

ESTABLECIMIENTO DE PARÁMETROS DE DISEÑO PARA EL PROCESO DE SECADO DE LA PAJA TOQUILLA POR MEDIO DE LA METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA SEIS SIGMA

Daniel Polit Arguello¹, Marcos Buestán Benavides²

¹Ingeniero Industrial 2006

²Director de Tesis, Ingeniero Industrial, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2001, Magíster en Sistemas de Calidad y Productividad, Instituto Tecnológico Superior de Monterrey, 2005. Profesor de ESPOL desde 2005

RESUMEN

La Comuna Barcelona es una pequeña población ubicada en la Península de Santa Elena. La mayoría de su población se dedica a la producción de la paja toquilla como materia prima para la elaboración de artesanías, por lo que esta actividad que representa su principal fuente de ingresos.

Hoy en día, la elaboración de paja toquilla no es una actividad rentable para los habitantes de la comuna, debido al mal empleo de los recursos y a lo ineficiente de algunas de las operaciones presentes en el proceso de preparación de la fibra.

El objetivo de la presente tesis es mejorar la operación de secado, ya que ésta representa el mayor tiempo de espera en el proceso de elaboración de la paja toquilla (cuello de botella), para lo cual se utilizará el “Diseño para seis sigma” (DFSS) que está basada en la metodología IDOV, esta metodología es la siguiente: Identificar el proceso, diseño, optimizar y validación. Se espera de este proyecto la identificación de las variables críticas que afectan al proceso de secado de la paja toquilla y luego analizarlas con el fin establecer parámetros que permitan disminuir el tiempo de secado sin desmejorar la calidad del producto.

ABSTRACT

Barcelona is a little town situated in the Península of Santa Elena. Most of Barcelona citizens work in the production of paja toquilla as a basic matter for the elaboration of craftsmanship, that's why this activity becomes in their first economic resource. Today the paja toquilla production is no longer a yielding process for the inhabitant of Barcelona, because the bad manage of resources and the inefficient of some activities present in the process of production of paja toquilla.

The aim of this thesis project is to improve the paja toquilla dry process, because this is the part that represents the biggest delay (Bottle Neck) in the production process. To achieve this goal we will apply the methodology “Design for six sigma” (DFSS) based in the IDOV method, that's means Identify the process, design, optimize and validate. This project will identify of critical variables that affects the paja toquilla dry process and analyzed them for establishing the parameters that allows us to minimize the dry time without affecting the product quality.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto plantea el “Establecimiento de parámetros de diseño para el proceso de secado de la paja toquilla por medio de La Metodología de un Diseño para Seis Sigma”, con el fin de disminuir el tiempo de secado y por lo tanto, aumentar la productividad del proceso de elaboración de paja toquilla en la comuna Barcelona.

Se decidió realizar este proyecto En la operación de secado ya que es el proceso que tiene un mayor tiempo de espera (cuello de botella), por lo que una mínima mejora en esta operación representará una mejora substancial a todo el proceso.

CONTENIDO

Una variabilidad excesiva en los tiempos de secado puede degenerar en graves problemas tales como: disminución de la productividad, aumento de tiempo de espera y disminución de la calidad del producto, formación de hongos en el tallo de la paja; como consecuencia de éstos, los costos de secado se incrementan de manera directamente proporcional al aumento del tiempo de secado

La metodología a utilizar es IDOV:

1. Identificar el proceso, sus especificaciones y los requerimientos críticos de calidad, mediante el análisis del proceso usando herramientas tales como: Diagramas de Flujo, estudio de tiempos y movimientos.
2. Diseño en este punto se traslada las especificaciones del proceso de tal forma que satisfagan las necesidades de los clientes y los requerimientos críticos de calidad, por medio del uso de la herramienta de calidad conocida como QFD y VOC.
3. Optimizar usando herramientas estadísticas como el DOE (Diseño de Experimentos) y ASR (Análisis de superficie de respuestas) que permitan optimizar las especificaciones.
4. Validación donde se verá que las especificaciones establecidas cumplen con los requerimientos de los clientes y se establecen las conclusiones del proyecto.

