

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

**Propuesta de mejora del sistema de control de producción para
las líneas de láminas de dos y tres capas en la empresa
Corruempaques Cía. Ltda.**

Ismael Santiago Jaramillo Burbano

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

Quito, 14 de Enero del 2011

Universidad San Francisco de Quito Colegio Politécnico

HOJA DE APROBACION DE TESIS

**Propuesta de mejora del sistema de control de producción para las líneas de
láminas de dos y tres capas en la empresa Corruempaques Cía. Ltda.**

Ismael Santiago Jaramillo Burbano

Verónica León, MS.
Director de la Tesis

Daniel Merchán, MS.
Miembro del Comité de Tesis

Ximena Córdova, Ph.D.
Directora de Ingeniería Industrial

Fernando Romo, MS.
Decano del Colegio Politécnico

Quito, 14 de Enero del 2011

© Derechos de autor

Ismael Santiago Jaramillo Burbano
2010

Agradecimientos

Agradezco profundamente a toda la gente que permitió el desarrollo y conclusión de este proyecto de tesis, tanto dentro de la Universidad San Francisco de Quito como en Corruempaques Cía. Ltda.

Verónica León. Por su profundo interés en la dirección de esta tesis, tanto por el apoyo profesional como por el impulso motivacional que me ofreció durante todo el proyecto.

Ximena Córdova. Por su ayuda en la definición del proyecto y su apoyo durante el proceso de tesis.

Gabriela Baldeón y Gabriela Moreno. En reconocimiento y agradecimiento a su arduo trabajo para la creación conjunta del modelo de simulación de la empresa.

Daniel Merchán. Por su dirección para la fase de simulación y su ayuda en varias otras áreas del proyecto.

Germán Bravo y Cumandá Bravo. En agradecimiento por abrir las puertas de su empresa para la realización de este proyecto de tesis. Por la buena voluntad y disposición para facilitar la estructuración y conclusión del proyecto.

Franklin Zúñiga. Por su ayuda para la recopilación de información y la buena voluntad para facilitar la comprensión de la corrugadora.

A mi familia y amigos, que me brindaron apoyo incondicional durante la realización de este proyecto.

Resumen

El presente proyecto de tesis analiza el sistema de producción para láminas (dos y tres capas) en la empresa Corruempaques Cía. Ltda. Para ello se enfoca los procesos involucrados de corrugado, producción de goma y manejo de suministros. Para determinar posibles mejoras se utilizan herramientas de ingeniería industrial como mapeo de procesos, cartas de control y evaluación de información histórica de producción para el proceso de interés. Además se analiza la cortadora a través de modelos de simulación, pues representa la parte crítica de las fallas actuales de calidad. Se observa que el problema actual es la falta de estandarización en el manejo de suministros, de tal manera que se dificulta el control de materiales y el procesamiento de la información asociada. Ahora, en base al análisis realizado se diseña un sistema de manejo de materiales que incluye órdenes de producción, planeación de requerimientos de materiales y un sistema de pronósticos para manejo de importación de productos. Por último se ofrece un plan propuesto de implementación para reestructurar el proceso y ciertas políticas de materiales, apoyadas con las herramientas de control de producción ya mencionadas (MRP, pronósticos y simulación).

Abstract

This thesis project analyzes the production system for single wall and single face corrugated board in Corruempaques Ltd. For this purpose the project focuses on embedded corrugating process, glue production and supply methods. To detect opportunities for improvement, industrial engineering tools are used: including control charts, flowcharts and historic data evaluation for the depicted processes. In addition, the cutting machine is analyzed through simulation models, for it is the critical factor in the processes' current quality problems. Through these, it is determined that the major problem in the system comes from a lack of standards overall, which in turn, affects information handling towards control and supply methods. Therefore, based on the previous analysis, this project designs a system to standardize and help supply processing, which includes production orders, material requirements' planning and a forecasting system to support supply imports. As project concludes, an implementation plan to restructure the process and certain supply guidelines are proposed, backed by the production control methods that were already mentioned (MRP, forecasting and simulation).

Tabla de Contenidos

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	2
1.1 Introducción.....	2
1.2. Objetivo General	2
1.3. Objetivos Específicos	3
1.4. Descripción de la empresa	3
1.4.1. Introducción a la empresa y su actividad.....	3
1.4.2. Procesos de Interés.....	4
1.4.2.1. Proceso de corrugado.....	4
1.4.2.2. Proceso de producción de goma	4
1.4.3. Gama de productos de Corrugado	5
1.5. Definición y justificación del problema.....	7
1.5.1. Definición del problema	7
1.5.2. Justificación del Problema	8
CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	9
2.1. Diagramas de flujo	9
2.1.1. Definición y Objetivos de los diagramas de flujo:	9
2.2.2. Simbología Estándar:	10
2.2.3. Construcción del Diagrama:	11
2.2.3.1. Preparación previa:	11

2.2.3.2. Construcción del Diagrama de Flujo:.....	11
2.1.4. Categorización de tareas.....	13
2.1.5. Análisis del Diagrama de Flujo	14
2.2. Estudio de tiempos de trabajo	16
2.2.1. Objetivo y utilidad del estudio de tiempos	16
2.2.2. Conceptos básicos del estudio de tiempos:.....	17
2.2.3. Métodos de medición de tiempo.....	19
2.2.4. Cronometraje.....	19
2.2.4.1. Definición del método	19
2.2.4.2. Proceso de cronometraje	20
2.3. Control estadístico de procesos	21
2.3.1. Herramientas de control estadístico	21
2.3.1.1. La hoja de verificación	22
2.3.1.2. El diagrama de Pareto	22
2.4. Cartas de control	23
2.4.1. Definición de la herramienta	23
2.4.2. Beneficios del uso de las cartas de control	24
2.4.3. Tipos de carta de control	25
2.4.4. Elección de los límites de control	27
2.4.5. Tamaño de muestra y frecuencia de muestreo	28

2.4.6. Reglas para detección de puntos fuera de control	29
2.4.7 Carta de control para la fracción disconforme	30
2.5. Análisis de capacidad del proceso	31
2.5.1. Estimadores de Capacidad Teórica C_p , C_{pk}	31
2.5.2. Estimadores de Desempeño P_p , PP_k	32
2.5.3. Diferencias entre C_{pk} y P_{pk}	33
2.5.4. Análisis del C_{pk} y P_{pk}	34
2.6. Simulación.....	35
2.6.1. Concepto de simulación	35
2.6.2. Usos de herramientas de simulación.....	36
2.6.3. Ventajas y desventajas de la simulación	37
2.6.4. Pasos para un estudio de simulación	38
2.6.4.1. Análisis de datos de entrada.....	42
2.7. Planeación de requerimientos de materiales (MRP)	45
2.7.1. Definición de la herramienta:	45
2.7.2. Entradas para utilizar el MRP	45
2.7.3. Salidas del MRP	46
2.7.4. Limitaciones del MRP	47
2.8. Herramientas de análisis económico.....	48
2.8.1 Análisis Costo-Beneficio.....	48

2.8.2. Método de retorno sobre la inversión (ROI).....	49
2.8.3. Método del valor presente neto (VPN)	50
CAPÍTULO 3. ESTADO ACTUAL DEL PROCESO	51
3.1. Productos de mayor relevancia	51
3.2. Descripción de tipos de fallas en el proceso de corrugado	53
3.3 Creación de los diagramas de flujo	54
3.4. Cartas de control	55
3.3.1. Elección de carta de control: Fracción disconforme (p).....	55
3.3.2. Modelo de toma de datos para diseño de cartas de control p	55
3.3.3. Toma de datos.....	56
3.3.4. Comprobación de supuestos	57
3.3.5. Diseño de carta de control inicial para fracción disconforme.....	59
3.4. Descripción del Sistema de Materiales.....	61
3.4.1. BOM	61
3.4.2. Sistema de Inventarios	61
3.5. Sistema actual de órdenes de producción.....	63
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DEL PROCESO.....	67
4.1. Enfoque de acción frente al problema.....	67
4.2. Análisis de diagramas de flujo.....	69
4.2.1. Categorización de tareas.....	70

4.2.2. Evaluación sistemática de los diagramas de flujo	70
4.2.2.1. Análisis de flujograma para el proceso de corrugado	70
4.2.2.2. Análisis de flujograma para el proceso de producción de goma	73
4.3. Capacidad del Proceso	76
4.3.1. Cálculo de capacidad del proceso	76
4.3.2. Análisis de capacidad del proceso	77
4.4 Simulación	77
4.4.1. Objeto del uso de simulación.....	78
4.4.2. Descripción general del sistema por simular	80
4.4.2.1. Resumen de operación del sistema	80
4.4.2.2. Definición del modelo conceptual	82
4.4.2.3. Identificación de eventos, variables y actividades del sistema.....	83
4.4.3. Recolección y análisis de datos de entrada.....	86
4.4.3.1. Recolección de datos: metodología y herramientas	86
4.4.3.2. Comprobación de supuestos	86
4.4.3.3. Identificación preliminar de la(s) distribución(es) de probabilidad..	87
4.4.3.4. Estimación de parámetros usando MPM	88
4.4.3.5. Pruebas de bondad de ajuste: Chi-cuadrado y Kolmogorov Smirnov	88
4.4.4. Construcción y ejecución del modelo	89

4.4.4.1. Diagramación del modelo	89
4.4.4.2. Modelo en ARENA: diseño, asunciones y limitaciones	91
4.4.4.3. Verificación y validación del modelo	93
4.4.4.4. Ejecución del modelo	95
4.4.5. Escenarios propuestos para comparación de desempeño	100
4.4.5.1. Configuración de los modelos propuestos	101
4.4.5.2. Validación de modelos propuestos	101
4.4.6. Ejecución de modelos propuestos	102
4.4.7. Análisis de modelos propuestos	104
4.4.7.1 Traducción de desempeño a valor monetario	104
4.4.7.2. Comparación económica de escenarios	106
4.5. Modelo de pronósticos para la producción mensual	108
4.5.1. Datos para adaptación del modelo de pronósticos	108
4.5.2. Evaluación preliminar de los datos	109
4.5.3. Comparación de modelos para pronóstico	110
4.5.4. Generación de pronósticos para la validación del modelo	111
5. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN	112
5.1. Propuesta de Diagramas de Control	113
5.1.1 Definición de Cartas de Control propuestas	113
5.1.2. Reglas de control para la detección de puntos fuera de control	114

5.1.3. Plan de acción para puntos fuera de control (OCAP).....	115
5.1.4. Análisis de desempeño (Ppk).....	116
5.1.5. Procedimiento para redefinir cartas de control en el futuro:	117
5.2. Sistema de manejo de materiales propuesto	118
5.2.1. Formato de órdenes de producción.....	118
5.2.2. El MRP aplicado a Corruempaques Cía. Ltda.	119
5.2.3. Sistema MRP.....	120
5.3. Sistema de pronósticos propuesto	124
5.3.1. Aplicación en el sistema de control de producción y en la empresa... 124	
5.3.2. Modelo de pronósticos propuesto.....	125
5.4. Impacto de la propuesta en el proceso de corrugado y el proceso de producción de goma.....	125
5.5 Plan de implementación propuesto	127
5.6 Conclusiones.....	127
5.7 Recomendaciones.....	129
Bibliografía.....	131
Anexos.....	134

Lista de Figuras

Figura 1. Configuración de plancha de cara simple o single face.....	5
Figura 2. Configuración de plancha de pared simple o single wall	6
Figura 3. Simbología estándar para construcción de flujogramas	10
Figura 4: Diagrama de Pareto por tipo de falla Agosto 2010	52
Figura 5: Diagrama de dispersión de los datos	57
Figura 6: Ajuste de datos a distribución normal.....	58
Figura 7: Carta de control para fracción disconforme.....	60
Figura 8: Tendencia de la producción mensual año 2010 desde Enero a Septiembre	64
Figura 9: Diagrama de Pareto por tipo de falla Noviembre 2010.....	68
Figura 10: Modelo conceptual del proceso de corrugado para el modelo de simulación.....	82
Figura 11: Captura del área de interés en la animación del proceso.....	95
Figura 12: producción mensual separada por años.....	110
Figura 13: Menú del MRP para Corruempaques Cía. Ltda.....	120

Lista de Tablas

Tabla 1. Detalle de ondas producidas por las flautas C, B y E	7
Tabla 2: Comparación entre índices de capacidad y desempeño. (Ochoa, 2010)	34
Tabla 3: Límites de la carta de control actual	60
Tabla 4: Resumen de sistema de inventarios para el proceso de corrugado	62
Tabla 5: Resumen de distribuciones para los datos de la simulación	89
Tabla 6: Listado de Eventos para la simulación	90
Tabla 7: Resumen de distribuciones de tiempos relevantes a la simulación	98
Tabla 8: Resumen de variables utilizadas para registro de desempeño.....	98
Tabla 9: Listado de escenarios de desempeño para la cortadora	101
Tabla 10: Resumen de resultados para modelos propuestos.....	103
Tabla 11: Resumen de resultados estadísticamente diferentes (en blanco)	103
Tabla 12: Ahorro en desperdicio por hora para modelos propuestos	104
Tabla 13: Ahorro por periodo con modelos propuestos	105
Tabla 14: Ahorro en dólares de cada propuesta.....	106
Tabla 15: resumen de indicadores económicos para las propuestas de simulación	107
Tabla 16: Producción mensual 2007 -2010 (Corruempaques Cía. Ltda., 2010)..	109

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

El presente proyecto surge de la necesidad de un sistema de control en el manejo de materiales y control de producción de la empresa. En general existe mucho espacio para el desarrollo de sistemas de producción, pues la empresa no maneja procedimientos estándares en el área. De aquí que este proyecto sugiere no sólo métodos de control globales, sino también herramientas de medición y control previas a la implementación del sistema final.

Se desarrollará el proyecto con una estructura basada en las primeras cuatro fases de la metodología DMAIC propuesta por el método Six Sigma. De ésta manera la definición del problema se ofrece en el capítulo 1; El método de medición y la recolección de datos en general se presentan en los capítulos dos y tres; El análisis del problema y sus posibles soluciones se describen en el capítulo 4; Por último la implementación propuesta se detalla en el capítulo cinco. Así se pretende ofrecer una propuesta de mejora de la manera más concreta y fácil de seguir posible.

1.2. Objetivo General

Proponer mejoras en el proceso de producción de láminas de dos y tres capas de la empresa Corruempaques para aumentar sus niveles de productividad y su eficiencia en utilización de recursos.

1.3. Objetivos Específicos

- Analizar el estado actual de las líneas de producción de láminas de 2 y 3 capas en la empresa Corruempaques a través de mapeo de procesos y análisis de productividad.
- Plantear una alternativa de mejora para el proceso aplicando simulación.
- Proponer un sistema de control basado en indicadores de producción.
- Proponer un plan de implementación con su análisis de costos respectivo.

1.4. Descripción de la empresa

1.4.1. Introducción a la empresa y su actividad

Corruempaques Cía. Ltda. es una empresa que fabrica papel corrugado y empaques a nivel industrial. Fue fundada en 1998 por Cumandá Bravo, Fabiola Bravo y Gerardo Bravo. La fábrica está ubicada en la zona de Calderón a las afueras de Quito, con una instalación central de 1200 metros cuadrados. La oficina principal opera al norte de Quito en la dirección Juan Molineros y De los Jazmines. La oficina en Quito se encarga de contacto con clientes y proveedores así como mercadeo y ventas del producto, por otro lado en Calderón se gestiona la producción, importaciones de materia prima, transporte e inventario de producto. La empresa emplea directamente de 15 a 20 personas dependiendo de la demanda del período. (Bravo C. , 2010)

Ahora bien, Corruempaques produce sólo bajo pedido, sistema conocido como “producción pull”. Los principales clientes de la empresa son las florícolas, algunas de ellas son Pambaflor, Sueño de los Andes, Florecal, Flores Verdes, Cananvalle, Bequiflower y San Agustín. La demanda de producto es estacional, con una marcada diferencia entre los meses de junio a octubre, donde el promedio de ventas está por debajo de las 0.4 Toneladas diarias de producto terminado, y los meses de noviembre a mayo, donde las ventas fluctúan entre las 1.3 y 1.8 Toneladas diarias de producto final. La mayor parte del transporte se contrata particularmente, y para manejo de pedidos pequeños la empresa cuenta con una camioneta propia.(Bravo G. , Entrevista proceso de corrugado, 2010)

1.4.2. Procesos de Interés

1.4.2.1. Proceso de corrugado

El proceso general es la fabricación de producto en la máquina corrugadora. Los distintos productos de la empresa en el área de interés funcionan siempre con el mismo proceso, pero con distintas materias primas iniciales y distinto ajuste de flauta (tamaño del corrugado). Para un detalle del proceso de corrugado, refiérase al Anexo 1: “Flujograma del Proceso de Corrugado.”

1.4.2.2. Proceso de producción de goma

Un proceso previo que sirve de entrada para el proceso de corrugado es el proceso de producción de goma. A pesar de no ser el único proceso de entrada para el proceso de corrugado, se le presta especial atención por propósitos del estudio actual

de tesis, dado que se requiere una comprensión adecuada para la disminución de desperdicio del proceso de corrugado. Para un detalle del flujograma del proceso de producción de goma refiérase al Anexo 2: “Flujograma del proceso de producción de goma.

1.4.3. Gama de productos de Corrugado

Corruempaques Cía. Ltda. produce dos tipos de producto base: cara simple y pared simple, más conocidos por sus equivalentes en inglés: single face y single wall.

El producto single face consta de una superficie de cartón liso llamada base, liner o tapa y una capa de cartón ondulado a través de un proceso de corrugado que se denomina flauta u onda. Este producto se utiliza para envolver productos y protegerlos durante el transporte. Alrededor del 70% de pedidos anuales de papel corrugado en la empresa procuran este producto. Los clientes más importantes del mismo son florícolas que utilizan el single face para envolver los bouquets de flores para su transporte.



Figura 1. Configuración de plancha de cara simple o single face

Fuente: (ECSA, 2007)

Por otro lado el single wall está compuesto por una flauta intermedia con dos liners, uno a cada lado como se muestra a continuación. Con el 30% restante de los pedidos de corrugado el single wall es un producto más resistente por su liner adicional.

Se utiliza en la producción de empaques rígidos como cajas para flores, comida u otros productos.



Figura 2. Configuración de plancha de pared simple o single wall

Fuente: (ECSA, 2007)

Ambos tipos de producto mencionados arriba pueden llevar liners de papel craft o papel blanco dependiendo de la necesidad del cliente. El papel blanco es un poco más costoso, sin embargo es mejor para impresiones posteriores y tiene una presentación más llamativa. Por último la otra variante del producto se encuentra en el tamaño de las ondas en flauta. Actualmente la empresa tiene capacidad para fabricar corrugado con flautas B, C y E, cuyas características físicas se detallan en la Tabla siguiente. Tome en cuenta que las Flautas B y C son más resistentes que la E, sin embargo la flauta E permite una mejor impresión y presentación de los liners.

Calibres de las Láminas Corrugadas			
Flauta	Arcos por pie	Altura del Arco	Gráfica
B	47+/-3	0.097 plg	
C	39+/-3	0.142 plg	
E	90+/-4	0.062 plg	

Tabla 1. Detalle de ondas producidas por las flautas C, B y E

Fuente: (ECSA, 2007)

1.5. Definición y justificación del problema

1.5.1. Definición del problema

El desempeño en el área de producción de single-face está generando un desperdicio de 6% de producto terminado en las semanas del 15 al 28 de agosto del 2010. (Zuñiga, Resumen de desperdicio - semana 16 Agosto -, 2010) Esto implica un nivel de desperdicio diario en temporada alta entre 780 y 1080 Kg de producto, y en temporada baja un promedio de 240kg de producto. El gerente de operaciones confirma un nivel de desperdicio similar en fechas posteriores, aunque no se lleve control ni registro del parámetro en cuestión. El desperdicio se vende como producto no conforme por una fracción mínima (10-35%) de su costo normal.

A partir del problema descrito anteriormente, se determina que el factor crítico para la calidad es el nivel de desperdicio en la producción. Es necesario indicar que no

existen estándares para el nivel de desperdicio aceptable y hasta el momento no se ha controlado este parámetro, por tanto no existe información histórica del mismo. De tal manera no se conoce cuáles son los peores o mejores escenarios posibles con la configuración actual.

1.5.2. Justificación del Problema

Se pretende proponer cambios al sistema de producción de modo que se reduzca el desperdicio del nivel actual de 6% al menos 2 puntos porcentuales. La empresa obtiene sus ganancias por la cantidad de volúmenes producidos, por ende mejoras porcentuales pequeñas implican ganancias importantes para la empresa. De este modo el proyecto se alinea con los objetivos estratégicos de aumentar la productividad y elevar el retorno sobre la inversión (ROI) de Corruempaques Cía. Ltda. Esto se logra al disminuir las pérdidas de material en desperdicio, que resulta en mayor tiempo de producción con salidas bajo especificación, que se traduce en mayores volúmenes de producción y menores costos por pérdida, que resulta en un aumento del ROI.

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Diagramas de flujo

2.1.1. Definición y Objetivos de los diagramas de flujo:

El diagrama de flujo o flujograma, es una herramienta básica en la comprensión de un proceso. Implica una representación gráfica de las actividades clave del proceso, donde se evidencia claramente un orden lógico apoyado en un sistema estándar de simbología para una mejor comprensión del mismo. El flujograma se utiliza como herramienta para actividades de gestión y aporta con conocimiento básico acerca del funcionamiento de un proceso. Por consecuencia, esta herramienta se convierte en un fundamento para posibles mejoras de calidad.(FUNDIBEC, 2009)

El flujograma aporta claridad al proceso, es decir, se construye de manera que sirva para referencia de cómo se ejecutan una serie de actividades en particular. Por la misma razón, debe validarse con las personas involucradas, quienes conocen mejor el proceso en cuestión. De tal manera se facilita el conocimiento global para todas las partes involucradas tanto en la ejecución como en la mejora del proceso. (FUNDIBEC, 2009)

2.2.2. Simbología Estándar:

Existe una simbología estándar para diagramas de flujo, que se introduce en la figura a continuación según presenta la Fundación Iberoamericana de Gestión de Calidad:

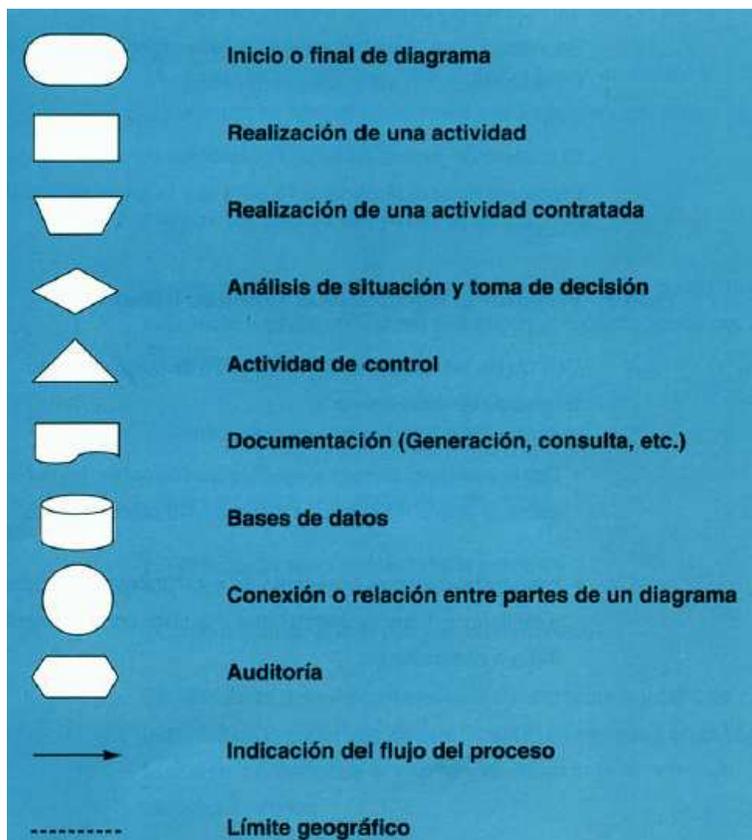


Figura 3. Simbología estándar para construcción de flujogramas

Fuente: (FUNDIBEC, 2009)

2.2.3. Construcción del Diagrama:

2.2.3.1. Preparación previa:

Para obtener mejores resultados se debe establecer de antemano el grupo de trabajo o personas involucradas en la divulgación y toma de información así como en la construcción del diagrama. Evidentemente el grupo involucrado dependerá del alcance del proyecto y el tamaño del proceso. Después de definir los participantes y sus roles, es necesario realizar un plan de trabajo donde se estipulen fechas y objetivos para cada etapa. Por último se debe asegurar la disponibilidad de materiales para la toma de datos y correcta visibilidad de los avances realizados. (FUNDIBEC, 2009)

2.2.3.2. Construcción del Diagrama de Flujo:

Se sugieren seis pasos en secuencia para la correcta construcción de un diagrama de flujo, de acuerdo a la fundación Iberoamericana de la calidad. A continuación se detallan los pasos en el orden en que deben ser ejecutados.(FUNDIBEC, 2009)

Primero, Se empieza por definir el objetivo del proyecto y establecer los procesos a diagramar. Adicionalmente se acuerda el grado de detalle al cual se llegará en la diagramación, según sea la necesidad del caso. Por ejemplo se puede querer diagramar un macro proceso donde se detallarán los procesos involucrados, o por otro lado, se puede requerir analizar un proceso a nivel de tareas, etc.

Segundo, se deben establecer límites del proceso, es decir, enunciar claramente dónde empieza y dónde termina el proceso. Es necesario que exista un consenso escrito de ambos límites para evitar esfuerzos innecesarios fuera del área de enfoque.

Tercero, esquematizar el proceso en grandes áreas o actividades, de acuerdo a una secuencia temporal. Aquí se esbozan las áreas macro del proceso y se las enlaza de acuerdo a su orden de ocurrencia. A continuación se determina qué tipo de actividad implica cada área y por tanto qué simbología podría corresponderles. Por último se define si existen entradas de materiales o desde otros procesos y si surgen documentos de las actividades.

Cuarto, con la información precedente se puede empezar la diagramación del proceso utilizando la simbología propuesta. Se empieza con el límite inicial del proceso y se prosigue preguntando, “qué se hace inmediatamente después de este punto”, utilizando como guía las áreas del proceso establecidas anteriormente. Se debe continuar este proceso hasta llegar al límite ulterior definido al principio.

Quinto, cuando se identifican puntos de decisión o bifurcación en el diagrama, normalmente se formula la pregunta de decisión de modo que las opciones de respuesta lleven nombres “Si” y “No”. Para seguir la construcción se elige uno de los dos caminos y se prosigue la construcción hasta terminar la rama, una vez terminada se regresa hacia la bifurcación y se prosigue con la construcción hasta que termine también este camino.

Sexto, realizar una revisión del diagrama para asegurar que no existan lazos y que no se hayan omitido pasos al diagramar. Para una confirmación se puede validar con los dueños del proceso o sus ejecutores si el proceso ya existe.

(FUNDIBEC, 2009)

2.1.4. Categorización de tareas

Una vez documentado el proceso se pretende adecuar la información para su análisis. La categorización de tareas implica una clasificación tabular de las actividades del proceso, donde se distingue la categoría de cada una. Con esta información se puede analizar el proceso sistemáticamente. (Stevenson, 2007)

Las tareas del flujograma se clasifican en las categorías siguientes:

- Operación:

Incluye actividades que modifican la naturaleza del producto, por ejemplo: soldar, ensamblar, pintar, etc. Se simboliza con un círculo. Por definición esta actividad siempre es de valor agregado al producto, por tanto al cliente. (Stevenson, 2007)

- Movimiento:

Indica un desplazamiento del producto, cualquiera sea su forma de transporte (banda transportadora, carga manual, transporte terrestre, etc.) Se simboliza con una flecha. Este tipo de actividad no agrega valor al producto. Se debe intentar reducir al mínimo este tipo de actividad para un proceso más eficiente. (Stevenson, 2007)

- Inspección:

Refleja una actividad de control donde se verifica alguna característica del producto. Esta actividad se simboliza con un cuadrado. Este tipo de actividad no agrega valor al producto, sin embargo suele ser necesaria para el negocio. Se prefiere reducir al mínimo este tipo de actividad para un proceso más eficiente. (Stevenson, 2007)

- Demora:

Se define como cualquier actividad donde el proceso se detiene en espera de otro proceso. Esta actividad se simboliza con una D (en este proyecto de tesis se asigna un rombo). Los ejemplos más sencillos son la espera al elevador o papeles en espera a ser archivados. Esta actividad no agrega valor y se sugiere buscar opciones para reducirlas al mínimo. (Stevenson, 2007)

- Inventario – Base de datos:

Indica un período de almacenaje del producto hasta que se reanude su uso. Por ejemplo inventario de materia prima, de producto final o documentos almacenados. La actividad como tal no agrega valor, pero puede ser necesaria como parte del negocio para lidiar con variación de la demanda por ejemplo, o cumplir requerimientos legales en el caso de la documentación. Se debe intentar reducir en medida de lo posible. (Stevenson, 2007)

2.1.5. Análisis del Diagrama de Flujo

La Fundación Iberoamericana de gestión de calidad sugiere cuatro enfoques para la detección de posibles mejoras una vez está diagramado el proceso. Se debe

realizar el análisis de las cuatro alternativas para asegurar un correcto análisis del flujograma.(FUNDIBEC, 2009)

a. Verificar la toma de decisiones o actividades de control. – Dado que siempre en un lazo existe la posibilidad de que se deban repetir actividades es necesario preguntarse si es realmente necesaria la comprobación, si es redundante y por último si es completa. En la medida de lo posible se debe intentar eliminar los lazos y actividades de control pues no agregan valor.

b. Verificar lazos de reproceso.- Todo reproceso indica un error, donde el producto o servicio no se produjo bien a la primera vez. Aquí existen oportunidades de mejora, y es necesario analizar la frecuencia de los errores, el costo del reproceso, que tan rápido se puede detectar el error y las posibles causas del mismo.

c. Examinar cada símbolo de actividad.- Aquí se evalúa el correcto diseño del proceso pues se debe preguntar, que valor agrega esta actividad, cual es la relación costo – beneficio de la misma, es necesaria la operación y por último, cuantos errores se producen en la misma.

d. Examinar símbolos de documento y base de datos.- En este último paso se evalúa que tan útil es la información recolectada, es redundante esta información, que valor agrega la toma de datos en este punto y por último que se está haciendo y que se puede hacer con la información proveniente de la documentación asociada.

A través del análisis sistemático del diagrama de flujo se puede obtener una idea buena del estado actual, los problemas y posibles áreas de mejora de un proceso en

particular, así como obtener un documento de referencia para la ejecución del proceso. (FUNDIBEC, 2009)

2.2. Estudio de tiempos de trabajo

2.2.1. Objetivo y utilidad del estudio de tiempos

Se utiliza el estudio de tiempos para determinar el tiempo que necesita un operador calificado (o una máquina) para realizar una tarea determinada con un método establecido y bajo condiciones normales incluidos los descansos para recuperación de la fatiga y para atender a sus necesidades personales. (Gineth & Mosquera, 2009)

De acuerdo a Gineth y Mosquera, El estudio de tiempos presenta su funcionalidad con relación a cuatro áreas: maquinaria, personal, producto y relaciones al exterior de la empresa. A continuación se hace un recuento breve de cada uno de los beneficios que conlleva el método. (Gineth & Mosquera, 2009)

Utilidad en relación con la maquinaria.- Permite determinar la carga de la máquina, los porcentajes de tiempo de parada, programar la producción, comparar entre máquinas similares, diseñar equipos de trabajo y determinar costos de producción.

Utilidad en relación con el personal.- Permite determinar el número de operadores necesarios, establecer planes de trabajo, determinar costos de mano de obra, sirve de base para programar objetivos e incentivos para el personal.

Utilidad en relación al producto.- Permite comparar diseños, establecer presupuestos, manejo de materia prima, programar producción y comparar métodos de trabajo.

Utilidad con las relaciones al exterior de la empresa.- Proporciona información para determinar las fechas de compra y cantidad de materia prima. Adicionalmente permite aproximar mejor las fechas de entrega ofrecidas a los clientes. (Gineth & Mosquera, 2009)

2.2.2. Conceptos básicos del estudio de tiempos:

Para la aplicación del método es necesario llevar una idea de algunos conceptos y sus relaciones de modo que se cumpla con estándares y lenguaje internacional. De acuerdo a Gineth y Mosquera los conceptos clave que se debe manejar para un proceso de este tipo son los siguientes: (Gineth & Mosquera, 2009)

- Tiempo de reloj (TR)

Es el tiempo que el operario está trabajando en la ejecución de la tarea. No incluye los paros realizados por la persona, tanto para atender sus necesidades personales como para descansar de la fatiga consecuente al trabajo.

- Factor de ritmo (FR).

Es un factor de corrección para omitir las diferencias que producen distintas personas capacitadas al realizar la misma tarea. El coeficiente corrector se calcula comparando el ritmo de trabajo desarrollado por la persona que realiza la tarea, con el ritmo de un operario capacitado común.

