causa común" que es considerada una variación debido a la naturaleza inherente de los procesos y no puede ser alterada por un cambio externo del proceso mismo. Y la de "causa asignable o especial", esta variación es usualmente resultado de choques o interrupciones, los cuales pueden ser separados. El propósito del Control de Proceso Estadístico es distinguir entre estos dos tipos de variación para prevenir una reacción o sobreacción.

La filosofía básica de Deming plantea que la calidad y la productividad aumentan cuando la

<sup>1</sup>Lineamientos de la Política Económica y Social para el VI Congreso del PCC. Pág. 24.

variabilidad de los procesos disminuye y es por esto que los métodos de control estadísticos deben ser usados<sup>2</sup>.

En el caso de estudio se propone utilizar la metodología de Box-Jenkins para el control de proceso de producción. Para el desarrollo de dicha metodología se asume, que el proceso no es estacionario, es decir, a nivel de la media el proceso está cambiando constantemente y la varianza está creciendo<sup>3</sup>. Es importante destacar que la estimación y control del proceso por el modelo ARIMA puede no ser confiable, si las causas asignables están presentes en los datos.

Un aspecto de análisis en las series de tiempo es la presencia de heterocedasticidad y de autocorrelación, es necesario tratar de detectarlos y corregirlos, teniendo presente las causas que los originan.

Para ejercer el control estadístico de procesos, se emplean gráficos de control que permiten conocer la evolución de los mismos. El gráfico de control a utilizar será el de los residuos del modelo ARIMA seleccionado. Este tipo de gráfico permite monitorear las causas especiales de variación, suministrando un mecanismo de regulación después de cada observación; según plantea Harriet Black Nembhard y René Valverde, en su estudio sobre el control del proceso en la industria de manufacturera.

El estudio se realiza en el área de molienda. El principal objetivo que se persigue al moler la caña es extraer la mayor cantidad posible de sacarosa que esta contiene.

Según plantea Gómez Áviles (2006) la pérdida de sacarosa por no extracción varía entre 4 y 7 % del total de sacarosa en la caña y es por eso que el proceso de molienda debe encaminarse a obtener la mayor extracción posible del jugo contenido con el mínimo costo. Jenkins, G. H. (1988) plantea, que en el proceso de producción es necesario que la extracción en los molinos sea eficiente, pues esto implicará que

se obtenga menor proporción de Pol en el bagazo que sale de los molinos, siendo este criterio compartido por las autoras.

Actualmente la calidad del proceso productivo en la Empresa Azucarera "Paquito Rosales" se controla mediante los indicadores de producción, los mismos están estrechamente relacionados con indicadores económicos; sin embargo, la introducción del control estadístico utilizando los indicadores del proceso y el análisis posterior del efecto de estos en los indicadores económicos, posibilita una elevación de la eficiencia y un mejoramiento en la eficacia de la toma de decisiones (anexo 1); esta es, a juicio de la autora, la principal contribución que pretende realizar la investigación.

Un indicador económico importante, para evaluar la factibilidad del proceso es el costo de la producción, en el que intervienen numerosos factores, como el precio materia prima, los salarios, los métodos de producción, las características del producto, la maquinaria utilizada, entre otras (anexo 2). Todos estos factores deben ser objeto de un estricto control para que el costo fabril pueda disminuir.

En el proceso de producción de la Empresa Azucarera "Paquito Rosales" objeto de investigación, los indicadores productivos identificados como de mayor influencia sobre los costos de producción, son clasificados como los siguientes: a) pérdidas de pol en bagazo, cachaza, mieles; b) tiempo perdido industrial; c) indeterminados.

El **control de las variaciones** de estos indicadores, es lo que lleva a la empresa a reducir sus costos de fabricación. Pues al identificar cada una de las causas de variabilidad en el proceso fabril y su eliminación de ser posible, el resultado que se obtiene se ve reflejado inmediatamente en la reducción de retrabajo, en la disminución de la producción con baja calidad, así como en el aumento de la productividad del trabajo.

<sup>2</sup>Juran, J.M y Gryna en «Manual de Calidad» plantean: "Deming argumentaba, que encontrarse dentro de los límites de especificación, no es suficiente para asegurar una buena calidad, y que la variabilidad de las características de calidad tiene que ser reducida utilizando los métodos de control estadístico".