Identificar el proceso

El proceso de elaboración de la paja toquilla es:

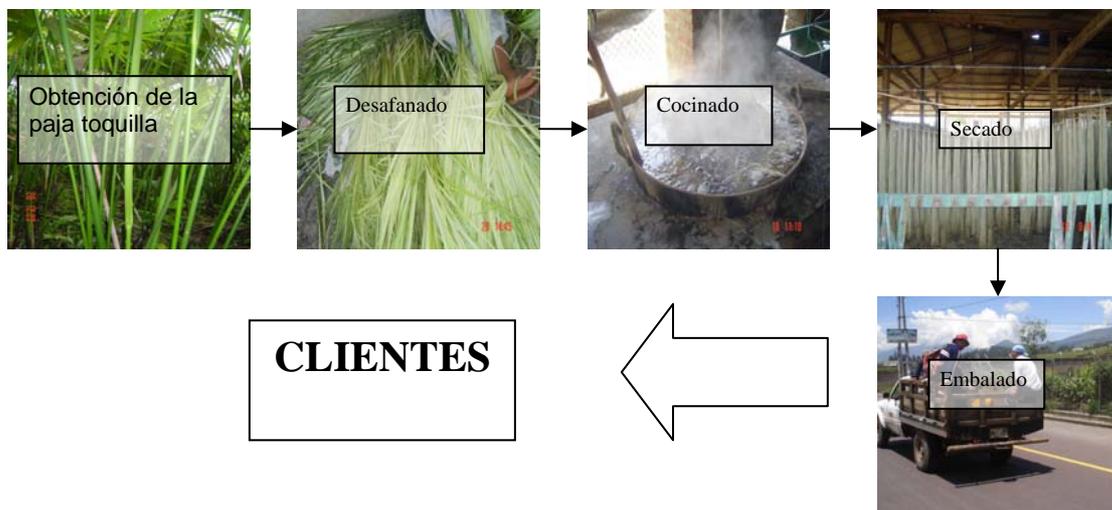


Figura 1. Diagrama de procesos elaboración de la paja toquilla

Los tiempos que cada uno de las actividades de el proceso de elaboración de la paja toquilla (Figura 2) nos demuestra que una disminución en los tiempos de secado de la paja representaría una mejora significativa dentro del proceso.

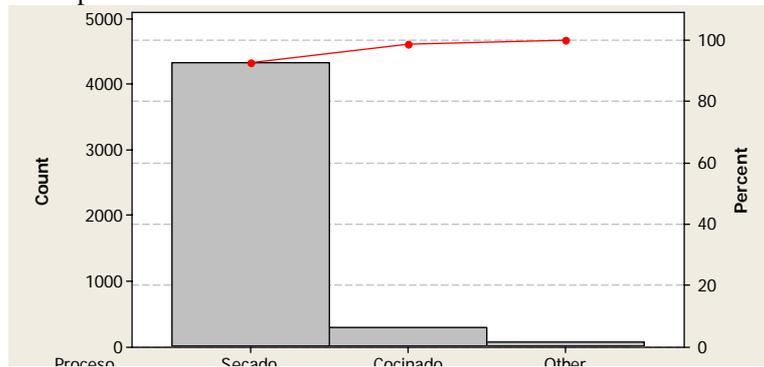


Figura 2. Diagrama Pareto tiempos por actividad del proceso de elaboración de la paja toquilla

Una vez identificada la actividad a mejorar (Secado de la paja toquilla) se procedió a analizar las variables críticas que afectan a la misma. Se comenzó por identificar a los clientes y sus necesidades. las necesidades y requerimientos de los clientes son:

Clientes Internos: no tener ningún tipo de Hongos o impurezas, en caso de que tenga alguna de estas la paja es desechada (Secado).

Clientes Externos:

Color (Característica obtenida en el cocinado pero que varía en el secado y el soleado)
 Resistencia (Obtenida en el secado)
 Flexibilidad (Obtenida en el secado)
 No tener ningún tipo de Hongos o impurezas

A partir de esto se dan las especificaciones básicas del producto: color, resistencia, flexibilidad y no tener hongos ni ningún tipo de impurezas.

Diseño

Una vez obtenidas las necesidades básicas de los clientes procedemos a utilizar la herramienta VOC (voz del cliente) para reconocer las necesidades que harán que los clientes se mantengan con nuestro producto.

