

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

**Propuesta de optimización del proceso de lacado de muebles en
la fábrica AHCORP, a través de la implementación de la
metodología DMAIC**

Alejandro Sebastián Iñiguez Torres

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de
Ingeniero Industrial

Quito
Mayo de 2011

**Universidad San Francisco de Quito
Colegio de Ciencias e Ingeniería**

HOJA DE APROBACION DE TESIS

**Propuesta de optimización del proceso de lacado de muebles en la fábrica AHCORP,
a través de la implementación de la metodología DMAIC**

Alejandro Sebastián Iñiguez Torres

Ximena Córdova, Ph.D.
Directora de Tesis

Verónica León, MSc.
Miembro del comité de Tesis

Daniel Merchán, MSc.
Miembro del comité de Tesis

Fernando Romo, MSc.
Decano Colegio de Ciencias e Ingeniería
Miembro del comité de Tesis

Quito, Mayo de 2011

© Derechos de Autor
Alejandro Sebastián Iñiguez Torres
2011

Dedicatoria.

Dedicado a mi padre, madre, abuelitos, hermano y a mi primo Marcelo. Por su ayuda y ejemplo. Son lo mejor que hay en mi vida.

Resumen

Se aplicó la metodología “DMAIC” en la empresa AHCORP, con miras a optimizar el proceso cuello de botella y reducir costos. La empresa fabrica muebles de lujo para un foco de mercado de clientes con alto poder adquisitivo. Se analizaron los procesos de la empresa para determinar el cuello de botella y la variable crítica para la calidad, esta fue el reproceso del mueble en el área de lacado. Se realizó un análisis y medición del proceso y se determinó las causas raíz que producían los reprocesos más incidentes. Se realizaron posteriormente varios análisis: un diseño de experimentos para determinar las causas significativas para los reprocesos; un estudio del sitio de trabajo para mejorar un reproceso que no encajaba en el diseño de experimentos; una simulación del proceso de lacado para comprobar la eficiencia del proceso. El resultado del proyecto es una propuesta de valor evaluada mediante un análisis de rentabilidad, para facilitar a los directivos de la empresa la toma de decisiones respecto a la implantación de las soluciones propuestas.

Abstract

The graduation project pretends to implement “DMAIC” methodology in AHCORP with the purpose of optimize the process bottlenecks and reduce costs. The company produces high quality furniture for a high purchasing power target. The processes were analyzed, so the bottleneck and the critical to quality variable were determined as the rework in the lacquer process. A measurement and analysis of the lacquer process was performed in order to determine the most incident reworks and their main causes. Subsequently some techniques were applied, such as: DOE (design of experiments) to determine the significant rework´s causes, a work station analysis to improve a rework that did not fit in the DOE, a simulation of the lacquer process to check the process efficiency. The results of the project sets out three improvement propositions along with a profitability analysis, in order to help AHCORP executives to take a decision whether implement or not the proposals delivered in this project.

Tabla de contenidos

1. Introducción	1
2. Objetivos	2
2.1.Objetivo Principal.	2
2.2.Objetivos específicos.	2
3. Marco Teórico	3
3.1.Análisis de filosofía Seis Sigma para modelos de calidad de procesos industriales	3
3.2.Metodología de implementación de Seis Sigma.	5
3.2.1.Definir el proyecto	5
3.2.2.Medir la situación actual	7
3.2.3.Analizar las causas raíz	9
3.2.4.Mejorar las CTQ	9
3.2.5.Controlar el proceso	10
3.3.Diseño de experimentos (DOE).	10
3.3.1.Principios básicos de la experimentación	11
3.3.2.Definiciones básicas del DOE.	12
3.3.3.Método general para diseñar experimentos.	14
3.3.4.Diseño factorial 2^3 .	17
3.3.5.Modelo estadístico de regresión.	18
3.3.6.Uso de métodos estadísticos en la experimentación.	19
3.4.Análisis del sitio de Trabajo.	20
3.5.Simulación.	22
3.5.1.Elección del tamaño de muestra.	25
3.5.2.Truncamiento	26
4. Definición del proyecto Seis Sigma en la fábrica de muebles AHCORP.	28

