

# DISEÑO FACTORIAL MIXTO PARA CONTROL DE TEMPERATURAS EN LAS INYECTORAS DEL PROCESO PRODUCTIVO DE CALZADO.

## MIXED FACTORIAL DESIGN FOR CONTROL OF TEMPERATURES IN THE INJECTION MACHINES OF THE FOOTWEAR PRODUCTION PROCESS.

Julio Moyano Alulema<sup>1</sup>, Carlos Santillán Mariño<sup>1</sup>, José Sánchez Acevedo<sup>1</sup>,  
Mery Rea Tixilema<sup>1</sup>, Ángel Guaman Lozano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Ecuador

e-mail: j\_moyano@esPOCH.edu.ec<sup>1</sup>; carlos.santillan@esPOCH.edu.ec<sup>1</sup>; anthonydami70@gmail.com<sup>1</sup>;  
elizabethrea19930603@gmail.com<sup>1</sup>; angel\_lzn88@hotmail.com<sup>1</sup>

**Recibido:** 18/09/2017

**Aceptado:** 20/05/2018

**Código Clasificación JEL:** C9, C90, C93, C99

### RESUMEN

Las empresas manufactureras de cualquier tipo buscan nuevas formas de optimización de sus procesos, con la aplicación de nuevos métodos de trabajo en el caso de la producción de calzado es controlar la variabilidad de temperaturas de las diferentes zonas de las inyectoras, así la máquina INY2 contiene temperaturas como Z1(155-175°C), Z2(180-200°C), Z3(190-210°C) y Z4(115-125°C), la máquina INY1 con temperaturas de Z1(155-175°C), Z2(190-200°C), Z3(195-205°C) y Z4(110-130°C) las que al no estar controladas provocan imperfecciones en el calzado; para solucionar este problema se utiliza el diseño factorial con Minitab, obteniendo resultados que van a controlar el sistema de una manera eficiente, las temperaturas óptimas para el proceso son las siguientes: para la máquina INY2 de Z1(165°C), Z2(190°C), Z3(200°C) y Z4(120°C) y la máquina INY1 de Z1(165°C), Z2(195°C), Z3(200°C) y Z4(120°C). De igual forma se realiza el análisis del control de fallas, calculando inicialmente en INY2 e INY1 en las zonas 1, 2, 3,4 con un valor menor a 1,33 siendo inadecuada, por lo que al realizar el diseño de experimentos se procede al control respectivo.

**Palabras clave:** variabilidad, Diseño Factorial, Diseño de experimentos, Temperatura, Proceso

### ABSTRACT

Manufacturing companies of any kind seek new ways of optimizing their processes, with the application of new methods of work in the case of footwear production is to control the temperature variability of the different areas of the injectors, so the INY2 machine contains temperatures such as Z1 (155-175 ° C), Z2 (180-200 ° C), Z3 (190-210 ° C) and Z4 (115-125 ° C), the machine INY1 with temperatures of Z1 (155-175 ° C), Z2 (190-200 ° C), Z3 (195-205 ° C) and Z4 (110-130 ° C) which, when not controlled, cause imperfections in the footwear; To solve this problem the factorial design with Minitab is used, obtaining results that will control the system in an efficient way, the optimum temperatures for the process are the following: for the INY2 machine of Z1 (165 ° C), Z2 (190 ° C), Z3 (200 ° C) and Z4 (120 ° C) and the machine INY1 of Z1 (165 ° C), Z2 (195 ° C), Z3 (200 ° C) and Z4 (120 ° C). Similarly, the analysis of the fault control is performed, initially calculating in INY2 and INY1 in zones 1, 2, 3,4 with a value less than 1.33 being inadequate, so when performing the design of experiments we proceed to the respective control

**Key words:** variability, Factorial Design, Design of experiments, Temperature, Process



## INTRODUCCIÓN

Para la producción de calzado en la empresa se realizaba el pegado de forma tradicional, cortando la materia prima mediante moldes, luego las piezas se unen para formar un zapato y acoplar a la base con tachuelas, actualmente se instalaron máquinas semiautomáticas para realizar la inyección del calzado pero con la modernización del método actual el control del proceso no se logra estabilizar en lo referente a las temperaturas óptimas para obtener un producto de calidad, con este nuevo método se pretende garantizar que el sistema sea el adecuado obteniendo los mejores resultados en la cadena productiva. (Noyola, 2004)