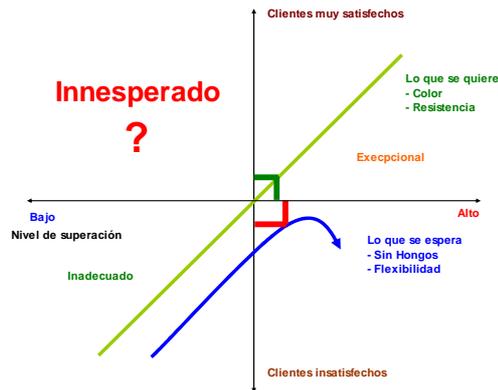


Figura 3. Diagrama de Kano

Una vez encontradas y cuantificadas las necesidades de los clientes se procede a realizar el QFD (casa de la calidad), este se realizó con la ayuda de expertos en proceso de secado.

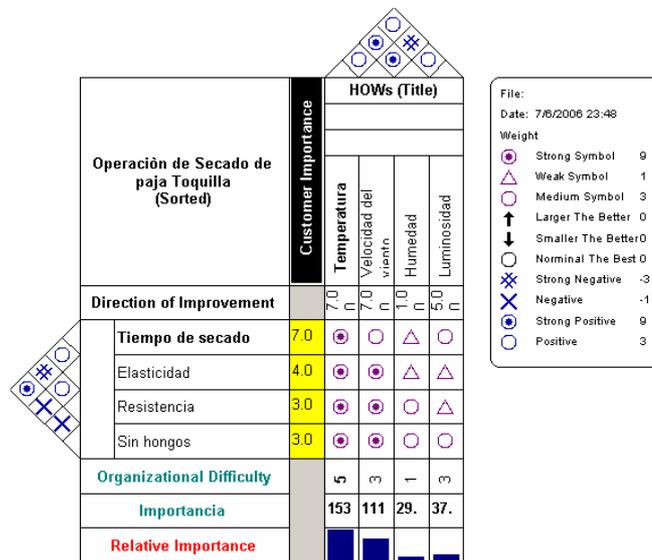


Figura 4. QFD

Como se observa en la figura 4, las propiedades que mayor importancia tienen dentro del proceso (CTQS: Críticos de calidad), para obtener los resultados que satisfagan a los clientes son: temperatura, velocidad del viento. A partir de este momento todas las etapas posteriores del proyecto estarán basadas en el cumplimiento y satisfacción de los resultados obtenidos del QFD. Una vez identificadas se procede al diseño en donde se establecerán rangos de medición de cada una de estas propiedades, de tal manera que estas satisfagan las necesidades de los clientes

Parámetros	Máxima	Mínima
Temperatura	45 °C	29 °C
Velocidad de viento	3.62 m/s	4.465 m/s

Tabla 1

Optimizar

Una vez identificados y establecidos los parámetros y variables críticas se pasa al diseño donde, basados en los datos obtenidos en el proyecto se decidió realizar un diseño factorial completo de donde se obtuvieron los siguientes resultados. (Las variables resultantes serían tiempo de secado, resistencia y elasticidad)

Factorial Fit: Tiempo versus Temperatura. Velocidad del viento

Estimated Effects and Coefficients for Tiempo (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant	109,75		10,80	10,16	0,001
Temperatura	-105,50	-52,75	10,80	-4,88	0,008
Velocidad del viento	-9,50	-4,75	10,80	-0,44	0,683
Temperatura*Velocidad del viento	27,50	13,75	10,80	1,27	0,272

S = 30,5532 R-Sq = 86,51% R-Sq(adj) = 76,40%

Analysis of Variance for Tiempo (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	22441	22441	11220,5	12,02	0,020
2-Way Interactions	1	1512	1512	1512,5	1,62	0,272
Residual Error	4	3734	3734	933,5		
Pure Error	4	3734	3734	933,5		
Total	7	27687				