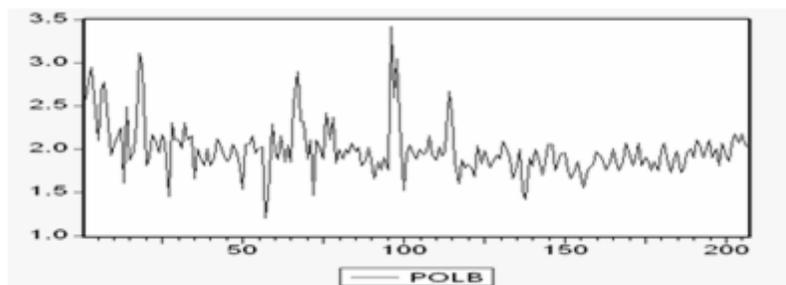
<sup>3</sup>Juran y Gryna. Manual de Calidad. Versión electrónica.

Para ejercer el control estadístico en el proceso de molienda se seleccionó la variable Pol de Bagazo, por su significación en el control del proceso, así como su incidencia directa en las pérdidas de pol en bagazo y en el costo de producción. El control estadístico permite conocer de antemano el comportamiento de la variable pol de bagazo, las posibles pérdidas por este concepto, así como la incidencia en el costo de la producción de azúcar; elementos importantes para la toma de decisiones oportunas por parte de los administrativos.

### **Modelación de la variable Pol de bagazo**

La metodología de Box- Jenkins para el estudio de series temporales, es utilizada para la modelación de la variable Pol del Bagazo en la zafra 2011, la cual se encuentra representada en el gráfico 1. La evaluación se realizó con el Eviews 3.1; explicándose a continuación el tratamiento dado a la misma.

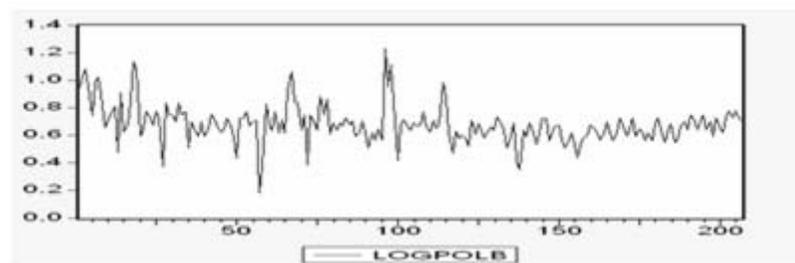
Como se muestra en el gráfico 1, la serie no es estacionaria en media y varianza, pues existe tendencia al crecimiento.



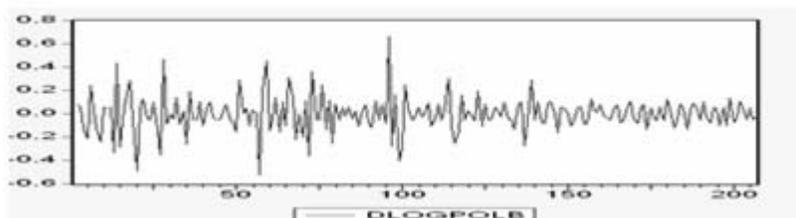
**Gráfico 1. La serie Producción de Pol Bagazo.**

Se debe realizar transformaciones logarítmicas a los datos, (gráfico 2) y posteriormente se debe

diferenciar regularmente la serie resultante convenientemente (gráfico3).



**Gráfico 2. La serie Producción de Pol Bagazo estacionaria en varianza.**



**Gráfico 3. La serie Producción de Pol Bagazo estacionaria en media.**

Como se aprecia en el gráfico 2 y 3 la serie está estacionarizada en media y varianza, por lo que se procede a identificar tentativamente el modelo.

Con el análisis de los gráficos ACF y PACF (gráfico 4), se identificó el modelo que caracteriza la serie, ar(1).