- Tiempo normal (TN).

Es el tiempo que un operario capacitado emplearía en la ejecución de la tarea cuando la desarrolla a un ritmo normal de trabajo.

Existe la relación siguiente, donde el TN debe ser constante.

$$TN = TR \times FR \quad \text{(Ecuación 1)}$$

- Suplementos de trabajo (TN *K).

Corresponden al tiempo donde la persona descansa por la fatiga y donde atiende sus necesidades personales. Estos períodos de inactividad (K) se establecen como un porcentaje de TN, el cual se establece de acuerdo a la dificultad y exigencia de la tarea y las condiciones del trabajador. De tal manera, los suplementos de trabajo se calculan:

$$TN \times K = TR \times FR \times K \quad \text{(Ecuación 2)}$$

- Tiempo Tipo (Tp)

El tiempo tipo comprende tanto el tiempo normal como los suplementos. Formalmente, es el tiempo necesario para que un trabajador capacitado trabajando a ritmo normal realice una tarea específica, más los suplementos de tiempo para descanso y atención a las necesidades personales.

$$Tp = TN * (1+k) \quad \text{(Ecuación 3)}$$

(Gineth & Mosquera, 2009)

2.2.3. Métodos de medición de tiempo

Existen diversos métodos para determinar los tiempos de trabajo, la elección del método a utilizar depende de los costos asociados al proceso a medir y del número de veces que se vaya a repetir el producto. Por ejemplo, si se utiliza el proceso con mucha frecuencia o si su costo es alto, el método a escoger debe ser el más exacto posible. De esta manera se debe realizar un equilibrio entre costos de medición según el método y relevancia del proceso a evaluar. (Gineth & Mosquera, 2009)

Entre los sistemas de uso común están: estimación, análisis de datos históricos, muestreo, tiempos predeterminados, y el cronometraje. Se discutirá solo el método de cronometraje ya que es de particular interés para la realización de este documento. (Gineth & Mosquera, 2009)

2.2.4. Cronometraje

2.2.4.1. Definición del método

El cronometraje es un método con buen grado de precisión para determinar el tiempo de una tarea específica. La técnica para calcular el tiempo tipo de una tarea consiste en descomponer la tarea (T) en sus partes más pequeñas, llamadas elementos (ti) y medir el tiempo de cada uno de estos. La suma de tales tiempos resulta en el tiempo tipo de la tarea en cuestión que se puede calcular de la forma $T = \sum_{i=0}^n Ti$. (Gineth & Mosquera, 2009)

2.2.4.2. Proceso de cronometraje

Gineth y Mosquera siguieron llevar a cabo el siguiente recuento de actividades para realizar correctamente un proceso de cronometraje. El proceso completo se puede dividir en dos fases principales que se distinguen en la naturaleza de las actividades que engloba. Estas son: fase de toma de información y fase de cálculos. Como es evidente, la segunda fase utiliza como entrada las mediciones resultantes de la primera fase. Ahora bien, el detalle de actividades a realizar en cada fase se muestra adelante.

Fase de toma de información

- Analizar la tarea.
- Cálculo del número de observaciones.
- Elegir del operario a medir.
- Analizar las condiciones ambientales del puesto.
- Análisis de Máquinas y Herramientas.
- Características del material.
- Describir el método y descomponer en elementos.
- Tomar datos.
- Valorar ritmos.

Fase de cálculos (posteriores a la medición)

- Recuento de datos.
- Cálculo de suplementos.
- Calcular frecuencias de los elementos.

- Cálculo del tiempo tipo.

(Gineth & Mosquera, 2009)

2.3. Control estadístico de procesos

Se refiere a una serie de herramientas y métodos que tiene como base una mejora continua en términos de calidad de los procesos. Esto se realiza no sólo a través de las herramientas del control estadístico sino también a través de un compromiso de la administración para el éxito del programa. De acuerdo a Montgomery para que un programa de este tipo funcione requiere liderazgo de la administración, enfoque de equipo, capacitación en todos los niveles, énfasis en la reducción de variabilidad, medición en términos económicos de los resultados y un mecanismo eficiente para la comunicación de resultados. Entonces, se observa que el control estadístico de procesos implica una forma de trabajo y una cultura organizacional, que va más allá del simple uso de las herramientas estadísticas propuestas por el sistema. (Montgomery, 2007)

2.3.1. Herramientas de control estadístico

Las siguientes herramientas, conocidas también como las 7 magníficas de la calidad son métodos basados en la estadística para encontrar, analizar y controlar problemas dentro de los procesos. A continuación se enumeran las siete herramientas propuestas en el libro de “Control estadístico de la calidad”, sin embargo solo se tratará

en detalle las que serán útiles en la elaboración del actual proyecto de tesis.
(Montgomery, 2007)

1. Histograma y Diagrama de tallo y hoja.
2. La hoja de verificación.
3. La gráfica de Pareto.
4. El diagrama de causa y efecto.
5. El diagrama de concentración de defectos.
6. El diagrama de dispersión.
7. La carta de control.

2.3.1.1. La hoja de verificación

Al empezar el proceso de análisis es necesario recolectar datos del proceso en cuestión. La hoja de verificación enumera los posibles defectos (atributos) ya sea para la salida del proceso o en la operación del proceso en sí. Luego se utilizan datos actuales o datos históricos para determinar la frecuencia de los errores durante un periodo de tiempo aceptable de operación. Para evitar desgaste de esfuerzo es necesario evaluar la importancia de los errores tomados en cuenta y descartar los que se consideren superfluos dentro de los resultados u operación del proceso.
(Montgomery, 2007)

2.3.1.2. El diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es un diagrama de frecuencia que se utiliza para comparar la ocurrencia de varios atributos en un proceso. Una entrada común para este

diagrama son los datos recogidos de la hoja de verificación. Se grafica la frecuencia de ocurrencia o presencia del atributo en el eje y, contra la serie de atributos en el eje x. Adicionalmente se ordena los atributos de izquierda a derecha en orden descendente de frecuencia. Usualmente el gráfico resultante pone en evidencia los atributos de mayor frecuencia según la regla de Pareto que indica que la mayor parte de problemas se deben a un número reducido de causas. (Valores cercanos a los porcentajes 80-20, lo que indica que el 80% de los problemas se deben al 20% de las causas). Ahora bien, es importante notar que los problemas más frecuentes no son necesariamente los más graves o los más costosos. Para evitar fallas de interpretación o esfuerzos en áreas equivocadas, es usual multiplicar las frecuencias por un factor de costo individual para cada atributo y realizar un nuevo Pareto llamado gráfica de costo o desenmascaramiento de Pareto. Evidentemente el análisis de las gráficas permite enfocar los esfuerzos hacia los problemas de mayor importancia en el desempeño del sistema. (Montgomery, 2007)

2.4. Cartas de control

2.4.1. Definición de la herramienta

La carta de control es la representación gráfica de una característica de calidad que se calcula en función de una muestra y se va diagramando en el tiempo. En una carta de control se define una línea central y límites de control superior e inferior (CI, UCL y LCL respectivamente por sus siglas en inglés). Se eligen los valores de estos límites para que los puntos muestrales con variabilidad natural tengan una probabilidad

alta de situarse dentro de estos límites. De esta manera, cuando un punto se sitúa fuera de los límites de control es aceptable asumir que existe una desviación en el proceso o que una causa asignable está afectando el desempeño del proceso. (Montgomery, 2007)

La función de las cartas de control es simplemente observar el comportamiento de una característica en el tiempo y evidenciar momentos donde la variabilidad sea mayor a la natural del proceso. Por este motivo el uso de cartas de control siempre debe incluir el llamado “Plan de acción para fuera de control”, OCAP por sus siglas en inglés. El OCAP es un documento en constante renovación que incluye las formas de evaluación para los puntos fuera de control de modo que se corrijan los errores de operación para revertir el sistema a su operación y nivel de variabilidad normales. (Montgomery 2007)

2.4.2. Beneficios del uso de las cartas de control

Primero, son una técnica probada en la mejora de la productividad. Esto ocurre pues la menor variabilidad implica menor reproceso y desperdicio, que son causantes de grandes pérdidas económicas en casi toda operación. Además, al producir mayor cantidad de producto bajo especificaciones se está aumentando la capacidad de producción (cantidad de producto conforme versus el tiempo de producción). (Montgomery, 2007)

Segundo, es un método de prevención para evitar defectos. Esta herramienta monitorea el proceso en tiempo real, lo que permite hacer correcciones a la operación

del proceso antes de que se siga produciendo producto desperfecto. En pocas palabras se previene tener que pagar máquinas, personal, lugar de operación, etc. para que haga producto desperfecto.(Montgomery, 2007)

Tercero, se previenen ajustes innecesarios al proceso. Una ventaja adicional es el hecho que no se confunde al ruido normal del proceso, su variabilidad natural, con fallas reales. Esto disminuye costos innecesarios de revisión, calibración y tiempo de paradas de producción no justificado.(Montgomery, 2007)

Cuarto, se proporciona información de diagnóstico. El tipo de alerta en la carta de control vendrá usualmente ligado a un tipo de falla y a una forma específica de corrección. Esta información es valiosa cuando se cuente con un OCAP bien desarrollado y/o ingenieros con experiencia en el proceso en cuestión. De esta manera no se pierde tiempo en evaluaciones previas, sino que se conoce antes la raíz de la falla. (Montgomery, 2007)

Quinto, las cartas proporcionan información de la capacidad del proceso. El control constante de la variabilidad permite también evaluar el desempeño del sistema en el tiempo. Esto es provechoso a la hora de comparar sistemas similares para su adquisición, o en el caso que se esté diseñando un nuevo sistema de producción. (Montgomery, 2007)

2.4.3. Tipos de carta de control

Existen principalmente dos enfoques de las cartas de control dependiendo de la naturaleza de la característica de la calidad de interés. El primer caso es donde se

puede interpretar numéricamente la característica en cuestión, en este caso se utilizan las cartas de control para variables. Por contraparte existe la posibilidad de que la característica de interés no sea cuantificable, en este caso normalmente la variable puede interpretarse en dos estados “conforme” o “disconforme”. En este escenario se utilizan las llamadas cartas de control para atributos. (Montgomery, 2007)

Un segundo punto importante en la clasificación de las cartas de control es el tamaño de muestra. Existen casos donde no es posible tomar mediciones para cada muestra, por ejemplo, cuando existe mucho tiempo entre la producción de uno y otro producto o cuando se usa tecnología de medición donde se analiza cada unidad producida, etc. Por este motivo las cartas de control se clasifican entre cartas para subgrupos o para individuos. Las cartas de control para subgrupos tienen la ventaja de que las muestras se aproximan a una distribución normal por el teorema del límite central. Este teorema indica que la distribución de la suma de variables aleatorias, tiende a una distribución gaussiana conforme aumenta el número de variables. Para este caso específico quiere decir que los promedios de las muestras (tamaño de muestra mayor a 2) se aproximan a una distribución normal. (Montgomery, 2007)

Por otro lado, en el caso de mediciones individuales no hay garantía de que el proceso lleve una distribución normal, y se conoce que distribuciones diferentes a la normal pueden tener cambios significativos en el uso de las cartas de control. (Montgomery, 2007)

2.4.4. Elección de los límites de control

Los límites de control se deciden haciendo una evaluación entre las probabilidades de error tipo I y tipo II que se consideren aceptables en el control. Dado que cada punto muestral se compara contra los límites y tomando en cuenta que las muestras (que usualmente son un promedio de n observaciones) siguen una distribución normal por el teorema del límite central, es posible comparar cada punto como una prueba de hipótesis. La diferencia recae en que no se hace una validación de supuestos en cada punto. Sin embargo cada ocasión es similar a probar que la media es igual a la hipótesis nula, es decir estadísticamente indiferenciable del límite central. Si el punto muestral cae fuera de los límites se considera que es igual a la hipótesis alternativa y por ende estadísticamente distinto de la línea central. Con este proceso lógico, es necesario determinar los límites superior e inferior de modo que las probabilidades de error tipo I y tipo II sean aceptables al proceso en particular. (Montgomery, 2007)

El error tipo I se define como la probabilidad de que un punto caiga fuera de los límites de control y que no exista ninguna causa asignable, es decir el proceso esté bajo control. Por otro lado el error tipo II es la probabilidad de que un punto caiga dentro de los límites de control cuando en realidad el proceso no está bajo control. Con estas pautas, alejar los límites de control de la línea central aumenta el error tipo II y disminuye el error tipo I. Por el contrario cuando se acercan los límites superior e inferior a la línea central aumenta el error tipo I y disminuye el error tipo II. Se

acostumbra calcular los límites de control con un múltiplo de la desviación estándar del estadístico graficado. (Montgomery, 2007)

Normalmente se utiliza el 3 como el múltiplo de la desviación estándar, sin embargo esto depende del grado de control que se requiera. Ahora bien, en una distribución normal estándar el 3 corresponde a una probabilidad de 0.0027 de que un punto caiga fuera de los límites cuando no existen causas asignables (error tipo I). Es decir, si se divide este número para 2 se conoce la probabilidad de error tipo I en una sola dirección equivalente a 0.00135. Entonces, si se desea calcular los límites en función de los errores tipo I y II, se puede hacer el proceso inverso. Para una probabilidad de 0.001 de error tipo I en un solo sentido el múltiplo de la desviación estándar es 3.09, de modo que se calculan los límites:

$$UCL = \bar{\bar{X}} + 3.09 \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \quad \text{(Ecuación 4)}$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - 3.09 \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \quad \text{(Ecuación 5)}$$

(Montgomery 2007)

2.4.5. Tamaño de muestra y frecuencia de muestreo

En el diseño de la carta de control es necesario especificar el tamaño de muestra y la frecuencia con la que se va a tomar esta muestra. La combinación de estos factores influye en la velocidad de detección de un estado fuera de control, que es una medida de desempeño usual para comparar cartas de control. Si se define que las muestras se toman a intervalos fijos de tiempo separados en horas (h), se calcula el “tiempo promedio hasta señal” (ATS, por sus siglas en inglés) como:

$$ATS = \frac{h}{p} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde p es la probabilidad de detección de un estado fuera de control (el error tipo I). El factor p depende del tamaño muestral n , mientras mayor sea n existe mayor probabilidad de detección p . De este modo, decidiendo el tamaño de muestra y la frecuencia se ejerce un control sobre el ATS, siendo posible ajustar un tiempo aceptable de detección. Los costos de muestreo y los costos asociados a las pérdidas de producto por un proceso fuera de control deben tomarse en cuenta para definir el ATS conveniente y en función de eso decidir el tamaño de muestra (n) y la frecuencia de muestreo (h). (Montgomery, 2007)

2.4.6. Reglas para detección de puntos fuera de control

Es necesario recordar que un punto fuera de control puede significar una falsa alarma, por ello se deben analizar inmediatamente posibles causas asignables en el momento que se presente el punto fuera de control. Si se encuentran causas asignables se las debe corregir de acuerdo al OCAP (plan de acción para puntos fuera de control). A continuación se enumeran las reglas para detección de puntos fuera de control utilizando los límites de control a 3 desviaciones estándar de la media:

- Un punto fuera de los límites de control
- 9 puntos seguidos al mismo lado de la media.
- 6 puntos en fila, todos en forma decreciente o creciente.
- 14 puntos seguidos que alternen arriba y debajo de la media.
- 2 de 3 puntos sobre las dos desviaciones estándar a un mismo lado de la media.

- 4 de 5 puntos sobre una desviación estándar a un mismo lado de la media.
- 15 puntos seguidos bajo una desviación estándar (a cualquier lado de la media).
- 8 puntos seguidos sobre una desviación estándar (a cualquier lado de la media).

(Montgomery, 2007)

2.4.7 Carta de control para la fracción disconforme

Un caso específico dentro de las cartas de control para atributos es la carta de fracción disconforme o carta “p”. Se utiliza esta carta para llevar control de la porción de elementos disconformes en un número n de elementos. La fracción disconforme sigue una distribución binomial con parámetro p . Se recomienda el uso mínimo de 40 observaciones por muestra. Para utilizar esta carta deben cumplirse el supuesto de independencia entre las unidades, y que todas las unidades tengan la misma probabilidad p de caer en disconformidad. Esta carta de control permite utilizar tamaños de muestra variables pues la fracción disconforme siempre se calcula D/n , siendo D el número de elementos disconformes y n el número total de observaciones por muestra. (Montgomery, 2007)

Ahora bien, la distribución del estimador de la variable aleatoria se puede obtener a partir de la binomial. La media y la varianza de p son:

$$\mu = p \quad \text{(Ecuación 7)}$$

$$\sigma^2 = \frac{p(1-p)}{n} \quad \text{(Ecuación 8)}$$

(Montgomery, 2007)

De esta manera, siguiendo con la forma general de los límites de control definida en las ecuaciones 4 y 5. Se escriben los límites de control particulares de la carta de control para fracción disconforme de la siguiente manera:

$$UCL = p + 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$\text{Linea central} = p \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$LCL = p - 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad (\text{Ecuación 11})$$

(Montgomery, 2007)

2.5. Análisis de capacidad del proceso

2.5.1. Estimadores de Capacidad Teórica Cp, Cpk

El concepto del análisis de capacidad surge de la necesidad de comparar el proceso existente con respecto a las especificaciones del cliente. Con base a los límites de control de proceso calculados para las cartas de control se facilita la comparación respecto a los límites de especificación del cliente (ya sea interno o externo). De esta manera la capacidad teórica se calcula con de la siguiente manera:

$$Cp = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{c.c.}} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde USL y LSL son los límites de especificación superior e inferior respectivamente y sigma c.c. se refiere al sigma de causa común. Al utilizar esta fórmula se asume que las cartas de control se han diseñado con 3 sigma a cada lado, si

este no es el caso debe hacerse la corrección correspondiente en el divisor en el Cp.
(Ochoa, 2010)

Observe que el Cp asume que el proceso en cuestión es normal y está exactamente centrado respecto a las especificaciones del cliente. Dado que tales condiciones no siempre se cumplen existe también el estimador Cpk, que indica la capacidad teórica incluyendo el corrimiento del proceso respecto al centro. El Cpk se calcula de la manera siguiente:

$$\text{Cpk} = \min. [(\text{USL}-\mu) / 3 \sigma_{c.c.} ; (\mu-\text{LSL}) / 3 \sigma_{c.c.}] \quad (\text{Ecuación 13})$$

(Ochoa, 2010)

Ahora bien, los supuestos para el uso del Cp y el Cpk son:

- El proceso sigue una distribución normal
- Los datos han sido tomados en un proceso bajo control
- El promedio y la varianza real son conocidos

(Ochoa, 2010)

2.5.2. Estimadores de Desempeño Pp, Ppk

Dada la utilidad de los indicadores de capacidad en línea, también es posible estimar el desempeño, conocida como P y Ppk (por sus siglas en inglés performance). El cambio es necesario dado que los supuestos para Cp y Cpk pueden no ser válidos durante la operación. El Pp también es útil cuando se toma en cuenta una sola muestra del producto o un período determinado para evaluación de desempeño. Existen

discusiones respecto a la validez estadística del Pp pues no se puede hacer inferencias respecto a la población, para mayor detalle refiérase a (Montgomery, 2007).

Las fórmulas para Pp y Ppk se indican a continuación:

$$Pp = (LSE - LIE) / 6 \sigma_{total} \quad (\text{Ecuación 14})$$

$$Ppk = \min. [(LSE - \bar{X}) / 3 \sigma_{total} ; (\bar{X} - LIE) / 3 \sigma_{total}] \quad (\text{Ecuación 15})$$

(Ochoa, 2010)

Ahora bien, los supuestos para el uso del Pp y el Ppk son:

- El proceso sigue cualquier distribución
- No requiere control estadístico
- El promedio y la varianza real son conocidos

(Ochoa, 2010)

2.5.3. Diferencias entre Cpk y Ppk

Tomado del curso de Certificación Six Sigma Green Belt (Ochoa, 2010) se listan las diferencias entre los indicadores de capacidad (Cpk) y desempeño (Ppk) en la tabla a continuación:

Capacidad Cpk	Desempeño Ppk
Se toma en cuenta causas comunes, se usa para el corto plazo	Toma en cuenta causas comunes y causas especiales. Se usa para el largo plazo
Índice fijo, se recalcula con cambios del proceso.	Se calcula para un periodo de interés
Proyecta hacia el futuro, indica lo que podría llegar a lograr el proceso	Considera los logros, indica cómo se desempeña el proceso

Tabla 2: Comparación entre índices de capacidad y desempeño. (Ochoa, 2010)

2.5.4. Análisis del Cpk y Ppk

Existen algunos diagnósticos comunes que se pueden hacer en función de los valores Cpk y Ppk. Las conclusiones de los mismos se listan a continuación:

- Si $Cp < 1$

El proceso es incapaz y no cumple con las especificaciones del cliente.

- Si $1 < Cp < 1.33$

El proceso es medianamente capaz, si puede cumplir con las especificaciones del cliente.

- Si $Cp > 1.33$

El proceso es altamente capaz y puede cumplir con las especificaciones del cliente.

- Si $Cpk < Cp$

El proceso no está centrado.

- Si $Cpk < 0$ (negativo)

El promedio de los datos está fuera de las especificaciones del cliente. (Existe un corrimiento grave)

- Si $Cpk \approx Ppk$

El desempeño del proceso es correcto y muy cercano a la capacidad en condiciones ideales. Es necesario observar el valor específico para determinar si el proceso es capaz o no ($Cp > 1$ proceso capaz).

- Si $Ppk \ll Cpk$

Existe demasiada variabilidad en la operación, deben investigarse causas asignables.

- Si $Ppk \gg Cpk$

El valor de Cpk debe volverse a calcular, puede ser que el proceso se ha mejorado o el valor inicial de Cpk no era el correcto.

2.6. Simulación

2.6.1. Concepto de simulación

La simulación es la imitación de un sistema a través de una serie de algoritmos y lógica matemática, de modo que sea posible crear una historia ficticia del comportamiento del mismo. Debido a la facilidad de experimentación en las variables del sistema, la simulación se utiliza para probar el desempeño del sistema enfocado

bajo cambios en sus parámetros de operación y elementos de ingreso. La simulación permite la comparación entre diferentes configuraciones de desempeño sin necesidad de modificar el sistema real o en la etapa anterior a la construcción misma del sistema. (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2005)

2.6.2. Usos de herramientas de simulación

El uso extensivo de la computadora junto con su paralela disminución en costos y aumento de capacidad computacional, permiten aprovechar esta herramienta en una gama amplia de actividades. Las circunstancias donde la simulación es la apropiada son las siguientes, de acuerdo a Banks et al (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2005):

1. La simulación permite el estudio y experimentación de interacciones en sistemas complejos, o en subsistemas dentro de un sistema complejo.
2. Cambios de información, organización y ambientales se pueden simular para observar el comportamiento del sistema bajo estas condiciones.
3. El conocimiento adquirido en el diseño del modelo de simulación puede ser de gran valor a la hora de sugerir mejoras en el sistema de interés.
4. El cambio de las entradas del sistema y la observación de las salidas, representan información importante respecto a la influencia de cada parámetro de ingreso para el resultado final.
5. La simulación se usa como herramienta pedagógica para impulsar metodologías con soluciones analíticas.

6. El modelo de simulación permite experimentar con cambios de políticas y diseños en el sistema antes de su implementación, para preparar posibles respuestas a las reacciones del sistema.
7. La simulación se utiliza para verificar el efecto de otras soluciones analíticas.

2.6.3. Ventajas y desventajas de la simulación

Entre las mayores ventajas del método está el hecho de que se puede utilizar sin que exista el sistema real, es decir se pueden probar diseños específicos antes de su construcción real o se pueden experimentar cambios en sistemas sin modificar su funcionamiento real. Esto implica un ahorro en términos de los recursos empleados tanto para diseño, construcción como optimización de sistemas. Otra ventaja del método es la facilidad para investigar las causas de errores del sistema, adecuando los factores del modelo para producirlos y sin riesgos o pérdidas en el sistema real. Una ventaja adicional es la capacidad para manipular el tiempo de ejecución de los procesos, donde se pueden observar cómo las variables afectan en el largo plazo o, si se requiere, observar en baja velocidad un fenómeno de interés en el sistema. Se pueden realizar análisis de cuellos de botella y un seguimiento de recursos en el sistema para determinar posibles mejoras. Adicionalmente, es posible responder a preguntas del tipo “que tal si”, para comprender mejor el sistema. Por último, una contribución adicional es la información de la influencia de las variables en el desempeño, así como sus posibles interacciones. Con esta herramienta se obtiene comprensión de cómo funciona el sistema y no de cómo piensan las personas que funciona el mismo. (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2005)

Por otro lado existen también desventajas del método sobre otras aproximaciones. Partiendo del hecho de que la construcción del modelo requiere tanto entrenamiento como experiencia se espera que modelos construidos por diferentes individuos respecto al mismo sistema no sean exactamente iguales. Ahora, tomando en cuenta la complejidad del método, se conoce que la simulación es un proceso que consume mucho tiempo y por tanto es costoso. Tercero, dado que las salidas de la simulación normalmente son variables aleatorias, los resultados deben ser interpretados cuidadosamente con análisis estadísticos. Y por último, si existe una solución analítica al problema, normalmente esta resulta tanto más exacta como menos costosa, por ende las soluciones analíticas son preferibles a la simulación en la mayoría de casos donde están disponibles. (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2005)

2.6.4. Pasos para un estudio de simulación

De acuerdo a Banks et al. Existe una serie de pasos generales para que un estudio de simulación se ejecute con éxito. (Refiérase a Anexo 3: “Flujograma del Proceso de Simulación”) La siguiente enumeración es la descripción del flujograma asociado (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2005). En los casos donde se requiere una profundización mayor de métodos o conceptos se desglosan las secciones pertinentes luego de la enumeración de pasos mencionada.

1. Formulación del problema. En esta fase se determina el problema a ser tratado en el estudio. Es necesario recordar que la orientación del proyecto y los datos a tomar dependen directamente de este paso. Dada la importancia de este punto, es

conveniente que el analista y el beneficiario del proyecto tengan una idea clara y se llegue a un acuerdo respecto al problema que será enfocado a través de la simulación.

2. Establecer objetivos y plan del proyecto. Aquí se estructura la simulación en forma de proyecto, con detalle de fechas y responsables. Se recomienda sentar revisiones intermedias a lo largo del proyecto de simulación, en lugar de una sola entrega final, para asegurar el éxito del proyecto y evitar la acumulación de trabajo.

3. Conceptualización del modelo. Implica la extracción de la esencia del sistema, es decir determinar las partes vitales para describir el mismo en un modelo de simulación. Se recomienda iniciar el proceso con una conceptualización lo más simple posible para ir aumentando en complejidad hasta donde sea necesario. Recordando la cantidad extensa de tiempo que requiere la construcción y el funcionamiento del modelo, se debe realizar el modelo de modo que sea tan complejo como el problema y los objetivos lo requieran, evitando ampliaciones innecesarias. Otro punto importante es involucrar en la conceptualización al futuro usuario del modelo, de modo que exista una mayor confianza en el mismo y en las posibles conclusiones obtenidas del proyecto.

4. Obtención de datos. En esta fase se recogen los datos de interés para la construcción del modelo. Normalmente esta fase es la más larga dentro del proyecto, por consiguiente se recomienda empezar la toma de datos lo antes posible, conjuntamente con las fases iniciales de construcción del modelo. El tipo de información necesaria varía ampliamente de un escenario a otro y está atada a los objetivos del estudio.

5. Traducción del modelo. En este paso se construye el modelo en un lenguaje computacional de simulación. Existen varios lenguajes así como software de propósito especial. Usualmente los lenguajes presentan mayor flexibilidad, sin embargo el software de propósito especial suele ser más rápido de implementar, sin embargo más limitado en términos de ampliación e individualización del modelo.

6. Verificación. Esta etapa termina cuando el modelo computarizado corre. En sistemas grandes y modelos complejos es usual tener una cantidad amplia de errores y dificultades de codificación, por ello se incluye esta etapa ya que puede tomar un tiempo considerable. Se espera que la estructura lógica y el ingreso de parámetros funcionen adecuadamente una vez superada esta fase.

7. Validación. Esta fase puede verse como la calibración del modelo, donde se obtienen resultados aceptables de la simulación. Se comprueba la calibración del modelo utilizando datos de ingreso y operación similares a los del sistema real, y comparando las salidas del sistema con las de la simulación. Se corrige las diferencias entre la realidad del modelo y se realiza nuevamente la comparación. Termina la fase de validación una vez que la diferencia entre el comportamiento modelado y el real se considere aceptable.

8. Diseño experimental. Una vez obtenido un modelo que opera correctamente se deben definir las alternativas a ser simuladas. Aquí se deciden parámetros como el número de corridas, condiciones de operación, tiempo de simulación, entre otras

variables. De aquí se obtendrán las bases de análisis para responder al problema del proyecto.

9. Corridas de producción y análisis. Se realizan las corridas bajo los parámetros necesarios establecidos en el punto anterior y se analizan los resultados obtenidos.

10. Determinar si se requieren más corridas. Se determina si es suficiente la información de las corridas realizadas para la resolución del problema. Si se requieren más corridas es necesario volver al punto ocho y revisar la serie de experimentos para las siguientes simulaciones.

11. Documentación y reportes. Se sugieren dos tipos de documentación, información del programa y reportes de progreso. La documentación del programa pretende informar al usuario de la estructura interna del modelo. De la misma manera esta información resulta valiosa si se quiere modificar el programa o reutilizarlo en una aplicación posterior. Por otro lado los reportes de progreso contribuyen al control del proyecto como tal. Se recomiendan varios reportes pequeños de modo que se facilite el seguimiento de trabajo y se asegure el progreso paulatino de todo el proyecto.

12. Implementación. El éxito de la implementación depende tanto del desempeño de los once anteriores puntos como de la correcta y continua comunicación con el usuario a lo largo del proyecto. Si el usuario está al tanto de las capacidades y funcionamiento del modelo, será mucho más proclive a impulsar los cambios propuestos por el análisis del mismo.

(Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2005)

2.6.4.1. Análisis de datos de entrada

Tomando en cuenta la enumeración anterior, como transición del punto cuatro: “Obtención de datos” al punto cinco: “Traducción del modelo” se debe traducir los datos obtenidos a distribuciones de probabilidad que sirvan de ingreso al modelo. El procedimiento involucrado se enuncia en los siguientes puntos a partir de la recolección de datos. (Merchán, 2010)

a. Identificar la distribución.-

Se realiza un histograma de los datos para tener una percepción gráfica del comportamiento de los mismos. Utilizando tal información sumada al tipo de datos que se esté midiendo (continuo o discreto) y el fenómeno de interés, se proponen distribuciones de probabilidad que se pueden ajustar al modelo. (Merchán, 2010) A continuación se resume el tipo de fenómeno que describen usualmente las distribuciones más representativas citado de (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2005, p. 315)

- *Binomial*.- Modela el número de éxitos en n intentos, cuando los intentos son independientes con probabilidad de ocurrencia p .
- *Binomial Negativa (incluye geométrica)*.- Modela el número de intentos requeridos para obtener k éxitos.
- *Poisson*.- Modela el número de eventos que ocurren en un intervalo fijo de tiempo o espacio.

- *Normal*.- Modela una distribución que puede ser interpretada como la suma de varios procesos que lo componen.
- *Lognormal*.- Modela un proceso que puede ser interpretado como la multiplicación de varios procesos que lo conforman.
- *Exponencial*.- Modela el tiempo entre eventos independientes, o la ocurrencia de un evento que no tiene memoria (el tiempo que ya ha pasado no brinda información adicional sobre cuánto tiempo más debe pasar para la ocurrencia del evento)
- *Gamma*.- Distribución flexible usada para modelar variables aleatorias no negativas.
- *Beta*.- Distribución flexible usada para modelar variables aleatorias con límites inferior y superior
- *Erlang*.- Modela la suma de varios procesos exponencialmente distribuidos. Ésta distribución es un caso especial de la gamma.
- *Weibull*.- Modela el tiempo hasta la falla de un componente. La exponencial es un caso especial de la Weibull.
- *Uniforme*. Modela incertidumbre absoluta, todos los valores en la distribución son igualmente probables. Muchas veces se utiliza inapropiadamente cuando no existen datos.

- *Triangular*.- Modela un proceso en que sólo se conocen los valores máximo, mínimo y más probable son conocidos. Usualmente brinda un modelo marcadamente superior a la uniforme.
- *Empírica*.- Recrea el comportamiento de los datos medidos. Se utiliza cuando las distribuciones teóricas no presentan un ajuste apropiado.

(Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2005)

b. Elegir parámetros que determinen la distribución

Una vez identificada la distribución que se intentará ajustar al modelo, es necesario elegir los parámetros más indicados para la misma. Existen varias aproximaciones para alcanzar este objetivo, entre ellas El Método de Probabilidad Máxima, el Método de Mínimos Cuadrados, Estimadores no Sesgados y el Método de los Momentos. Si el lector desea ahondar en el tema, Banks et al ofrecen una lista de estimadores de los parámetros para varias de las distribuciones teóricas en función del Método de Probabilidad Máxima en su libro "*Discrete Event System Simulation*" (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2005, p. 321). De otra manera, existe software de análisis de datos que brinda éste análisis automáticamente. El programa que se utilizará en este proyecto es ofrecido por Rockwell Automation Technologies y se denomina Input Analyzer (Versión 12).