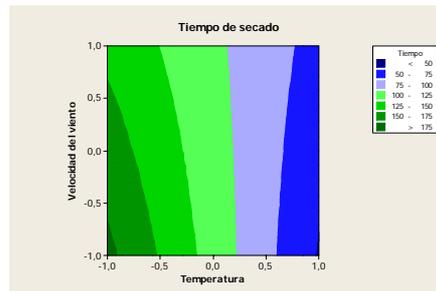


Figura 5. Tiempo vs Velocidad del viento y temperatura

Como demuestra la figura 5 una pequeña variación en la temperatura afecta directamente al tiempo de secado mientras que la velocidad del viento no afecta mayormente, lo que refuerza los datos anteriormente analizados. En vista de que la curva con el factor de tiempo de secado no se podía obtener se buscó analizando los otros factores resultantes, estos son resistencia y elasticidad así se realizó un diseño de experimento con cada uno de estos factores resultantes lo que nos arrojó lo siguiente:

Factorial Fit: Elasticidad versus Temperatura. Velocidad del viento

Estimated Effects and Coefficients for Elasticidad (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,79500	0,02365	33,61	0,000	
Temperatura	-0,16500	-0,08250	0,02365	-3,49	0,025
Velocidad del viento	-0,08500	-0,04250	0,02365	-1,80	0,147
Temperatura*Velocidad del viento	-0,03000	-0,01500	0,02365	-0,63	0,560

S = 0,0668954 R-Sq = 79,80% R-Sq(adj) = 64,64%

Una vez analizados estos datos se demuestra que el sistema sigue explicando un porcentaje alto de la variación presente en la elasticidad (R-Sq=70,80%) y que tanto la temperatura y la velocidad del viento afectan a la elasticidad de manera considerable (Ptemperatura=0,025 y Pvelocidad del viento=0,147)

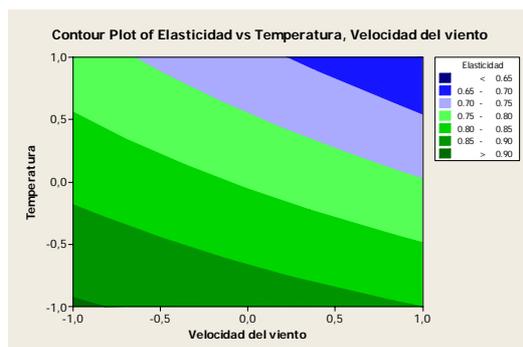


Figura 6. Temperatura vs Velocidad de Viento

A partir de la figura 6 se demuestra que a mayor temperatura y mayor velocidad de viento se mantiene una elasticidad que esta entre la media de elasticidad aceptable (media=0.96 + 0,32). Y a la vez se disminuye el tiempo de secado. Se realizó el mismo procedimiento para la resistencia y se obtuvieron resultados muy similares:

Factorial Fit: Resistencia versus Temperatura. Velocidad del viento

Estimated Effects and Coefficients for Resistencia (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		3,8863	0,1262	30,79	0,000
Temperatura	-0,7275	-0,3637	0,1262	-2,88	0,045
Velocidad del viento	-0,4375	-0,2188	0,1262	-1,73	0,158
Temperatura*Velocidad del viento	-0,1675	-0,0837	0,1262	-0,66	0,543

S = 0,356984 R-Sq = 74,60% R-Sq(adj) = 55,56%

Analysis of Variance for Resistencia (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	1,44133	1,44133	0,72066	5,66	0,068
2-Way Interactions	1	0,05611	0,05611	0,05611	0,44	0,543
Residual Error	4	0,50975	0,50975	0,12744		
Pure Error	4	0,50975	0,50975	0,12744		
Total	7	2,00719				

Donde se mantiene el porcentaje de variación explicado por el modelo lineal (R-Sq=74,60%) y tanto la velocidad del viento como la Temperatura son factores influentes (Ptemperatura=0,045 y Pvelocidad del viento=0,158), lo que se demuestra en las figura 7.

