

## COMPARACION DE LAS METODOLOGIAS SHAININ<sup>1</sup> Y TAGUCHI<sup>2</sup> DEL DISEÑO EXPERIMENTAL EN UN INGENIO AZUCARERO DEL VALLE DEL CAUCA

### Comparison of the methodologies Shainin and Taguchi of experimental design at a sugar mill Valle del Cauca

#### RESUMEN

En el presente artículo se muestran los resultados de la investigación en la cual se aplicó los métodos propuestos por Taguchi y Shainin para el Diseño experimental, dentro de la planta de manufactura de un ingenio azucarero del Valle del Cauca. A través este documento se subraya continuamente la importancia que tiene el Diseño Experimental como herramienta estadística para el mejoramiento de procesos productivos, que va más allá del simple monitoreo impuesto por las técnicas de control estadístico de procesos, sin demeritarlas como herramientas útiles para controlar el rendimiento de un proceso. Es este estudio se buscó realizar una comparación de los resultados obtenidos en la aplicación de los métodos anteriormente nombrados.

**PALABRAS CLAVES:** Análisis de Varianza, Arreglos Ortogonales, Búsqueda de Variables, Diseño Experimental, Efecto, Factores Controlables, Factores Incontrolables, Interacción, Razón Señal Ruido Robustez.

#### ABSTRACT

In this article shows the results of the investigation in which they applied the methods Taguchi and Shainin for Experimental design in the manufacturing of a sugar mill of Valle del Cauca. Through this paper continually stresses the importance of Experimental Design as a statistical tool for the improvement of production processes, which goes beyond the simple monitoring techniques imposed by the statistical process control, without speak ill as useful tools to monitor performance of a process. In this study we tried to make a comparison of the results obtained in the application of the methods listed above.

#### KEYWORDS:

Análisis of variance, Orthogonal array, Experimental design, Effect, Controllable factors, Uncontrollable factors, Interaction.

#### PEDRO DANIEL MEDINA V.

Ingeniero Mecánico, Ms.C  
Profesor Auxiliar  
Universidad Tecnológica de Pereira  
[pemedin@utp.edu.co](mailto:pemedin@utp.edu.co)

#### EDUARDO ARTURO CRUZ T

Ingeniero Industrial, Ms.C  
Profesor Asistente  
Universidad Tecnológica de Pereira  
[ecruz@utp.edu.co](mailto:ecruz@utp.edu.co)

#### CESAR ZAPATA URQUIJO

Ingeniero Industrial  
Profesor Auxiliar  
Universidad Tecnológica de Pereira  
[cauza@utp.edu.co](mailto:cauza@utp.edu.co)

---

<sup>1</sup> CRUZ, Eduardo; RESTREPO, Correa y MEDINA, Pedro. Aplicación del modelo de experimentación Shainin en un ingenio azucarero del Valle del Cauca. Revista Scientia et Technica. Año XIII, No 35. Agosto de 2007.

<sup>2</sup> CRUZ, Eduardo; RESTREPO, Correa y MEDINA, Pedro. Aplicación del Modelo de Experimentación Taguchi en un Ingenio Azucarero del Valle del Cauca. Revista Scientia et Technica. Año XIII, No 34. Mayo de 2007. ISSN 0122-1701.

### 1. INTRODUCCIÓN

Una herramienta que permite el mejoramiento tanto de los productos como de procesos, con el objetivo de que los bienes producidos se adecuen de la mejor manera posible a las exigencias del mercado es el Diseño de Experimentos. Campo del cual fue su pionero Ronald A. Fisher, matemático y actuari, quien en 1919 realizó los primeros avances en este campo en la agricultura.

### 2. APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA TAGUCHI

A continuación se analizan los resultados obtenidos en la aplicación de la metodología Taguchi involucrando en el tipo de corte como variable ruido, según lo encontrado en la primera fase de experimentación. Se seleccionó un arreglo ortogonal L9 para la matriz interna, que permite estudiar máximo cuatro factores a tres niveles cada uno, utilizando la técnica del falso nivel para permitir involucrar un factor a dos niveles en una columna desarrollada para estudiar factores a tres niveles (Fowkles y Creveling, 1995), y un arreglo compuesto de solo dos corridas para la matriz externa. En la Tabla 1 se observan los factores estudiados, sus respectivos niveles y el código con que se identificarán en esta sección.