2.7. Planeación de requerimientos de materiales (MRP)

2.7.1. Definición de la herramienta:

La planeación de requerimientos de materiales o MRP por sus siglas en inglés (*Material Requirement Planning*) es una herramienta basada en pronósticos que permite controlar los niveles de inventario y los materiales en proceso a través de una planificación de la producción. De tal manera, puede utilizarse para planificar tanto compras, como órdenes de producción y entregas. En pocas palabras un MRP responde a las preguntas de qué, cuánto y cuándo producir de modo que se cumplan los requisitos de entrega y se compren los materiales al momento y en la cantidad adecuada. El MRP se basa en un pronóstico de la demanda para hacer la planificación y debe modificarse continuamente para incluir nuevos datos.(Chase, 2005)

2.7.2. Entradas para utilizar el MRP

A continuación se listan los prerrequisitos para la construcción de un MRP de acuerdo al libro de Chase “Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva”: (Chase, 2005)

- BOM: Bill of materiales, o lista de materiales, es un desglose de las partes requeridas en un producto terminado y como se ensamblan en el proceso de producción.
- Pronóstico de la demanda, que incluye tanto cantidad requerida del producto final como un detalle de fechas de entrega del mismo.

- Vida útil de las partes y sub-partes que conforman el producto
- Detalle de los materiales en inventario.
- Estimados del tiempo de espera para recepción de partes (desde que se emite la orden. hasta que llega el producto y puede ser utilizado en el proceso)
- Establecer una técnica de tamaño de lote (Lote por Lote, En orden de llegada, Cantidad Económica de pedido)
- Datos de planeación: incluye todas las restricciones del sistema como capacidad de las máquinas, horarios de trabajo, estimación de tiempos de producción de cada ensamblaje y porcentajes de desperdicio.

2.7.3. Salidas del MRP

- Plan de Producción: indica en detalle el tiempo mínimo en el que deben empezar las órdenes para ser completadas a tiempo, así como las cantidades de producción que deben ser ejecutadas.
- Plan de Compras: detalla el tiempo y la cantidad se debe recibir de cada componente del BOM para suplir la producción planificada en el plan de producción. Paralelamente, con la información de tiempos de entrega, se genera un plan de órdenes de compra, que dice cuando emitir las órdenes a los proveedores.
- Avisos de reprogramación, detalla cambios requeridos para cumplir la producción, ya sea acelerando ciertas ordenes o trabajando más tiempo.

(Chase, 2005)

2.7.4. Limitaciones del MRP

Los límites del modelo provienen directamente de la estructura del modelo matemático y las simplificaciones que se realizan para su uso. Primero que nada, debe ser correcto el control de inventario que se ingresa al modelo, de modo que no existan fallas de planeación después de correr el modelo. El segundo inconveniente viene con la estimación de tiempo de producción para una parte dada, en algunos casos (sobre todo en productos complejos) obtener una estimación puede ser difícil y el resultado inexacto. Sumado a ello, el modelo asume que el tiempo de producción es el mismo sin importar la cantidad que se esté produciendo, a esto se lo conoce como capacidad ilimitada. Este problema se puede tomar en cuenta a la hora de realizar el modelo y establecer tamaños de lote de producción y métodos utilizados en el MRP2. Dicho modelo es la continuación lógica del modelo MRP, una vez que este ya funciona correctamente. El cambio más relevante del MRP2 es que cuenta con una programación en función de la capacidad de producción. Ahora, el tercer problema, es que el modelo no toma en cuenta la variabilidad de tiempos de producción ni desperdicio, por ende la empresa debe tener controlados estos puntos a un nivel aceptable para que los resultados del MRP sean efectivos. (Chase, 2005)

Ahora bien, este modelo es propicio cuando se está abordando un sistema simple, que no incluya demasiada variabilidad. Así mismo, el modelo asume que todas las partes del inventario están disponibles para todas las máquinas, es decir no toma en cuenta fábricas en lugares diferentes, movimiento de materiales entre otras variables. Por último es necesario recordar que el MRP debe ser actualizado periódicamente para

brindar información útil, recordando incluir tanto los cambios en la demanda e inventario, como posibles variantes en el desempeño del sistema. (Chase, 2005)

2.8. Herramientas de análisis económico

Dentro del campo de toma de decisiones, información cuantitativa que permita analizar el desempeño de la inversión es necesaria. Esta sección se detalla rápidamente las técnicas de evaluación económica básicas para comparar entre alternativas de inversión. Por supuesto se debe recordar que la decisión como tal dependerá de los inversores, de modo que los resultados de las variables cuantitativas tratadas aquí solamente sirven como guía a esa decisión. (Niebel & Frievalds, 2006)

2.8.1 Análisis Costo-Beneficio

Esta herramienta se usa para traducir los beneficios y costos de varias alternativas hacia unidades unitarias de modo que su comparación sea posible. Los pasos de la herramienta se enumeran a continuación:

- a. Determinar el impacto para cada una de las n alternativas. Por ejemplo: menores costos, mayor producción, mayor riesgo para el personal, etc.
- b. Traducir tal impacto en cada rubro en unidades monetarias.
- c. Determinar el costo requerido para implementar cada alternativa.
- d. Dividir el costo para el beneficio en cada alternativa

$$CB_i = \frac{\text{Costo}_{\text{alternativa } i}}{\text{Beneficio}_{\text{alternativa } i}} \quad i= 1,2,..n \quad (\text{Ecuación 16})$$

- e. La mejor alternativa es la que tenga menor razón costo/beneficio.

$$\text{Mejor alternativa} = \min (\text{CB1; CB2; ... ; CBn}) \quad (\text{Ecuación 17})$$

(Niebel & Frievalds, 2006)

En muchos casos la traducción a unidades monetarias en la parte b de la lista es lo más difícil de realizar. Por ejemplo, al analizar el beneficio de preservación del medio ambiente, salud laboral, etc. Si se tratase de un proyecto con estas variables, puede obtenerse una discusión más extensa en el libro “Systems Analysis & Design for Safety” (Brown, 1976).

2.8.2. Método de retorno sobre la inversión (ROI)

El retorno sobre la inversión o ROI, indica la razón de dinero ganado o perdido en una alternativa respecto a la inversión inicial. El indicador usualmente se describe como porcentaje. Si el retorno es positivo (ROI>0) es posible calcular con él el tiempo de recuperación de la inversión. Usualmente se compara el ROI porcentual versus una tasa de retorno mínima (que puede ser la del banco o definida por los inversores), para analizar si la alternativa de inversión es aceptable económicamente. (Niebel & Frievalds, 2006)

El Retorno sobre la inversión para un período dado se calcula de la manera siguiente, donde Vf y Vi son el valor final de la inversión en el período y el valor inicial de la inversión respectivamente:

$$ROI = \frac{Vf - Vi}{Vi} \times 100 \quad (\text{Ecuación 18})$$

(Niebel & Frievalds, 2006)

2.8.3. Método del valor presente neto (VPN)

Se utiliza para dimensionar el beneficio económico de un proyecto o inversión. Se basa en la comparación del dinero en el tiempo, pues un dólar hoy no es lo mismo que un dólar en el futuro por las tasas de interés y de retorno. De tal manera, un dólar hoy vale más que un dólar en cualquier fecha posterior y valdrá más en el futuro. El método del valor presente neto compara la inversión presente del proyecto o alternativa con el equivalente presente de los flujos de caja que producirá la iniciativa en el futuro. Si el VPN resulta mayor a 0 la alternativa es aceptable económicamente, caso contrario se perderá dinero si se opta por seguir la inversión. (Niebel & Frievalds, 2006)

Para el cálculo del VPN existen diversos métodos para traer los ingresos que producirá el proyecto en el futuro a su equivalente monetario presente. En este caso se describe el caso más simple donde el valor presente P de una cantidad futura F que está n períodos en el futuro, a una tasa de interés i se encuentra con la fórmula:

$$P = \frac{F}{(1+i)^n} \quad \text{(Ecuación 19)}$$

$$VPN = \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0 \quad \text{(Ecuación 20)}$$

(Niebel & Frievalds, 2006)

Con éste método de cálculo para los valores presentes el VPN se calcula con la fórmula siguiente. C_0 es la inversión inicial (que se realiza en el presente), C_t es el balance de Ingreso – Costos para el período t . Además, T es el último período de análisis y r es la tasa de interés que se usará de referencia. (Blank & Tarquin, 2005)

CAPÍTULO 3. ESTADO ACTUAL DEL PROCESO

3.1. Productos de mayor relevancia

El proceso de 2 capas o single face es responsable del 70% de ventas totales, mientras el single wall se lleva el restante 30% (Bravo G. , Entrevista proceso de corrugado, 2010). Ambos productos comparten maquinaria, materiales y personal. La diferencia fundamental está en la lámina adicional del single wall, lo que le hace más resistente. Es decir, se los diferencia porque sus usos, precios de venta y mercadeo se llevan por separado, sin embargo su proceso de producción es el mismo.

Por otro lado, se realiza un análisis de desperdicio en la semana del 16 de agosto del 2010, que permite graficar las frecuencias porcentuales de desperdicio de acuerdo al tipo de falla (un detalle de cada tipo de falla se hace en la sección siguiente). Los datos obtenidos muestran el siguiente diagrama de Pareto y tabla de resumen (dado que el nivel de desperdicio se traduce directamente a material perdido no es necesario hacer un desenmascaramiento de Pareto pues las proporciones serían equivalentes al dinero que representa el material):

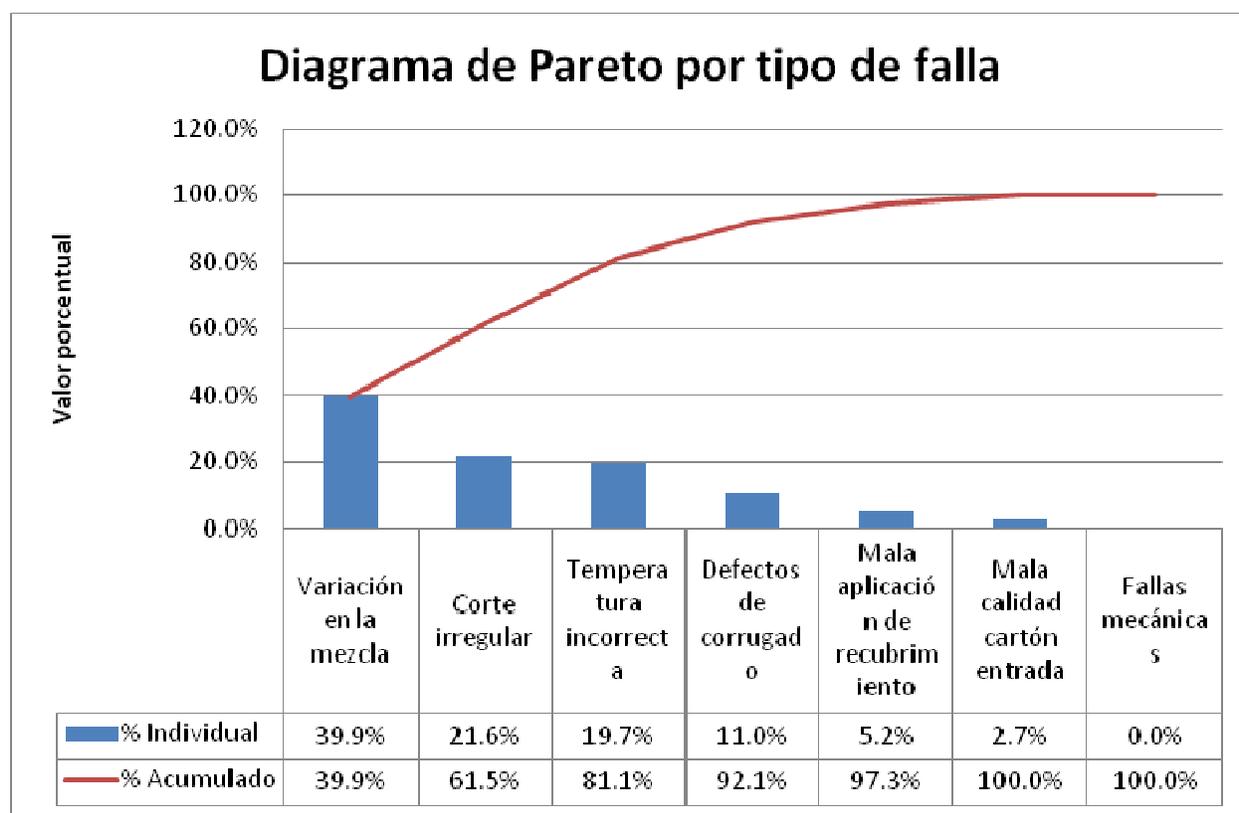


Figura 4: Diagrama de Pareto por tipo de falla Agosto 2010

Fuente: Diagramación propia en base a resumen de desperdicio (Zúñiga 2010)

Se observa que las fallas de variación en la mezcla, corte irregular y temperatura incorrecta representan el 77% de los problemas de desperdicio. Luego, si se toma en cuenta que la variación en la mezcla produce problemas en el ajuste de temperatura y viceversa, puede tomarse ambos factores en una categoría única que se denominará “problemas de pegado”. Con ello es posible enfocar los esfuerzos posteriores del proyecto a solucionar o mitigar el problema de pegado y el corte irregular.

3.2. Descripción de tipos de fallas en el proceso de corrugado

- a. Variación en la mezcla. En el proceso de mezcla de goma (Anexo 2: “Flujograma del proceso de producción de goma) se utilizan dos formulaciones de distintas fábricas para crear una goma de mediano costo y capacidad de pegado aceptable. Actualmente el proceso de mezcla se realiza de forma manual y las cantidades de formulación se definen en base a la experiencia del operario y varían de una mezcla a otra. (Bravo G. , Entrevista proceso de corrugado, 2010)
- b. Corte irregular. La máquina cortadora que se utiliza actualmente sufrió una falla mecánica grave en el año 2009, y se reemplazó la guillotina del fabricante por otra fabricada dentro del país. Bajo las condiciones actuales el corte de la máquina tiene una variabilidad mayor a la especificada por el fabricante en la máquina inicial. El proceso de corte produce medidas aceptables a través de un ajuste constante de la máquina. (Bravo G. , Entrevista proceso de corrugado, 2010)
- c. Temperatura incorrecta. El pegado del liner con la flauta en el proceso de pegado depende de dos factores: la formulación de la goma y la temperatura de aplicación de la misma. En caso de que ésta última sea inadecuada se producen defectos de pegado en la producción. (Zuñiga, Entrevista proceso de corrugado, 2010)
- d. Defectos de corrugado. Dado el recorrido de las láminas de corrugado durante el proceso pueden darse casos de mala alineación entre la flauta y el liner. Una vez

mal alineadas la flauta y el liner se producen arrugas en el producto, haciendo que el mismo se vuelva desperdicio. (Zuñiga, Entrevista proceso de corrugado, 2010)

- e. Mala aplicación de recubrimiento. Anteriormente al pegado del liner y la flauta se aplica un recubrimiento en el liner para brindarle mayor resistencia. La aplicación de recubrimiento puede fallar produciendo grumos en el producto final. (Zuñiga, Entrevista proceso de corrugado, 2010)
- f. Mala calidad cartón entrada. Existe una variabilidad en la materia prima que puede ser causante de fallas tanto de pegado como de mala aplicación de recubrimiento. Esto se debe a que el embarque de materia prima se realiza de distintos productores cada vez dependiendo principalmente del costo de la materia prima y no se realiza un control estadístico para la entrada de material. (Bravo G. , Entrevista proceso de corrugado, 2010)
- g. Fallas mecánicas. La operación de la máquina puede verse afectada por fallas de lubricación, falta de mantenimiento, entre otras causas. Esto normalmente genera una para en la máquina o errores graves en el producto final. (Zuñiga, Entrevista proceso de corrugado, 2010)

3.3 Creación de los diagramas de flujo

Se recoge información del proceso a través de visitas guiadas a la planta, tanto por Gerardo Bravo, gerente de producción, como por Franklin Zúñiga, supervisor del proceso. Con la información de los diálogos sumada a la observación del proceso se

construyen los diagramas de interés. Se muestra el proceso de corrugado en el Anexo 1: “Flujograma del Proceso de Corrugado (Bravo G. , Entrevista proceso de corrugado, 2010) y el proceso de producción de goma en el Anexo 2: “Flujograma del proceso de producción de goma” (Zuñiga, Entrevista proceso de producción de goma, 2010).

3.4. Cartas de control

3.3.1. Elección de carta de control: Fracción disconforme (p)

Para evaluar el desempeño del proceso y poder determinar en qué momentos se encuentra corriendo bajo condiciones normales se requiere la implementación de cartas de control. Se quiere controlar el porcentaje de desperdicio o fracción disconforme a la salida del proceso. Teóricamente la carta de control específica para esta variable es una carta para atributos de fracción disconforme (conocida como de tipo p). Una carta de este tipo requiere un tamaño de muestra mínimo de 40. (Ochoa, 2010) Se puede utilizar tamaños variables de muestra, sin embargo para propósitos de este estudio se utilizará un tamaño de muestra fijo de 50.

3.3.2. Modelo de toma de datos para diseño de cartas de control p

Para construcción de la carta de control se requiere un número de muestras iniciales igual a 25. Para que el método tenga validez cada muestra debe tener una probabilidad igual de ser disconforme p , y las unidades sucesivas deben ser independientes. (Montgomery, 2007) Para asegurar estos supuestos se define una unidad como 5 cortes de 0.25m x 0.65m tomados de forma horizontal a la salida de la máquina. Esta unidad implica un corte del largo del rollo 1.30m (5 pedazos de 0.25m +

laterales de desperdicio de 0.05m). Adicionalmente se tomará cada unidad con un espacio de 3 segundos para asegurar independencia entre unidades.

Para el cálculo de los límites de control se utilizan las fórmulas siguientes establecidas en la sección 2.4.7 Carta de control para la fracción disconforme:

$$UCL = p + 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad (\text{Ecuación 21})$$

$$\text{Linea Central} = p \quad (\text{Ecuación 22})$$

$$LCL = p - 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad (\text{Ecuación 23})$$

3.3.3. Toma de datos

Se obtienen 70 muestras de tamaño 100 cada una, cuyo número de fallas se muestra en el Anexo 4: "Número de fallas en 100 observaciones" El número mínimo de muestras para una Carta de Control estadísticamente válida es 25 con un tamaño mínimo de 40 cada una. (Montgomery, 2007) En este caso se utilizó un número mayor en ambos valores para asegurar la viabilidad del estudio, y dado que estos datos también fueron útiles en el modelo de simulación del proceso de corrugado.

3.3.4. Comprobación de supuestos

Se realiza el análisis de correlación con el 95% de confianza para el número de fallas con una prueba de auto correlación en STATGRAPHICS donde:

Ho: Las fallas no presentan una correlación entre medidas consecutivas

H1: Las fallas presentan una correlación entre medidas consecutivas

Se observa que el intervalo de confianza para la prueba de auto correlación con demora 1 es -0.131185 ± 0.234261 , dado que el 0 está incluido en el intervalo no se puede concluir que exista correlación en la muestra. Es decir se rechaza H1. A continuación se muestra también el diagrama de dispersión sirve de comprobación gráfica (intuitiva) para la prueba de auto correlación realizada. Por tanto se puede decir que el supuesto de independencia es estadísticamente aceptable para los datos. Con esta confirmación se valida el uso de la carta de control para fracción disconforme para el primer supuesto.

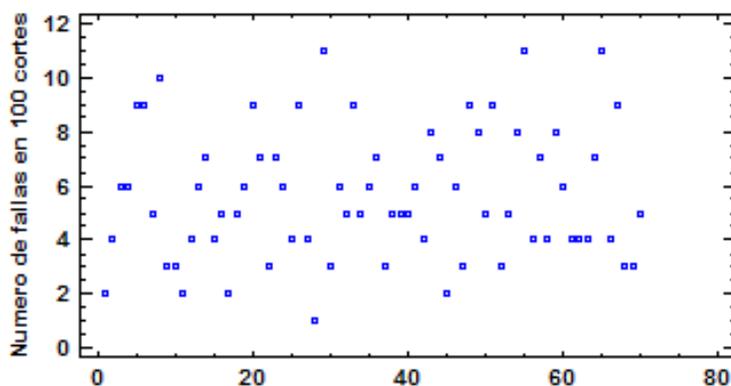


Figura 5: Diagrama de dispersión de los datos

Diagramación propia

En una revisión adicional de la validez de los datos se comprueba el ajuste a la distribución normal, para observar que se cumpla el Teorema del límite central. La Figura 6: Ajuste de datos a distribución normal muestra el ajuste del histograma a una distribución normal utilizando Input Analyzer.

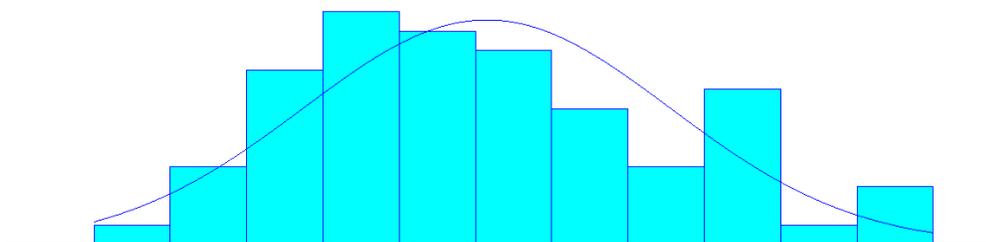


Figura 6: Ajuste de datos a distribución normal

Diagramación propia

Con ayuda del software Input Analyzer se realiza la prueba de bondad de ajuste conveniente Chi cuadrado, pues el número de muestra es mayor a 30 y los datos son discretos. Con esto se pretende analizar si se puede aceptar la distribución normal:

Ho: La distribución sigue una distribución normal

H1: La distribución no sigue una distribución normal

El siguiente es el resumen de la prueba de ajuste a la normal

Chi Square Test

Number of intervals = 7

Degrees of freedom = 4

Test Statistic = 6.02

Corresponding p-value = 0.21

Se observa que el valor de referencia "Test Statistic" cumple con el valor p de la prueba, por tanto se puede aceptar la normalidad de los datos. Lo último se comprueba porque $p > 0.21 > 0.05$, es decir no se puede rechazar la hipótesis nula. Con ello se comprueba el segundo supuesto con una confianza del 95% y se acepta el uso de cartas de control para fracción disconforme para controlar la variable aleatoria "nivel de desperdicio".

3.3.5. Diseño de carta de control inicial para fracción disconforme

En base al cumplimiento de los supuestos en la sección precedente se puede estructurar el diseño de la carta de control base. Note que el límite inferior en este caso no requiere atención, pues valores mínimos de fracción disconforme no afectan a la empresa. Es decir, incurrir en horas hombre para medir el límite inferior de desperdicio no vale la pena pues no es un dato de interés (no importa si el desperdicio en algún punto es menor que lo que se espera normalmente del proceso) Por ende se utiliza un valor de 0 para el límite inferior al momento de graficar, sin importar cual sea el valor que presente el límite de control inferior. Entonces, se grafican los datos iniciales en una carta de control a continuación en la Figura 7: Carta de control para fracción disconforme.

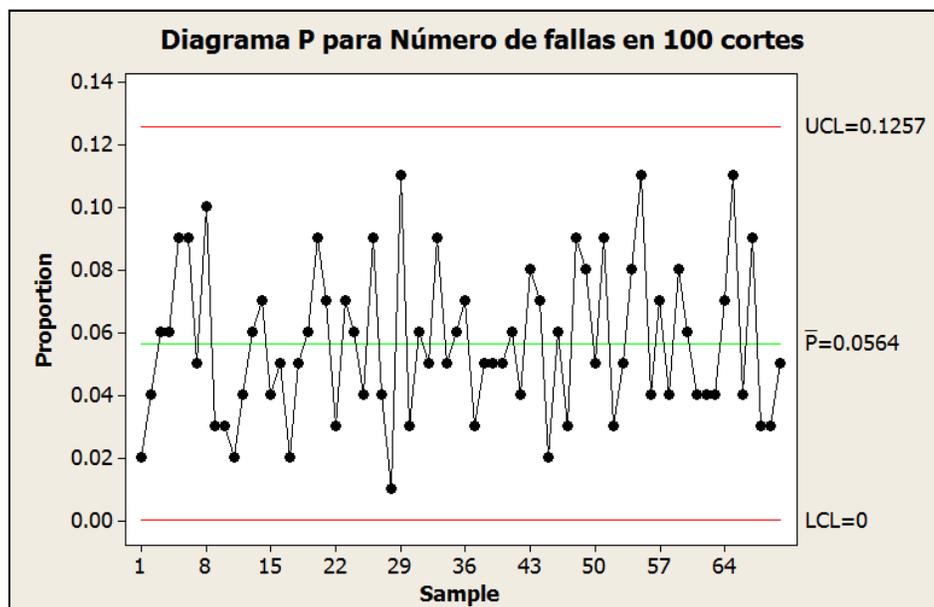


Figura 7: Carta de control para fracción disconforme
Diagramación propia.

La nueva carta de control presenta un comportamiento adecuado evaluado de acuerdo a los lineamientos de la sección 2.4.6. Reglas para detección de puntos fuera de control” y por tanto se puede aceptar como carta de control inicial. La fracción disconforme registrada es el 5.64% con una desviación estándar muestral $\sigma = 0.0243$. Los límites de control son los siguientes, calculados con las ecuaciones 21 y 22.

LCS	0.125653
$LC = \bar{p}$	0.0564286

Tabla 3: Límites de la carta de control actual

3.4. Descripción del Sistema de Materiales

En esta sección se detalla la información base para realizar una planeación de requerimiento de materiales que se expondrá en el capítulo de implementación (número 4). Se intenta recopilar la información necesaria para modelar el sistema en cualquier momento. Es decir, se planea realizar un MRP actualizable que no sea una foto del sistema en un momento dado, sino que sea útil a la compañía en cualquier momento. Con esta perspectiva no se detalla información de inventario en un momento dado sino mas bien sus límites y características particulares.

3.4.1. BOM

Se detalla la lista de materiales para el producto de enfoque en el Anexo 5: "Lista de Materiales (BOM) para el proceso de corrugado". Para ampliar esta información a cualquier otro producto solo se debe multiplicar por su área en metros y dividir para la del producto listado (5*25*60cm). Es decir, el BOM indica las cantidades de producción de $5 \times 0.25 \times 60 = 0.75 \text{ m}^2$ de producto final.

3.4.2. Sistema de Inventarios

La conceptualización del sistema de inventarios se resume en dos partes: Primero, los límites de inventario indican la capacidad de almacenamiento que tienen las instalaciones de la planta. Observe que esto no aplica para todos los productos, sólo para los que tienen contenedores fijos. Segundo: los parámetros del sistema de compras indican el tamaño de lotes en que se compra cada producto, si existe un tamaño definido. Además incluye los tiempos de ventaja, lead times, que son el tiempo

desde que se emite la orden de compra para el producto hasta que este es descargado y ubicado en inventario, donde está listo para su utilización en el proceso.

- Límites de Inventario: La tabla a continuación indica los límites superiores de inventario para los productos listados debidos a espacio en el contenedor bajo la columna “Capacidad del Contenedor”.
- Cantidad por unidad de compra: es la cantidad fija que debe comprarse por unidad. Se debe al tamaño del contenedor del material necesario. Por ejemplo, un rollo de cartón liner tiene 7905 m y se debe comprar una cantidad que sea un múltiplo de 7905. De esta manera se definen los lotes para los productos relevantes a continuación. Se indica esta información bajo la columna respectiva en la tabla a continuación.
- Tamaño de lote: En la tabla siguiente se indica el tamaño de lote usual que maneja la empresa. En realidad estos tamaños no son fijos pero se los usará como referencia para la adquisición (o producción en el caso de la goma) en la planeación de requerimientos de materiales.

	Capacidad del Contenedor	Cantidad por unidad de compra	Tamaño usual de lote
Cartón Liner		7905 m	40 Rollos
Cartón Flauta		7905 m	50 Rollos
Diesel	4.4 m ²		
Recubrimiento		100 Kg	
Goma	648 Kg		162 Kg

Tabla 4: Resumen de sistema de inventarios para el proceso de corrugado

3.5. Sistema actual de órdenes de producción

El método actual de control de producción proporciona información únicamente acerca de las cantidades de pedidos por producto. No se mide porcentaje de desperdicio ni reproceso, así como pérdida de material por calibración de máquinas u otros factores. Se realiza un control de gasto de material cada dos meses en un día de producción. Ahora bien, en caso de necesitar datos para algún análisis particular, el método general es tomar los datos pertinentes en ese momento, de tal manera que sean actuales. Bajo estos parámetros se cuenta con poca información histórica acerca de la operación del proceso como tal, pero si se cuenta con información de pedidos.

Se ha procesado la información disponible para obtener una idea más clara respecto al manejo de órdenes de producción. El Anexo 6: “Detalle de producción mensual del 2010 ordenada por productos más relevantes” enlista las unidades de cada producto fabricadas en un mes determinado. Se identifica los productos de acuerdo a sus dimensiones de corte en centímetros, por ejemplo, el primer producto de la lista “25*60” se refiere a una lámina de 25cm de ancho por 60cm de largo.

Entrando en el análisis de estos datos es importante notar dos cosas: Primero, debido al sistema de producción pull manejado en la empresa sólo se realiza producto bajo pedido, por consiguiente toda unidad producida en el período en análisis consta también como unidad vendida. Segundo, el número indicado en la lista sólo incluye producto terminado conforme, es decir no presta información de cuántos recursos adicionales se necesitó para producto disconforme.

Ahora bien, la primera información relevante es la producción en función del mes del año. Para una referencia gráfica se expone un resumen de la producción mensual en el 2010 de Enero a Septiembre a continuación:

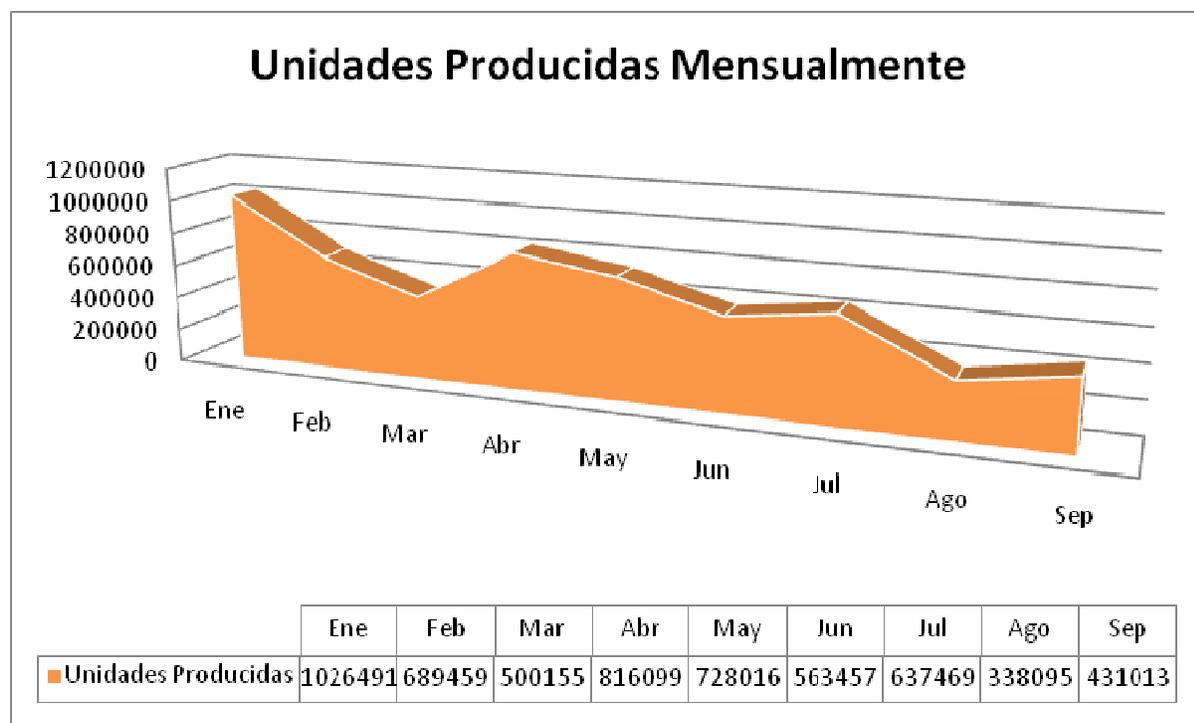


Figura 8: Tendencia de la producción mensual año 2010 desde Enero a Septiembre

Fuente: Diagramación propia por reporte de producción 2010 (Corruempaques Cía. Ltda. 2010)

Se confirma la descripción de la demanda referida por el gerente de producción en la sección 1.4.1. Introducción a la empresa y su actividad que propuso: “La demanda de producto es estacional, con una marcada diferencia entre los meses de junio a octubre, [...] y los meses de noviembre a mayo”. La diferencia enunciada era del triple

de demanda para noviembre - mayo que para junio - octubre. En contraste, con el análisis de la producción del 2010 el período noviembre – mayo tiene un promedio mensual de 752000 unidades de producto, mientras junio - octubre presenta un promedio de producción de 492500 unidades de producto. Es decir, en la práctica hay una relación de 1.5 en lugar de la relación de 3 sugerida. Note que en el análisis no se presentan datos de noviembre y diciembre que podían alterar la ecuación. En suma, a pesar de marcarse la diferencia estacional, existe un indicio de que tal vez la diferencia no es tan fuerte como se sugería al principio, sin embargo la investigación a fondo del tema no entra en el alcance del presente proyecto de tesis.