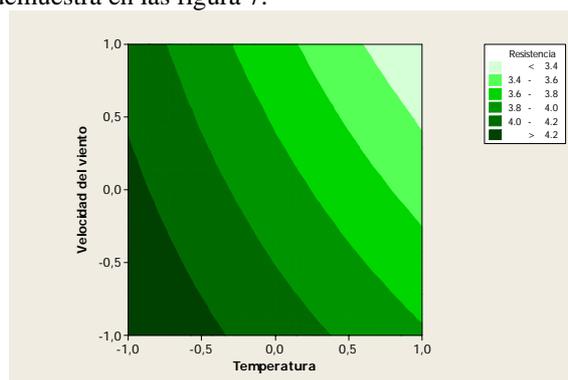


Figura 7. Velocidad del viento vs Temperatura

La resistencia se mantiene dentro del parámetro especificado al inicio de este capítulo (Media=3.33 Kg/Fuerza + 0,96). Como se demuestra en los gráficos de contorno de las figuras 6 y 7 existe una curvatura y si es posible hallar un punto optimo por lo cual se debe realizar un nuevo diseño de experimento buscando aplicar el ASR. Para este nuevo diseño de experimentos es necesario establecer un punto central y mover los puntos actuales para buscar optimizar el resultado.

ANALISIS DE SUPERFICIE DE RESPUESTA.

Para el ASR se establecieron los siguientes parámetros a cumplir

Característica	Máximo	Mínimo
Temperatura	43° C	40° C
Velocidad de viento	4,45 m/s	3,62 m/s

Tabla 2

Además se estableció un punto central con las siguientes características:

Característica	Valor
Temperatura	41° C
Velocidad de viento	3,77 m/s

Tabla 3

Una vez establecido los puntos se procedió a realizar la parte del diseño de experimentos. Que analizados en minitab nos dio lo siguiente:

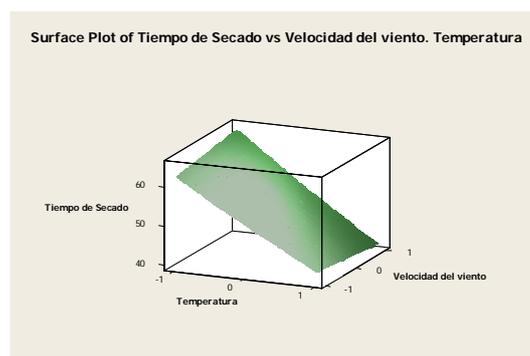
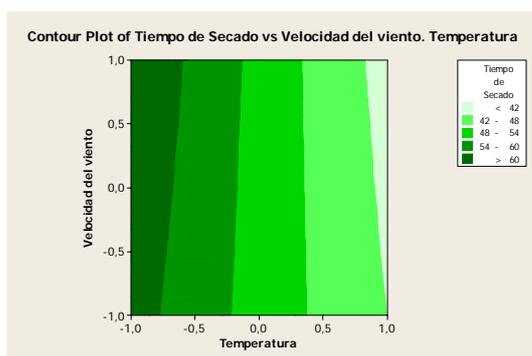


Figura 9a Gráfico de contorno. Figura 9b gráfico en tres dimensiones tiempo de secado. Como se demuestra en la figura 9a el único factor que afecta considerablemente al tiempo de secado es la Temperatura. En la figura 9b se observa que el tiempo de secado podría seguir bajando a medida que se aumenta la temperatura, pero como se pudo observar en los experimentos en los puntos finales la paja comienza a quemarse.

Elasticidad

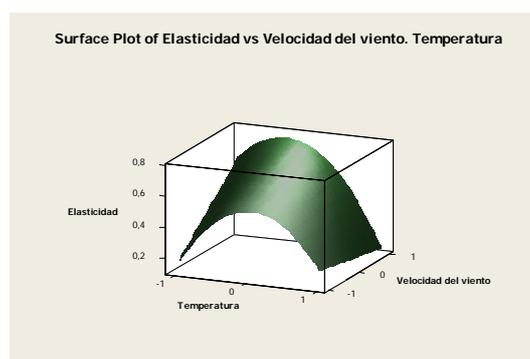
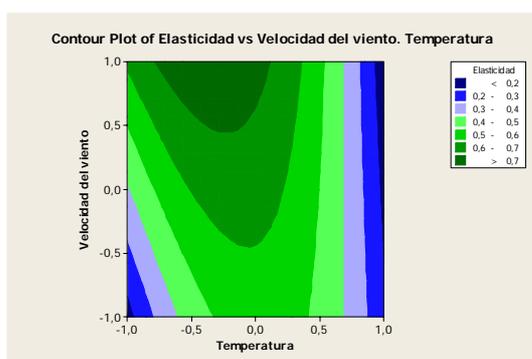


Figura 11a Gráfico de contorno. Figura 11b Gráfico en tres dimensiones

Como se observa en los datos obtenidos en minitab en cuanto a la elasticidad se hallan resultados alentadores, ya que demuestra que la temperatura y la combinación de temperatura y velocidad de viento son factores que afectan considerablemente a la misma, esto se observa mejor en los gráficos de contorno (Figura 11a) y de superficie (Figura 11b).