4.1.Introducción a la empresa y sus productos.	28
4.1.1.SIPOC de la empresa AHCORP (definición de la cadena de suministro del proceso de fabricación de muebles)	29
4.2.Explicación de actividades de producción de muebles.	31
4.2.1.Detalle de los procesos de la fábrica AHCORP.	31
4.2.2.Análisis cualitativo de la relación del proceso con el nivel de satisfacción del cliente.	33
4.2.3.Análisis de la voz del cliente de AHCORP y determinación de factores críticos de la calidad (VCC)	38
4.3.Definición y análisis de alcance del proyecto.	39
4.3.1.Detalle de la información recopilada de la empresa sobre desperdicios y reprocesos.	39
4.3.2.Identificación del proceso cuello de botella y crítico para la calidad del producto.	44
4.4.Análisis detallado del proceso crítico de producción de muebles en AHCORP.	44
4.4.1.Diagrama del Proceso de Lacado.	44
4.4.2.SIPOC del proceso de lacado (proveedores, entradas, procesos, salidas, clientes)	45
4.4.3.Detalle de actividades del proceso de lacado.	46
5. Medición y análisis del problema del proceso crítico de AHCORP.	48
5.1.Detalle y análisis de los problemas en la producción.	48
5.1.1.Análisis cualitativo de los CTQ's.	49
6. Análisis de causas y efectos principales.	59
6.1.Determinación de causas raíz de problemas críticos.	59
6.2.Análisis de relaciones de causas.	65
6.3.Análisis cuantitativo de capacidad para las causas raíz.	70
6.3.1.Humedad del mueble	70
6.3.2.Igualado de color	76
6.4.Análisis experimental de los efectos influyentes en los problemas	

críticos.	79
6.4.1. Identificación y enunciación del problema.	79
6.4.2. Elección de factores, niveles y rangos.	80
6.4.3. Selección de la variable de respuesta.	84
6.4.4. Elección del diseño experimental.	84
6.4.5. Realización del experimento.	85
6.4.5.1. Preparación de los materiales.	87
6.4.5.2. Realización de las corridas	88
6.4.5.3. Análisis de los resultados	89
6.4.6. Análisis estadístico de los datos.	91
6.4.6.1. "Supervisor 1"	91
6.4.6.2. Supervisor 2	100
6.4.6.3. "Supervisor 3"	110
6.4.7. Conclusiones del diseño.	119
6.5. Análisis del problema de "golpes en el área de tapicería".	120
6.5.1. Análisis del puesto de trabajo.	121
6.5.1.1. Registro de datos.	121
6.5.1.2. Observación y recorrido	122
6.5.1.3. Registro de las actividades	124
6.5.1.4. Medición del trabajador y estación de trabajo.	125
6.5.1.5. Evaluación y análisis.	126
7. Mejora del proceso de lacado.	127
7.1. Simulación del proceso actual.	127
7.1.1. Elección del tamaño de muestra.	128
7.1.2. Medición de los datos	133
7.1.3. Realización del modelo	137

7.1.3.1.Detalle del modelo	140
7.1.3.2.Parámetros de las corridas (Run Setup)	142
7.2.Resultados	145
7.3.Comparación entre los tres escenarios.	149
8. Resultados y Discusión	159
8.1.Propuesta de valor y análisis de reducción de costos.	159
9. Conclusiones	165
10.Recomendaciones	170
11.Bibliografía	172
12.Glosario de Términos	174

Lista de tablas

Tabla 1: Diagrama de Afinidad para medir influencia de factores de calidad en procesos de AHCORP	37
Tabla 2: Detalle de VOC, CCR, VCC.	38
Tabla 3: Reprocesos en los procesos productivos tomado en los meses marzo y abril del 2010.	40
Tabla 4: Detalle del tipo de reprocesos en el proceso de embalaje tomado en los meses marzo y abril del 2010.	41
Tabla 5: Reprocesos en los procesos productivos tomado en los meses marzo y abril del 2010 (modificado).	43
Tabla 6: Cantidad de defectos en el proceso de lacado.	53
Tabla 7: Cálculo de costos totales por hora de producción en AHCORP.	56
Tabla 8: Análisis de las fallas incidentes en el proceso de lacado.	57
Tabla 9: Matriz de análisis de datos de reprocesos en el área de lacado.	69
Tabla 10: Prueba de bondad de ajuste para los datos de humedad de la madera	73
Tabla 11: Tabla de los factores y niveles del Diseño de experimentos	85
Tabla 12: Modelo del diseño experimental.	87
Tabla 13: Modelo del Diseño experimental con resultados de cada variable de respuesta	90
Tabla 14: ANOVA para Modelo Factorial, Response1: Supervisor 1	93
Tabla 15: Tabla de coeficientes e intervalos de confianza, Response1: Supervisor 1	98
Tabla 16: ANOVA para Modelo Factorial, Response2: "Supervisor 2"	102
Tabla 17: Tabla de coeficientes e intervalos de confianza, Response2: "Supervisor 2"	107
Tabla 18: ANOVA para Modelo Factorial, Response3: "Supervisor 3"	112
Tabla 19: Tabla de coeficientes e intervalos de confianza, Response3: "Supervisor 3"	117
Tabla 20: Detalle de muebles y su frecuencia de producción entre 31/ago/2010 - 27/sept/2010.	129