La siguiente información interesante que se obtiene a partir del Anexo 6: “Detalle de producción mensual del 2010 ordenada por productos más relevantes” son los productos más importantes en términos de ventas. Por facilidad la información del anexo en cuestión ya fue ordenada de acuerdo a esta perspectiva, mientras el reporte inicial ordena la información por tamaño del producto. De cualquier manera, se ha dispuesto en el Anexo en cuestión tres columnas adicionales al reporte inicial que son:

- Producción Total: Indica el total de unidades de un tipo de dimensiones en particular producida durante todo el período de análisis.
- Peso Porcentual por Producto: Calcula el aporte porcentual que tienen las unidades de un producto estipuladas en “Producción Total” en función del total de unidades para todos los períodos y todos los productos.
- Porcentaje Acumulado: Va sumando el aporte porcentual por producto para facilitar el análisis.

En Función de esta información se realiza un diagrama de Pareto que se muestra en el Anexo 7: “Diagrama de Pareto “Porcentaje de ventas por producto” usando la metodología mencionada en la sección 2.3.1.2. El diagrama de Pareto. Con la regla mencionada, se observa que existen unos pocos productos que tienen mayor impacto en proporción al total. De entre ellos, se identifican los nueve productos de mayor porcentaje de ventas, que representan el 70% de unidades vendidas. Se enlistan los productos a continuación:

Lugar en ventas	Producto (ancho*largo)	Porcentaje acumulado
1	25*60	22.7%
2	25*50	32.1%
3	20*60	40.3%
4	20*40	46.7%
5	30*65	53.0%
6	25*55	58.2%
7	18*47	63.2%

Se prestará especial atención estos productos a lo largo del estudio, de manera estricta se utilizarán los productos en las primeras posiciones para obtener mediciones de la simulación. Adicionalmente, se debe considerar especial atención a estos productos en el diseño de las órdenes de producción, de modo que sean de fácil acceso en la operación diaria de las mismas.

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DEL PROCESO

4.1. Enfoque de acción frente al problema

Inicialmente se pretendía analizar los procesos de producción de dos y tres capas, sin embargo de acuerdo a la información de ventas del año anterior (resumida en el capítulo 2), el proceso de 2 capas o single face es responsable del 70% de ventas totales para esta parte de la empresa. Tomando en cuenta esta información, sumada al hecho de que el proceso de uno y otro producto es el mismo (comparte maquinaria, materiales y personal), se ha decidido realizar el análisis solo en single face o dos capas. Se asume que por la similitud del proceso, cualquier cambio beneficioso en el proceso de dos capas también tendrá un efecto positivo en el proceso de tres capas. (Corruempaques Cia. Ltda., 2009)

Ahora, durante la realización de la tesis se dieron dos cambios importantes en los parámetros del proceso. Se dio una nueva llegada de cartón para liner y para flauta. Además, a través de una iniciativa del supervisor del proceso, estimulada por su experiencia en el puesto y por las conversaciones mantenidas, se estandarizó la formulación de goma para la nueva configuración de material. Con esto cambió el porcentaje atribuible de desperdicio para cada tipo de falla enunciado. A continuación se muestra la nueva configuración. (Zuñiga, Resumen de desperdicio, semana 22 de noviembre 2010)

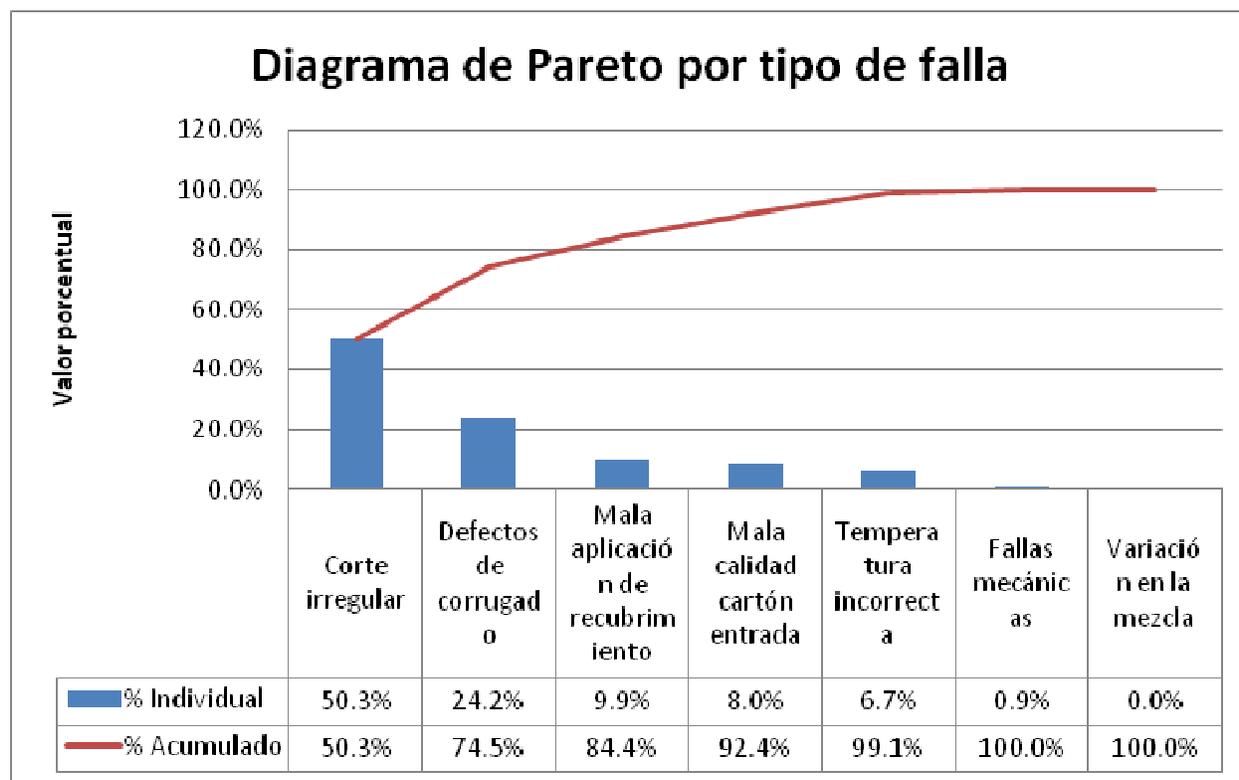


Figura 9: Diagrama de Pareto por tipo de falla Noviembre 2010

Fuente: Diagramación propia (Zúñiga, Resumen de desperdicio – semana 15 Noviembre, 2010)

Con la estandarización de la goma, se elimina la categoría de desperdicio asociada y el control de temperatura también se vuelve mucho más fácil. Ahora, los problemas esenciales ahora son el corte irregular y los defectos del corrugado con un 74.5% de impacto en los defectos del proceso. Parte de los defectos de corrugado se dan por el sistema de corte desalineado de la cortadora. Como el corte en la máquina no quedó perfecto después de una de sus reparaciones mayores, golpea el flujo de material al momento del corte. Esto produce movimiento en el cartón antes de llegar a

la máquina, por tanto aumenta la ocurrencia de defectos de corrugado. (Zuñiga, Entrevista cortadora, 2010). Entonces el problema que se va a enfocar para mejorar el proceso es el desempeño de la cortadora.

4.2. Análisis de diagramas de flujo

El método de análisis se basa en las dos perspectivas descritas en los fundamentos teóricos: La categorización de tareas (sección 2.1.4. Categorización de tareas) y el análisis sistemático propuesto por la Fundación Iberoamericana de la calidad conocida como FUNDIBEC (sección 2.1.5. Análisis del Diagrama de Flujo). Ahora, cuando se compara la categorización de tareas con el análisis propuesto por la Fundación Iberoamericana de la Calidad, se observa que la herramienta mencionada sirve de entrada para el procedimiento de análisis. Sin embargo, la categoría b. del método FUNDIBEC propone esencialmente explicar la categorización de tareas. Por este motivo en éste proyecto de tesis se utilizará primero la categorización de tareas y luego el método de la Fundación Iberoamericana de la calidad, describiendo en el literal b sólo información adicional a la ya propuesta por la primera herramienta.

Adicionalmente, para facilitar el análisis sistemático propuesto por la FUNDIBEC en términos de la categorización de tareas se ingresa a la tabla una columna adicional en el Anexo 8: “Categorización de tareas proceso actual de corrugado” denotada como el factor de ocurrencia. Esta variable indica el número de veces promedio que se realiza una actividad para completar una vuelta del proceso. De esta manera si el flujograma tiene lazos donde se repita la actividad, se calcula el factor de ocurrencia utilizando

$(1+p)$ donde p viene a ser la probabilidad de que se vuelva a ejecutar la actividad en cuestión.

4.2.1. Categorización de tareas

Se ha clasificado las actividades de los procesos involucrados de acuerdo a los lineamientos de la sección 2.1.4. Categorización de tareas”. Refiérase al Anexo 8: “Categorización de tareas proceso actual de corrugado” y al Anexo 9: “Categorización de tareas proceso actual de producción de goma”.

4.2.2. Evaluación sistemática de los diagramas de flujo

4.2.2.1. Análisis de flujograma para el proceso de corrugado

Esta sección analiza el proceso de corrugado descrito en el numeral 1.4.2. Proceso cuyo flujograma se muestra en la Anexo 1: “Flujograma del Proceso de Corrugado .

a. Verificar la toma de decisiones o actividades de control. –

Se evalúa cada actividad de inspección o decisión de acuerdo al listado correspondiente en la sección anterior “Categorización de tareas”.

- Actividad 4: ¿Está instalada la flauta correcta?

Esta inspección es crítica en cada nueva orden puesto que el tamaño de flauta es un requerimiento del cliente. Es imposible prescindir de esta actividad y no incurre en lazos por tanto es relativamente fácil de manejar. La baja probabilidad de que sea necesario un cambio es una ventaja, pues sólo se realiza cambio de flauta el 5% de los

pedidos (Zuñiga, Entrevista proceso de corrugado, 2010). En la categorización de tareas esto se refleja en el factor de ocurrencia de la actividad 5 “Cambio de Flauta” (equivalente al 5% mencionado).

- Actividad 10: ¿Es correcto el producto obtenido?

Esta inspección es crítica para el negocio, de modo que se puedan cumplir estándares de calidad del producto final. Sin embargo, la perspectiva de la calidad sería obtener producto aceptable en la primera oportunidad mayor número de veces de modo que no sea necesario inspeccionar constantemente. (Montgomery, 2007) Con esta base, la actividad debería intentar reducirse al máximo posible realizando mejoras a la variabilidad del proceso productivo, que no entra en el alcance de este proyecto. De tal manera, las cartas de control sientan el paso inicial en este sentido.

- Actividad 15: Conteo de cortes

Esta actividad sirve dos propósitos principales: Verificar la calidad del producto y agrupar las láminas en el número requerido para su empaque en la actividad posterior. Por tratarse de una inspección la actividad como tal no agrega valor. Existe un proyecto en la empresa para incluir una máquina que recolecte y cuente automáticamente las láminas. (Bravo G. , Entrevista proceso de corrugado, 2010). Su valor como control de calidad puede ser reemplazado por lectura de cartas de control. Con estos cambios descritos, esta actividad no será necesaria tras la implementación de ambos programas: Cartas de control (tratadas a detalle en este proyecto de tesis en

la sección 5.1. Propuesta de Diagramas de Control) y la máquina de conteo y recolección (iniciativa de la empresa que no es parte de este proyecto).

b. Verificar lazos de reproceso.-

- Actividad 10: ¿Es correcto el producto obtenido?

Aproximadamente una de cada diez ocasiones se debe parar la producción inicial para realizar nuevos ajustes (Zuñiga, Entrevista proceso de corrugado, 2010). Dicho de otra manera, la actividad conlleva lazos y tiempo perdido en la re ejecución de tareas anteriores. Básicamente, los primeros veinte a treinta metros de producción se vuelven desperdicio hasta la estabilización de la máquina. Esta cantidad se considera aceptable pues se encuentra bajo los parámetros de inicio de operaciones definidos de fábrica para la máquina. (Zuñiga, Entrevista proceso de corrugado, 2010). De cualquier manera, a pesar de que no es posible eliminar esta actividad, se debe intentar reducir la probabilidad de que el producto no sea bueno y se deba parar la máquina y reiniciar los ajustes. Esto será un beneficio de las cartas de control que permiten intervalos de tiempo menores en operación incorrecta en contraste con el método actual que sólo se basa en la apreciación del supervisor de máquina.

c. Examinar cada símbolo de actividad.-

Por tratarse de un proceso sujeto a la operación de una máquina compleja, todas las actividades que no se han discutido en los literales anteriores (salvo la 17 que se discute en el literal d.) son estrictamente necesarias para el proceso de corrugado. El análisis costo-beneficio por actividad no puede realizarse bajo este esquema, pues es

evidente que cada actividad es necesaria para el producto. Si se omite una tarea no es posible fabricar producto terminado. De todas maneras, para una referencia del propósito de cada actividad y su valor al cliente o al negocio, refiérase al Anexo 8: “Categorización de tareas proceso actual de corrugado

d. Examinar símbolos de documento y base de datos.-

- Actividad 13. Programar órdenes de control

Como fue descrito en la sección 1.4. Descripción de la empresa, la actividad de producción sólo funciona bajo pedido. El sistema de pedidos se maneja con un criterio FIFO (Primero entra, primero sale, por sus siglas en inglés), con cambios dependiendo de la urgencia de casos especiales. La programación de la producción será tratada con mayor detalle en la sección 5.2. . El presente proyecto propone una estructura de MRP que influye a su vez en la programación de producción (detalles adicionales en la sección mencionada).

4.2.2.2. Análisis de flujograma para el proceso de producción de goma

Esta sección analiza el proceso de producción de goma descrito en el numeral 1.4.2. Proceso cuyo flujograma se muestra en la Anexo 1: “Flujograma del Proceso de Corrugado”.

a. Verificar la toma de decisiones o actividades de control. –

- Actividad 9: ¿Es la temperatura de la solución menor a 20 grados C?

La temperatura es uno de los factores críticos para obtener un pegado correcto. Como se detalla más adelante en la sección 5.2. Sistema de manejo de materiales propuesto, existe información confidencial en la fórmula para producción de goma. Por tanto se listan los componentes implicados con letras mayúsculas empezando desde la A hasta la D. Entonces, en este caso el Producto A reacciona con el producto C, elevando su temperatura de 10 a 15 grados dependiendo de la calidad de los productos. Esta variabilidad implica también que el tiempo de enfriamiento sea variable. La mezcla en la actividad 11 debe realizarse con el producto menor a 20 grados para que no se generen grumos. (Zuñiga, Entrevista proceso de producción de goma, 2010) Se observa entonces que esta actividad de control no puede removerse.

- Actividad 10: ¿Está la temperatura de la mezcla entre 56 y 59 grados C?

Con la misma razón de la actividad anterior (evitar grumos), es necesario controlar la temperatura de la mezcla entre 56 y 59 grados antes de ingresar la solución en la actividad 11. Si la mezcla aún no ha llegado hasta esta temperatura es necesario esperar dos minutos adicionales.

b. Verificar lazos de reproceso.-

Se observa un lazo conformado por dos decisiones (Actividad 9 y 10) que regresan el proceso a la actividad 8. La probabilidad de que se deba esperar nuevamente el enfriado de la solución correspondiente a la actividad 9 es de 0.2.(Zuñiga, Entrevista proceso de producción de goma, 2010) Por otro lado, la probabilidad de que sea necesario volver a esperar para que se enfríe la mezcla es de 0.1 por la actividad 10.

(Zuñiga, Entrevista proceso de producción de goma, 2010) Como se definió en la sección 4.2.1. Categorización de tareas” el factor de ocurrencia es el promedio de número de veces que se realiza una actividad por cada corrida completa del proceso. Bajo este concepto, el factor de ocurrencia de la actividad 11 se calcula $(1 + p_{actividad\ 9}) * (1 + p_{actividad\ 10}) = 1.2 * 1.1 = 1.32..$ Esto quiere decir que en una ejecución del proceso se pasarán en promedio 1.32 veces por tal actividad.

c. Examinar cada símbolo de actividad.-

El valor agregado de cada actividad está determinado en el Anexo 8. Fuera de ello se realizará algunos comentarios comunes a ciertas actividades que son relevantes y no se reflejan en la tabla mencionada.

- En las actividades 1 y 2, el proceso actual es realizado manualmente. Con el diseño del MRP propuesto, una de las salidas del sistema sería directamente el dato tanto para la actividad 1 como para la 2, de modo que ya no se requiera ningún cálculo en éstas actividades.
- Las actividades 2, 3, 5 y 11 se realizan con instrumentos de poca precisión, sin embargo este error es insignificante respecto a las grandes cantidades de goma que se requieren. De todas maneras, si se establece una fórmula estándar, es posible definir instrumentos de medida fija para obtener mayor precisión y disminuir los tiempos de las actividades implicadas.

d. Examinar símbolos de documento y base de datos.-

Las actividades 1 y 2 implican la recolección y cálculo de las cantidades de producto final y materia prima necesaria para el siguiente proceso. Ambos registros son útiles para el control de materiales y el control de producción. Existe una oportunidad de mejora en el método con que se realizan tales actividades, pues el ingreso de un MRP simple puede realizar automáticamente las operaciones implicadas y facilitar ambas actividades.

4.3. Capacidad del Proceso

4.3.1. Cálculo de capacidad del proceso

La empresa actualmente considera aceptable un nivel medio de 6% de desperdicio con una variabilidad de 1.5% (Zuñiga, Entrevista proceso de corrugado, 2010). Traducido a las cartas de control con la ecuación 21 esto implica que la empresa debería tener un límite máximo de $LCS = 0.06 + 3(0.015) = 0.105$. De acuerdo a esto los valores de referencia para el cálculo de capacidad son:

Limite especificación superior	0.105
Limite especificación central = \bar{p}	0.06

Como se observa en la sección 2.5.1. Estimadores de Capacidad Teórica C_p , C_{pk} , cuando uno de los límites de control no es de interés, como en este caso, no se puede calcular el C_p , sino solamente el C_{pk} . Entonces se usa los datos del proceso en la fórmula respectiva analizando sólo el límite superior:

$$Cpk = \min. [(USL-\mu) / 3 \sigma_{c.c.} ; (\mu-LSL) / 3 \sigma_{c.c.}] \quad (\text{Ecuación 13})$$

$$Cpk = (USL-\mu) / 3 \sigma_{c.c.}$$

$$Cpk = (0.1050 - 0.0564) / 3*0.0243 = 0.667$$

De modo que el valor de referencia en este caso será el Cpk que se sitúa en 0.667. Observe que este valor toma en cuenta tanto la diferencia de variabilidad como el corrimiento de media entre el proceso en análisis y los valores objetivo.

4.3.2. Análisis de capacidad del proceso

El Cpk obtenido es de 0.667, es decir el proceso es incapaz de acuerdo a la sección 2.5.4. Análisis del Cpk y Ppk". Se dice esto siempre que $Cpk < 1$. Note que en este caso no se cuenta con información del Cp, por tanto se usa el Cpk para comparar dentro de las tres primeras reglas enunciadas para el Cp en dicha sección. Esto implica que en las condiciones actuales el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones de producción. De hecho, la media del proceso observado es menor a lo que requiere la empresa ($5.64\% < 6\%$), sin embargo la variabilidad es mayor y por tanto el proceso no es lo suficientemente capaz para cumplir los objetivos.

4.4 Simulación

La simulación responde a la recreación del proceso de corrugado de modo que sea factible analizar el desempeño del sistema con una nueva máquina cortadora (sin

tener que instalarla). Ahora, observe que en general los resultados se interpretan como una reducción del nivel del desperdicio. Por tanto, en caso de que no se desee o no sea posible seguir las sugerencias de este proyecto, se podrían obtener beneficios similares si se encuentra otros medios para reducir el desperdicio y su variabilidad. Gran parte de esta sección (4.4 Simulación), desde la conceptualización del modelo hasta la ejecución del primer escenario son un esfuerzo conjunto desarrollado con Gabriela Baldeón y Gabriela Moreno. (Baldeón, Jaramillo, & Moreno, Modelo de simulación del proceso de corrugado, Corruempaques Cia. Ltda., 2010) Posteriormente, el trabajo a partir del segundo modelo propuesto fue desarrollado exclusivamente para este proyecto (desarrollo individual).

4.4.1. Objeto del uso de simulación

Se pretende generar un modelo de simulación para la operación del proceso de corrugado que permita comparar el desempeño actual del sistema productivo versus un escenario con una cortadora de mejores prestaciones. Adicionalmente se utilizará la simulación asumiendo un apoyo del MRP. Es decir, en el modelo de simulación no se toman en cuenta las posibles fallas del programa de suministros de la empresa. Para la toma de datos se aseguró que no exista ninguna interrupción de este tipo en el período de interés. Dados los altos inventarios que se manejan en al menos la mitad de los productos, esto no fue difícil de lograr, sin embargo se debe tener en cuenta para la comprensión del método.

Ahora bien, la simulación aplica los usos 4, 6 y 7 para simulación estipulados en la sección 2.6.2. Usos de herramientas de simulación” respecto al sistema de análisis.

Los usos de la simulación y su aplicación en este proyecto se describen con mayor nivel de detalle a continuación:

- Concepto de uso 6:

El modelo de simulación permite experimentar con cambios de políticas y diseños en el sistema antes de su implementación, para preparar posibles respuestas a las reacciones del sistema. (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2005)

- Aplicación en el proyecto:

Se pretende experimentar un nuevo diseño de maquinaria a través de la simulación para comparar el desempeño del sistema en uno u otro caso. En función de las inferencias de la simulación se hará un análisis de inversión para evaluar la decisión de invertir en nueva maquinaria. La parte del sistema que será reemplazada en el segundo escenario es el sistema de la cortadora. Actualmente existe una propuesta de inversión evaluada en \$27000 para reemplazar la cortadora por una de mejor desempeño.

- Concepto de usos 4 y 7:

El cambio de las entradas del sistema y la observación de las salidas, representan información importante respecto a la influencia de cada parámetro de ingreso para el resultado final. (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2005)

La simulación se utiliza para verificar el efecto de otras soluciones analíticas. (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2005)

- Aplicación en el proyecto:

Los resultados de la simulación se basan en la operación adecuada del MRP. Ahora bien, la simulación permite un análisis de escenarios bajo distintos parámetros, donde se puede observar la capacidad simulada del sistema. Con ello se identifica los beneficios de obtener distintos niveles de reducción de desempeño. Se analiza si esto se puede lograr con la renovación de la cortadora sumado a disminución de variabilidad por otros métodos.

4.4.2. Descripción general del sistema por simular

4.4.2.1. Resumen de operación del sistema

Corruempaques trabaja en base a pedidos. Cada mes hay una cantidad de pedidos que se deben cumplir y estos están definidos por la cantidad de unidades de láminas que se necesitan. Cada unidad producida debe pasar por la máquina cortadora, que es la que define el tamaño que tendrá cada unidad de cartón o lámina. Al ser un sistema continuo no se puede hablar de un cuello de botella en el sentido tradicional de la palabra, pues todo el sistema trabaja a la misma velocidad. Ahora, el estado de la cortadora no es el mejor, ya que ha pasado dos reparaciones importantes que han desviado su operación de los parámetros del diseño. Por este motivo, la cortadora sufre mayores paros por falla y genera mayor desperdicio que el resto del sistema. Con esta perspectiva se la puede considerar como el cuello de botella del proceso.

La empresa está pensando en adquirir una nueva cortadora si fuera rentable hacerlo, por lo que se ha decidido hacer una simulación al respecto. La cortadora se

alimenta por rollos de cartón, que se cambian una vez cada día, y funciona continuamente durante seis horas al día. Las personas encargadas de trabajar en cada pedido son siete: cinco de ellas se dedican a tomar las unidades de cartones que se generan después del cortado, luego un supervisor asegura que la cortadora funcione y la arregla si se da algún deficiencia, por último un asistente asegura el flujo de materia prima y ayuda al supervisor.

El día laboral consta de 8 horas, de ellas la máquina se detiene una hora para el almuerzo (que va desde las 12 hasta la 1 pm) además de una media hora al inicio del día y media hora después del almuerzo para que se caliente y puede comenzar a trabajar. Al iniciar cada pedido hay un tiempo de set up de la máquina, donde se cambian las cuchillas, el tamaño de flauta y se lubrica a la misma. El número de veces que para la máquina por set up está determinado por la cantidad de pedidos que se deben cumplir ese día y el tamaño de los mismos (que es una variable aleatoria, pero se modelará con datos históricos). La empresa tiene una política de comenzar un pedido sólo si queda por lo menos una hora antes de la hora de salida, además de que nunca se puede dejar un pedido incompleto aun que esto signifique incurrir en costos de hora extra para los 7 empleados encargados de la cortadora.

4.4.2.2. Definición del modelo conceptual

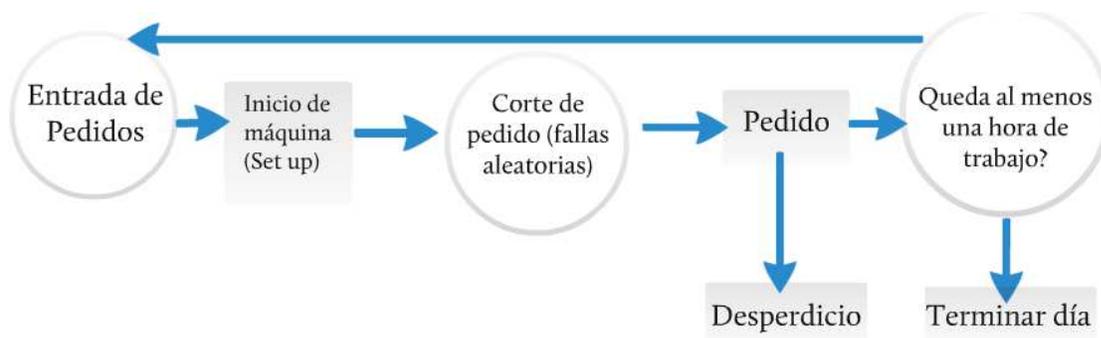


Figura 10: Modelo conceptual del proceso de corrugado para el modelo de simulación.

Arriba se presenta el modelo del proceso que se desea simular. Para ello se determina el tamaño del pedido que necesitará ser procesado por la cortadora utilizando datos históricos del año 2010 (Corruempaques Cia. Ltda, 2010). Después de definir este parámetro se iniciará el tiempo de set up de la máquina. El set up se registrará según la distribución de probabilidad, para que luego se inicie el cortado. El tiempo de cortado de cada unidad también será una variable aleatoria. Finalmente del corte saldrán las unidades que conformarán el pedido y unidades dañadas que son el desperdicio de la máquina. La cantidad de desperdicio de la máquina es un valor aleatorio proporcional al tamaño del pedido. Además, es necesario tomar en cuenta que la cortadora tiene fallas aleatorias que adicionan un tiempo de arreglo de la misma.

Este proceso continúa durante todo el día, procesando pedidos hasta que se termina la jornada de 8 horas. Es importante tomar en cuenta el horario de la máquina cortadora, que no puede funcionar durante el almuerzo y los dos periodos de calentamiento. Se debe además incluir la política que si durante el horario no se ha

terminado un pedido los 7 trabajadores se quedan tiempo extra hasta terminar el pedido en cuestión. Cada hora extra se paga 50% más que una hora normal, los que significa 19.99 dólares la hora adicional de operación de la máquina. La obtención de este dato se muestra en el Anexo 10: “Cálculo de costo adicional por hora extra de trabajo en la corrugadora”.

Ahora, al adquirir la nueva máquina el modelo conceptual se mantiene igual, solo se debe cambiar los datos de la máquina. Es decir, la nueva máquina tendrá un porcentaje menor de desperdicio y se asumirá que no habrán más paras por fallas en la máquina. Sin embargo, el sistema se seguirá comportando de la misma manera.

Con la nueva máquina se espera que haya menor cantidad de horas extras para satisfacer los pedidos ya que no habrán tiempos de para, habrá menor cantidad de producto en desperdicio y aumentará la producción. Dado que el tamaño de los pedidos y la cantidad de pedidos cumplidos es aleatorio y la producción diaria y desperdicio dependen de estas variables se medirá el desperdicio por hora y producción por hora. Estas serán las medidas de desempeño que se evaluarán en ambos modelos.

4.4.2.3. Identificación de eventos, variables y actividades del sistema

Esta sección indica la configuración de variables y eventos que permitirán la simulación del sistema. Observe que, por la naturaleza del proceso de interés, se ha dividido las entidades en pedido y láminas. Se hace esto para poder llevar el control de pedidos que es de interés para la empresa, pero a la vez determinar el desempeño de

- Inicio de falla en la cortadora (F, t)
- Finaliza reparación de falla (R, t)
- Evento de terminación, cuando se completen los pedidos diarios. (E, t)

Variables de estado:

- $LS(t)$ 0 o 1 Cortadora se encuentra lista o en Set up
- $LR(t)$ 0 o 1 Cortadora se encuentra operativa o en Arreglo
- $LQ(t) \geq 0$ Número de láminas buenas esperando a que se complete pedido
- $N(i) \geq 0$ Número de láminas por pedido i

Actividades:

- Tiempo de corte
- Tiempo de set up
- Tiempo de arreglo

Medidas de Desempeño:

- Cantidad de unidades producidas por hora
- Cantidad de unidades desperdiciadas por hora
- Costo de horas extra adicionales

4.4.3. Recolección y análisis de datos de entrada

4.4.3.1. Recolección de datos: metodología y herramientas

La recolección de datos es la parte clave para poder desarrollar el modelo de simulación. Las herramientas usadas fueron: ARENA, MINITAB, StatGraphics Excel e Input Analyzer. Ahora, los datos deben ser una buena aproximación del sistema real y deben controlar el mayor número posible de aspectos del mismo para contribuir de forma significativa. En este modelo se usaran dos tipos de datos:

a. Determinísticos. Datos conocidos con certeza. Aquí se cuenta con los datos proporcionados por la empresa Corruempaques.

b. Probabilísticos. Esta clase de datos han sido introducidos al modelo de dos formas:

- Usando la muestra de datos recogida para representar la distribución de probabilidades.
- Determinar una distribución probabilística teórica que se comporte como la muestra y usar ésta en el modelo. Esto permite tener una mejor comprensión del modelo.

4.4.3.2. Comprobación de supuestos

Una vez recolectados los datos necesarios se realiza un análisis de independencia y aleatoriedad para asegurar que se puedan usar en el modelo.

Independencia de los datos.- Se realiza mediante las gráficas de dispersión realizadas en MINITAB y se observa que los datos tienen independencia entre sí. No existe ninguna tendencia que pueda desenmascarar una correlación positiva, negativa o una mezcla de las dos. Para mayor detalle refiérase al Anexo 11:

Aleatoriedad de datos.- Para asegurar el supuesto de aleatoriedad en los datos se realiza pruebas de corridas en MINITAB, una vez realizadas se observa que el valor P para el Tamaño de pedido es 0.151, Tiempo de arribo de las laminas/5 es 0.137, Tiempo de set up es 0.089, Número de arreglos diarios es 0.103, Tiempo de arreglo es 0.059, Fracción disconforme es 0.0930 y el Tiempo de corte de laminas 60*25 es 0.111. Esto significa que en todas las pruebas el valor P es mayor que el nivel de significancia que en este caso es 0.05, por lo que la hipótesis nula no es rechazada y se concluye que los datos son aleatorios. Para mayor detalle refiérase al Anexo 12: “Comprobación del supuesto de aleatoriedad de los datos”.

4.4.3.3. Identificación preliminar de la(s) distribución(es) de probabilidad

Una vez que se ha probado la independencia y aleatoriedad de los datos se procede a identificar la distribución de probabilidad a la que pertenece cada categoría de datos. Como primer paso para el análisis se grafican histogramas de modo que se aprecie la forma general de la distribución. Para graficar los histogramas se utilizó Input Analyzer y para confirmar la validez de las distribuciones preliminares se comparó las características teóricas de cada distribución con las categorías mejor aproximadas en el programa. Para observar los histogramas vaya al Anexo 13: “Histogramas para cada distribución de probabilidad”.

4.4.3.4. Estimación de parámetros usando MPM

Para la estimación de parámetros se utilizó Input Analyzer, en la siguiente sección se escribe una descripción del método que utiliza el programa. Ahora bien, los resultados para los estimadores más apropiados se muestran en el Anexo 14: “Estimación de Parámetros para las distribuciones de probabilidad”.