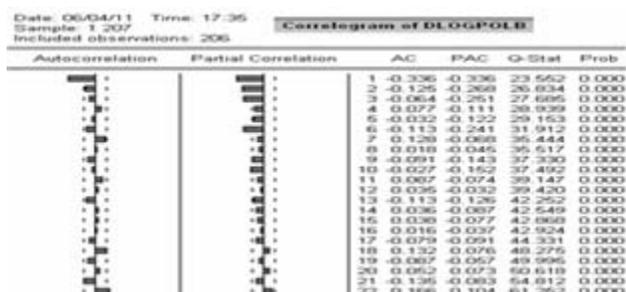


Gráfico 4. Correlograma de los residuales la serie Pol Bagazo.

Al analizar nuevamente el correlograma del modelo seleccionado ar(1) se comprobó la existencia de un ma(1), por lo que el modelo seleccionado es un ARIMA (1,1,1), como se muestra en la tabla 1.

TABLA 1. MODELO TENTATIVO DE LA POL DE BAGAZO

Dependent Variable: DLOG(POLB)  
 Method: Least Squares  
 Date: 06/04/11 Time: 17:58  
 Sample(adjusted): 3 207  
 Included observations: 205 after adjusting endpoints  
 Convergence achieved after 19 iterations  
 Backcast: 2

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.000604	0.000252	-2.399485	0.0173
AR(1)	0.324198	0.065875	4.921385	0.0000
MA(1)	-0.993656	0.000160	-6295.760	0.0000

R-squared 0.336136 Mean dependent var -0.001575  
 Adjusted R-squared 0.329563 S.D. dependent var 0.153557  
 S.E. of regression 0.125733 Akaike info criterion -1.294784  
 Sum squared resid 3.193352 Schwarz criterion -1.246155  
 Log likelihood 135.7154 F-statistic 61.13663  
 Durbin-Watson stat 2.013356 Prob(F-statistic) 0.000000

Inverted AR Roots -.32  
 Inverted MA Roots .99

Al analizar gráfico 5 de los residuales de la serie Pol Bagazo se comprobó que no existe otro proceso (un modelo MA o AR de orden superior), al no detectarse estructuras regulares.

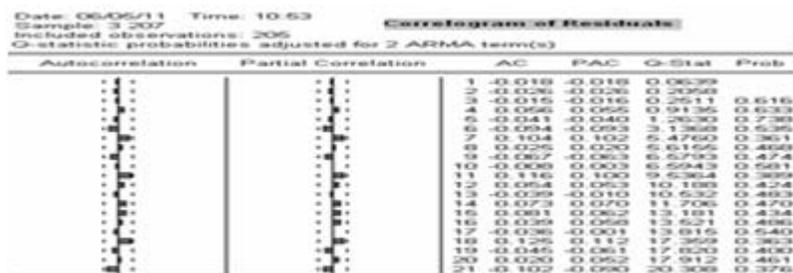


Gráfico 5. Correlograma de los residuales de la serie pol bagazo.

Una vez modelada la característica de la variable pol en bagazo, se hizo el gráfico de control de los residuales como se muestra en el gráfico 6.

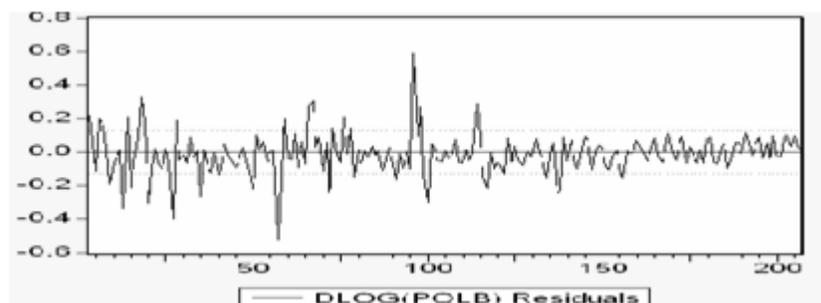


Gráfico 6. Gráfico de control de los residuales del modelo ARIMA.

El gráfico de control de los residuales del modelo ARIMA, permite determinar la presencia de causas

asignables de variaciones. A continuación se muestra en la tabla 2 el análisis de intervención realizado.