Tabla 1. Relación de variables codificadas experimentación por metodología Taguchi

FACTOR	UNIDADES	CODIGO	Nivel		
			1	2	3
Velocidad de picadora I	r.p.m	A	3900	4100	4300
Velocidad de picadora II	r.p.m	B	4200	4200	4400
Ajuste de salida	pul	C	1"1/4	1"5/16	-
Presión hidráulica	psi	D	3000	3000	3500
Tipo de corte	-	E	Trozado	Largo	-

En la Tabla 2 se puede ver el arreglo experimental seleccionado junto con los resultados obtenidos, y los valores de la media y la razón señal-ruido correspondiente (según la ecuación 1).

$$S/N = -10 \text{Log} (1/n \sum_{i=1}^n (1/Y_i^2)) \quad (1)$$

Tabla 2. Arreglo L9 con resultados de experimento

Corrida No	Factor controlable				E		Media	S/N
	A	B	C	D	-1	1		
1	1	1	1	1	50,04	60,07	55,05	34,7073
2	1	2	1'	2	55,27	20,54	37,91	28,7005
3	1	3	2	3	39,82	55,01	47,42	33,1825
4	2	1	1	3	35,05	60,70	47,88	32,6544
5	2	2	2	1	55,79	42,77	49,28	33,6254
6	2	3	1'	2	50,89	61,46	56,18	34,7860
7	3	1	2	2	44,85	61,42	53,14	34,1895
8	3	2	1	3	61,91	70,66	66,29	36,3715
9	3	3	1'	1	59,52	57,07	58,30	35,3069

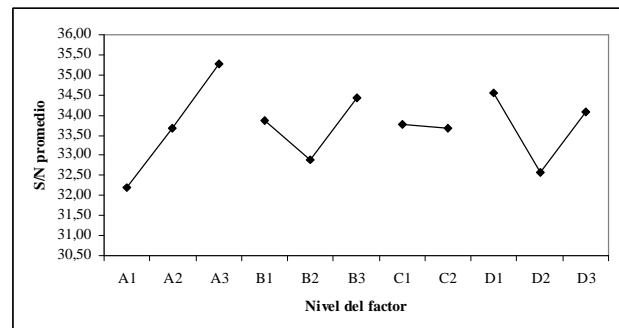
El análisis de los resultados obtenidos es mostrado en la Figura 1, en la que se puede observar que las variables que mayor efecto tienen sobre la robustez del sistema son

las velocidades de las picadoras I y II, así como la presión hidráulica aplicada a los cabezotes del primer molino. Por otro lado, así el ajuste de salida del primer molino no muestre un efecto significante en cuanto a la variable respuesta representada en la Figura 1, se involucra en el modelo, dado que un incremento en el nivel de este factor trae como consecuencia una disminución en el porcentaje de extracción del 3.7% reflejándose negativamente en la extracción global del tren de molienda. De acuerdo a lo anterior se concluye que los mejores niveles de operación del sistema son A3, B3, C1 y D1, debido a que muestran las más altas relaciones señal-ruido.

Si se tiene en cuenta el modelo aditivo de la ecuación 3 (Fowkles y Creveling, 1995) en el que sustenta el método Taguchi, el porcentaje de extracción estimado del molino 1 cuando todos los factores se encuentran en los niveles operativos seleccionados como los más robustos para el funcionamiento del sistema es aproximadamente del 63.9%, siendo 6.4 puntos superior al valor obtenido en la fase inicial de evaluación del sistema y reflejándose en una extracción global del 95.2%, con ganancias adicionales a la empresa de US\$27.000.

$$Y = \mu_{glob} + (\mu_{A3} - \mu_{glob}) + (\mu_{B3} - \mu_{glob}) + (\mu_{C1} - \mu_{glob}) + (\mu_{D1} - \mu_{glob}) \quad (2)$$

Figura 1. Diagrama de media marginales para el razón señal ruido



### 3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA DE EXPERIMENTACION SHAININ

En esta sección se muestra la aplicación de la metodología de experimentación propuesta por Dorian Shainin, partiendo de la herramienta denominada búsqueda de variable debido a tener los factores necesarios para la experimentación plenamente identificados y por otro lado, aprovechando la flexibilidad de la metodología que permite la utilización de todas las herramientas o de solo algunas dada la situación a la que se enfrenta el experimentador.