De estos resultados el más importante y el que es concluyente para el ASR es el de la elasticidad, ya que demuestra un punto óptimo que está dentro de la media de elasticidad y donde se disminuye el tiempo de secado de 24 horas promedio a 1 hora con 2 minutos que es el principal objetivo de este proyecto.

Validar

La validación consiste en realizar un numero determinado de experimentos basándonos en los niveles obtenidos para cada una de las variables consideradas como influyentes en la optimización, estos experimentos buscan determinar la capacidad sigma que tendría el proceso de acuerdo a los niveles identificados como óptimos.

Las especificaciones encontradas en el capitulo anterior son:

Especificaciones	Valor
Temperatura	41° C
Velocidad de viento	3.77 m/s

Tabla 4

De estos experimentos se debe obtener tres características resultantes principales y una característica cualitativa que es el color que nos ayudara a saber la verdadera capacidad del proceso, las especificaciones para cada una de las características fueron establecidas en el capitulo 4 y son:

Especificaciones	Limite superior de especificaciones	de	Limite inferior de especificaciones	de
Tiempo de secado	90 min.			
Resistencia	4.29 Kg/fuerza		2.37 Kg/Fuerza	
Elasticidad	1.28 Kg/Fuerza		0.64 Kg/Fuerza	
Color	Tiene que tener el color claro de forma que sea aceptable			

Tabla 5

Se realizaron 12 experimentos, los datos obtenidos de estos experimentos junto con los límites de especificaciones establecidos se corrieron en el programa minitab con la herramienta de análisis de capacidad y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tiempo de secado

Process Capability Analysis for Tiempo de secado

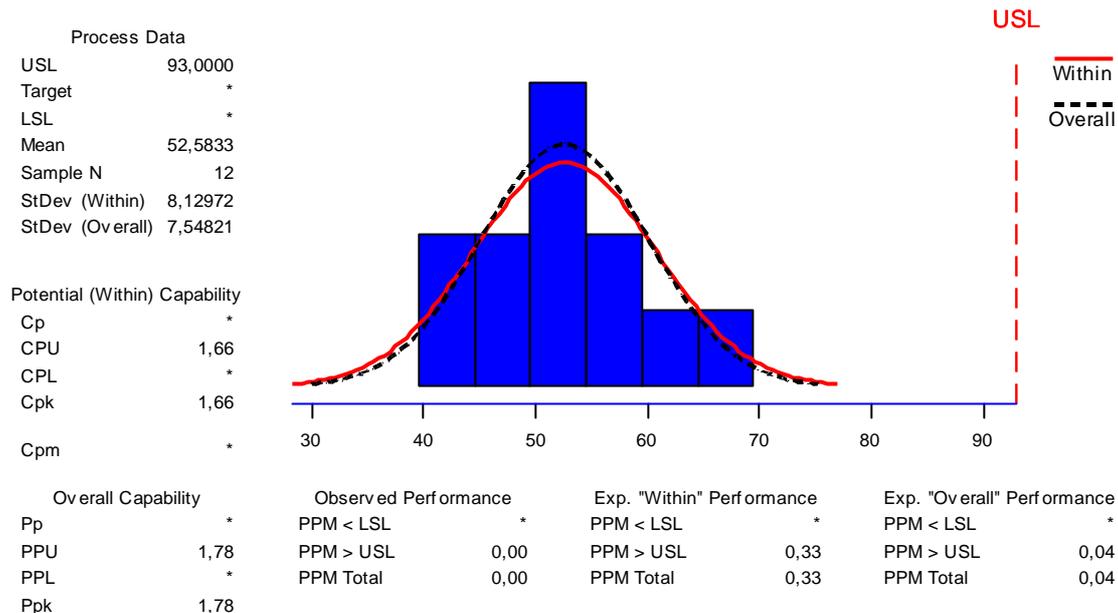


Figura 12

Del análisis con respecto al tiempo de secado se puede llegar a la conclusión que manteniendo la temperatura y la velocidad del viento en los parámetros indicados se va a obtener un proceso normal seis sigma con un nivel de rechazo de 0.04 errores por millón; además se pudo constatar a través del índice $Cpk = 1.66$ el cual es adecuado para un proceso 6sigma