**TABLA 2. MODELO DE LA POL DE BAGAZO**

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D27	-0.134460	0.037409	-3.594333	0.0004
D96	0.356784	0.072793	4.901322	0.0000
D100	-0.386286	0.072313	-5.341698	0.0000
AR(1)	0.258358	0.068103	3.793642	0.0002
MA(1)	-0.989493	0.000176	-5633.414	0.0000
R-squared	0.434596	Mean dependent var	-0.001576	
Adjusted R-squared	0.423288	S.D. dependent var	0.153557	
S.E. of regression	0.116614	Akaike info criterion	-1.435909	
Sum squared resid	2.719760	Schwarz criterion	-1.354760	
Log likelihood	152.1704	Durbin-Watson stat	1.995624	

Se puede comprobar en la tabla 2, que  $\phi_1 = 0,258358$ ,  $\theta_1 = 0,989493$ , y que  $\phi_1 < 1$ , entonces el proceso es estacionario, además invertible pues  $|\theta_1| < 1$ .

Según plantea Rodríguez Betancourt Ramón y Arrieta Gallardo Miguel (2005) un modelo ARIMA se define con los órdenes (p,d,q)(P;D,Q)<sub>s</sub>, donde, p: número de parámetros autorregresivo; d: número

diferenciaciones para que la serie sea estacionaria; q: número de parámetros de medias móviles; P: número de parámetros autorregresivo de la parte estacional; D: número de diferenciaciones para que la serie sea estacionaria en la parte estacional; Q: número de parámetros de medias móviles en la parte estacional. Este tiene la siguiente estructura general:

$$(1 - \phi_p B - \dots - \phi_p B^p)(1 - \theta_q B^s - \dots - \theta_q B^{qs})(1 - B)^d(1 - B^s)^D Y_t = (1 - \theta_q B^s - \dots - \theta_q B^{qs})(1 - \theta_q B^s - \dots - \theta_q B^{qs})a_t$$

representando  $Y_t$  la observación en el período t de la serie objeto de estudio,  $\phi_p(B)$  y  $\theta_q(B)$  son dos polinomios, de órdenes p y q, en el operador de retardos B, d es el orden de las diferencias de primer

orden que hay que tomar para hacer que la serie sea estacionaria en media y  $a_t$  es una serie de ruido blanco. Para las series estacionales, hay que incorporar al modelo la componente estacional.

$$(1 - 0,258,358B) Y_t = (1 - 0,989,493 B) a_t - 0,134,460 I_{27} + 0,356,784 I_{96} - 0,386,286 I_{100}$$

Finalmente se obtiene el modelo ARIMA (1,1,1), al cual se le incluye el análisis de intervención de Box y Tiao (1985).

Como se aprecia en la tabla 2, el estadístico Durbin-Watson toma el valor de 1,99; por lo que se acepta la hipótesis de ausencia de autocorrelación.

Al aplicar la prueba de White, la probabilidad obtenida fue igual a 0,057; la cual es mayor que 0,05, por tanto, no se rechaza  $H_0$ , lo que implica que se cumple el supuesto de homocedasticidad, como se muestra en la tabla 3.

**TABLA 3. PRUEBA DE HOMOGENEIDAD EN VARIANZA DEL MODELO POL DE BAGAZO SELECCIONADO**

White Heteroskedasticity Test			
F-statistic	2.551895	Probability	0.056740
Obs*R-squared	7.521555	Probability	0.057007

Después de realizar el análisis de intervención se comprobó una reducción de la suma estándar de la regresión de 0,125 733 (tabla 1) a 0,116 614 (tabla 2), debido al tratamiento de las causas asignables de variación. Significando este resultado, que con el tratamiento de los valores atípicos, durante el momento de su ocurrencia, se podrá eliminar la variabilidad de la característica o variable controlada.

Con este resultado se demuestra que con la utilización de la metodología de Box-Jenkins (ARIMA), se determina el modelo que caracteriza el proceso analizado, este puede ser utilizado para el control del proceso, mediante el gráfico de control de los residuales; pudiéndose controlar las causas asignables de variación on-line (en el momento de su ocurrencia), con el objetivo de mitigar sus efectos y disminuir la variabilidad del proceso; de esta forma se obtendrán indicadores fabriles y contables más deseados.

Queda demostrado que el modelo teórico planteado tiene estrecha relación, con la práctica a desarrollar para el control del proceso fabril. Los analistas utilizarán esta herramienta propuesta durante la ejecución de las producciones, podrán detectar a tiempo las observaciones atípica o causas asignables (mediante los gráfico de control de los residuales) y corregirlas en el momento de su ejecución, lográndose de esta forma el mejoramiento continuo del control del proceso productivo.