### Búsqueda de variables

El principio utiliza un proceso de eliminación a través de una comparación organizada en la cual característica de comparación debe ser mensurable. Finalmente la selección de niveles “alto” y “bajo”, es apropiada, para cuantificar el cambio sobre la característica de calidad estudiada. En la Tabla 3 se listan los niveles alto y bajo para cada uno de los factores controlables seleccionados anteriormente, sin tener en cuenta el tipo de corte debido a que esta filosofía está enfocada al estudio de las variables controlables y no involucra el análisis de las variables ruido del sistema.

Tabla 3. Factores y niveles seleccionados para la búsqueda de variables

Factor Controlable	Código	Nivel Bajo (-)	Nivel Alto (+)
Velocidad de Picadora I	A	3900	4300
Velocidad de Picadora II	B	4200	4400
Ajuste de Salida	C	1" 1/4	1" 5/16
Presión	D	3000	3500

Inicialmente se realizaron tres corridas, con los niveles operativos normales para el funcionamiento del molino 1 A (4300 r.p.m), B (4200 r.p.m), C (1" 5/16) y D (3000 psi), y tres corridas evaluando la operatividad a los nuevos niveles de funcionamiento propuesto A (3900 r.p.m), B (4400 r.p.m), C (1" 1/4) y D (3500 psi), con los cuales se comprobó las condiciones de repetibilidad y significancia en la diferencia de desempeño entre los dos grupos de condiciones operativas planteadas elemento de la metodología planteada por Shainin. En la Tabla 4 se muestran los resultados de esta etapa, junto con los límites de control propuestos por el método. Es importante explicar que cuando en esta tabla aparezca por ejemplo A<sub>N</sub>R<sub>P</sub> significa que en esa corrida la variable A se probó al nivel normal mientras los otros factores se mantuvieron a sus niveles propuestos.

Tabla 4. Resultados de la búsqueda de variables.

Corrida No	Factor cambiado	Niveles propuestos	Resultados	Límites de control	Niveles normales	Resultados	Límites de control	Análisis
Inicial		A <sub>0</sub> B <sub>0</sub> C <sub>0</sub> D <sub>0</sub>	49.39 53.84 56.06		A <sub>0</sub> B <sub>0</sub> C <sub>0</sub> D <sub>0</sub>	48.86 46.41 46.88		
1	A	A <sub>1</sub> R <sub>P</sub>	57.05	46.11- 60.09	A <sub>0</sub> R <sub>P</sub>	50.15	40.39- 54.37	A no importante
2	B	B <sub>1</sub> R <sub>P</sub>	66.78		B <sub>0</sub> R <sub>P</sub>	57.64		B significante
3	C	C <sub>1</sub> R <sub>P</sub>	55.01		C <sub>0</sub> R <sub>P</sub>	57.33		C significante
4	D	D <sub>1</sub> R <sub>P</sub>	63.79		D <sub>0</sub> R <sub>P</sub>	70.66		D significante

De los resultados listados en la tabla anterior se puede concluir con un nivel de confianza del 97.5% que los factores altamente significantes con respecto al porcentaje de extracción del molino 1 son la velocidad de la picadora II, el ajuste de salida y la presión hidráulica aplicada a los cabezotes del molino, debido a que como

se observa al cambiarse los niveles de estos factores los resultados caen por fuera de los límites de control.

### Experimento factorial completo

A continuación se realiza un experimento con diseño factorial completo 2k, con el cual se trata de identificar los mejores niveles de operación para las variables que mostraron algún efecto significativo sobre la variable respuesta. En la Tabla 5 se muestra la matriz experimental diseñada para llevar a cabo este experimento, junto a los resultados obtenidos para cada una de las réplicas experimentales.

Tabla 5. Matriz factorial 23 para experimentación aplicando la metodología Shainin.