4.4.3.5. Pruebas de bondad de ajuste: Chi-cuadrado y Kolmogorov Smirnov

Las pruebas de bondad y ajuste proveen una guía para evaluar la distribución de probabilidad más adecuada para el modelo. Normalmente Input Analyzer aplica pruebas Kolmogorov Smirnov para las distribuciones, se aplica también Chi cuadrado cuando el número de datos es suficiente ($n > 20$). El programa asigna los parámetros a través del Método de Probabilidad Máxima (MPM). Por último se ordena los resultados de acuerdo al error cuadrado medio (MSE). La prueba KS compara la distancia entre la distribución acumulada de los datos a la curva teórica de probabilidad, por ello se aplica cuando los datos son continuos. Por otro lado Chi Cuadrado compara la distancia de la distribución y el histograma de los datos. (Merchán, 2010). La prueba de hipótesis que realizan ambas pruebas es la siguiente:

H₀: Los datos siguen la distribución deseada

H₁: Los datos no siguen la distribución deseada.

Los resultados de las distribuciones obtenidas se muestran en la tabla a continuación, para mayor detalle refiérase al Anexo 15: “Pruebas de Bondad de Ajuste para los datos”.

Datos	Distribución de Probabilidad
Tiempo de Arribo de lámina	NORM(1.28,0.155)
Tiempo Set Up	GAMM(1.27,1.28)
Número de Arreglos diarios	BETA(2.53,1.88)
Tiempo de Arreglo	UNIF(10,45)
Fracción disconforme	NORM(0.05564,0.0324)
Tiempo de Corte de láminas	NORM(1.27,0.156)

Tabla 5: Resume de distribuciones para los datos de la simulación

4.4.4. Construcción y ejecución del modelo

4.4.4.1. Diagramación del modelo

Se procede a realizar la secuencia lógica de cada uno de los eventos designados en el sistema (salvo el de terminación). Sus nombres se listan en la tabla a continuación y sus diagramas de flujo se muestran en el Anexo 16: “Diagramación del modelo”.

A	Arribo de pedido al sistema	
S	Terminación de set-up	
C	Terminación del corte de lámina	
F	Inicio de falla en la cortadora	
R	Finaliza reparación de falla	

Tabla 6: Listado de Eventos para la simulación

Para facilidad en su lectura recuerde que las entidades y variables de estado con sus códigos respectivo son:

Entidades:

- Pedido (i) $i =$ número de pedido: entero positivo (1,2,3...)
- Láminas

Variables de estado:

- $LS(t)$ 0 o 1 Cortadora se encuentra lista o en Set up
- $LR(t)$ 0 o 1 Cortadora se encuentra operativa o en Arreglo
- $LQ(t) \geq 0$ Número de láminas buenas esperando a que se complete pedido
- $N(i) \geq 0$ Número de láminas por pedido i

Ahora bien, para adaptar simulación a los períodos pico de demanda se asume que existen pedidos infinitos en cola, es decir, apenas se acaba un pedido empieza el set up o tiempo de preparación del otro (no hay demora ni incertidumbre entre llegada de pedidos). Por este motivo no se designa una variable de estado correspondiente a la cola de pedidos por eficiencia de la simulación. Adicionalmente, dado que se está convirtiendo a discreto el flujo continuo de la corrugadora se asignarán diferenciales de tiempo (dt) que representan $t=0$ para que sea posible efectuar modelos lógicos tradicionales.

Para la lógica de C: “Terminación de corte de lámina” se utiliza una variable aleatoria de comparación P que representa la fracción disconforme del modelo. En caso del modelo con la cortadora vieja P sigue una distribución normal (0.056, 0.0243) como se estableció en las cartas de control de fracción disconforme.

4.4.4.2. Modelo en ARENA: diseño, asunciones y limitaciones

En el modelo se realizaron las ciertas asunciones para su eficiente y adecuado desarrollo. En primer lugar, el producto con el que se realizó la simulación son láminas de tamaño 25*60 puesto que de todos los tamaños de pedido que se realiza en la fábrica este represento el mayor porcentaje. Además el procesamiento de todas las láminas es igual y es un tamaño intermedio, de modo que los cortes que se realizan en realidad pueden aproximarse bastante bien con este producto. La demanda a su vez es continua ya que al entrar un pedido la máquina alimenta el material de manera sucesiva hasta completarlo y de manera inmediata entra otro pedido y así sucesivamente hasta el final de la jornada.

Por otra parte, al inicio de la jornada se asignó media hora de para hasta que la máquina empiece a funcionar, 1 hora de almuerzo que es de 12 a 1 y media hora más hasta volver a encender a la máquina. El tiempo entre fallas de la máquina por día tiene un mínimo de 4 horas y un máximo de 6 horas, esta información fue proporcionada por una entrevista con el supervisor de la empresa (Zuñiga, Entrevista cortadora, 2010). Por ello se asumió que el tiempo entre fallas sigue una distribución triangular con parámetros (4, 5,6) que corresponden a los tiempos mínimo, promedio y máximo estimados. Finalmente para calcular el número de réplicas se utilizó un criterio de error de ± 10 cortes que es un error suficientemente pequeño considerando los tamaños reales de los pedidos.

La única limitación que se presentó es el corrimiento del número de réplicas que para el modelo actual fueron 26. En este caso el máximo de corridas que se pudo realizar fueron 16 ya que la versión de ARENA no lo permitió más. De tal manera se fue probando cambiando los parámetros en el modelo de modo que el programa corra el mayor número de réplicas posibles, en este caso 21. Sin embargo el máximo número de corridas que se llegó a realizar fue de 20 y 21 para a partir del segundo modelo propuesto.

El modelo construido es el resultado lógico del conjunto de diagramas presentados en la sección anterior en el Anexo 16: "Diagramación del modelo". Para observar la construcción del modelo refiérase al Anexo 17: "Modelo de simulación en ARENA".

4.4.4.3. Verificación y validación del modelo

La validación y verificación se llevo a cabo de varias maneras. Primero, antes de comenzar a desarrollar el modelo en ARENA, se construyó un diagrama donde se describía al proceso con sus recursos y entidades. Se lo probó mediante pruebas de escritorio, en donde se analizaba si el modelo mantenía la lógica del modelo conceptual. Ya construido el modelo en el software, se hizo que cada variable muestre sus valores durante toda la ejecución de la simulación para ver si tomaba los valores esperados. A cada reporte obtenido se comparaba los valores de los estimadores obtenidos con los que se esperaban al hacer los cálculos a mano. Finalmente, se presentó el modelo a un experto en ARENA, quién entendió la lógica del mismo y lo aprobó. (Guilcapi, 2010)

La validación se hizo mediante dos técnicas. Primero se presentó el modelo al dueño de la empresa y gerente de producción de Corruempaques (Bravo G. , Entrevista Validación de Modelo de Simulación, 2010). De la visita a la empresa surgieron algunas sugerencias para el modelo. Se destacó que la máquina cortadora necesitaba media hora en la mañana y después del almuerzo para calentarla y que en dicho tiempo no había producción. Por ende se decidió implementar un calendario en la máquina cortadora de ARENA. Además se dijo que los trabajadores tenían una hora de almuerzo, por lo cual la cortadora dejaba de funcionar una hora adicional y nuevamente se agregó la información en el modelo. La omisión de estos tiempos de para hacían que la producción diaria sea mucho mayor a la real. Segundo, el supervisor de producción proporcionó la información de tiempo de producción de dos pedidos para su

comparación con los resultados del modelo. (Zuñiga, Entrevista para validación de la simulación, 2010)

Ahora bien, el día lunes 29 de noviembre la empresa se demoró 2 horas en satisfacer un pedido de 3,000 unidades y el día viernes 26 tomó 5 horas y 42 minutos en hacer un pedido de 10,000 unidades. (Zuñiga, Entrevista para validación de la simulación, 2010) Entonces, se procedió a hacer 10 réplicas con un pedido de 10000 unidades y 3000 unidades, respectivamente y se procedió a hacer una prueba de comparación de medias (que se encuentran respectivamente en el Anexo 18: “Primera prueba de comparación de medias entre el modelo y la información histórica” y en el Anexo 19: “Segunda prueba de comparación de medias entre el modelo y la información histórica”). Para el pedido de 10,000 unidades se tuvo un tiempo promedio de 5.83 horas y el de 3,000 unidades 1.62 horas (la horas están en base 10) con ello se concluyó que el modelo es adecuado en la predicción de tiempo de producción.

Por otra parte el supervisor informó que la producción por hora podía variar de un mínimo de 1167 unidades a un máximo de 1667 unidades. (Zuñiga, Entrevista para validación de la simulación, 2010) En las diez corridas de prueba se obtuvo como media 1573 unidades por hora, y dado que este valor se encuentra en el intervalo dado por la entrevista se validó el modelo.

4.4.4.4. Ejecución del modelo

a. Animación del proceso de corrugado

Para observar el modelo de animación y su explicación detallada referirse al Anexo 20: “Animación del modelo de simulación”. La figura a continuación muestra las salidas de interés del modelo, en el medio a la izquierda se apila el desperdicio y abajo a la izquierda se apila el producto conforme en cajas. Ambos tipos de producto salen de la cortadora a la derecha. Una vez concluido un pedido o cuando se ha completado una carga de contenedor (suficientes cajas abajo a la izquierda) un camión pasa para recogerlo. Por otro lado, el desperdicio se acumula hasta el final del día, en donde es removido (en el modelo real la remoción del desperdicio no se hace en un tiempo predeterminado, sin embargo al no ser un tema de interés en el análisis se modeló de tal manera el fenómeno).

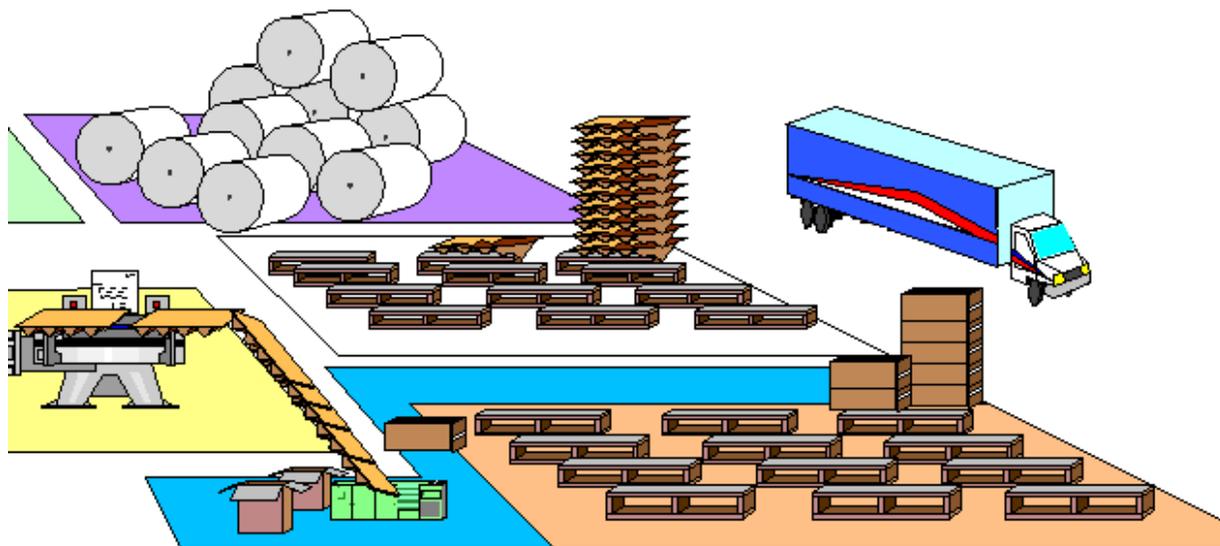


Figura 11: Captura del área de interés en la animación del proceso

b. Definición de parámetros de la simulación

Número de réplicas de simulación.

Se define una réplica como un día de producción hasta que se termine el último pedido (para detalles de la terminación del día refiérase al Anexo 16: “Diagramación del modelo”). Entonces, para obtener el número de réplicas se realizó 10 corridas iniciales del modelo, se escogió este número de corridas para hacer una prueba piloto con el que se pueda estimar las réplicas reales necesarias. Los estadísticos de interés guardados fueron producción por hora, desperdicio por hora y costo de horas extra. De los tres estadísticos de interés el que presentó una media más alta es el de Producción por hora (media=1573.13) por lo cual estos valores son los que se tomarán como referencia para calcular el número de réplicas necesarias para el modelo. Ahora, el número de réplicas necesarias para correr el modelo es 26 de acuerdo a los cálculos presentados en el Anexo 21: “Determinación del número de réplicas”.

Tamaño de muestra para el tiempo de corte de láminas

El método de toma de datos será el de cronometraje de acuerdo al procedimiento establecido en la sección respectiva del capítulo 2. Se utilizarán unidades en segundos. Es útil recordar que cada corte horizontal tiene simultáneamente 4 cortes verticales, produciendo 5 unidades de producto. La unidad de enfoque será un corte horizontal, es decir cinco unidades de producto. Se realiza una prueba piloto de 110 datos (Baldeón, Moreno, & Jaramillo, Toma de datos del proceso de corte, 2010) El tamaño de la muestra se calcula en el Anexo 22: “Determinación del tamaño de la muestra para el

Tiempo de Corte de láminas”. En total el número de muestras utilizadas para estimar la distribución de probabilidad es de 119.

Porcentaje de desperdicio

Para el porcentaje de desperdicio se toma muestras de 50 unidades de producción y se determina el número de disconformes dentro de la muestra. La fracción disconforme es número de disconformes / tamaño de la muestra. Se define una unidad como un corte horizontal. Se realiza una prueba piloto de 140 muestras y se calcula el tamaño de muestra requerido. Para detalles de los datos y el cálculo refiérase al Anexo 23: “Determinación del tamaño de la muestra para Porcentaje de desperdicio”

Se obtiene un requerimiento de tamaño muestral de 112 datos. Ahora, dado que en ya se han tomado 140, se acepta que la estimación con los datos disponibles es suficientemente buena (de hecho mejor que la requerida). (Zagarola, 2010)

Tiempos del modelo y otros parámetros relevantes

En la tabla a continuación se detallan los resultados obtenidos con el análisis de los puntos precedentes así como el resto de parámetros relevantes de la simulación y sus respectivas distribuciones.

Tiempos del modelo	
Tiempo de set up	5+GAMM(12.7,1.28) [min.]
Tiempo de corte	NORM(1.27, 0.156) [seg.]
Tiempo entre falla de la máquina	TRIA(4, 5 ,6) [horas]
Duración de la falla de la máquina	UNIF(10,45) [min.]
Tiempo de para de la maquina por almuerzo	1 [hora]
Tiempo de para de la máquina para encenderla	1 [hora]
Tiempo de terminación de la simulación	8 [horas]
Tiempo de horas extra	Tiempo de Terminación del pedido [horas]

Tabla 7: Resumen de distribuciones de tiempos relevantes a la simulación

Por último los otros datos de interés, que son principalmente para registro de desempeño del modelo simulado se listan a continuación:

Variables para registro de desempeño	
Porcentaje de producto fallido	NORM(0.05,0.03)
Cantidad de productos fallidos	Porcentaje producto fallido*Tamaño de pedido)
Producción por hora	Producto bueno/TNOW
Desperdicio por hora	Producto malo/Tnow
Fracción disconforme	NORM(0.056,0.0324)
Costo de horas extra	(TNOW-8)*19.99

Tabla 8: Resumen de variables utilizadas para registro de desempeño

c. Análisis de Resultados: medidas de desempeño e intervalos de confianza

La simulación del modelo calculó que en promedio hay un costo de 26,61 dólares adicionales diarios por horas extra para la terminación de pedidos, con un 95% de confianza se obtuvo que el costo de horas extras fluctúa entre 2 y 52,22 dólares. Además se predice que un día determinado los costos de horas extras puede estar entre 0 y 128 dólares. Se puede observar que los valores obtenidos no son muy precisos (debido a la limitación de cantidades de corridas), sin embargo se puede concluir que al final del mes siempre se tendrá que pagar horas extras para satisfacer los pedidos. Dependiendo de la cantidad de pedidos diarios los costos de horas extras pueden ir desde 0 hasta un valor tan alto como 128 dólares.

Siguiendo con el análisis, se estima que en promedio se hacen 1572 unidades por hora, y con un 95% de confianza el valor puede estar entre 1476 unidades y 1669 unidades por hora. Se predice que para un día en particular la producción por hora puede estar entre 1173 unidades y 1971 unidades. Dichos valores se ven afectados por las paradas por la falla de la máquina que son aleatorias.

En relación al desperdicio de unidades por hora de producción se encontró que con un 95% de confianza van desde 61 unidades hasta 95 unidades con un promedio de 78 unidades. En un día en particular se puede esperar en tener entre 7 a 148 unidades de desperdicio por hora. Se comprueba que la cantidad de desperdicio diaria es significativa con la máquina cortadora actual. Al comparar los datos de desperdicio por hora con la producción por hora se encuentra que en promedio el 5% del producto es desperdicio.

Para estos los cálculos se utilizaron intervalos de confianza con la distribución t y se encuentran en el Anexo 24: “Análisis de Resultados para las medidas de desempeño del modelo actual”. Se utiliza este tipo de prueba pues se asume que la varianza poblacional no es conocida y por tanto se la está aproximando con la varianza muestral. (Montgomery, 2007)

4.4.5. Escenarios propuestos para comparación de desempeño

La información recopilada para los nuevos modelos se hizo con datos proporcionados tanto por la administración como por el supervisor de proceso de corrugado, quien conocía los niveles de desempeño de la cortadora actual antes de sus reparaciones mayores. De este modo se determinó que, para el primer modelo propuesto, el 1% de toda la producción iba a ser desperdiciada y que se esperaba que no haya ninguna para en la cortadora. El vendedor de la máquina estableció que la nueva cortadora tenía un potencial de 2000 cortes por hora, que significaría 10000 unidades producidas por hora.

Ahora bien, por la falta de información confiable del vendedor, los resultados del proyecto conjunto con Gabriela Baldeón y Gabriela Moreno y la revisión de resultados con el gerente de producción de la empresa (de la que se hablará más adelante) se sospechó que el estimador para el desperdicio del 1% es errado. Por tanto, se proponen dos escenarios adicionales de comparación con 2% de desperdicio el primero y 3% de desperdicio el segundo. Entonces, en la tabla siguiente se resumen los escenarios que se van a comparar.

	Fracción disconforme
Escenario Actual	5%
Propuesta A	1%
Propuesta B	2%
Propuesta C	3%

Tabla 9: Listado de escenarios de desempeño para la cortadora

4.4.5.1. Configuración de los modelos propuestos

De hecho, como ya se ha discutido en secciones anteriores, tanto el lógico como su ejecución son similares en los modelos con una nueva modelo original. Lo que se está modificando es el desempeño de la en cuanto a fallas, donde se asumirá que ya no habrá fallas imprevistas. desperdicio varía de acuerdo al modelo propuesto, sin esto modificar el de corrugado ya modelado en la sección precedente. Entonces, si desea revisar la diagramación y estructura en ARENA utilizadas para los refiérase respectivamente al Anexo 16: “Diagramación del modelo” y al Anexo 17: “Modelo de simulación en ARENA”. Si requiere información acerca del proceso de análisis para llegar a estos resultados refiérase a la 4.4.4. Construcción y ejecución del modelo .
sección

4.4.5.2. Validación de modelos propuestos

Esta vez la validación del modelo es más complicada porque se está tratando con un sistema no existente, por tanto no hay registros históricos con los que se pueda comparar los resultados del modelo. En general, diremos que el modelo propuesto A, responde a las especificaciones del vendedor, el C a una suposición más realista en base al análisis del proyecto de tesis y el B es un nivel intermedio. Cabe decir que el gerente de producción por su experiencia supone que la cortadora no debería representar una inversión demasiado favorable (Bravo G. , 2010). Es por este motivo que se utilizarán los modelos adicionales en el análisis. Note que se comprobó que los resultados y funcionamiento del modelo eran correctos, por ende se dirigió la atención a las suposiciones para determinar si había alguna discrepancia considerable con la realidad.

4.4.6. Ejecución de modelos propuestos

Se ejecutan los nuevos escenarios con los cambios necesarios y a continuación se resumen los resultados. Se lista los escenarios de acuerdo a la descripción de la sección 4.4.5. Escenarios propuestos para comparación de desempeño. Los estadísticos registrados han sido la producción por hora, desperdicio por hora y costo de horas extra, que se definieron como base para comparar un modelo sobre otro. Se ha tomado las unidades en número de cortes, donde cada corte implica cinco láminas. A la vez se ha realizado una segunda corrida del Escenario actual con más réplicas para disminuir el intervalo de confianza. Las columnas listadas como “Half Width” representan la mitad del intervalo de confianza.

	Producción por hora (número de cortes)		Desperdicio por hora (número de cortes)		Costo de hora extra (\$)	
	Promedio	Half Width	Promedio	Half Width	Promedio	Half Width
Escenario Actual	1535	145	80	13	2.80	8.40
Propuesta A	1635	117	16	1	5.46	10.26
Propuesta B	1535	127	31	3	11.11	23.66
Propuesta C	1578	136	47	4	1.89	12.50

Tabla 10: Resumen de resultados para modelos propuestos

Ahora, se entiende que con el 95% de confianza varios resultados no son estadísticamente diferentes. Aprovechando la estructura de los datos de ARENA, utilizaremos la prueba de intervalos de confianza, donde no se puede decir que dos resultados sean distintos si se cruzan sus intervalos de confianza. (Montgomery, 2007) Note que esto viene a ser equivalente a las pruebas de hipótesis para dos muestras. De este modo, la tabla a continuación muestra en blanco los resultados estadísticamente distintos con 95% de confianza, que serían los de interés para el estudio.

	Producción por hora (número de cortes)		Desperdicio por hora (número de cortes)		Costo de hora extra (\$)	
	Promedio	Half Width	Promedio	Half Width	Promedio	Half Width
Escenario Actual	1535	145	80	13	2.80	8.40

Propuesta A	1635	117	16	1	5.46	10.26
Propuesta B	1535	127	31	3	11.11	23.66
Propuesta C	1578	136	47	4	1.89	12.50

Tabla 11: Resumen de resultados estadísticamente diferentes (en blanco)

4.4.7. Análisis de modelos propuestos

4.4.7.1 Traducción de desempeño a valor monetario

Una vez diferenciados los cambios que se producen entre los distintos escenarios, es posible cuantificar en dólares las diferencias respecto al modelo actual. Para ello se resumen los datos de comparación a continuación. Note que se han tomado la diferencia de promedios entre número de cortes de las propuestas y el modelo actual. Sin embargo se ha tomado la suma de los “Half Width” respectivos en cada caso. El nivel de confianza por concepto indica que existe una probabilidad del 95% de que un dato en particular caiga dentro del intervalo formado entre la media + - el Half Width. Ahora, al hacer este cambio en la forma de los datos se está sumando dos eventos independientes con el 95% de probabilidad de éxito (que el número caiga en el intervalo indicado). Por consiguiente la probabilidad que el número esté en el intervalo que tomaremos es mínimo $0.95 \times 0.95 = 0.9025$. Por tanto los resultados que se obtendrán a continuación tendrán un nivel de confianza del 90.25%. Así, los datos que se utilizarán se resumen a continuación:

		Ahorro en desperdicio por hora (número de cortes)	
		Promedio	Half Width
Propuesta A		64	14
Propuesta B		49	16

Propuesta C	33	17
-------------	----	----

Tabla 12: Ahorro en desperdicio por hora para modelos propuestos

Ahora se realiza una tabla considerando la producción de 8 horas al día y 20 días al mes para observar cual sería la proyección diaria y mensual para el ahorro de cortes. De la misma manera se toma un promedio de 1147.75 cortes por hora estimado desde el 2007 (Corruempaques Cía. Ltda., 2010) para calcular el ahorro anual que habría en desperdicio en función de lo que produce la corrugadora en un año. Con este cálculo se tabula también el ahorro anual por desperdicio. Para cada propuesta se da tanto la media como el intervalo de confianza / 2 (equivalente al Half Width).

		Número de cortes ahorrados			
		hora	día	mes	año
Propuesta A	media	64	512	10240	73456
	intervalo de confianza/2	14	112	2240	16069
Propuesta B	media	49	392	7840	56240
	intervalo de confianza/2	16	128	2560	18364
Propuesta C	media	33	264	5280	37876
	intervalo de confianza/2	17	136	2720	19512

Tabla 13: Ahorro por periodo con modelos propuestos

Entonces es posible traducir estos resultados a dólares utilizando el precio estimado de la empresa con USD .12 por lámina, que implica USD .6 por corte. De esta forma los valores tanto para el intervalo superior como para el intervalo inferior anuales de ahorro en dólares son:

		ahorro anual	
		Número de cortes	Dólares
Propuesta A	Intervalo superior	89525	\$ 53,715
	Intervalo Inferior	57388	\$ 34,433
Propuesta B	Intervalo superior	74604	\$ 44,762
	Intervalo Inferior	37876	\$ 22,725
Propuesta C	Intervalo superior	57388	\$ 34,433
	Intervalo Inferior	18364	\$ 11,018

Tabla 14: Ahorro en dólares de cada propuesta

4.4.7.2. Comparación económica de escenarios

Entonces, para el análisis de cada propuesta se hará un cálculo del retorno sobre la inversión y el valor presente neto. Se utilizará los intervalos inferiores de la tabla anterior para obtener la estimación más conservadora posible. El período que se ha tomado para el cálculo es de diez años, sin embargo se espera que la cortadora vaya disminuyendo su desempeño hasta llegar al nivel actual de desperdicio durante siete años donde el desempeño se mantendrá ya constante para el octavo noveno y décimo años. Se esperaría que al final de esos diez años se haga un cambio de maquinaria en la empresa.

La tabla a continuación resume los resultados del valor presente neto VPN y retorno sobre la inversión para los tres escenarios propuestos A, B y C. Los detalles del

cálculo individual para cada valor se despliegan en el Anexo 25: “Cálculo de VPN y ROI para escenarios propuestos de simulación”.

Escenario	Período	VPN	ROI
Propuesta A	Total en 10 años	\$ 96,194.36	418%
	Anual	\$ 9,619.44	42%
Propuesta B	Total en 10 años	\$ 54,305.49	236%
	Anual	\$ 5,430.55	24%
Propuesta C	Total en 10 años	\$ 12,420.19	54%
	Anual	\$ 1,242.02	5%

Tabla 15: resumen de indicadores económicos para las propuestas de simulación

Todas las propuestas reflejan un VPN positivo, es decir en todos los casos de análisis la inversión produce flujo de dinero positivo. De aquí queda analizar si este flujo es suficiente para justificar la inversión, en este caso conocer si tiene una tasa mínima atractiva de retorno TMAR mayor a 8%.

Ahora, note que la propuesta A, sugerida por el vendedor tendría un retorno sobre la inversión anual de 42%, por ello se realizaron las propuestas B y C, de modo que se observe el desempeño de la inversión si los datos del vendedor no fuesen correctos. Luego, en la propuesta B se obtiene un retorno de la inversión de 24%, que sigue siendo notablemente mayor al 8% de la TMAR. Por último la propuesta C tiene un ROI de sólo 5%, en cuyo caso la inversión no sería conveniente.

Queda entonces la decisión de si realizar o no la inversión. En efecto, se observa que el factor determinante viene a ser el nivel de desperdicio real que tendrá la máquina. De este modo se sugiere pedir comprobaciones o pruebas al vendedor que justifique su propuesta de desempeño (1% de desperdicio). Si la gerencia considera que estas son satisfactorias se recomienda seguir con la inversión. Es importante notar además que el intervalo de confianza para el peor escenario admitido (la propuesta C), tendría un ROI de 5% anual en el peor de los casos, sin embargo en el caso de la cola superior tendría un ROI de 42% anual con el 90.25% de confianza. Por consiguiente, la inversión en sí no conlleva un riesgo alto de pérdida de capital (un 5% de probabilidad de tener un ROI menor al 5%) y presenta buenas perspectivas para un retorno de inversión superior a la TMAR.

4.5. Modelo de pronósticos para la producción mensual

Se diseña un modelo de pronósticos para apoyar la información del MRP y para facilitar el sistema de control de producción. Se trabajará con la producción mensual pues representa una cantidad agregada de producto respecto a la planeación semanal del MRP, por tanto tendrá menor variabilidad. Al mismo tiempo una proyección mensual todavía tiene un nivel de detalle suficiente para ser una herramienta de apoyo en temas de planeación de producción y manejo de suministros.

4.5.1. Datos para adaptación del modelo de pronósticos

Se utilizan los datos de producción de los años 2007 a 2010 expresados en Kilogramos, esta información también se puede expresar en metros cuadrados si fuese

necesario. Los datos para los primeros cuatro meses del 2009 son aproximaciones pues se perdió el registro de los datos reales.

Producto Kg				
	2007	2008	2009	2010
Ene	57954.7	65381.3	60215	57308.99
Feb	19413.7	25590	27832.07	38492.5
Mar	23038	20878.58	23946.74	27923.65
Abr	31179.7	52116.9	42953.14	45562.81
May	36715.8	21533.6	31235.2	40645.13
Jun	21043.3	24740.6	27337.8	31457.8
Jul	20105.4	33664.3	25199.5	35589.89
Ago	18907.1	22949.8	24081.9	18875.84
Sep	19914.9	34116.5	37505.7	24063.46
Oct	30190.4	44995.3	40770.21	
Nov	33738	24103.9	42960.9	
Dic	39336.8	35906.8	40427.92	

Tabla 16: Producción mensual 2007 -2010 (Corruempaques Cía. Ltda., 2010)

4.5.2. Evaluación preliminar de los datos

El primer paso en la evaluación de los datos será realizar gráficas de los datos para determinar si existe tendencia y estacionalidad en los mismos. La figura a continuación muestra que aparentemente existe tendencia, pues la producción mensual para cada año es mayor a la del anterior en casi todos los casos. Además se identifica un factor de estacionalidad dado que los picos y bajas de la producción ocurren en los mismos meses. Entonces se asume una estacionalidad de período 12.

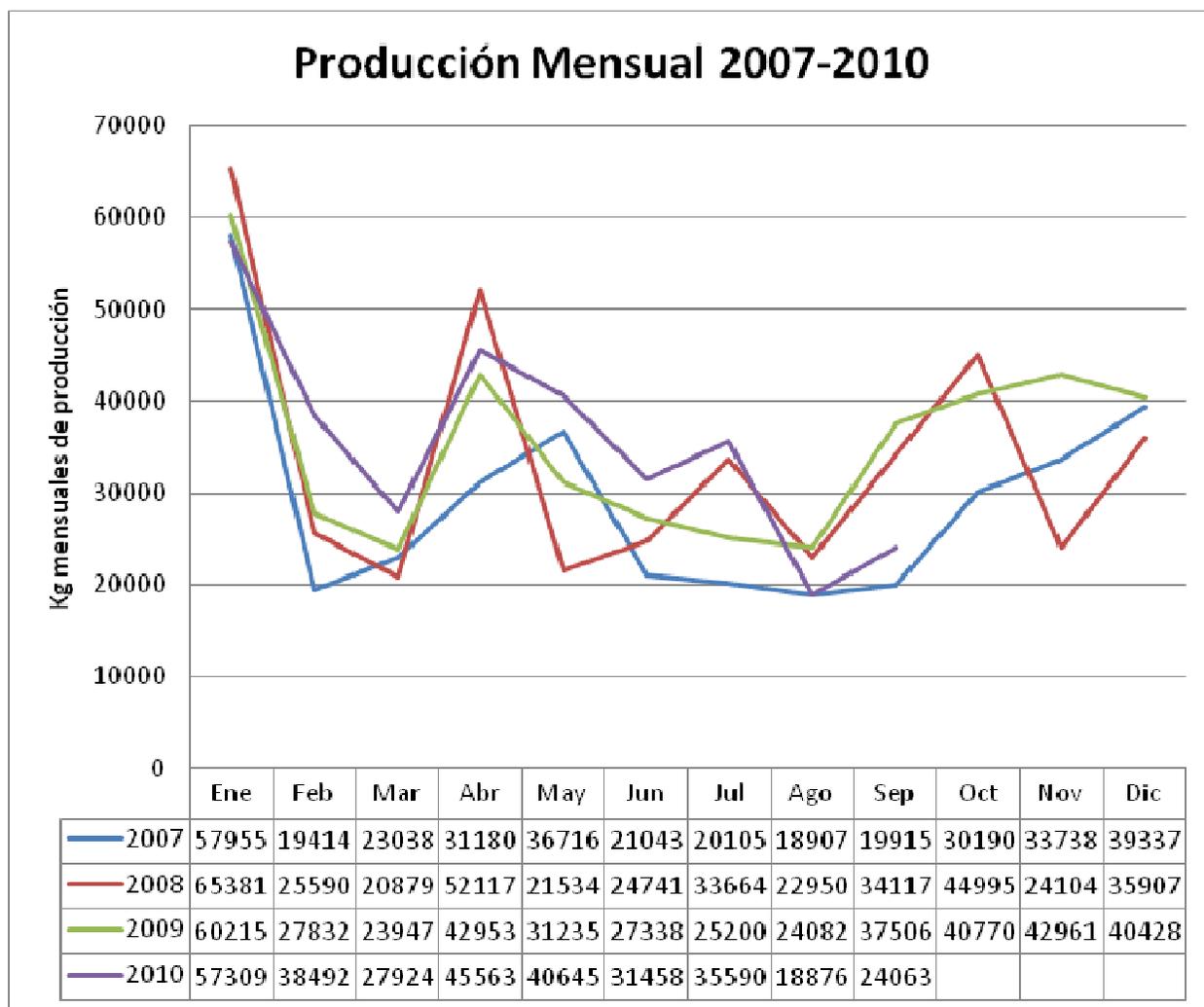


Figura 12: producción mensual separada por años

4.5.3. Comparación de modelos para pronóstico

Se ingresa los datos a StatGraphics y se genera una comparación de modelos minimizando el MSE o error cuadrado medio. Se utiliza un modelo estacional con intervalo de un mes, ingreso de datos mensual y ciclo de estacionalidad 12 meses. Para una descripción de los modelos analizados en el programa refiérase al Anexo 26: “Modelos posibles de comparación para pronóstico”. Un análisis del ajuste para los

modelos incluidos se realiza en el Anexo 27: “Comparación de modelos en StatGraphics”.