Uno de los elementos para la producción es los plásticos, desde su descubrimiento se han convertido en uno de los principales materiales para la fabricación de varios artículos, no sólo por su versatilidad sino por la facilidad de incorporar diferentes elementos para obtener propiedades específicas. Esta característica es clave para haberle permitido entrar en un gran número de mercados y aplicaciones, sin disminuir el dinamismo que siempre ha poseído este sector del calzado. (Juárez, Balart, & Ferrándiz, 2012)

Actualmente en las empresas utilizan el diseño experimental como técnica, que mediante las variables controlables se puede medir el efecto o la variable respuesta. (Fernandez, 2008), los diseños experimentales no solo en una empresa de alto nivel, sino que también se pueden realizar en base a lo que se quiere obtener y como solucionador de problemas, esta herramienta es técnicamente un estudio ordenado de experimentos para encontrar, analizar y alcanzar una respuesta deseada. Mediante la aplicación de un diseño factorial mixto, se realiza un análisis de los factores (Gutierrez, 2008) que influyen en la temperatura de las inyectoras, donde se pueda determinar las mejores condiciones de operación para realizar la inyección de calzado de la mejor manera posible. Un diseño de experimentos (DOE) incluye 8 puntos de prueba replicados para evaluar los efectos primarios de las operaciones, ajustándose siempre se a los resultados experimentales. (Longfei Chen, 2016), Al utilizar las herramientas del diseño experimental para solucionar problemas como una baja productividad, mala calidad de los productos, si se aplica en la empresa generara beneficios como aumento de productividad, incremento de utilidades, mejoramiento de la calidad.

El DOE es una técnica que consiste en realizar una serie de experimentos en los que se inducen cambios deliberados en las variables de un proceso, de manera que es posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida. (Izarbe, Tanco, Viles, & Álvarez, 2007), conocido por una serie de pasos que se debe dar para crear un experimento científico, es decir, para responder una pregunta, para llegar a una verdad, para confirmar la veracidad o la falsedad de una hipótesis. (Gutierrez, 2008).

El experimento es un estudio en el que se manipulan deliberadamente una o más variables (independientes), con el objetivo de analizar su efecto sobre otras (dependientes), determinando las relaciones causa-efecto en el marco de una situación controlada de sus elementos principales, partiendo de la observación, generando Hipótesis: hipótesis nula ( $H_0$ ) e hipótesis alternativa ( $H_1$ ), realizando el estudio en una muestra de tal forma que los resultados describen cuáles fueron las relaciones observadas entre las variables (si los valores de la variable independiente realmente influyeron significativamente sobre los de la variable dependiente, si hubo tantas variables extrañas como se pensaba o si surgieron otras), para lo cual se añaden a dicha descripción tanto gráficas de barras, de pastel y cuadros. (Gutierrez, 2008).

Para ello las hipótesis planteadas son las siguientes:

- $H_0$ : Con la aplicación del diseño experimental no se controlara el proceso.
- $H_1$ : Con la aplicación del diseño experimental si se controlara el proceso.
- $H_0$ : La temperatura en la zona 1, 2, 3, 4 no influye en la falta de control del proceso.
- $H_1$ : La temperatura en la zona 1, 2, 3, 4 influye en la falta de control del proceso.

Para la verificación se emplea el control estadístico de procesos (CEP) que es una herramienta

estadística que es útil para conseguir que un proceso proporcione un producto que cumpla con las especificaciones requeridas por el cliente. Cualquier proceso, independientemente de lo bien diseñado que esté y lo cuidadoso que se sea para operarlo y controlarlo, siempre contará con cierta variabilidad inherente o natural, que no se puede evitar. (Hernández, Gonzáles, & Ruiz, 2011)

Un sistema de control del proceso puede definirse como un sistema de realimentación de la información en el que tiene los siguientes elementos fundamentales:

### **Información Sobre el Comportamiento**

El proceso de producción incluye no solo los productos elaborados, sino también los “estados” intermedios que definen el estado operativo del proceso tales como temperaturas. Si esta información se recopila e interpreta correctamente, podrá indicar si son necesarias medidas para corregir el proceso o la producción que se acaba de obtener. No obstante, si no se toman las medidas adecuadas y oportunas, todo el trabajo de recolección de información será un trabajo perdido” (Ruiz & Rojas, 2006).