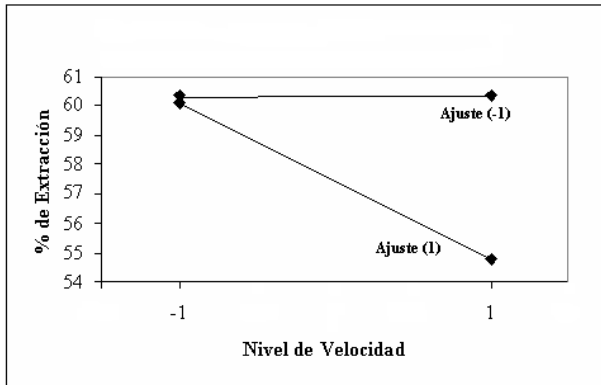
Corrida No	Picadora II	Ajuste	Presión	Extracción	
1	4200	1" 1/4	3000	57.33	55.27
2	4400	1" 1/4	3000	63.79	49.75
3	4200	1" 5/16	3000	68.15	46.88
4	4400	1" 5/16	3000	57.64	49.62
5	4200	1" 1/4	3500	61.91	66.78
6	4400	1" 1/4	3500	73.99	53.84
7	4200	1" 5/16	3500	70.66	54.68
8	4400	1" 5/16	3500	55.01	56.84

A los datos de la Tabla anterior se les realizó el ANOVA (ver Tabla 6) propuesto por la metodología Shainin. Queda claro que los tres factores que más influyen en el porcentaje de extracción del molino 1 son: El ajuste de salida, observándose un mejor rendimiento cuando el molino se encuentra más cerrado, presentándose un efecto de -2.89%; la presión hidráulica aplicada a los cabezotes del molino 1, al pasar de una eficiencia del 56.05% cuando se ejercía una presión de 3000 psi, a un nivel de extracción del 61.71% mientras se aplicaban 3500 psi, traduciéndose en un efecto positivo del 5.66%; y la interacción entre la velocidad de la picadora II y el ajuste de salida, en la Figura 2 se puede ver que se obtienen mejores niveles de extracción cuando la picadora II se encuentra en su nivel más alto de velocidad mientras el ajuste de salida se encuentra en su menor nivel lográndose una eficiencia en el proceso del 60.34%.

Tabla 6. ANOVA propuesto por Shainin

Canch	Factores				Interacciones			Extracción (prom.)
	A	C	D	AC	AD	CD		
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	55.01
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1	49.75
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1	46.88
4	1	1	-1	1	-1	-1	-1	49.62
5	-1	-1	1	1	-1	1	1	66.78
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1	53.84
7	-1	1	1	-1	-1	1	-1	54.68
8	1	1	1	1	1	1	1	55.01
<b>Contribución</b>	<b>-11.59</b>	<b>-11.59</b>	<b>22.64</b>	<b>-10.67</b>	<b>-3.75</b>	<b>-7.74</b>	<b>-1.96</b>	

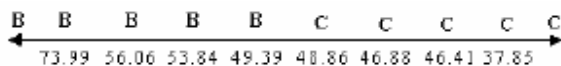
Figura 2. Diagrama de interacción entre el ajuste de salida y la velocidad de la Picadora II.



**B vs C**

Finalmente se realiza una comparación entre los rendimientos del molino 1 con los niveles operativos normales y los propuestos, con el fin de confirmar si los nuevos niveles operativos son mejores que los antiguos. Se realizaron cuatro corridas con los niveles normales (C) y cuatro con los niveles propuestos (B) y los resultados de éstas son mostrados en la Figura 3, en donde se grafican los resultados de sobre un mismo eje. De esta Figura y teniendo en cuenta la regla de decisión DEL NO TRASLAPE, se concluye que el proceso propuesto tiene mejores índices de eficiencia que el proceso normal de molienda del ingenio.

Figura 5. Evaluación gráfica del proceso normal (C) y propuesto (B).



Según los resultados obtenidos mediante la aplicación de esta metodología experimental, se llegó a una solución en la cual los factores relevantes en cuanto al rendimiento del proceso debían estar a niveles de operación A2, C1 y D2. Según el modelo matemático obtenido, en el que se involucran solo las tres principales causas de variabilidad dado por la ecuación 4, se obtiene una extracción de aproximadamente un 64.5%, siendo 7 puntos superior al valor obtenido en la fase inicial de evaluación del sistema, reflejándose en una extracción global de 95.3%, con ganancias adicionales de aproximadamente US\$ 28.000 en el periodo analizado.

$$Y = 58.88 - 1.448 C + 2.83 D - 1.334 AC \quad (3)$$

**4. COMPARACION METODOLOGICA**

La comparación se enfoca en los siguientes aspectos característicos de cada una de las metodologías

aplicadas en este estudio: El poder en la estimación de las interacciones, la capacidad de aumentar el nivel de extracción actual del proceso (unida al efecto económico que cada solución tendría), el ajuste del modelo obtenido a los resultados arrojados en la fase experimental y los métodos propuestos para el análisis de los resultados.