De este modo se obtiene que el mejor modelo para ajustar los datos es un promedio móvil auto regresivo integrado: ARIMA (0,0,1)x(2,2,1)¹². De acuerdo a la salida de StatGraphics: “Este tipo de modelo asume que el mejor pronóstico está dado por un modelo paramétrico que relaciona el dato más reciente con los datos anteriores y el ruido anterior”

4.5.4. Generación de pronósticos para la validación del modelo

Se utiliza StatGraphics para generar pronóstico con el modelo y comparar qué tan bien se desempeña el modelo para pronosticar los datos de la producción mensual. El Anexo 28: “Tabla de pronóstico para Producción mensual Kg 2007-2010 utilizando ARIMA(0,0,1)x(2,2,1)¹²”, muestra que el modelo parece ser bastante adecuado para los datos en términos de Error. En todos los períodos donde es posible pronosticar el modelo tiene un error de 0 con respecto a la observación real.

5. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN

Este capítulo resume los cambios propuestos al sistema de producción, resultado del análisis en los capítulos anteriores. Entre estos cambios se incluyen sistemas para manejo de materiales MRP y pronósticos que se describen a detalle en las secciones del presente capítulo. En suma se propone implementar los siguientes cambios y sistemas al proceso de producción (para una planificación tentativa de la implementación refiérase a la sección 5.5 Plan de implementación propuesto):

- Estandarización de la formulación de goma cada vez que ingrese una importación de rollos de liner y flauta. Para detalles de los beneficios de este cambio refiérase a la sección 4.1. Enfoque de acción frente al problema.
- Implementación y uso de diagramas de control de fracción disconforme para controlar el desperdicio en el proceso de corrugado. (Para una descripción detallada del sistema a utilizar refiérase a la sección 5.1. Propuesta de Diagramas de Control)
- Uso de órdenes de producción estándar para facilitar el registro y control de materiales y de órdenes de producción. (Observe sección 5.2.1. Formato de órdenes de producción)
- Implementación del sistema MRP diseñado para la empresa para mejorar control de materiales y planificación de la producción. (refiérase a la sección 5.2.3. Sistema MRP)

- Uso del sistema de pronósticos sugerido como fuente adicional de información del MRP para planificación a futuro y toma de decisiones a tiempo.
- Compra e instalación de una nueva cortadora. (Para revisión de los parámetros de decisión implicados refiérase a las sección 4.4 Simulación)

5.1. Propuesta de Diagramas de Control

5.1.1 Definición de Cartas de Control propuestas

En base a los análisis realizados en la sección 3.3.5. Diseño de carta de control inicial para fracción disconforme, se sugiere el uso de cartas de control P con la siguiente configuración:

- Defina una unidad como 5 cortes de 0.25m x 0.65m tomados de forma horizontal a la salida de la máquina. Esta unidad implica un corte horizontal del largo del rollo 1.30m (5 pedazos de 0.25m + laterales de desperdicio de 0.05m).
- Adicionalmente tome cada unidad con un espacio de 3 segundos para asegurar independencia entre unidades.
- Utilice una carta de control P, con límite inferior 0 y límite central (LC) y superior (LCS) según la siguiente tabla:

LCS	0.125653
LC = \bar{p}	0.0564286

- Utilice una frecuencia de muestreo de una muestra cada veinte minutos donde cada muestra son 50 unidades de producto y el valor p para graficar en la carta se calcula (número de unidades que contienen una falla / 50). Con esta frecuencia se tendrá un “tiempo promedio hasta señal” (ATS, por sus siglas en inglés de $ATS = 20 / 0.05 = 400$ minutos. Es decir habrá una falsa alarma en promedio cada 400 minutos o 6 horas y 40 minutos.
- Asigne la recolección de datos para las cartas al quinto trabajador a la salida de la cortadora. Dado que esta persona tiene intervalos de espera hasta que los otros cuatro trabajadores recojan un paquete de láminas.
- Tome los datos utilizando el Anexo 29: “Formato de muestreo para cartas de control”, con el que se obtendrá los valores P para cada muestra.
- Posterior a la toma de datos, el supervisor del proceso podrá graficar la muestra en la carta de control y revisar las reglas de control.

5.1.2. Reglas de control para la detección de puntos fuera de control

Se sugieren las siguientes reglas de detección, que son las más fáciles de detectar visualmente de entre las pruebas sugeridas por Shewhart enunciadas en la sección correspondiente. No se eligen todas las reglas de control para disminuir lo más posible el tiempo que el supervisor deba invertir en la tarea de detección de modo que pueda atender otras funciones importantes. Además por ser un proceso sin límite de control inferior algunas reglas no son de interés.

- Un punto fuera de los límites de control
- 9 puntos seguidos al mismo lado de la media.
- 6 puntos en fila, todos en forma decreciente o creciente.
- 14 puntos seguidos que alternen arriba y debajo de la media.

5.1.3. Plan de acción para puntos fuera de control (OCAP)

Cuando se registre un punto fuera de control el procedimiento propuesto a seguir se define a continuación. Observe que este procedimiento se puede ir mejorando conforme se gana conocimiento de la interacción entre las cartas y el proceso con la experiencia. Un punto importante es que la persona encargada del registro de las cartas de control es el supervisor del proceso de corrugado. Esta persona es experta en resolución de fallas o defectos en el proceso. Por lo tanto el plan de acción presentado servirá más al lector para tener una idea de la resolución de fallas, que al supervisor como punto de referencia. En cambio, para lo que sí es útil la carta de control es brindar una advertencia temprana de una posible salida de los parámetros aceptables de operación. Con esto dicho, se resume el plan de acción para puntos fuera de control:

1. Revise el producto a la salida del sistema, si detecta fallas en 25% o más del producto de salida detenga el proceso. Revise los niveles de insumos, y el funcionamiento de los rodillos de las máquinas principales. Luego revise la cortadora, la aplicación de recubrimiento y la aplicación de goma. Una vez solucionado el problema, vuelva a iniciar la producción.

2. Si el nivel de fallas está entre el 25% y 10% no detenga la máquina revise los niveles de insumos. Luego revise la cortadora, la aplicación de recubrimiento y la aplicación de goma. Si no detecta el problema considere detener la producción hasta que el asunto sea resuelto
3. Si el nivel de fallas está bajo parámetros normales asigne una nueva toma de muestra. Revise el funcionamiento de las máquinas principales para asegurar su funcionamiento correcto.

5.1.4. Análisis de desempeño (Ppk)

Tome un número de muestras de al menos 25 datos (para el Ppk pueden utilizarse muestras del proceso normal de toma de muestras, no es necesario tomar datos exclusivos para su cálculo). Calcule la media y desviación estándar de los datos obtenidos (La forma más fácil de hacerlo sería ingresar los datos en Excel y utilizar las formulas =average() y =stdev() respectivamente). Entonces, para calcular el factor de desempeño Ppk aplique la fórmula:

$$Ppk = \min. [(LSE - \bar{X}) / 3 \sigma_{total}$$

Si se utilizan los niveles de tolerancia actuales esto equivale a

$$Ppk = (0.1050 - \mu) / 3 \sigma_{total}$$

De la comparación del Ppk obtenido con el Cpk actual (=0.66) se puede hacer un análisis con los siguientes lineamientos.

- Cpk \approx Ppk

El desempeño del proceso es correcto y muy cercano a la capacidad en condiciones ideales. Es necesario observar el valor específico para determinar si el proceso es capaz o no ($C_p > 1$ proceso capaz).

- $Ppk \ll Cpk$

Existe demasiada variabilidad en la operación, deben investigarse causas asignables.

- $Ppk \gg Cpk$

El valor de Cpk debe volverse a calcular, puede ser que el proceso se ha mejorado o el valor inicial de Cpk no era el correcto.

Para mayores detalles refiérase a las secciones 2.5.4. Análisis del Cpk y Ppk y 4.3. Capacidad del Proceso.

5.1.5. Procedimiento para redefinir cartas de control en el futuro:

Cuando se realicen cambios mayores al proceso, o se observe que determinadamente las muestras tomadas ya no siguen los límites de control indicados se deben redefinir las cartas de control. Para ello, se utilizan las siguientes fórmulas, donde el factor p es la proporción disconforme del proceso, que normalmente se aproxima con la media de las fracciones disconformes de las muestras.

$$UCL = p + 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad (\text{Ecuación 21})$$

$$\text{Linea Central} = p \quad (\text{Ecuación 22})$$

$$LCL = p - 3 \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad (\text{Ecuación 23})$$

Con estos valores ya se puede volver a usar el mismo esquema de cartas de control, con las mismas reglas de detección y plan de acción. La nueva capacidad del proceso se calcularía:

$$Cpk = (USL - \mu) / 3 \sigma_{c.c.}$$

Con la cual se puede volver a monitorear el desempeño a través de cálculo periódico del desempeño como se indicó en la sección anterior. Para mayor referencia de los procesos de construcción de las cartas refiérase a las secciones 2.4 y 3.4.

5.2. Sistema de manejo de materiales propuesto

5.2.1. Formato de órdenes de producción

Como parte inicial del esfuerzo para controlar y estandarizar el proceso de producción se propone un nuevo formato para manejo de órdenes de producción en el Anexo 30: “Formato propuesto para órdenes de producción”. Se ha ordenado los productos de la empresa de modo que su ingreso manual sea fácil, además se les ha asignado mayor tamaño y espacio a los productos más representativos de acuerdo al procesamiento de información de la sección 3.1. Productos de mayor relevancia. La información en las columnas marcadas como “Cantidad Inicial” deberá ser llenada al principio de la producción diaria, y la “Cantidad final” al final del día. Este sistema

permite además un control de materiales combinado con la implementación descrita en la sección 5.2.3. Sistema MRP. De hecho el formato para ingreso de materiales e inventario del MRP diseñado está estructurado de acuerdo a la información y forma de la orden de producción sugerida.

5.2.2. El MRP aplicado a Corruempaques Cía. Ltda.

Se ha realizado un sistema de planeación de requerimientos de materiales MRP en Microsoft Excel para la empresa. El sistema permite una visualización fácil de las órdenes de producción, así como una base de control y registro para las operaciones productivas de la empresa. Se ha diseñado un sistema de control de ocho semanas, tomando en cuenta que la información disponible de ventas es siempre menor a este período.

Ahora, para que el programa sea de utilidad para la empresa ha sido diseñado de modo que se lo pueda usar conforme avanza el tiempo. En ese sentido, los datos actuales del programa ya no son actuales a la fecha de entrega del proyecto de tesis. En cambio, el programa de Excel permite a Corruempaques Cía. Ltda. su uso en cualquier momento dado, con sólo actualizar la información de inventarios y pedidos. Una funcionalidad adicional al sistema tradicional MRP es un ajuste utilizando pronósticos de la demanda. Cuando existen productos con tiempos largos de importación (6 semanas) la información del MRP normal es insuficiente (en este caso de hasta 4 o 5 semanas). Por ello se utiliza la información del pronóstico como una entrada adicional de datos en el MRP, que permita gestionar correctamente productos con tiempos largos de importación.

5.2.3. Sistema MRP



Figura 13: Menú del MRP para Corruempaques Cía. Ltda.

La figura de arriba muestra las etapas de gestión de información por las que pasa el proceso del MRP. Primero, el usuario del programa debe ingresar datos de su inventario actual, de modo que se registren las existencias actuales tanto de materia prima como de producto terminado. Luego los datos de compra reflejan la estructura actual de tiempos de llegada de materia prima una vez emitida la orden, así como tamaño mínimo y máximo de los lotes. Tercero, el programa maestro de producción registra las órdenes en firme de la empresa. Por último, con esta información de entrada, más un pronóstico semanal opcional al MRP que se detalla en la próxima sección (5.3. Sistema de pronósticos).

Para la familiarización con el sistema MRP se propone una capacitación de una hora con el gerente de producción, el supervisor del proceso de corrugado, su asistente y quien la empresa considere conveniente. Note que el MRP está diseñado de acuerdo al Anexo 30: "Formato propuesto para órdenes de producción". El funcionamiento del sistema está programado de modo que sólo sea necesario el ingreso de información y los resultados se generen automáticamente. Por este motivo se requiere simplemente una sesión de capacitación para familiarizar a la empresa con el uso del sistema. Por

otro lado, el funcionamiento teórico fue discutido en la sección 2.7. Planeación de requerimientos de materiales (MRP). Por último para familiarizar al lector con el sistema se hace un recuento de las funcionalidades a continuación.

Se repetirá la explicación de cada módulo en el Anexo correspondiente para una lectura más fluida, si el lector deseara seguir los Anexos uno por uno. El primer módulo permite el ingreso de los niveles de inventario para materias primas se puede observar en el Anexo 31: “Sistema MRP: módulo 1. Inventarios”. Consta un detalle de la lista de materiales (BOM), para facilitar la comprensión de la jerarquía. De ser necesario, se permite un segundo tipo de ingreso al seguir el vínculo de “ingreso detallado” cuya pantalla se muestra en el Anexo 32 “Sistema MRP: módulo 1, Inventarios”. Para facilidad de los operadores se permite un segundo tipo de ingreso de datos en donde se digita el número de rollos en inventario y el nivel en metros del tanque de goma. El programa calcula el inventario implicado y se debe ingresar los otros campos y dar click en el botón “listo” para regresar a “Inventarios”. Por último, si se da click en el botón “Modificar inventario de láminas” en las pantallas del Módulo 1 mostradas anteriormente es posible ingresar inventario de producto terminado expuesto en el Anexo 33: “Sistema MRP: módulo 1. Inventarios” (Continuación). Note que Corruempaques normalmente no tiene este tipo de inventario pues sólo trabaja bajo pedido, sin embargo se presta esta facilidad en el programa para manejar cancelación de pedidos y sobreproducción. El formato de ingreso es el mismo que se ha sugerido para las órdenes de producción. Una vez terminado el ingreso oprima el botón “listo”.

El módulo 2 contiene información no modificable, que permite la comprensión del sistema de manejo de materiales, observe el Anexo 34: “Sistema MRP: módulo 2. Datos de compra para material”. A la izquierda se detallan los plazos de compra, o lead times para la materia prima. Los productos Diesel, Goma y “C” tienen un lead time de máximo 1 hora, por tanto su planificación en el MRP se ha programado como si su llegada fuese instantánea (0 semanas). Si ocurriese un cambio en el sistema de compras de materiales la reprogramación partiría de este módulo. También se detalla información de compra como el tamaño de lote, capacidad de los contenedores disponibles y la cantidad por unidad de compra como se observa en el anexo correspondiente.

Se procede al módulo 3 mostrado en el Anexo 35: “Sistema MRP: módulo 3. Programa Maestro de Producción (MPS)”. En este módulo se debe ingresar los pedidos en firme que se dispongan para las siguientes 8 semanas, tal como muestra la figura. Se ingresa el número de cada tipo de láminas y el programa lo traduce a requerimientos en metros cuadrados para la planificación de materiales. Cada nueva semana se puede aplastar el botón “Nueva Semana” para preparar los nuevos pedidos (todos los pedidos se desplazan una semana hacia la izquierda).

El módulo final se muestra en el Anexo 36: “Sistema MRP: módulo 4. Planeación de requerimientos de materiales (MRP)”. Aquí se debe ingresar un porcentaje de seguridad para los pedidos de materiales, pues en realidad se necesita materia prima para el producto desconforme también. Además se ingresa el pronóstico semanal manualmente de acuerdo a los lineamientos de la sección 5.3. Sistema de pronósticos

junta a un porcentaje de aceptación para determinar el peso del pronóstico en el modelo. Desde la semana cuatro se utilizan el valor mayor entre el pronóstico ponderado y el valor real de órdenes en firme. En caso de que se estén utilizando valores del pronóstico se marcan las semanas con otro color. Con esta información el sistema calcula el MRP de la empresa automáticamente para los niveles 1 y 2 del BOM. El nivel 3 no se presenta pues incluye información privada de la empresa (está conformado por los componentes para fabricación de goma). . Por tanto se listan los componentes implicados con letras mayúsculas empezando desde la A hasta la D.

Una vez realizado el MRP se pueden obtener los reportes correspondientes a la herramienta. El primero, el plan de producción, en este caso coincide con el programa maestro de producción pues el MRP está asumiendo capacidad infinita. La implementación de cambios por capacidad sería una actividad a realizar en un segundo proyecto que incluya MRP2 si la empresa decidiese hacerlo.

El segundo reporte sería el plan de compras que se muestra en el Anexo 37: “Sistema MRP: módulo 4. Reportes del MRP, Plan de compras”. El Plan de compras es un resumen de cuándo emitir las órdenes de compra para cada uno de los productos. Este formato está listo para impresión y se accede a él oprimiendo el botón “IR a: Resumen órdenes de compra” en la pantalla del cuarto módulo. Para regresar al MRP presione el botón correspondiente.

El último reporte se muestra en el Anexo 38: “Sistema MRP: módulo 4. Reportes del MRP, Reporte utilización de materiales”. En él se puede comparar la utilización de

materiales esperada de acuerdo a pedidos en firme, el valor estimado según los pronósticos y por último se da espacio para ingreso manual una vez se conozcan los valores reales de utilización de materiales para monitorear el desempeño. Para regresar al MRP presione el botón correspondiente.

5.3. Sistema de pronósticos propuesto

5.3.1. Aplicación en el sistema de control de producción y en la empresa

Dentro del sistema de control de materiales, es importante tener una fuente de comparación para el MRP en semanas donde no se cuenta información directa (pedidos en firme). Esto es un hecho común a todos los sistemas MRP, dado que los pedidos no se conocen de antemano y la planificación de la producción como tal siempre se realiza con información incompleta. Ahora, en este caso la incertidumbre en ciertos productos tiene mayor importancia debido a los largos tiempos de espera una vez realizada la orden de pedido. Básicamente, se entiende que la información de pedidos en firme o conocidos, que es de unas tres semanas, no es información suficiente para planificar pedidos que demoran 7 semanas o más. Entonces, para afrontar este problema en la mayor medida posible, se propone el uso de un sistema de pronósticos mensual que permita hacer una comparación con los planes generados a través del MRP.

Un beneficio particular del sistema de pronósticos es que en los pedidos de cartón, que representan importaciones grandes, habrá mayor certeza antes de realizar

una orden. Al mismo tiempo se podrá planificar con mayor antelación para así obtener una mayor ventaja de las posibles ofertas del mercado. De tal manera se brinda un respaldo sólido para complementar las debilidades del MRP simple.

5.3.2. Modelo de pronósticos propuesto

El modelo sugerido para usar en el pronóstico actual es un ARIMA (0,0,1) x (2,2,1) 12 como se determinó en la sección pertinente en el capítulo 4. Para un detalle del análisis del modelo refiérase al Anexo 27: “Comparación de modelos en StatGraphics”. Ahora bien, el uso de este modelo requiere un software para realizar los cálculos. Entonces, dependiendo de las necesidades de la empresa se sugiere el uso del add-on de Microsoft Excel para pronósticos, cuya licencia se sitúa en \$70 anuales y es suficiente para realizar la actualización de los pronósticos. Ahora, los datos generados deberán alimentar el MRP diseñado para la empresa en la sección 5.2. Si se decide no utilizar los pronósticos o la compra del software demora por cualquier razón externa, es posible utilizar el MRP básico asignando valores de 0 en las celdas respectivas a la información del pronóstico.

5.4. Impacto de la propuesta en el proceso de corrugado y el proceso de producción de goma

Esta sección resume los cambios principales que tendrían tanto el proceso de corrugado como el proceso de pegado con el uso de los métodos propuestos. Para referencia a los procesos actuales y su análisis observe la sección 3.3 Creación de los diagramas de flujo y la sección 4.2. Análisis de diagramas de flujo.

El nuevo proceso de corrugado se presenta en el Anexo 39: “Categorización de tareas proceso propuesto de corrugado” La diferencia fundamental respecto a su estado actual es el uso de cartas de control. Observe que, en combinación con el proyecto actual de la empresa para la contadora automática, las cartas de control eliminarían el proceso de inspección al final de la línea. Ahora, en caso de que se implemente la máquina de recolección automática (otro proyecto de la empresa), las cartas vendrían a ser imprescindibles pues debe existir un método de control de calidad para cumplir con las especificaciones de desempeño y del cliente.

Por otro lado, con la implementación del MRP el proceso de producción de goma se puede observar en el Anexo 40: “Categorización de tareas proceso propuesto de producción de goma”. Como se puede observar el sistema MRP agilizaría la toma de materiales y los cálculos necesarios en las actividades actuales 1 y 2. Además se incluye una actividad al final para retroalimentar el sistema MRP. Note que el beneficio principal de los cambios propuestos es un sistema de control más transparente y sobretodo fácil de manejar. En ese sentido, no es posible hacer mejoras del proceso si no se dispone de los mecanismos de control e información de entrada. Entonces, el MRP daría no sólo la facilidad de los materiales necesarios en cada ocasión y las órdenes al proveedor, sino también haría las veces de una base de información para monitorear el desempeño del sistema en el tiempo. De este modo se puede usar como un apoyo para decisiones posteriores de estructuración del proceso.

5.5 Plan de implementación propuesto

Para realizar la implementación de los cambios propuestos se sugiere la serie de actividades dispuesta en el Anexo 41: "Plan de implementación propuesto". Se ha dispuesto que el plan de implementación empiece el lunes 17 de enero del 2011, con lo que finalizaría el 11 de febrero del mismo año. Cualquier cambio en la fecha de inicio postergará el fin de la implementación en un tiempo equivalente. El anexo también muestra la ruta crítica de actividades para una implementación a tiempo, note que las implementaciones que no se podrían demorar sin retrasar todo el proyecto son las órdenes de producción, la implementación del MRP y el uso de pronósticos. Esto es lógico pues el sistema de gestión de producción implica las tres herramientas trabajando en conjunto, sin embargo note que el sistema podría funcionar sin el módulo de pronósticos (por supuesto desperdiciando parte de su potencial).

5.6 Conclusiones

Las oportunidades de mejora detectadas en el proceso de análisis son:

- Estandarizar proceso de compra de material: Sobretudo en cuanto a los rollos de papel de importación. Determinar una sola calidad de cartón aceptable (o el menor número de variantes posibles) tanto para el cartón de liner como para el de flauta. Con ello es más fácil determinar una formulación adecuada de goma. Esto se puede realizar en cada importación o cambio importante de material.

- Controlar los materiales de ingreso, uso y restantes en cada día de producción. Una herramienta útil para contribuir a ello sería el Anexo 30: “Formato propuesto para órdenes de producción”. Además para una comparación semanal del progreso se puede usar el reporte de utilización de materiales presentado en la planeación de requerimientos de materiales MRP.
- Controlar la fracción disconforme: Se podría utilizar las cartas de control propuestas en el capítulo 5 para tener un control estadístico de calidad en la parte de desperdicio. De esta manera el supervisor del proceso puede prestar mayor atención al proceso sólo en los intervalos necesarios. Además, en el momento de implementar una apiladora automática, un proceso de detección de fallas es necesario ya que no habrá las personas que recogen y revisan el producto conforme sale.
- Hacer uso de información histórica para facilitar pronósticos que permitan planear con mayor anticipación la producción a futuro. Dado que la empresa ya tiene varios años de operación, se ha logrado aprovechar esa información para generar un método de pronósticos con un margen aceptable de error (sección 5.3. Sistema de pronósticos propuesto). Ahora, para aprovechar este modelo se sugiere el uso ya sea de un add-on para estadística para Microsoft Excel, que es la opción menos costosa, o alternativas como StatGraphics y Minitab que presentan mayor versatilidad a un precio mayor.

- Es necesario un mapeo de procesos a nivel empresa para detección de posibles mejoras. Tal como en este proyecto, la comprensión de las actividades en cada proceso evidenciará posibles maneras para aumentar la eficiencia de cada proceso y optimizar el uso del tiempo de los colaboradores.
- Un método de soporte adicional en planta puede ser el uso del sistema 5 S. Que va acorde con la cultura organizacional de particular atención al lugar de trabajo.

5.7 Recomendaciones

Resumiendo, los cambios propuestos al sistema de producción se más adelante (como ya se definió al principio del capítulo 5. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN). Para una planificación tentativa de la implementación refiérase a la sección 5.5 Plan de implementación propuesto. Se propone:

- Estandarización de la formulación de goma cada vez que ingrese una importación de rollos de liner y flauta. Para detalles de los beneficios de este cambio refiérase a la sección 4.1. Enfoque de acción frente al problema.
- Implementación y uso de diagramas de control de fracción disconforme para controlar el desperdicio en el proceso de corrugado. (Para una descripción detallada del sistema a utilizar refiérase a la sección 5.1. Propuesta de Diagramas de Control)

- Uso de órdenes de producción estándar para facilitar el registro y control de materiales y de órdenes de producción. (Observe sección 5.2.1. Formato de órdenes de producción)
- Implementación del sistema MRP diseñado para la empresa para mejorar control de materiales y planificación de la producción. (refiérase a la sección 5.2.3. Sistema MRP)
- Uso del sistema de pronósticos sugerido como fuente adicional de información del MRP para planificación a futuro y toma de decisiones a tiempo.
- Compra e instalación de una nueva cortadora. (Para revisión de los parámetros de decisión implicados refiérase a las sección 4.4 Simulación)

Bibliografía

Baldeón, G., Jaramillo, I., & Moreno, G. (2010). *Modelo de simulación del proceso de corrugado, Corruempaques Cia. Ltda.* Quito: USFQ.

Baldeón, G., Moreno, G., & Jaramillo, I. (2010). *Toma de datos del proceso de corte.* Quito.

Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2005). *Discrete event system simulation.* New Jersey: Pearson.

Blank, L., & Tarquin, A. (2005). *Ingeniería Económica.* McGrawHill.

Bravo, C. (2010 йил 12-julio). Inducción a la empresa. (I. Jaramillo, Interviewer)

Bravo, G. (10 de Diciembre de 2010). Entrevista nueva cortadora. (I. Jaramillo, Entrevistador)

Bravo, G. (2010 йил 06-Agosto). Entrevista proceso de corrugado. (I. Jaramillo, Interviewer)

Bravo, G. (29 de Noviembre de 2010). Entrevista Validación de Modelo de Simulación. (I. Jaramillo, Entrevistador)

Brown, D. B. (1976). *Systems Analysis & Design for Safety.* Englewood Cliffs: Prentice Hall.

Chase, R. (2005). *Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva.* México D.F.: Mc Graw-Hill.

Corruempaques Cia. Ltda. (2010). *Reporte de producción*. Quito.

Corruempaques Cia. Ltda. (2009). *Reporte de Producción*. Quito.

Corruempaques Cía. Ltda. (2010). *Reporte de producción mensual 2007-2010*. Quito.

Corruempaques Cia. Ltda. *Reporte Resumen de producción 2008-2010*. Quito.

ECSA. (2007). *Principios del cartón*. Retrieved 2010 йил 08-28 from ECSA:
www.ecsabox.com/principios_del_carton.pdf

FUNDIBEC, F. I. (2009). *FUNDIBEC*. Retrieved 2010 йил 12-01 from Diagrama de Flujo: www.fundibeq.org

Gineth, S., & Mosquera, S. (2009). *Toma de tiempos: Metodología para toma de tiempos*. Bogotá.

Guilcapi, D. (29 de Noviembre de 2010). Entrevista Validación de Modelo de Simulación. (G. Moreno, Entrevistador)

Jaramillo, I. (2010). *Toma de datos Noviembre 15*. Quito.

Jaramillo, I. (2010). *Toma de datos Octubre 19*. Quito.

Merchán, D. (2010). Clase Simulación (MAT 360). Quito: USFQ.

Montgomery, D. (2007). *Control estadístico de la calidad*. México D.F.: Limusa Wiley .

Niebel, B., & Frievalds, A. (2006). *Ingeniería Industrial: Métodos estándares y diseño del trabajo*. México D.F.: Alfaomega.

Ochoa, J. (2010). *Certificación Six Sigma Green Belt*. Quito: Portland State University & ZDM Group.

Stevenson, W. J. (2007). *Operations Management*. New York: McGraw Hill.

Zagarola, S. (2010). *Curso de Certificación Black Belt*. Quito: Portland State University.

Zuñiga, F. (11 de Octubre de 2010). Entrevista cortadora. (I. Jaramillo, Entrevistador)

Zuñiga, F. (29 de Noviembre de 2010). Entrevista para validación de la simulación. (I. Jaramillo, Entrevistador)

Zuñiga, F. (2010 йил 6-Agosto). Entrevista proceso de corrugado. (I. Jaramillo, Interviewer)

Zuñiga, F. (2010 йил 27-Septiembre). Entrevista proceso de producción de goma. (I. Jaramillo, Interviewer)

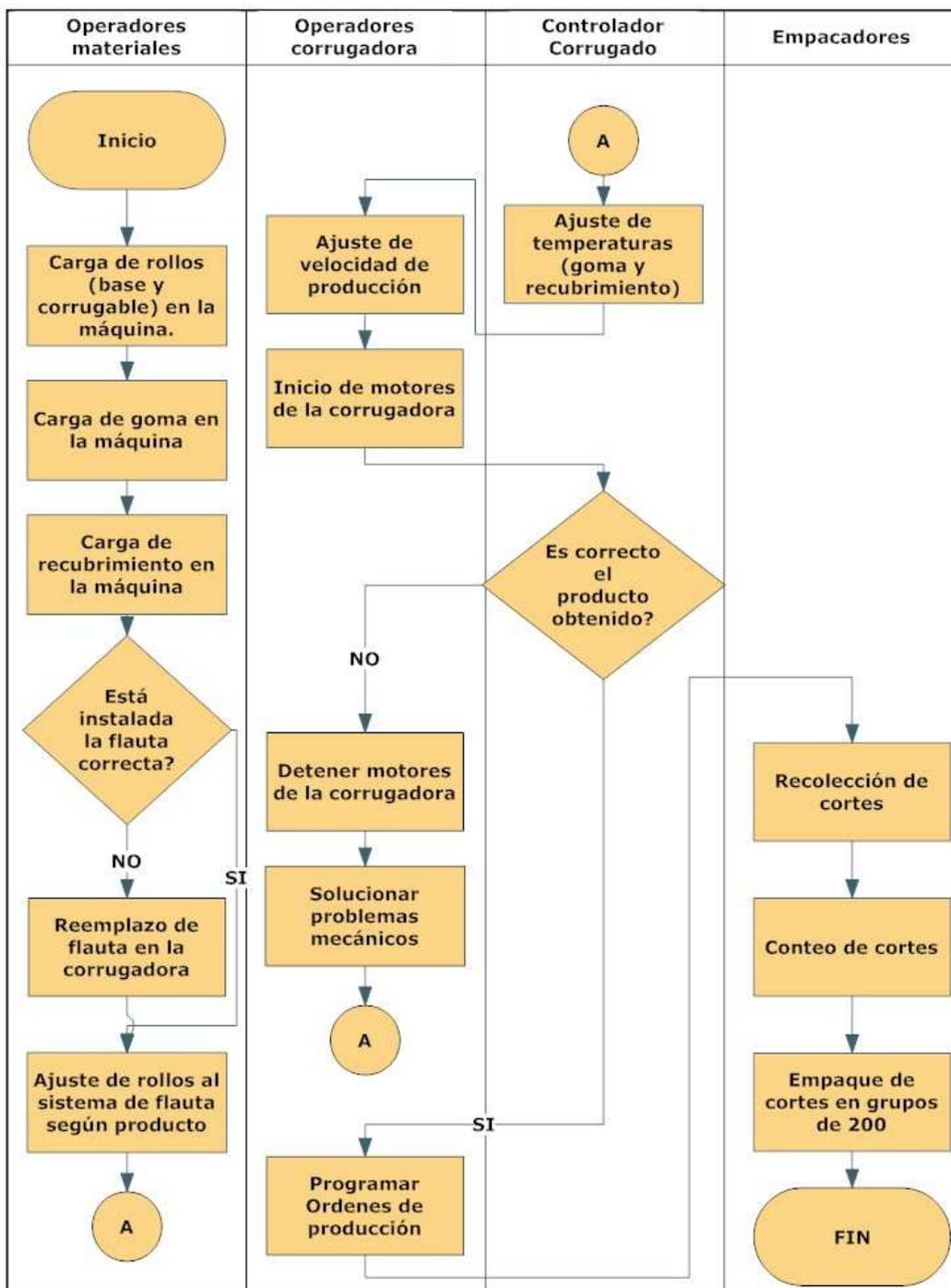
Zuñiga, F. (2010 йил 27-Septiembre). Entrevista proceso de producción de goma. (I. Jaramillo, Interviewer)

Zuñiga, F. (2010). *Resumen de desperdicio - semana 15 Noviembre -*. Quito: Corruempaques Cía. Ltda.