Resistencia

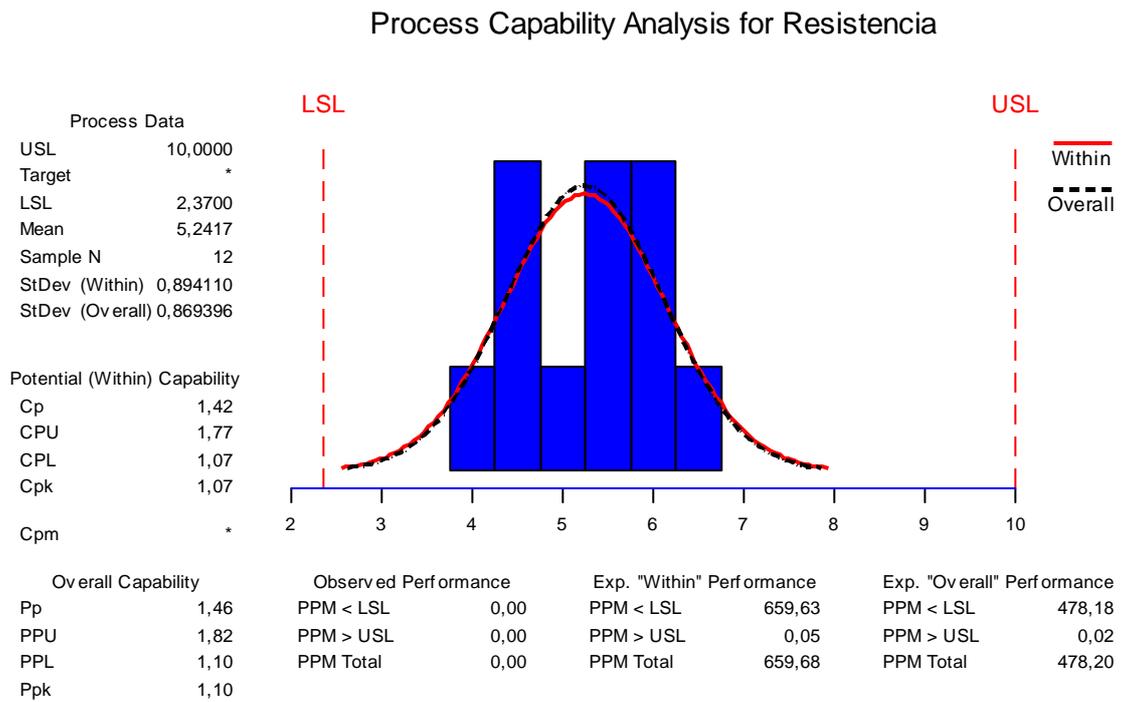


Figura 13

Analizando con respecto a la resistencia se obtiene que el proceso llega a un nivel de 5 sigma con un promedio de 478,20 errores por millón y $Cpk=1.07$ que aunque no es del tipo 6sigma se lo puede considerar de un nivel muy alto

Elasticidad

Analizando con respecto a la elasticidad se llega a un proceso 4 sigma con un promedio de 3606,65 errores por millón (Figura 14). Aunque en este caso tampoco se llegó a un nivel 6sigma se puede constatar que los niveles empleados permiten obtener una respuesta con un alto nivel de calidad