**Fortaleza en la estimación de interacciones**

La metodología planteada por Taguchi deja mucho que desear en cuanto al manejo y evaluación de las interacciones, lo cual refleja el pensamiento de su creador quedando plasmado en la siguiente frase: “es más deseable tratar las interacciones entre los factores controlables como parte del ruido experimental, y los efectos principales que excedan en magnitud la influencia de dichas interacciones son los realmente importantes” (Taguchi, 1987). La falta de antecedentes para el adecuado tratamiento de las interacciones potenciales entre los factores controlables en un proceso es quizás el punto débil más importante de ésta metodología no permitiendo en muchos casos lograr la mejor solución problemas planteados en la experimentación industrial.

Por otro lado aunque Shainin plantea una visión muy diferente con respecto al tratamiento que debe ser dado a las interacciones, falla en la fase de búsqueda de variables ya que ésta plantea un experimento en donde se varían los niveles de un factor manteniendo los restantes en un valor constante siendo esta una forma de experimentación mediante la cual no se logra identificar cualquier posible interacción entre los factores involucrados en la búsqueda. Lo anterior quedó de manifiesto con el resultado obtenido al aplicar la herramienta discutida al caso desarrollado en éste estudio, al desecharse la influencia que pudiese tener la velocidad de la picadora I sobre el porcentaje de extracción, la cual, es definitivamente importante en conjunto con la presión hidráulica más no de manera individual como se puede observar en la Figura 3, en la que se muestra la importancia del efecto conjunto de estos dos factores sobre la extracción del molino 1 del tren de molienda a través de la interacción entre las variables referenciadas, evaluada de la matriz experimental mostrada en la Tabla 7 obtenida de la manipulación de los datos mostrados en la Tabla 4.

Tabla 7. Matriz obtenida con los datos de la fase de búsqueda de variables

	A (-1)	A (1)
D (-1)	48.86 57.64 46.41 70.66 46.88	50.15 55.01
D (1)	57.33 57.05	49.39 66.78 53.84 63.79 56.06

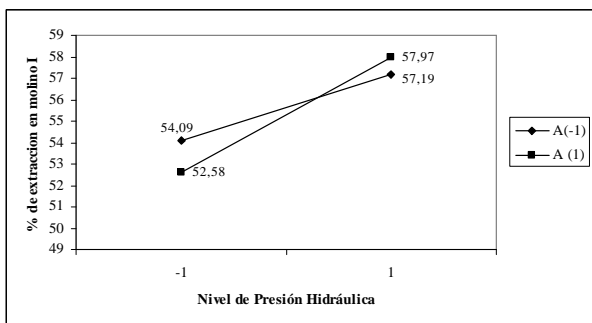
**Mejoramiento propuesto**

Para este punto de comparación se analiza los modelos obtenidos a través de la aplicación de cada una de las metodologías, con el fin de observar el mejoramiento propuesto por cada una de ellas con respecto al porcentaje de extracción del molino 1 y extrapolar este mejoramiento para obtener un estimación del aumento en la eficiencia global del tándem de molienda y de esta manera establecer el impacto económico de cada solución.

Si se tiene en cuenta el análisis realizado a través de la metodología Taguchi, del cual se obtuvo que los mejores niveles operacionales eran A3, B3, C1 y D1, y basados en un modelo totalmente aditivo se obtendría a través de la ecuación 2 una extracción estimada de aproximadamente un 63.90%, la que se vería reflejada en una extracción global del tándem de aproximadamente un 95.20%. Este incremento representa un aumento en la producción de azúcar de 1.460 quintales, obteniéndose aproximadamente US\$ 27.000 adicionales en el mismo periodo.

Por último, de acuerdo a los resultados obtenidos en la aplicación de la metodología planteada por Shainin, y aplicando la solución obtenida se obtuvo el modelo de la ecuación 3. De este modelo se esperaría que la extracción del molino 1 se incrementara a 64.5% esta eficiencia del Molino 1 se reflejaría en una extracción global del tándem de aproximadamente un 95.3%. Lo anterior significaría un incremento de la producción de azúcar en 1.520 Quintales, generando US\$ 28.000 adicionales para la empresa.