### **Actuación Sobre el Proceso**

Estas medidas consisten en la modificación de las operaciones o en los elementos básicos del proceso mismo. Debe llevarse un control sobre el efecto de estas medidas, realizándose posteriores análisis y tomando las medidas que se estimen necesarias.

### **Actuación sobre la Producción**

Si los productos fabricados no satisfacen las especificaciones, será necesario clasificarlos y retirar o reprocesar aquellos que no están conformes con las especificaciones. Este procedimiento deberá continuar hasta haberse tomado las medidas correctoras necesarias sobre el proceso y haberse verificado las mismas, o hasta que se modifiquen las especificaciones del producto.

## **METODOLOGÍA**

La metodología aplicada es el de Diseño de Experimentos, que mediante corridas aleatorias controladas se determinan las combinaciones de temperatura en las cuatro zonas de estudio, luego dirigirse a la estación de trabajo con las hojas de toma de datos y poder realizar un registro de los valores a cada corrida efectuada en las máquinas DE-09 INY2 y DE-11 INY 1, tomándose en cuenta los parámetros establecidos del análisis referido con anterioridad, se insertan en el programa minitab los datos necesarios y proceder a correrlo, proporcionando gráficas de efectos principales, la de cubos, las mismas que indican los límites superior e inferior y la meta que debe poseer, estos resultados se trasladan al optimizador de respuestas en la que se visualiza como solución las temperaturas de las cuatro zonas para de esta manera controlar el sistema y tener un producto de calidad, evitando pérdidas de material y económica para la empresa. El diseño fue realizado mediante pruebas de campo aleatorizadas, resueltas en el programa minitab. Las unidades a utilizar para el control de la temperatura son tomadas en grados Celsius.

## **RESULTADOS**

El diseño de experimentos en minitab es donde automáticamente el programa lanza las aleatorizaciones de temperatura para las pruebas, la tabla de estos datos tomados en campo son las especificadas en la figura 1. DE-09 INY2. Tabla de aleatorización figura 1 es controlada de las temperaturas de las cuatro zonas.

**Figura1: temperatura controlada en las 4 zonas**

Experimentos	Combinaciones				Condiciones			
	Experimento	T Zona 1	T Zona 2	T Zona 3	T Zona 4	T Zona 1	T Zona 2	T Zona 3
1	-	-	-	-	155	180	190	115
2	+	-	-	+	175	180	190	125
3	-	+	-	+	155	200	190	125
4	+	+	-	-	175	200	190	115
5	-	-	+	+	155	180	210	125
6	-	-	+	-	175	180	210	115
7		+	+	-	155	200	210	115
8	+	+	+	+	175	200	210	125

Fuente: Elaboración propia

Resultados de las respuestas de temperatura material, agujeros, inyección incompleta, ciclo, tiempo de carga, tiempo de descarga, prueba de despegue y temperatura de suela registradas en la figura2. Necesarias para encontrar y optimizar la temperatura para mejorar la fabricación. (Nota: Desde suela incompleta hasta inyección incompleta son defectos que se producen en el producto final y pueden o no salir en las pruebas).

**Figura 2: temperatura material, agujeros, inyección incompleta, ciclo, tiempo de carga, tiempo de descarga, prueba de despegue y temperatura de suela**

Respuestas							
Temperatura Material (C)	Suela Incompleta (UND)	Despegues (UND)	Rechupe (UND)	Burbuja (UND)	Agujeros (UND)	Inyeccion Incompleta en bandelete (UND)	Material quemado
186,4						1	
185							
183,5							
188,3							
189,8							
188,2					2		
190,1					1		
188,6							

Variables	Max	Min
T Zona 1	175	155
T Zona 2	200	180
T Zona 3	210	190
T Zona 4	125	115

Constantes	
Presión	49 Psi
Velocidad	99 rpm
Volumen	69 m3
Tiempo de apoyo	1 min
Presión dinámica	29 Pa

Talla	37
Estación	10

Ciclo	Tiempo de carga	Tiempo de Descargar	Prueba de despegue	Temperatura de la suela	Total producido (UND)
13,4	7,5	3,3	26,5	51,5	24
13,6	7,9	3,5	30,7	48,9	24
13,7	8,7	4,4	37,9	53,6	24
13,7	7,3	3,6	32,9	52,4	24
13,5	7,9	3,3	32,5	56,2	24
13,5	8,2	3,8	33,4	56,2	24
13,8	7,9	3,2	36,7	59,6	24
13,7	8,8	3,2	39,2	58,6	24