Tabla 21: Detalle de muebles agrupados con su frecuencia acumulada.	131
Tabla 22: Detalle de muebles que van a ser medidos con su frecuencia acumulada y tiempos estimados.	132
Tabla 23: Cálculo del tamaño de muestra para la simulación a partir de datos históricos de producción.	134
Tabla 24: Cálculo del número de replicaciones para la simulación a partir del output del TIS.	144
Tabla 25: Tiempos de espera promedio.	147
Tabla 26: Utilización promedio de los recursos.	147
Tabla 27: Unidades terminadas (promedio).	148
Tabla 28: escenarios.	150
Tabla 29: Unidades terminadas (promedio) comparación de escenarios.	151
Tabla 30: Tiempos de espera promedio para los escenarios.	151
Tabla 31: Porcentaje de utilización promedio para los escenarios.	153
Tabla 32: Tiempos de proceso promedio para los escenarios.	157
Tabla 33: Análisis Costo-Beneficio para propuesta de valor tipo de masilla.	160
Tabla 34: Análisis Costo-Beneficio para propuesta de reubicación mesas de tapizado.	162
Tabla 35: Análisis Costo-Beneficio para propuesta de aumento de personal.	164

Lista de gráficos

Gráfica 1: Gráfica del total de quejas de clientes registradas en los años 2009 - 2010 en AHCORP	35
Gráfica 2: Diagrama de Pareto de los procesos productivos de AHCORP y su número de reprocesos.	40
Gráfica 3: Diagrama de Pareto del número de reprocesos en el procesos de embalaje.	42
Gráfica 4: Diagrama de Pareto de los procesos productivos de AHCORP y su número de reprocesos (Modificado).	43
Gráfica 5: Nivel y porcentaje de incidencia de los defectos en el proceso de lacado de la producción de muebles.	54
Gráfica 6: Diagrama de causa-efecto para el problema de laca chorreada	60
Gráfica 7: Diagrama de causa-efecto para el problema de masillas rechupadas	61
Gráfica 8: Diagrama de causa-efecto para el problema de igualado de color	62
Gráfica 9: Diagrama de causa-efecto para el problema de golpes en tapicería	63
Gráfica 10: Diagrama de causa-efecto para el problema de falla de fábrica	64
Gráfica 11: Diagrama de causa-efecto para el problema de lijado.	65
Gráfica 12: Diagrama de afinidad para el problema de reprocesos en el área de lacado.	68
Gráfica 13: Resumen de datos y prueba de normalidad para la humedad de la madera	72
Gráfica 14: Análisis de la capacidad de la “humedad de la madera”	74
Gráfica 15: Prueba de normalidad para la intensidad de color de la madera	77
Gráfica 16: Sixpack de la capacidad de la “intensidad de color de la madera”	78
Gráfica 17: Diagrama de flujo del procedimiento de realización de las corridas del experimento	86