Figura 3. Interacción entre Factores A y D obtenida con los datos de la fase de búsqueda de variables



**Ajuste del modelo a la variabilidad observada**

En este aparte se realiza un análisis de la variabilidad captada por los modelos propuestos con respecto a la varianza total observada. Si se realiza este análisis a los resultados obtenidos por el método Taguchi, con base en la Tabla 8 donde se muestra un análisis de varianza, se puede concluir que el modelo obtenido solo capta un 27% de la variabilidad total, sin importar que involucra un mayor número de grados de libertad para la

estimación de esta variabilidad en comparación con los otros dos métodos, dejando el restante 73% a la influencia del ruido presente en la fase experimental, lo que plantea que es un modelo poco adecuado para modelar el sistema debido a la exclusión de las interacciones que para este caso son importantes.

Tabla 8. Análisis de varianza para el método Taguchi.

Fuente de variabilidad	S.S	GL	MS	Fo
Piedra 1 (A)	473.27	2	236.64	1.314
Piedra 2 (B)	24.41	2	12.20	0.068
Ajuste de Salida (C)	54.76	1	54.76	0.304
Presión Hidráulica (D)	100.89	2	50.44	0.280
Error	1801.25	10	180.13	
Total	2454.38	17		

En la Tabla 9 se muestra el ANOVA realizado para el método Shainin, y en la cual se observa que este modelo solo logra captar un 25% de la variabilidad observada, no obstante haber captado la presencia de algunas interacciones debido al hecho de filtrar una interacción importante, sumado a la acción de no involucrar en el diseño el tipo de corte y cuyo efecto es altamente significativo en el comportamiento del sistema.

Tabla 9. Análisis de varianza para el método Shainin

Fuente de variabilidad	S.S	GL	MS	Fo
Piedra II (B)	28.04	1	28.04	0.319
Ajuste de Salida (C)	33.38	1	33.38	0.382
Presión Hidráulica (D)	128.142	1	128.142	14.58
INTERACCIONES				
BC	28.46	1	28.46	0.324
BD	3.53	1	3.53	0.040
CD	14.98	1	14.98	0.170
BCD	0.96	1	0.96	0.011
Error	703.27	8	87.91	
Total	940.962			

**Análisis experimental**

Si se considera el empleo de las gráficas de medias marginales en las cuales el método Taguchi basa su análisis y la técnica de seleccionar el ganador, puede demostrarse que en la presencia de interacciones es una manera poco adecuada para la obtención de una solución. De la Figura 1, se obtiene que los mejores niveles operativo son A3, B3, C1 y D1, los cuales si se basa en el modelo aditivo de la ecuación 2, pronosticaría un porcentaje de extracción del 63.9%.

En cuanto a la forma como Shainin realiza el análisis de datos hay tres aspectos importantes que tocar, el primero es la incapacidad que posee la técnica búsqueda de variables de separar las potenciales interacciones, debido a basarse en un método de experimentación en el cual solo se cambia un factor a la vez permitiendo de esta manera únicamente la estimación de los efectos principales. Otro aspecto negativo es que solo se enfoca en la estimación de las tres principales fuentes de variación, sin tener cuidado que pueden existir otras

fuentes que generen una variabilidad del mismo orden desechando de esta manera una importante fuente de mejoramiento. Finalmente es importante observar que esta metodología hace énfasis en el estudio de las variables controlables de un proceso ignorando el análisis de los factores ruido que como el tipo de corte muestra un efecto considerable sobre el proceso de molienda, no permitiendo de esta manera alcanzar un más amplio conocimiento del proceso y de los factores que lo afectan

## 5. CONCLUSIONES

A través de la discusión llevada a cabo en este escrito quedó claro que de las dos metodologías aplicadas al proceso de molienda del ingenio, la que mostró adecuarse de mejor manera a las características del sistema fue el método Shainin debido a que mediante su aplicación se logró un mejor entendimiento del proceso unido, al hecho de mostrar niveles más altos de mejoramiento comparado con los logrados mediante la otra metodología discutida (64.5% comparado con 63.9%).

Es importante valorar la relativa importancia en que el método propuesto por Shainin da a las posibles interacciones, aunque no deja de ser deficiente, debido principalmente por la falla que en este aspecto muestra su primera etapa; en comparación con el total desprecio que el método Taguchi hace de las interacciones.