Zuñiga, F. (2010). *Resumen de desperdicio - semana 16 Agosto -*. Quito: Corruempaques.

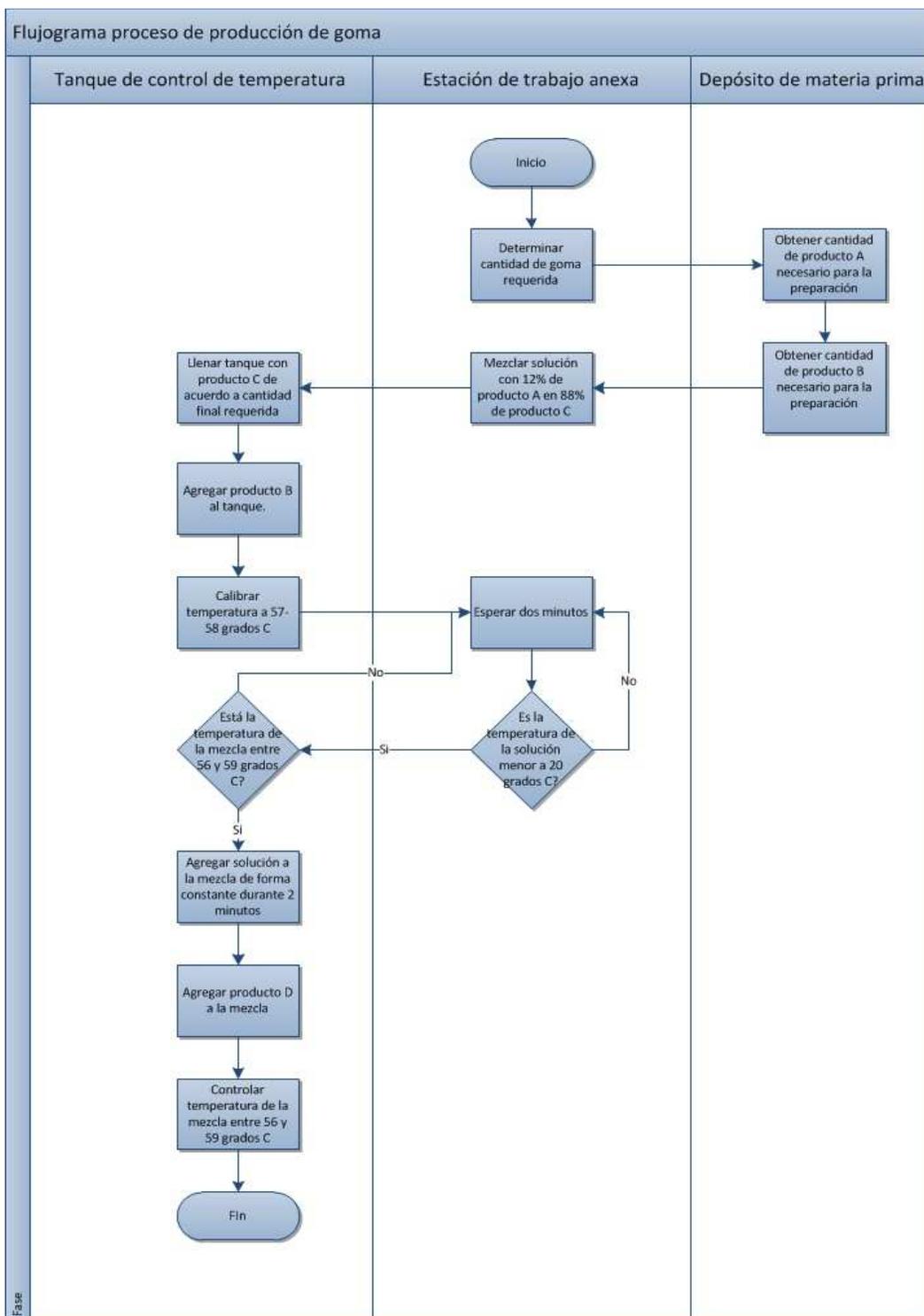
Zuñiga, F. (semana 22 de noviembre 2010). *Resumen de desperdicio*. Quito: Corruempaques Cía. Ltda.

Anexos



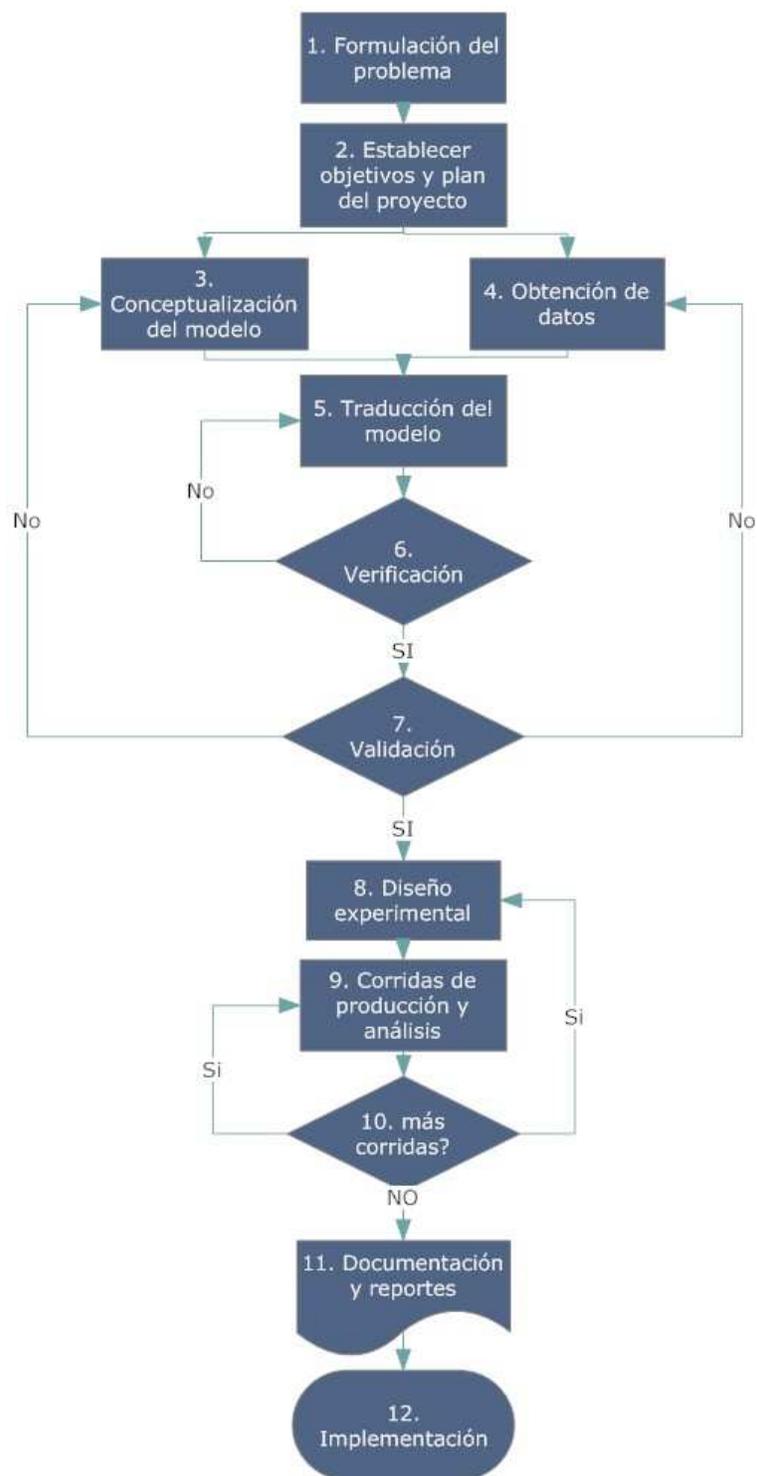
Anexo 1: "Flujograma del Proceso de Corrugado"

Fuente: Diagramación propia. (Bravo G. , Entrevista proceso de corrugado, 2010)



Anexo 2: “Flujograma del proceso de producción de goma”

Fuente: Diagramación propia. (Zuñiga, Entrevista proceso de producción de goma, 2010)



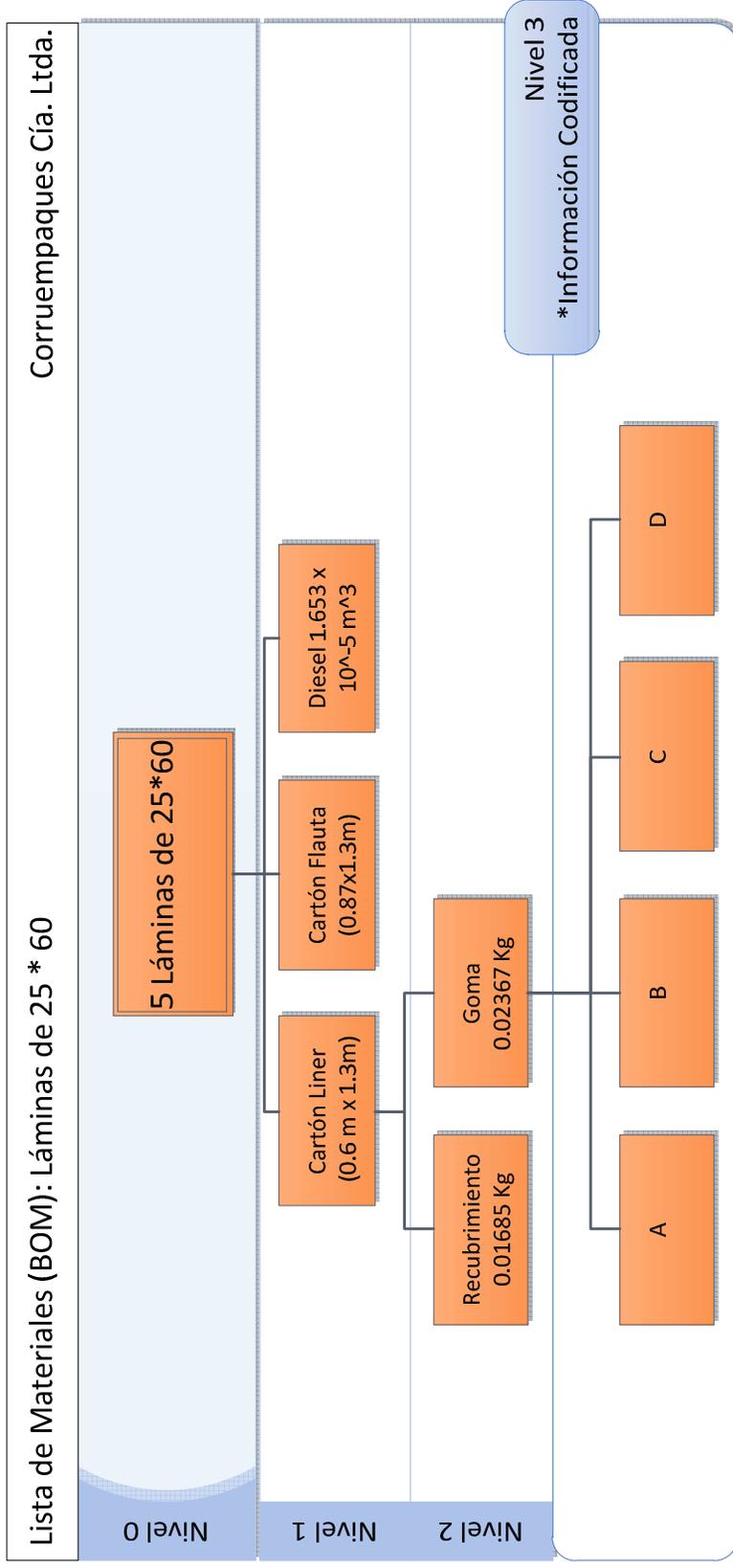
Anexo 3: “Flujograma del Proceso de Simulación”

Fuente: (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2005)

# fallas en 100 cortes	Muestra								
2	16	5	31	6	46	6	61	4	61
4	17	2	32	5	47	3	62	4	62
6	18	5	33	9	48	9	63	4	63
6	19	6	34	5	49	8	64	7	64
9	20	9	35	6	50	5	65	11	65
9	21	7	36	7	51	9	66	4	66
5	22	3	37	3	52	3	67	9	67
10	23	7	38	5	53	5	68	3	68
3	24	6	39	5	54	8	69	3	69
3	25	4	40	5	55	11	70	5	70
2	26	9	41	6	56	4			
4	27	4	42	4	57	7			
6	28	1	43	8	58	4			
7	29	11	44	7	59	8			
4	30	3	45	2	60	6			

Anexo 4: “Número de fallas en 100 observaciones”

Diagramación propia (Jaramillo, Toma de datos Noviembre 15, 2010)



Anexo 5: “Lista de Materiales (BOM) para el proceso de corrugado”

Fuente: Diagramación Propia en base a (Bravo G. , Entrevista proceso de corrugado, 2010)

Producto ancho* largo	Unidades de producción (producto conforme, no incluye reproceso)												Producción total	Peso porcentual por producto	Porcentaje acumulado
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep						
25*60	111040	146000	149300	229400	184000	139800	183325	82825	73585				1299275	22.7%	22.7%
25*50	51000	70600	73340	80600	57200	73100	55800	40518	35920				538078	9.4%	32.1%
20*60	27850	74000	22400	77000	82610	38706	98294	13482	39559				473901	8.3%	40.3%
20*40	102000	43200	40800	47800	62505	50400	800	800	14600				362905	6.3%	46.7%
30*65	22872	41800	67531	33700	76400	44500	36308	17700	21300				362111	6.3%	53.0%
25*55	48900	48900	27000	21500	24600	17500	41485	18380	49420				297685	5.2%	58.2%
18*47	107874	46400		38600	12100	11900	36000	10000	24468				287342	5.0%	63.2%
8*55	19000	42330	30000	14500	20630	15200	14800	27680	13300				197440	3.4%	66.6%
30*70	43100	23200	12300	15000	22000	22500	18600	10400	18500				185600	3.2%	69.9%
25*65	13600	10000	11700	38335	13600	23300	22165	21400	30060				184160	3.2%	73.1%
25*70	16000	17089	6410	30000	2600	8000	13000	13000	28000				134099	2.3%	75.4%
20*55	37200	4200	10274	15534	23500	9200	17600	3600	6956				128064	2.2%	77.7%
18*50	29200	3200		28600	8000	14000	27000	6668	7320				123988	2.2%	79.8%
30*60	63800		3500	20474	436	20500	2400	3380	6620				121110	2.1%	81.9%
20*50	32000	400	6400	25000	11100	2470	9300	8700	5000				100370	1.8%	83.7%
30*55	55660	11000		366	13800	16931	1179						98936	1.7%	85.4%
18*40	19325	6140		7500	5400	7600	3800	7600	20910				78275	1.4%	86.8%
30*50	57100	600		7170		9834							74704	1.3%	88.1%
30*80	10000	18000		6200	4800	7000	2150	11000	13000				72150	1.3%	89.4%
30*75	7200	13600	10500	10600	5000	6500	10100	2500					66000	1.2%	90.5%
8*30	42000			2400	12400		1500	4500					62800	1.1%	91.6%

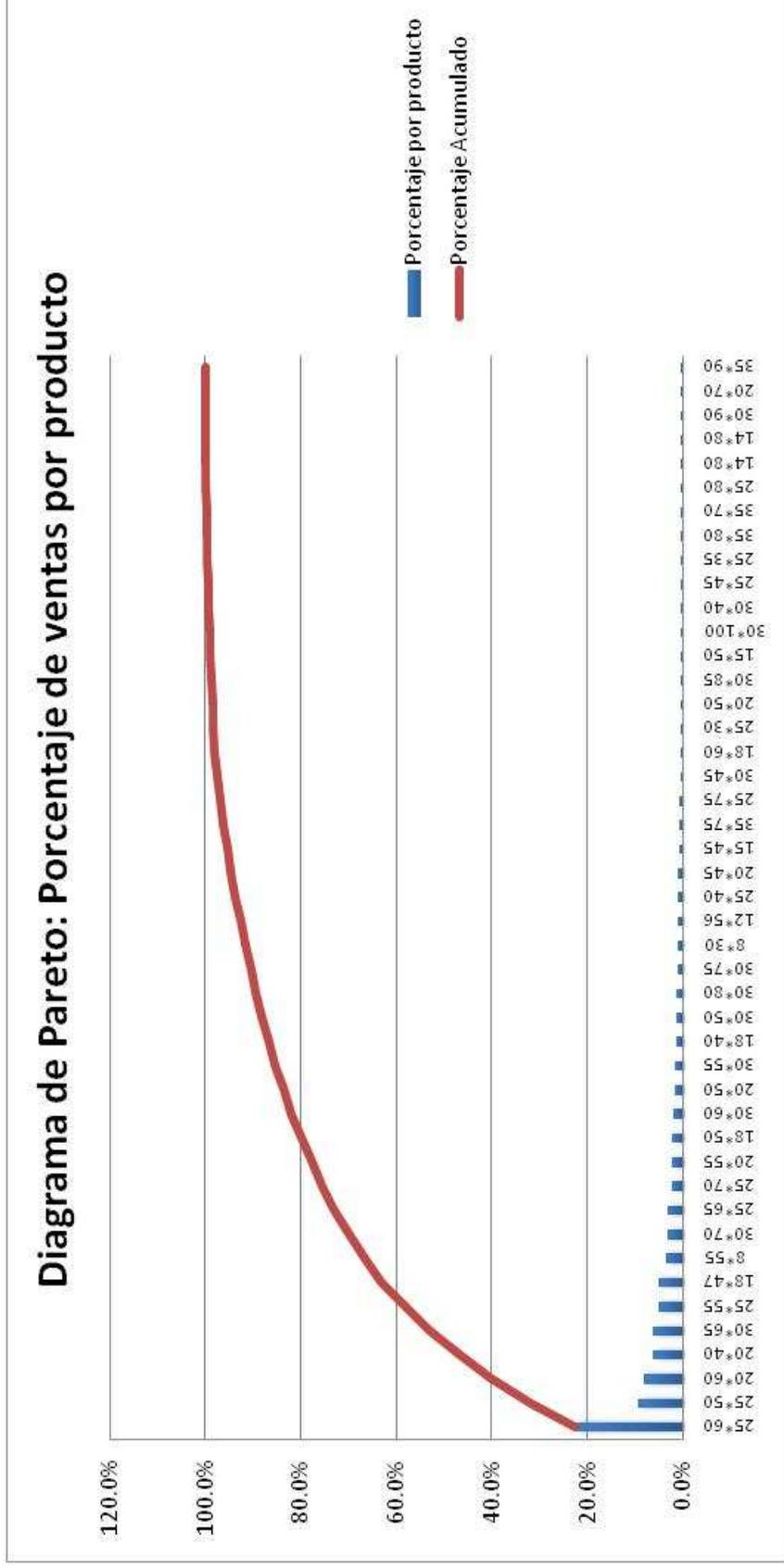
Anexo 6: “Detalle de producción mensual del 2010 ordenada por productos más relevantes”

Fuente: (Corruempaques Cia. Ltda, 2010)

Producto ancho* largo	Unidades de producción (producto conforme, no incluye reproceso)												Producción total	Peso porcentual por producto	Porcentaje acumulado
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep						
12*56	1000	20000		5000	4100	4800	19600	5000					59500	1.0%	92.6%
25*40	8000		5000	5200	30800	5500	400	3000					57900	1.0%	93.7%
20*45	22300	6200	12900	15000		516							56916	1.0%	94.6%
15*45		16000		17000	10000								43000	0.8%	95.4%
35*75		5000	10000	5000	5000	3800	5926	8072					42798	0.7%	96.1%
25*75		4400	800	3000	29600			800	2000				40600	0.7%	96.8%
30*45	32100												32100	0.6%	97.4%
18*60	15470			7720		6000		560	1440				31190	0.5%	98.0%
25*30	8900	9000											17900	0.3%	98.3%
20*50							3200	3930	6600				13730	0.2%	98.5%
30*85	3000			3000	1500			4000	1500				13000	0.2%	98.7%
15*50	8000	4000											12000	0.2%	98.9%
30*100	1000	2200			2300	1000		2000	3000				11500	0.2%	99.1%
30*40	10000												10000	0.2%	99.3%
25*45				1400	1035	1400	2137	200	3355				9527	0.2%	99.5%
25*35							5900	400	1000				7300	0.1%	99.6%
35*80				1500	1000	1000	2000	1000					6500	0.1%	99.7%
35*70								4000					4000	0.1%	99.8%
25*80									3600				3600	0.1%	99.9%
14*80							1700	1000					2700	0.0%	99.9%
14*80				2000									2000	0.0%	99.9%
30*90		2000											2000	0.0%	100.0%
20*70							1000						1000	0.0%	100.0%
35*90						500							500	0.0%	100.0%
TOTALES	1026491	689459	500155	816099	728016	563457	637469	338095	431013	5730254					

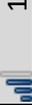
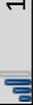
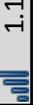
Anexo 6: “Detalle de producción mensual del 2010 ordenada por productos más relevantes” (Continuación)

Fuente: (Corruempaques Cia. Ltda, 2010)



Anexo 7: “Diagrama de Pareto “Porcentaje de ventas por producto”

Fuente: Diagramación propia utilizando el reporte de ventas 2009-2010 (Corruempaques Cia. Ltda., 2009)

	Proceso actual de corrugado Actividades	Factor de ocurrencia	Valor Agregado Cliente	Valor Agregado Negocio	Operación	Movimiento	Inspección	Demora	Inventario - Base de datos
1	Carga de rollos (base y corrugable) en máquina	 1							
2	Carga de goma en la máquina	 1							
3	Carga de recubrimiento en la máquina	 1							
4	¿Está instalada la flauta correcta?	 1							
5	Reemplazo de flauta en la corrugadora	 0.5							
6	Ajuste de rollos en sistema de flauta según producto	 1.1							
7	Ajuste de temperaturas, goma y recubrimiento	 1.1							
8	Ajuste de velocidad de producción	 1.1							
9	Inicio de motores de la corrugadora	 1							
10	¿Es correcto el producto obtenido?	 1							
11	Detener motores de la corrugadora	 0.1							
12	Solucionar problemas mecánicos	 0.1							
13	Programar órdenes de producción	 1							
14	Recolección de cortes	 1							
15	Conteo de cortes	 1							
16	Empaque de cortes en grupos	 1							
17	Documentar cantidades de producto conforme	 1							

Anexo 8: “Categorización de tareas proceso actual de corrugado”

Fuente: Diagramación propia

Proceso actual de producción de goma Actividades		Factor de ocurrencia	Valor Agregado Cliente	Valor Agregado Negocio	Operación	Movimiento	Inspección	Demora	Inventario - Base de datos
1	Determinar cantidad de goma requerida	 1							
2	Calcular cantidad de productos A, B, D necesarios para la preparación	 1							
3	Obtener de inventario cantidades de producto A, B, D respectivos	 1							
4	Mezclar solución con 12% de producto A en 88% de producto C	 1							
5	Llenar tanque con producto C de acuerdo a cantidad final requerida	 1							
6	Agregar producto B al tanque.	 1							
7	Calibrar temperatura a 57-58 grados C	 1							
8	Esperar dos minutos	 1.3							
9	¿Es la temperatura de la solución menor a 20 grados C?	 1							
10	¿Está la temperatura de la mezcla entre 56 y 59 grados C?	 1							
11	Agregar solución a la mezcla de forma constante durante 2 minutos	 1							
12	Agregar producto D a la mezcla	 1							
13	Controlar temperatura de la mezcla entre 56 y 59 grados C	 1							

Anexo 9: “Categorización de tareas proceso actual de producción de goma”

Fuente: Diagramación propia

Anexo 10: “Cálculo de costo adicional por hora extra de trabajo en la corrugadora”

Costo por hora de trabajo adicional por trabajador
 =150% de hora de trabajo normal

Operadores de la corrugadora:

- 5 trabajadores
- 1 supervisor
- 1 asistente

Costo de Horas Extra por categoría:

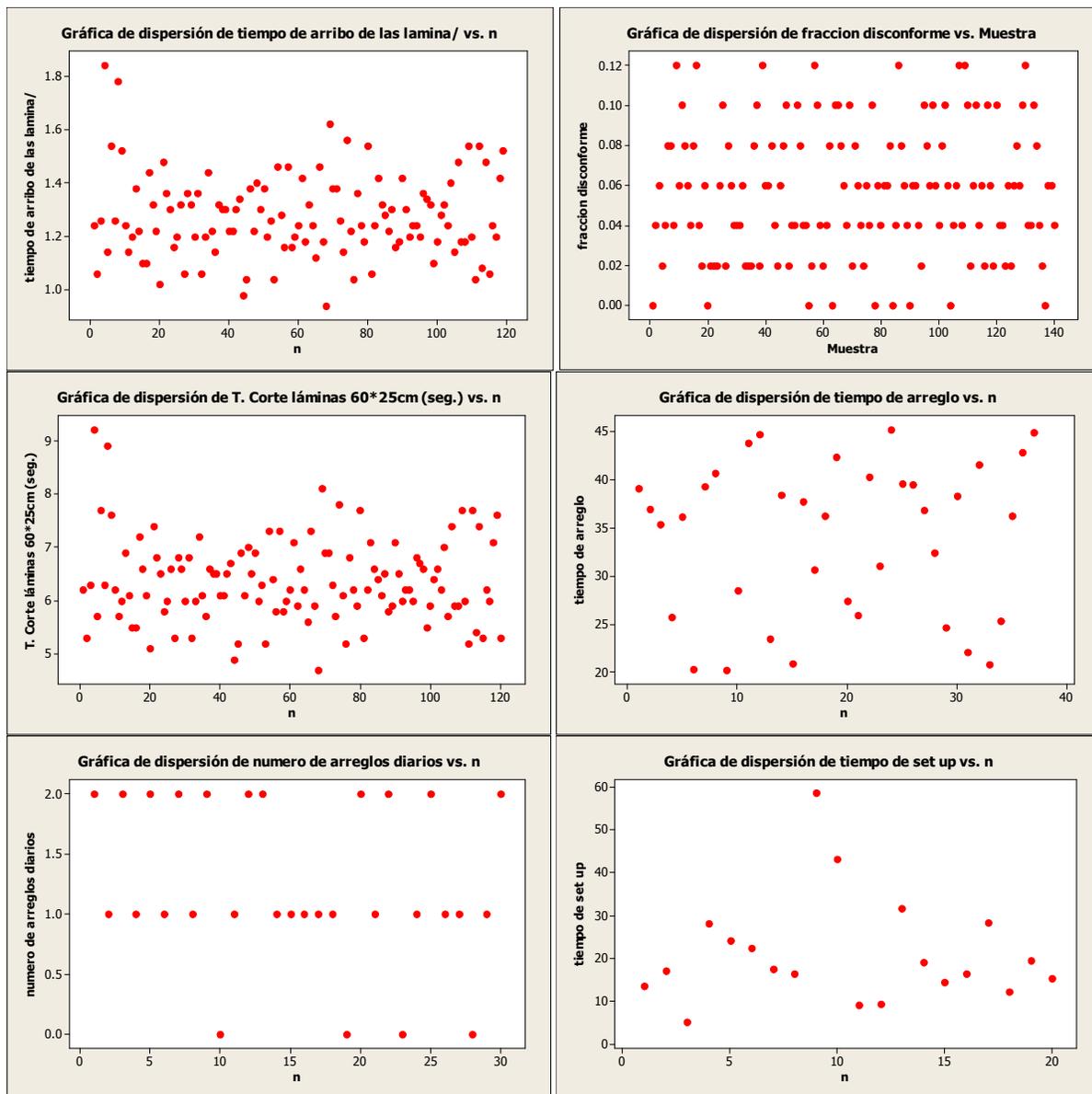
- Hora extra de supervisor =
 $\$400/\text{mensual} * 1\text{mes}/20\text{ días} * 1\text{ día}/8\text{horas} * 1.5 = \3.75
- Hora extra de trabajador =
 $\$280/\text{mensual} * 1\text{mes}/20\text{ días} * 1\text{ día}/8\text{horas} * 1.5 = \2.63
- Hora extra de asistente corrugado =
 $\$330/\text{mensual} * 1\text{mes}/20\text{ días} * 1\text{ día}/8\text{horas} * 1.5 = \3.093

Costo total adicional por hora extra de trabajo

$$=3.75+5*2.63+3.093 \qquad = \$19.99$$

Anexo 11: “Confirmación del supuesto de aleatoriedad en los datos”

Para mostrar independencia de los datos se realizara diagramas de dispersión en MINITAB



Anexo 12: “Comprobación del supuesto de aleatoriedad de los datos”

Para mostrar la aleatoriedad de los datos se realizan las pruebas de corridas en Minitab.

Se utiliza la siguiente prueba de hipótesis en cada caso.

H₀: Los datos son aleatorios

H₁: Los datos no son aleatorios.

Prueba de corridas: Tamaño de pedido

Corridas por encima y por debajo de $K = 13079.5$

El número observado de corridas = 54

El número esperado de corridas = 47.3434

37 observaciones por encima de K , 62 por debajo

Valor $P = 0.151$

Prueba de corridas: Tiempo de arribo de las lamina/ 5

Corridas por encima y por debajo de $K = 1.27529$

El número observado de corridas = 68

El número esperado de corridas = 59.9916

54 observaciones por encima de K , 65 por debajo

Valor $P = 0.137$

Prueba de corridas: Tiempo de set up

Corridas por encima y por debajo de $K = 21.03$

El número observado de corridas = 9

El número esperado de corridas = 10.1

7 observaciones por encima de K , 13 por debajo

* N es pequeño, por lo tanto la siguiente aproximación puede ser no válida.

Valor $P = 0.089$

Prueba de corridas: Número de arreglos diarios

Corridas por encima y por debajo de $K = 1.23333$

El número observado de corridas = 19

El número esperado de corridas = 14.9333

11 observaciones por encima de K , 19 por debajo

Valor $P = 0.103$

Anexo 12: “Comprobación del supuesto de aleatoriedad de los datos” (Continuación)

Prueba de corridas: Tiempo de arreglo

Corridas por encima y por debajo de $K = 33.2933$

El número observado de corridas = 25

El número esperado de corridas = 19.3784

20 observaciones por encima de K , 17 por debajo

Valor $P = 0.059$

Prueba de corridas: T. Corte láminas 60*25cm (seg.)

Corridas por encima y por debajo de $K = 6.3675$

El número observado de corridas = 69

El número esperado de corridas = 60.4

54 observaciones por encima de K , 66 por debajo

Valor $P = 0.111$

Prueba de corridas: fracción disconforme

Corridas por encima y por debajo de $K = 0.0564286$

El número observado de corridas = 71

El número esperado de corridas = 70.4857

76 observaciones por encima de K , 64 por debajo

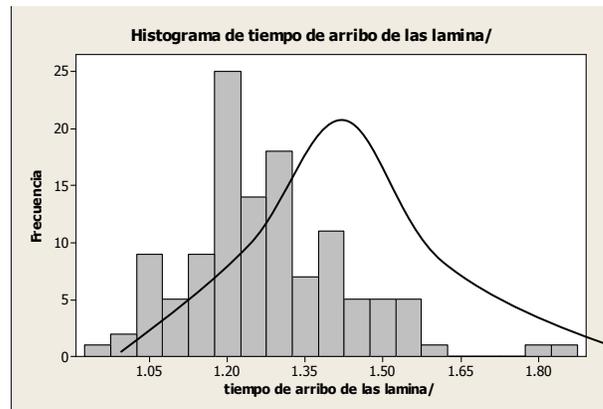
Valor $P = 0.0930$

Se observa que todos los valores P son mayores a 0.05, que es el nivel alfa escogido.

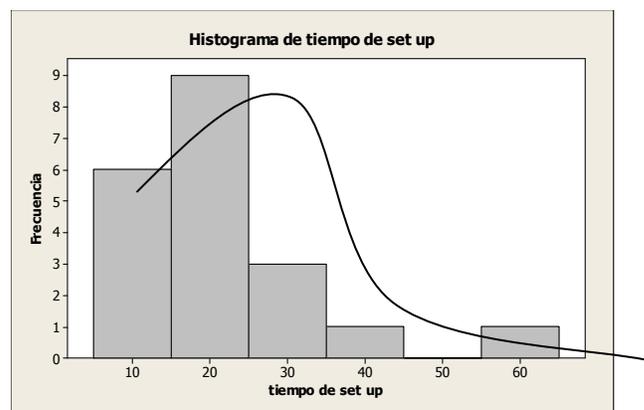
Esto quiere decir que no se puede rechazar la hipótesis nula por tanto se prueba

estadísticamente la aleatoriedad de los datos.