Gráfica 18: Pareto Chart de los factores para la VR Supervisor 1	92
Gráfica 19: Gráfica de mitad de probabilidad normal para VR Supervisor 1	93
Gráfica 20: Gráfica de los residuales vs. Los predichos para Response1: Supervisor 1	96
Gráfica 21: Gráfica normal de los residuales para Response1: Supervisor 1	97
Gráfica 22: Gráfica de residuos versus corrida para Response1: Supervisor 1	98
Gráfica 23: Gráfica de un factor para masilla. Response1: Supervisor 1	100
Gráfica 24: Pareto Chart de los factores para la VR "Supervisor 2"	101
Gráfica 25: Gráfica de mitad de probabilidad normal para VR "Supervisor 2"	102
Gráfica 26: Gráfica de los residuales vs. Los predichos para Response1: "Supervisor 2"	105
Gráfica 27: Gráfica normal de los residuales para Response2: "Supervisor 2"	106
Gráfica 28: Gráfica de residuos versus corrida para Response2: "Supervisor 2"	107
Gráfica 29: Gráfica de un factor para masilla. Response2: "Supervisor 2"	109
Gráfica 30: Gráfica de cubo. Response2: "Supervisor 2"	110
Gráfica 31: Pareto Chart de los factores para la VR "Supervisor 3"	111
Gráfica 32: Gráfica de mitad de probabilidad normal para VR "Supervisor 3"	112
Gráfica 33: Gráfica de los residuales vs. Los predichos para Response3: "Supervisor 3"	115
Gráfica 34: Gráfica normal de los residuales para Response1: "Supervisor 3"	116
Gráfica 35: Gráfica de residuos versus corrida para Response3: "Supervisor 3"	117
Gráfica 36: Gráfica de un factor para masilla. Response3: "Supervisor 3"	119

Gráfica 37: Layout del área de tapizado.	125
Gráfica 38: Gráfica de Pareto del detalle de productos y frecuencias de la tabla 20.	130
Gráfica 39: Gráfica de Pareto para los grupos de muebles con frecuencia acumulada.	132
Gráfica 40: Diagrama de dispersión aleatoria para el librero en el proceso de igualado de color.	136
Gráfica 41: Diagrama de dispersión no aleatoria para el modular en el proceso de tinturado.	136
Gráfica 42: Arquitectura del modelo de simulación.	136

Lista de ecuaciones

Ecuación 1: Modelo general de regresión	18
Ecuación 2: cálculo del tamaño de muestra referencial	25
Ecuación 3: Cálculo del tamaño de muestra	26
Ecuación 4: cálculo de “n” para una proporción desconocida	26
Ecuación 5: Ecuaciones de truncamiento para una distribución normal.	27
Ecuación 6: Ecuación de regresión del diseño experimental	99
Ecuación 7: Ecuación de regresión del diseño experimental	108
Ecuación 8: Ecuación de regresión del diseño experimental	118

Lista de Anexos

Anexo 1: Diagrama de la cadena de suministro de AHCORP	176
Anexo 2: Diagrama de los macroprocesos de AHCORP	177
Anexo 3: Diagrama del proceso de tinturado de AHCORP	178
Anexo 4: Diagrama del proceso de sellado de AHCORP	179
Anexo 5: Diagrama del proceso de lijado de AHCORP	180
Anexo 6: Diagrama del proceso de lacado de AHCORP	181
Anexo 7: Project Charter	182
Anexo 8: Diagrama de causa-efecto para determinar las causas de los reprocesos en el área de lacado	183
Anexo 9: Tabla usada para la toma de datos de número de reprocesos del proceso de lacado	184
Anexo 10: Datos de la humedad de la madera tomados en la fábrica de muebles AHCORP	185
Anexo 11: Fotografías de la paleta de colores usada para medir el color de las maderas	186
Anexo 12: Datos de color de los muebles tomados con la paleta de colores.	187
Anexo 13: Fotografías del área de tapizado	188
Anexo 14: Datos de las mediciones del tiempo de proceso de muebles por proceso con el tamaño de muestra individual (los datos para aparador se encuentran en la tabla 23).	189
Anexo 15: Detalle de distribuciones que siguen los tiempos de proceso del anexo 14.	200
Anexo 16: Datos de los tiempos entre arribos de entidades al proceso de lacado.	202
Anexo 17: Category Overview.	203
Anexo 18: Gráficas de comparación entre escenarios de la simulación.	215
Anexo 19: Cálculo del salario básico de los trabajadores de AHCORP.	220
Anexo 20: Proforma para el trabajo de reubicación de las mesas de	

trabajo del área de tapizado.	221
Anexo 21: cálculo del tamaño de muestra para a intensidad de color del mueble.	222
Anexo 22: Diagramas de dispersión para los datos de entrada de la simulación.	223