Otro aspecto muy importante a tratar es el tamaño de los arreglos experimentales, en cuanto a esto quedó muy claro que la metodología que muestra una mejor relación beneficio/costo es la basada en la metodología shainin, siendo desde este punto de vista más eficiente que la otra metodología involucradas en el estudio, debido principalmente a la importante fuente de mejoramiento que constituyen las interacciones presentes en un proceso.

Finalmente, en cuanto a la variabilidad captada por los diferentes modelos y a la manera de analizar los datos de cada una de las metodologías se observa de nuevo una mayor eficiencia del método shainin, el cual se basa en técnicas formales de análisis estadístico, haciendo uso de diferentes técnicas para la estimación del error experimental; en comparación con la poca eficiencia mostrada por la utilización de la técnica del “mejor es el ganador” aplicada en el análisis de media por Taguchi. En la Tabla 10 se muestra de manera resumida los cinco puntos tomados como base para la comparación de las tres metodologías aquí analizadas.

De acuerdo a todo lo planteado, en lo referente al método Taguchi puede observarse su amplia aplicabilidad en procesos en los que manejar tres niveles para cada uno de los factores controlables sea factible, y además se presente las condiciones en las cuales los efectos cuadráticos sean mucho más significativos que los

efectos de cualquier interacción entre los factores analizados. Por último, el Método propuesto por Dorian Shainin, puede ser bastante aplicable en procesos donde sea bastante costoso el manejo de tres niveles para cada uno de los factores involucrados en la experimentación, se presente el hecho que los efectos principales de las variables independientes sean mucho más significativos que cualquier interacción entre ellas, y que solamente tres causas de variabilidad representen aproximadamente el 80% de la varianza observada en los datos experimentales, sin olvidar que esta metodología es la más fácil de aplicar, debido a que no necesita de personal experto en el manejo estadístico y por lo tanto apropiada para empresas y procesos que no cuenten con el personal calificado en métodos estadísticos para el diseño de experimentos, y deseen realizar un estudio inicial de las variables involucradas en el sistema productivo.

Tabla 10 Resumen de la comparación entre las metodologías de diseño experimental aplicadas

Característica	Taguchi	Shainin
Manejo de las interacciones	Malo	Deficiente
Mejoramiento logrado	Moderado	Moderado
Tamaño de los arreglos experimentales	Grandes	Grandes
Efectividad	Baja en presencia de interacciones	Baja en presencia de interacciones
Análisis de los datos	Poco eficiente en presencia de interacciones	Poco eficiente en presencia de interacciones
Flexibilidad	Baja	Baja

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) ANAND, K. Improving Paraffin Wax Yield Through Process Optimization Using Taguchi's Method Of Experimentation. Quality Engineering. Vol 6. No 2, pp 39-56. 1994.
- (2) BHOTE, Keki. World Class Quality Using Desing of Experiments to Make it Happen. AMACOM. 1991.
- (3) CRUZ, Eduardo; RESTREPO, Correa y MEDINA, Pedro. Aplicación de un Modelo Factorial de Experimentación en un Ingenio Azucarero del Valle del Cauca. Revista Scientia et Technica. Año XII, No 32. Diciembre de 2006. ISSN 0122-1701.
- (4) CRUZ, Eduardo; RESTREPO, Correa y MEDINA, Pedro. Aplicación del Modelo de Experimentación Taguchi en un Ingenio Azucarero del Valle del Cauca. Revista Scientia et Technica. Año XIII, No 34. Mayo de 2007. ISSN 0122-1701.
- (5) CRUZ, Eduardo; RESTREPO, Correa y MEDINA, Pedro. Aplicación del modelo de experimentación Shainin en un ingenio azucarero del Valle del Cauca. Revista Scientia et Technica. Año XIII, No 35. Agosto de 2007. ISSN 0122-1701.
- (6) FOWKLES, William Y CREVELING, Clyde. Engineering Methods For Robust Product Desing Using Taguchi Methods in Technology and Product Development. Addison-Wesley. 1995.
- (7) ROSS, Phillip. Taguchi Techniques for Quality Engineering. 2da Ed. McGraw Hill. 1996.
- (8) TAGUCHI, Genichi. System of Experimental Desing, Vols 1 y 2. ASI Quality Resources.1987.