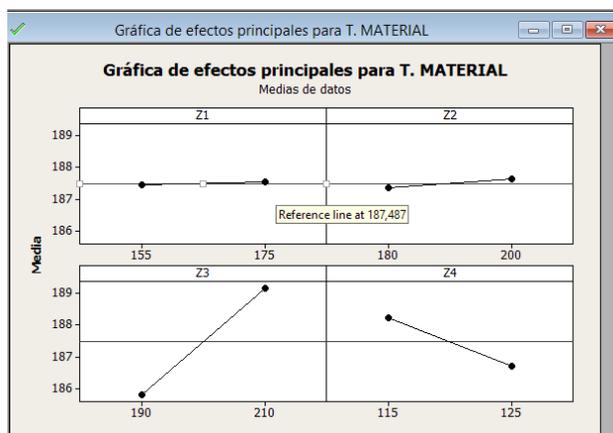
Fuente: Elaboración propia

Estas son las combinaciones, condiciones y resultados que se deben ingresar al programa MINITAB para que en el DISEÑO DE EXPERIMENTOS (DOE) de este programa arrojen los resultados que serán los óptimos para la inyectora analizada.

Después de ingresar los resultados en MINITAB, se obtienen las gráficas necesarias que este caso son la de cubos, la que proporciona los límites de los resultados y la de efectos principales que nos da las metas necesarias para encontrar las temperaturas óptimas de producción. DE-09 INY2

El gráfico de efectos principales ilustrado en la figura4, indica las diferentes metas de las respuestas para el optimizador.

Figura4: temperatura de respuesta



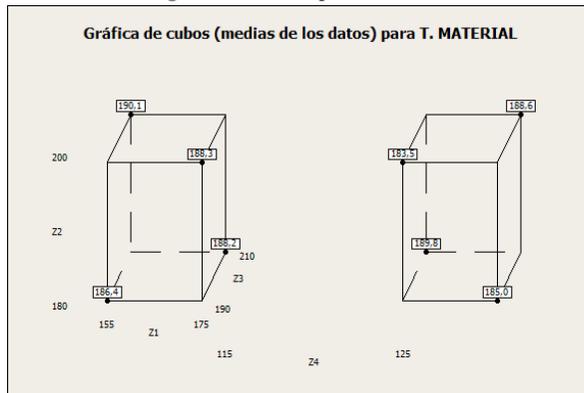
Fuente: Elaboración propia

- Temperatura del Material es de (187,48°C).
- Agujeros es de (0,375).
- Inyección Incompleta es de (0,125).
- Ciclo es de (13,61 min)
- Prueba de Despegues es de (33,714 kgf).
- Tiempo de Carga es de (8,025 min).
- Tiempo de Descarga es de (3,538 min).
- Temperatura de Suela es de (54,625°C).

Continuando con el análisis el gráfico de cubos figura5, indica los límites superior e inferior de las diferentes respuestas para el optimizador de respuesta detalladas a continuación:

- Temperatura de Material es de (LS= 190,1; LI= 183,5).
- Agujeros es de (LS= 2; LI= 0).
- Inyección Incompleta es de (LS= 1; LI= 0).
- Ciclo es de (LS= 13,8; LI= 13,4).
- Tiempo de Carga es de (LS= 8,8; LI= 7,3).
- Tiempo de Descarga es de (LS= 4,4; LI= 3,2).
- Temperatura de Suela es de (LS= 59,6; LI= 48,9).
- Prueba de Despegues es de (LS= 39,2; LI= 26,46).