Process Capability Analysis for Elasticidad

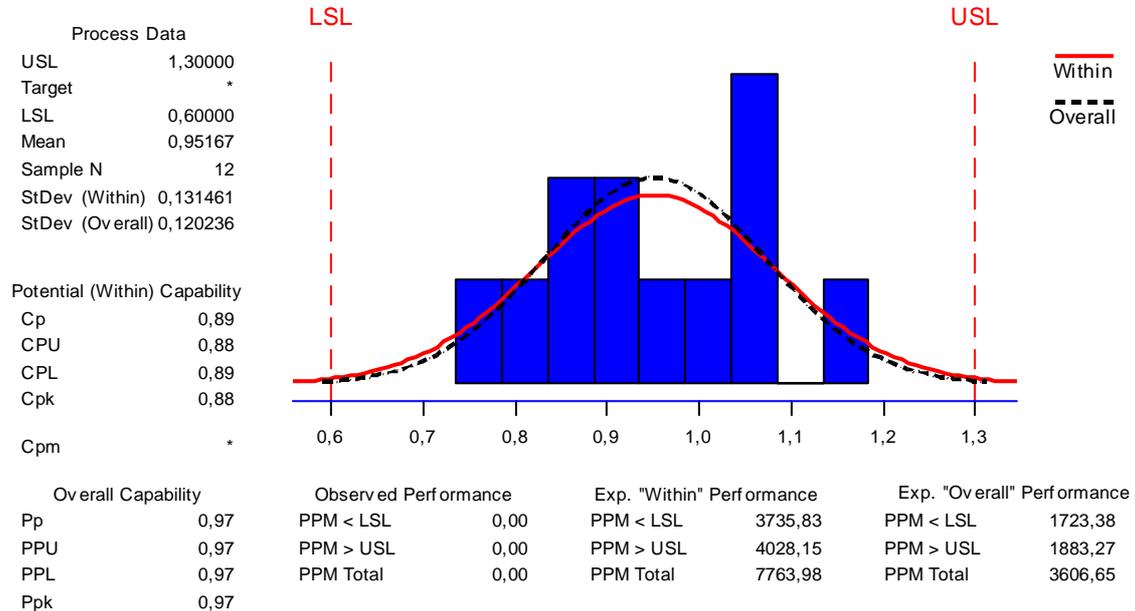


Figura 14

CONCLUSIONES

Una vez finalizado el proyecto se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se identificaron las características que le dan un mayor valor a la paja toquilla que son color, resistencia y elasticidad
- Se identificaron las variables críticas del proceso de secado que afectan a estas características, como son temperatura, velocidad de viento y humedad.
- Al realizar el diseño de experimentos y el análisis de superficie de respuesta se llegó a encontrar parámetros de diseño que permiten secar la paja toquilla en un menor tiempo y manteniendo una calidad dentro de los parámetros requeridos por los clientes.
- La disminución en el tiempo de secado ayuda a la mejora general del proceso en tres aspectos, el tiempo de trabajo en proceso, costos y calidad. El tiempo de trabajo en proceso es el más notorio, ya que se disminuye el tiempo de un proceso que antes tomaría promedio 24 horas con las nuevas especificaciones tomara 1 hora y media

REFERENCIAS

a) Libro

- 1 Maynard Manual del Ingeniero Industrial (Cuarta edición McGraw Hill) Pág. 3 Pág. 17
- 3 Factory Physics (segunda edición McGraw Hill) Pág. 4 Pág. 25
- 4 J. Cornell, "How to Apply Response Surface Methodology" ASQC 1990
- 5 Design for six sigma (Primera Edición Pearson Education Limited)
- 6 G. Eckes, "Six Sigma For Everyone", 2003, Jon Willey & Son, pp 1 - 123
- 7 S. Chodhury, "Design for six sigma", Editorial Prentice Hall primera edición
- 8 Robbins, "Comportamiento Organizacional", Editorial McGraw Hill Cuarta Edición,
- 9 T. M. Little, "Métodos Estadísticos para la investigación en la agricultura", Jackson Hills Editorial Trillas, Tercera Edición

b) Reporte Técnico

10 "PROYECTO DE MEJORA EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA PAJA TOQUILLA, Empresa Juvenil de la ESPO, Año 2004

11 Erie Works en General Electric Company, Time Study Manual, Número de observaciones mínimas recomendadas para actividades de duración mayor de 40 minutos.

c) Artículo

12 G. Gack, "DFSS and DMAIC diferencias y similitudes" , 2003

13 M. J. Kiemele "Using the Design for Six Sigma (DFSS) Approach to Design, Test, and Evaluate to Reduce Program Risk", 2003

14 G. H. Mazzur "QFD in Support of DFSS", 2005