Por otra parte el análisis realizado, permite señalar que la no utilización de este método de control, posibilita que se deterioren indicadores fabriles, así como económicos, como el costo de la producción. Elementos que se comprobaron con los resultados obtenidos de la zafra 2011 donde se obtuvo una pérdida por concepto de toneladas de pol en bagazo asciende a 1 365,1804 t, lo que significa 14,22 t de azúcar perdidas, **incidiendo negativamente en el costo de la producción.**

Con este estudio se demuestra la importancia del control estadístico en el proceso de molienda, que tiene como principal objetivo, la detección on-line de las causas asignables y tratamiento de las mismas, con el fin de disminuir el costo fabril.

## Conclusiones

**1. Se logra por vez primera la integración de diferentes elementos del conocimiento: el análisis del costo de producción, indicadores fabriles y el control del proceso estadístico de producción, en la Empresa Azucarera "Paquito Rosales".**

**2. Utilizando los modelos ARIMA se puede controlar el proceso de producción, atenuar las pérdidas por concepto de pol en bagazo y reducir el efecto negativo en el costo de la producción.**

**3. Al realizar el análisis de intervención, mediante la utilización del gráfico de control de los residuales, del modelo ARIMA seleccionado, se comprobó una reducción en la suma estándar de la regresión, para la variable Pol del Bagazo de 0,125 733 a 0,116 614, debido al tratamiento de las causas asignables de variación.**

## Recomendaciones

1. Aplicar el gráfico de control (ARIMA) a todo el proceso industrial azucarero.
2. Medir el efecto del control estadístico en los indicadores económicos.

## Bibliografía

1. SOLER, Alonso & José Miguel CASANOVA EDUARDO. *Métodos de cálculos para el control azucarero*. Instituto cubano de Investigaciones Azucareras. Ministerio del Azúcar. Noviembre 2006.
2. COLECTIVO DE AUTORES. *Econometría*. Editorial Félix Varela. La Habana, 2005.
3. GUJÁRATE, Demodar. *Econometría*. Segunda edición. Mc Graw Hill. Columbia, 1990.
4. GÓMEZ AVILÉS, B. "Procedimiento para la mejora de la calidad del proceso industrial cubano de la caña de azúcar". Tesis Doctoral, 2006.
5. JENKINS, G. H. *Introducción a la tecnología del azúcar de caña*. Ed. Revolucionaria, 1988.
6. JURAN, J. M. & F. GRYNA. *Manual de Calidad*. 4ta ed., New York, Ed. Mc Graw Hill, 1988.
7. Lineamientos de la Política Económica y Social para el VI Congreso del PCC, pp. 24.
8. MARTÍ, M. & otros. "Aplicación de la Metodología de Box-Jenkins a la previsión de la punta mensual de carga de una Empresa eléctrica". Revista Questtio –v.2, diciembre 1978.
9. NAVARRO MORALES, Elva Esthela. "Control estadístico: Una verdadera ventaja competitiva". <http://www.monografias.com/>. Consultado noviembre 2010.
10. NEMBHAND, H. B. & R. VALVERDE-VENTURA. "Integrating Experimental Design and Statistical Control for Quality Improvement", en Journal of Quality Technology. Vol. 35, no. 4, ASQ, pp. 406- 423, 2003.
11. PEÑA, Daniel. *Modelos y métodos lineales y series temporales*. Segunda Edición. Alianza territorial, 1984.
12. PÉREZ SANFIEL, Francisco & Julián RODRÍGUEZ LÓPEZ. *Métodos de muestreo para la industria azucarera*. Instituto cubano de Investigaciones Azucareras. Ministerio del Azúcar. Noviembre 2006.
13. RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, Concepción. "Modelos Box-Jenkins. Aplicación de su metodología a la producción de azúcar". Revista Economía y Desarrollo. No 1/ Vol 128/ enero-junio/2001.
14. RODRÍGUEZ BETANCOURT, Ramón & Miguel ARRIETA GALLARDO. *Econometría Moderna*. Versión electrónica. Santiago de Cuba, 2005.