**Figura5: límites superior e inferior**

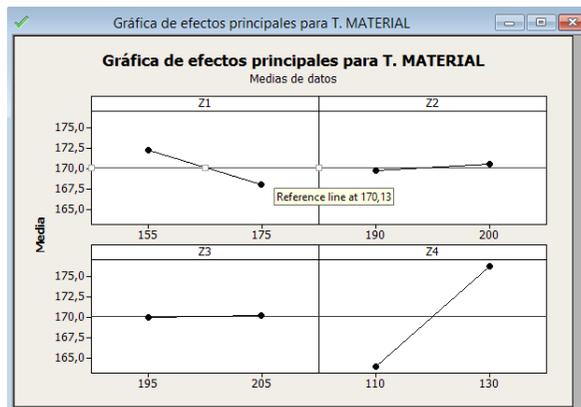


**Fuente: Elaboración propia**

DE-11 INY1

El gráfico de efectos principales que muestra la figura 6 son las diferentes metas de las respuestas para el optimizador:

**Figura 6: metas de respuesta DE-11INY1**



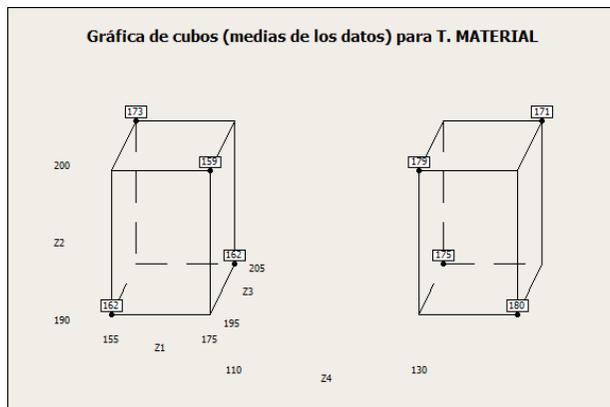
**Fuente: Elaboración propia**

- Temperatura de Material es de (1170,13 °C).
- Ciclo es de (12,88 min).

- Tiempo de Carga es de (5,78 min).
- Tiempo de Descarga es de (2,6 min).
- Prueba de Despegues en este caso es de (29,44 kgf).

El gráfico7 de cubos proporciona los límites superior e inferior de las diferentes respuestas para el optimizador de respuesta que para el caso son:

**Figura7: límites superior e inferior**



Fuente: Elaboración propia

- Temperatura de Material es de (LS= 180; LI= 159).
- Ciclo es de (LS= 14,1; LI= 12).
- Tiempo de Carga es de (LS= 7,7; LI= 4,6).
- Tiempo de Descarga es de (LS= 3,1; LI= 2,2).
- Prueba de Despegues es de (LS= 33,06; LI= 26,1).

## DISCUSIÓN

Una vez encontrados los límites de la suela, despegue, descarga, carga, ciclo y las metas de los resultados, que aparecen en la Figura 8:

**Figura8: límites y las metas de resultados**

DE-11 INY1					
	P.DESPEGUES	T.DESCARGA	T.CARGA	CICLO	T. MATERIAL
<b>MIN</b>	26,1	2,2	4,6	12	159
<b>PROM</b>	29,44	2,6	5,78	12,88	170,13
<b>MAX</b>	33,06	3,1	7,7	14,1	180

DE-11 INY2							
	T.SUELA	P.DESPEGUES	T.DESCARGA	T.CARGA	CICLO	DESPEGUES	T. MATERIAL
<b>MIN</b>	50,1	15,8	2,7	8	13,2	0	151
<b>PROM</b>	52,78	24,81	2,99	9,08	13,53	5,13	168,8
<b>MAX</b>	55,8	28,36	3,3	11,8	13,8	28	189

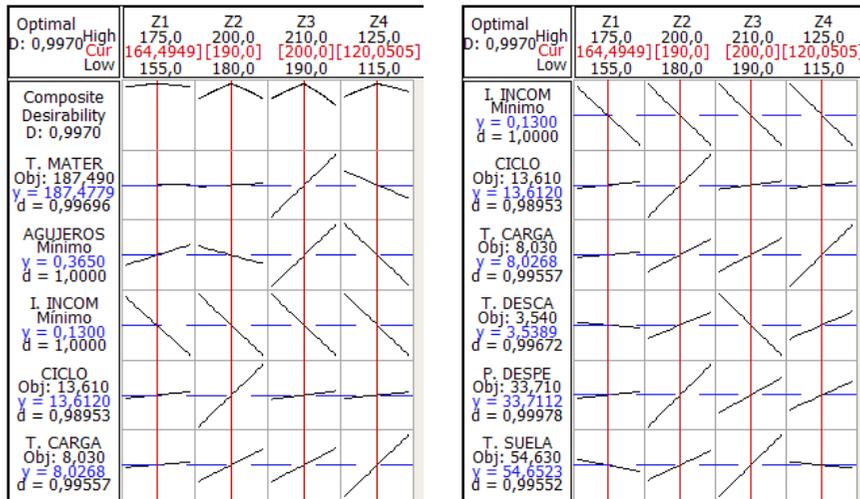
Fuente: Elaboración propia

Estos resultados se ingresan al programa minitab-doe, en el optimizador de respuestas se selecciona la meta, de forma igual se despliega una ventana, donde se puede mantener el objetivo, minimizar o maximizar en el caso de que sea necesario, la gráfica de optimización de las cuatro zonas de las inyectoras donde se ejecuta el estudio con la deseabilidad optima se ilustra en la figura9.

DE-09 INY2

Cuadro de optimización para la DE-09 con una deseabilidad del 0,997.

Figura 9 : Optimizador de respuestas



Fuente: Elaboración propia

Las temperaturas óptimas para cada zona son:

- Zona 1: 164 °C
- Zona 2: 190 °C
- Zona 3: 200 °C
- Zona 4: 120 °C

DE-11 INY1

Cuadro de optimización para la DE-09 con una deseabilidad del 1. Las temperaturas óptimas para el caso de estudio de la inyectora son:

- Zona 1: 165 °C
- Zona 2: 195 °C
- Zona 3: 200 °C
- Zona 4: 120 °C

Mediante la utilización del programa Diseño de Experimentos de minitab se ha encontrado las temperaturas de utilización óptimas en las 4 zonas de las inyectoras de las cuales las muestras escogidas aleatoriamente y controladamente han sido ingresadas de forma que los datos tomados de las máquinas indican las temperaturas óptimas de trabajo.

Mediante el análisis en el desarrollo de Diseño de Experimentos de minitab se llegó a obtener las siguientes temperaturas que se consideran óptimas para el control del proceso de Inyección del calzado con su respectiva Deseabilidad de uno o cercano a 1.

Máquina	Inyector	Deseabilidad
DE-09	2	0,9970
DE-11	1	1

Z1	Z2	Z3	Z4
164 °C	190 °C	200 °C	120 °C
165 °C	195 °C	200 °C	120 °C

## CONCLUSIONES

El diseño de experimentos es una herramienta muy importante para realizar el control de la producción y disminuir productos de mala calidad

Las temperaturas óptimas para controlar el proceso son Zona 1: 165 °C , Zona 2: 195 °C, Zona 3: 200 °C, Zona 4: 120 °C

Con el análisis realizado se obtuvo las temperaturas óptimas para la máquina DN-09 INY2 tenemos en la zona1 de 164°C, zona2 190°C, zona3 200°C y zona4 120°C y de la máquina DN-11 INY01 tenemos en la zona1 de 165°C, zona2 195°C, zona3 200°C y zona4 120°C.

La deseabilidad requerida para la máquina DN-09 INY2 de 0.9970 y de la máquina DN-11 INY01 de 1, que indica que el proceso de fabricación de calzado de lona está controlado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Fernandez, N. (2008). Diseños de experimentos en tecnología y control. 14-19.

Gutierrez, H. (2008). Analisis y Diseño de Experimentos. Mexico: McGraw Hill.

Hernández, L., Gonzáles, M., & Ruiz, D. (2011). Control estadístico de procesos en tiempo real de un sistema de endulzamiento de gas amargo. Tecnología, Ciencia, Educación, 57-62.

Ilzarbe, L., Tanco, M., Viles, E., & Álvarez, M. (2007). El diseño de experimentos como herramienta para la mejora de los procesos. Tecnura, 127-130.

Juárez, D., Balart, R., & Ferrándiz, S. (2012). Estudio y análisis del moldeo por inyección de materiales termoplásticos. 3Ciencias, 2-4.

Longfei Chen, Y. M. (2016). Quantifying the effects of operational parameters on the counting. Journal of Aerosol Science, 2-4.

Montgomery, D. (2004). Diseño y analisis de experimentos. Mexico: Limusa.

Noyola, F. T. (2004). Calzado. Estudios de Calzado. México: Edomex.

Ruiz, A., & Rojas, F. (2006). Control estadístico de procesos. Madrid: Universidad Pontificia de Comillas. Obtenido de <http://web.cortland.edu/matresearch/ControlProcesos.pdf>

Saima Farooqa, A. S. (2016). Process optimization studies of crystal violet dye adsorption onto novel. Journal of Water Process Engineering, 2-3.