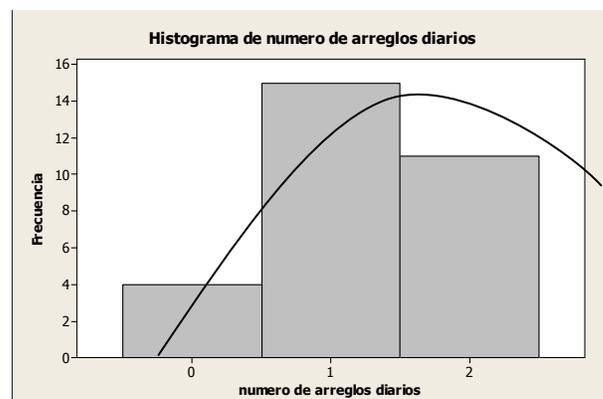
Anexo 13: “Histogramas para cada distribución de probabilidad”



La variable “Tiempo de arribo de las laminas / 5” parece seguir una distribución normal.

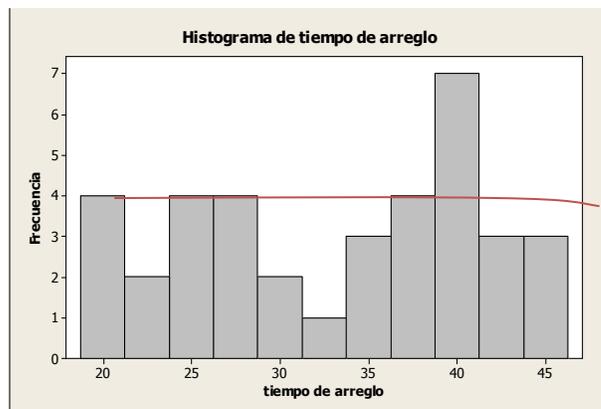


Para el “tiempo de Set up” las distribuciones candidatas son la Gamma, Weibull y Erlang.

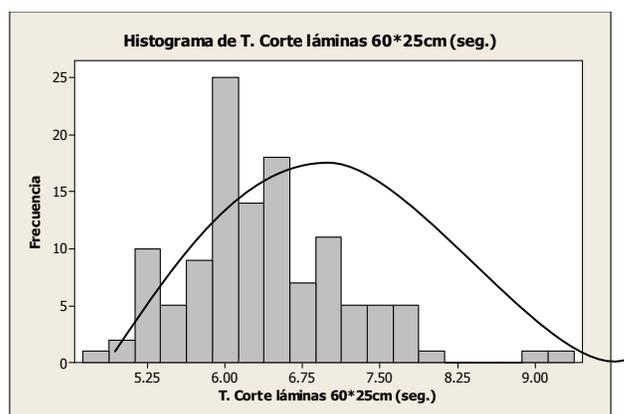


En el caso del “número de arreglos diarios” se han seleccionado las distribuciones Beta y Weibull

Anexo 13: “Histogramas para cada distribución de probabilidad” (Continuación)

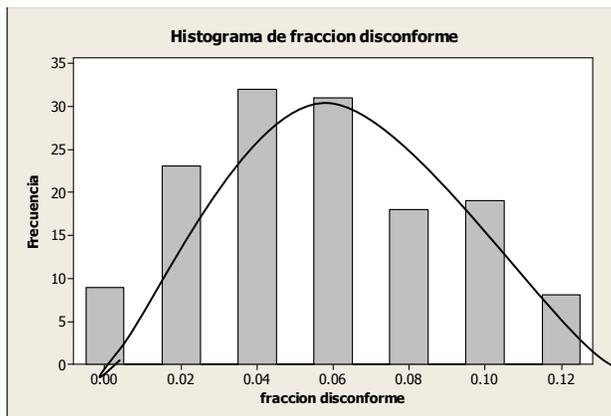


Para el “tiempo de arreglo” se puede observar que la distribución que más se asemeja a esta forma es la Uniforme.



Para el “Tiempo de corte de láminas tipo 60*25” las distribuciones que parecen aproximarse son Normal, Gamma y Beta.

Anexo 13: “Histogramas para cada distribución de probabilidad” (Continuación)



Por último la “fracción disconforme” sigue una distribución Normal. Note que esto se debe a que los datos fueron tomados en forma de muestras de modo que puedan hacerse gráficas de control. En realidad el número de fallas en un intervalo dado de flujo de cartón resultó seguir una distribución Poisson. Sin embargo se usarán los datos con ésta configuración para que el manejo y comparación de resultados dentro del proyecto de tesis sea más fluido. Además la empresa maneja un concepto de desperdicio como niveles de porcentaje, por tanto se decidió que ésta es la aproximación más adecuada.

Anexo 14: "Estimación de Parámetros para las distribuciones de probabilidad"

Tamaño de pedido

Distribución Weibull	$\beta=12000$	$\alpha=0.858$
Distribución Gamma	$\beta=16900$	$\theta=0.764$
Distribución Erlang	$\alpha=12900$	$\theta=1$

Tiempo de arribo de laminas/5

Distribución Normal	$\mu=1.28$	$\sigma=0.155$
---------------------	------------	----------------

Tiempo de Set up

Distribución Weibull	$\beta=17.2$	$\alpha=1.28$
Distribución Gamma	$\beta=12.7$	$\theta=1.28$
Distribución Erlang	$\alpha=16$	$\theta=1$

Numero de arreglos diarios

Distribución Weibull	$\beta=1.94$	$\alpha=2.9$
Distribución Beta	$\beta_1=2.53$	$\beta_2=1.88$

Tiempo de arreglo

Distribución Uniforme	$a=10$	$b=45$
-----------------------	--------	--------

Tiempo de corte de láminas en segundos

Distribución Beta	$\beta_1=6.13$	$\beta_2=9.24$
Distribución Gamma	$\beta=0.297$	$\theta=7.14$
Distribución Normal	$\mu=1.27$	$\sigma=0.156$

Fracción disconforme

Distribución Normal	$\mu=0.056$	$\sigma=0.0324$
---------------------	-------------	-----------------

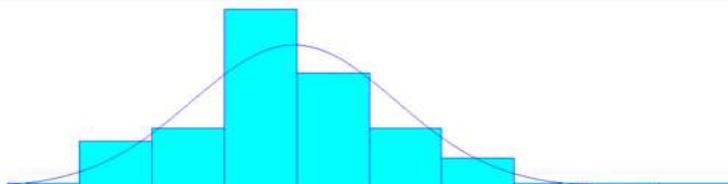
Anexo 15: “Pruebas de Bondad de Ajuste para los datos”

- **Tamaño de pedido**

Distribution: Weibull Expression: $150 + WEIB(1.2e+004, 0.858)$ Square Error: 0.001951	Distribution: Erlang Expression: $150 + ERLA(1.29e+004, 1)$ Square Error: 0.006477	Distribution: Erlang Expression: $150 + ERLA(1.29e+004, 1)$ Square Error: 0.006477
Chi Square Test Number of intervals = 4 Degrees of freedom = 1 Test Statistic = 0.471 Corresponding p-value = 0.495	Chi Square Test Number of intervals = 4 Degrees of freedom = 1 Test Statistic = 2.36 Corresponding p-value = 0.0138	Chi Square Test Number of intervals = 4 Degrees of freedom = 1 Test Statistic = 2.36 Corresponding p-value = 0.138
Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.101 Corresponding p-value > 0.15	Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.0873 Corresponding p-value > 0.0715	Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.0873 Corresponding p-value < 0.049

Como se puede observar la distribución que se ajusta mejor a este conjunto de datos es la Weibull puesto que el valor P para la prueba Chi cuadrado es mayor que el nivel de significancia 0.05, por lo que no se rechaza la hipótesis nula. Entonces se concluye que el Tamaño de pedido sigue una distribución Weibull.

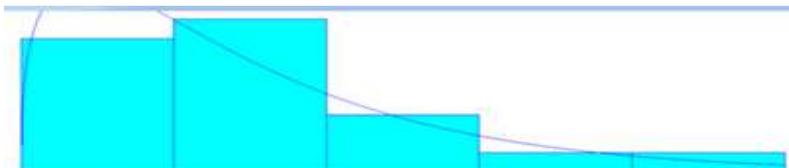
- **Tiempo de arribo de laminas/5**



Distribution: Normal Expression: $NORM(1.28, 0.155)$ Square Error: 0.013770
Chi Square Test Number of intervals = 4 Degrees of freedom = 1 Test Statistic = 5.98 Corresponding p-value = 0.061
Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.0616 Corresponding p-value = 0.150

El Tiempo de arribo de las láminas sigue una distribución normal. Esto se puede ver ya que el valor P es mayor que el nivel de significancia 0.05, tanto en la prueba Chi-cuadrado como en la Kolmogorov Smirnov.

- **Tiempo de set up**



Distribution: Weibull
Expression: 5 + WEIB(17.2, 1.28)
Square Error: 0.013636

Chi Square Test
Number of intervals = 2
Degrees of freedom = -1
Test Statistic = 0.986
Corresponding p-value < 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test
Test Statistic = 0.133
Corresponding p-value > 0.15

Distribution: Erlang
Expression: 5 + ERLA(16, 1)
Square Error: 0.043204

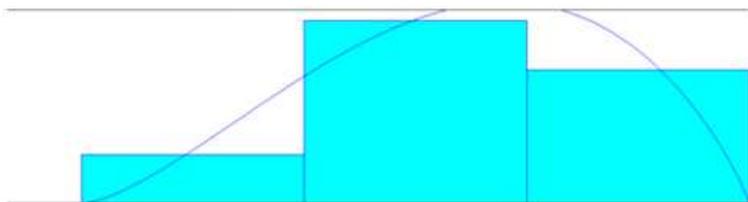
Chi Square Test
Number of intervals = 2
Degrees of freedom = -1
Test Statistic = 3.67
Corresponding p-value < 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test
Test Statistic = 0.212
Corresponding p-value > 0.15

Distribution: Gamma
Expression: 5 + GAMM(11.7, 1.37)
Square Error: 0.020099

Chi Square Test
Number of intervals = 2
Degrees of freedom = -1
Test Statistic = 1.65
Corresponding p-value = 0.0605
Kolmogorov-Smirnov Test
Test Statistic = 0.154
Corresponding p-value > 0.15

Gamma es la única distribución donde los valores P de ambas pruebas (Chi cuadrado y Kolmogorov Smirnov) no rechazan la hipótesis nula. Por lo que se concluye que los tiempos de set up siguen esta distribución de probabilidad.

- **Número de arreglos diarios**



Distribution: Beta
 Expression: $-0.5 + 3 * \text{BETA}(2.53, 1.88)$
 Square Error: 0.000712

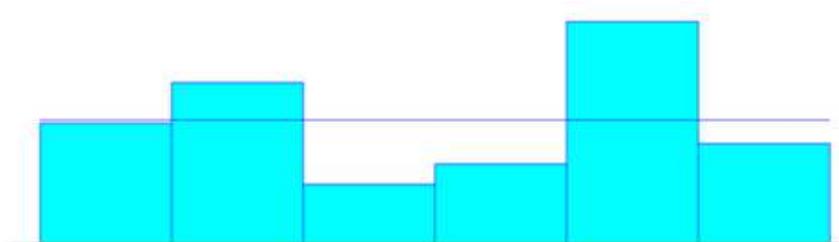
Chi Square Test
 Number of intervals = 2
 Degrees of freedom = -1
 Test Statistic = 0.00612
 Corresponding p-value = 0.095

Distribution: Weibull
 Expression: $-0.5 + \text{WEIB}(1.94, 2.9)$
 Square Error: 0.004242

Chi Square Test
 Number of intervals = 2
 Degrees of freedom = -1
 Test Statistic = 0.381
 Corresponding p-value < 0.005

Como se puede observar la distribución que mejor se ajusta a los datos es Beta puesto que el valor $P=0.095$ es mayor que el nivel de significancia 0.05 por lo que la hipótesis nula no se rechaza. Solo se usa Chi Cuadrado pues la variable aleatoria es discreta.

- **Tiempo de arreglo**



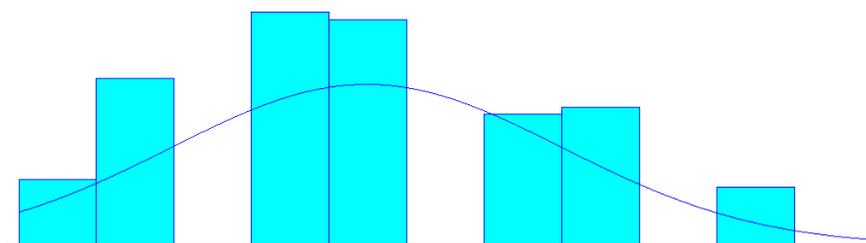
Distribution: Uniform
 Expression: $\text{UNIF}(10, 45)$
 Square Error: 0.031288

Chi Square Test
 Number of intervals = 6
 Degrees of freedom = 5
 Test Statistic = 6.95
 Corresponding p-value = 0.232

Kolmogorov-Smirnov Test
 Test Statistic = 0.134
 Corresponding p-value > 0.15

Los datos del tiempo de arreglo siguen una distribución uniforme en el intervalo [10,45]. La hipótesis nula no es rechazada puesto que el valor P de las pruebas Chi cuadrado y Kolmogorov Smirnov es mayor que el nivel de significancia 0.05.

- **Fracción disconforme**



Distribution Summary

Distribution: Normal
 Expression: NORM (0.0564, 0.0324)
 Square Error: 0.059954

Chi Square Test

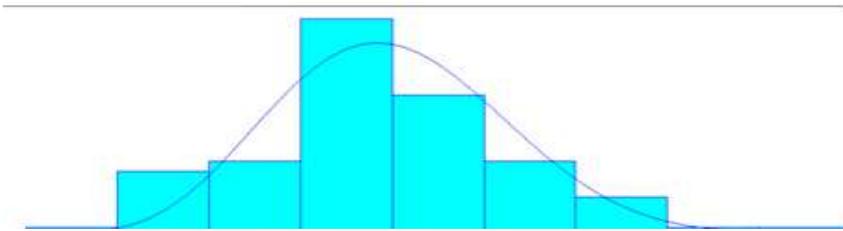
Number of intervals = 8
 Degrees of freedom = 5
 Test Statistic = 65.9
 Corresponding p-value = 0.0598

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.104
 Corresponding p-value = 0.0939

Después de realizar el ajuste de la curva se observa que la distribución que siguen estos datos es la Normal. La hipótesis nula no se rechaza puesto que el valor P tanto en las pruebas Chi como Kolmogorov Smirnov es mayor que el nivel de significancia determinado de 0.05.

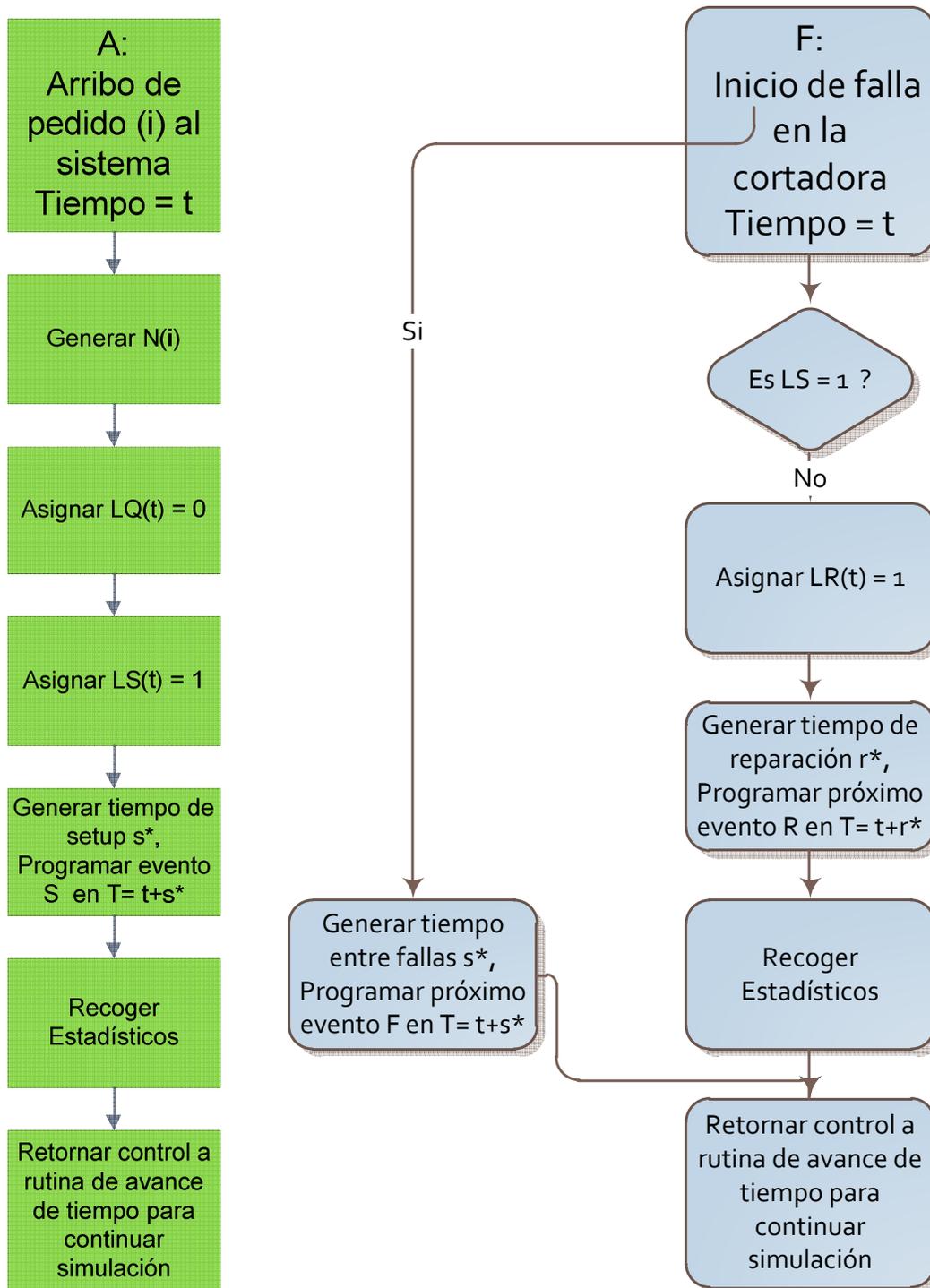
- Tiempo de corte de láminas



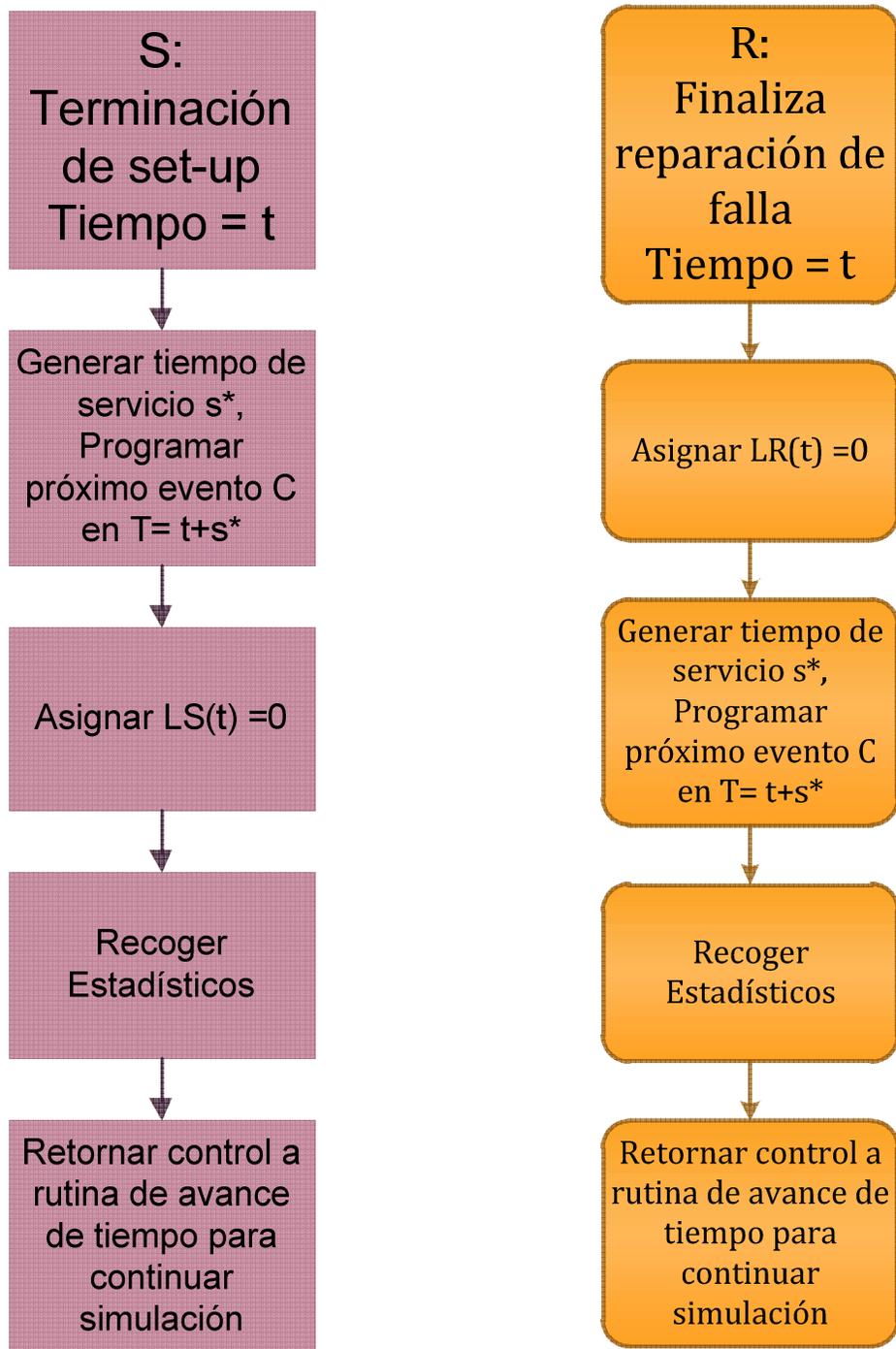
Distribution: Gamma	Distribution: Beta	Distribution: Normal
Expression: $4.25 + \text{GAMM}(0.297, 7.14)$	Expression: $4.25 + 5.4 * \text{BETA}(6.13, 9.24)$	Expression: $\text{NORM}(1.27, 0.156)$
Square Error: 0.016829	Square Error: 0.013396	Square Error: 0.013994
Chi Square Test	Chi Square Test	Chi Square Test
Number of intervals = 5	Number of intervals = 4	Number of intervals = 5
Degrees of freedom = 2	Degrees of freedom = 1	Degrees of freedom = 2
Test Statistic = 3.95	Test Statistic = 3.1	Test Statistic = 8
Corresponding p-value = 0.0153	Corresponding p-value = 0.00827	Corresponding p-value = 0.199
Kolmogorov-Smirnov Test	Kolmogorov-Smirnov Test	Kolmogorov-Smirnov Test
Test Statistic = 0.0757	Test Statistic = 0.078	Test Statistic = 0.06
Corresponding p-value > 0.0015	Corresponding p-value > 0.0015	Corresponding p-value > 0.15
Distribution: Gamma	Distribution: Gamma	
Expression: $4.25 + \text{GAMM}(0.297, 7.14)$	Expression: $4.25 + \text{GAMM}(0.297, 7.14)$	
Square Error: 0.016829	Square Error: 0.016829	

Los valores P para los que no se puede rechazar la hipótesis nula son los pertenecientes a la distribución Normal. Entonces se concluye que los tiempos de corte de las láminas siguen dicha distribución.

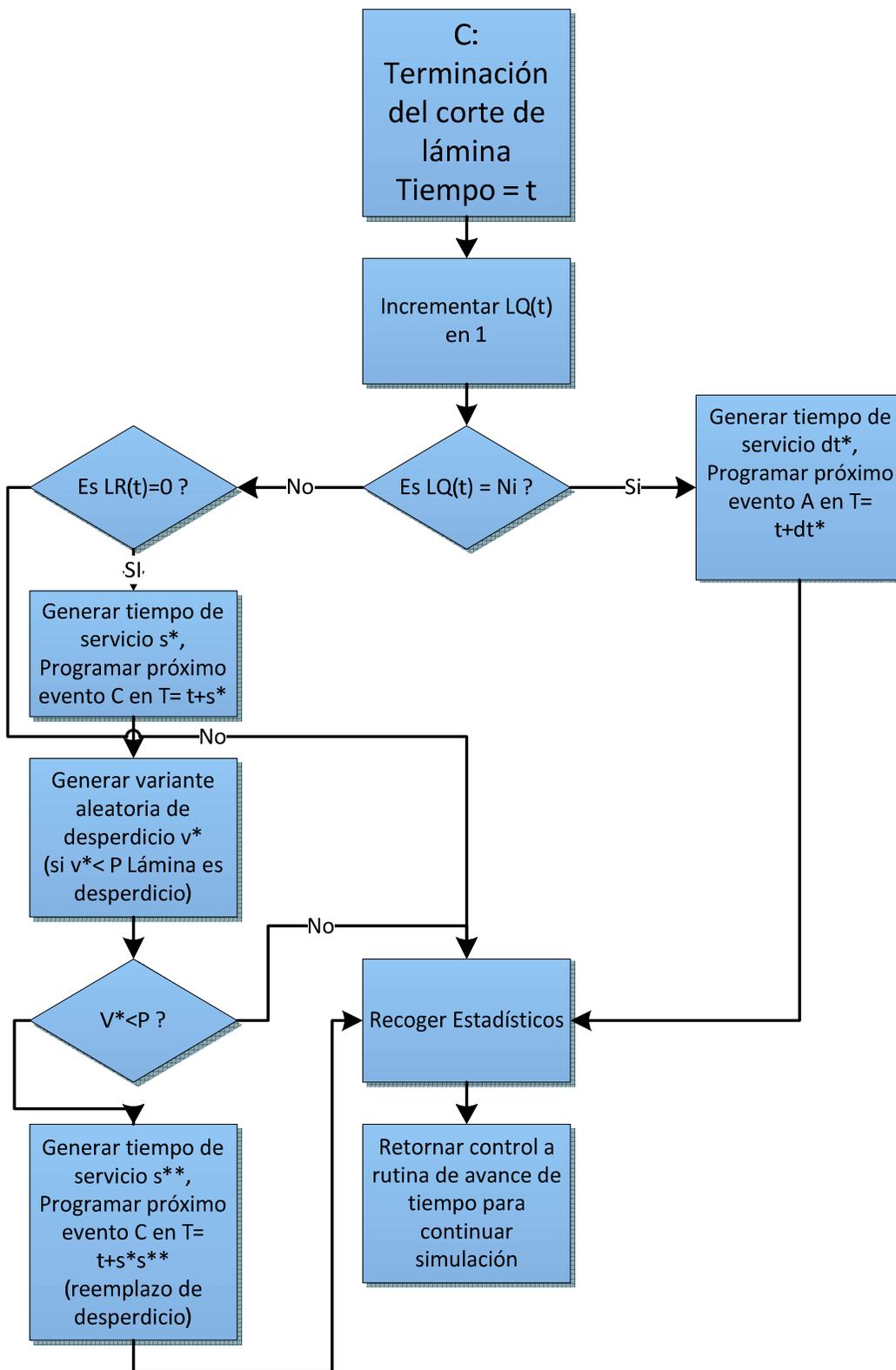
Anexo 16: "Diagramación del modelo"



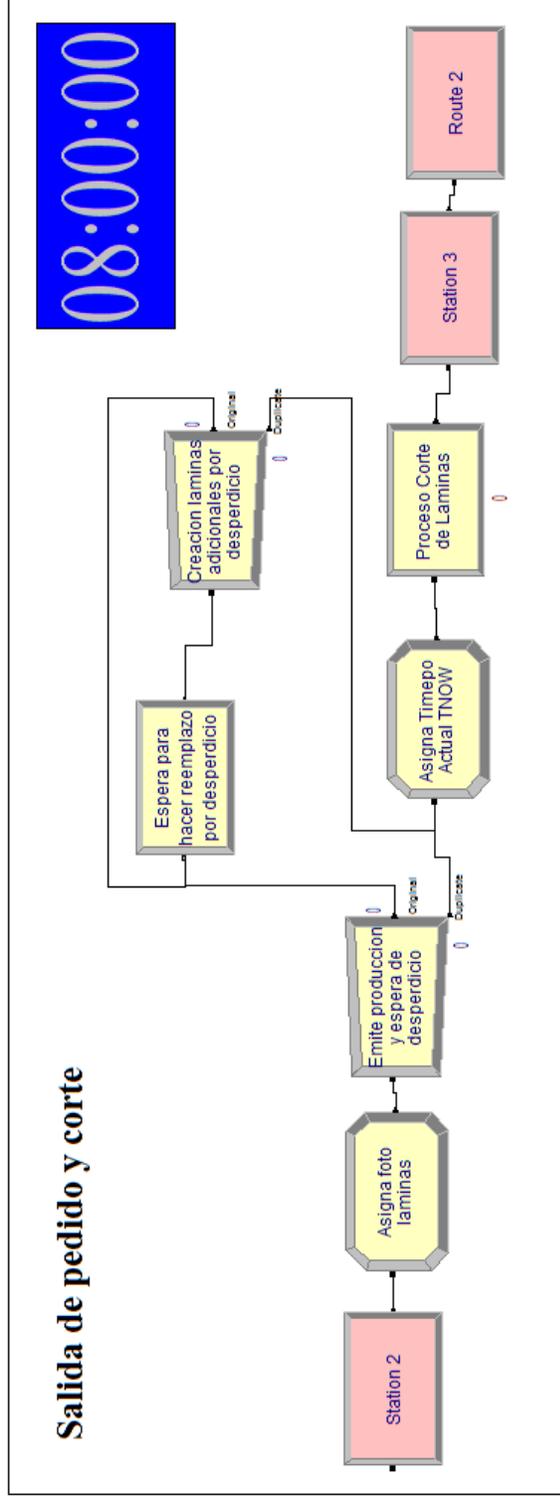
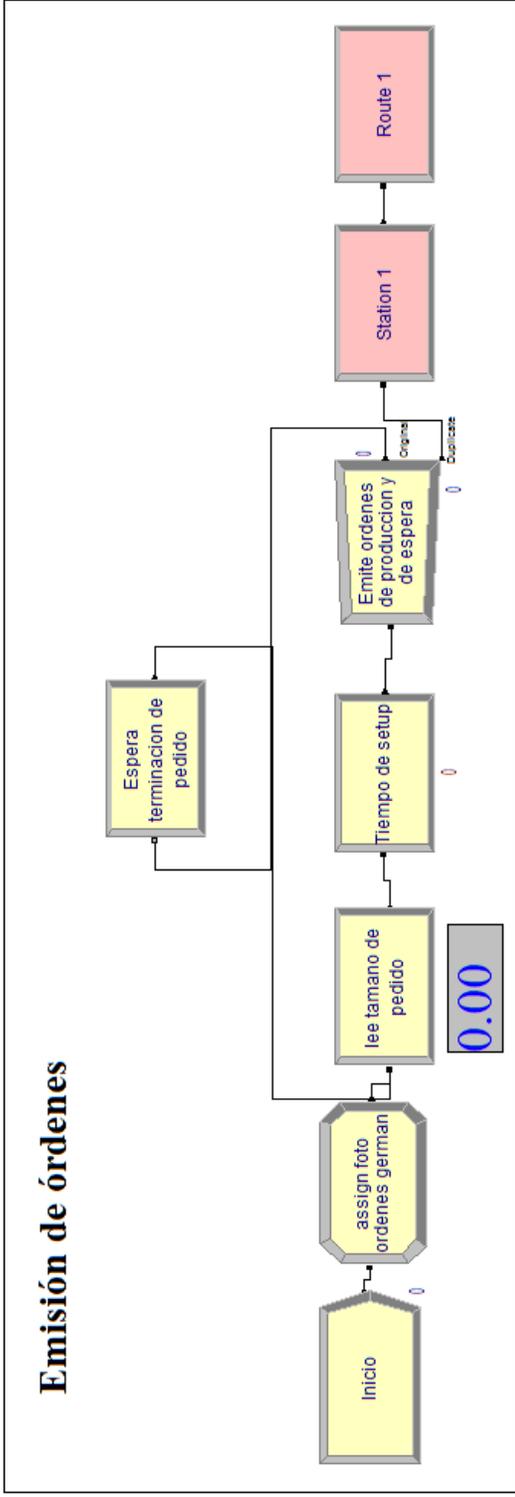
Anexo 16: "Diagramación del modelo" (continuación)



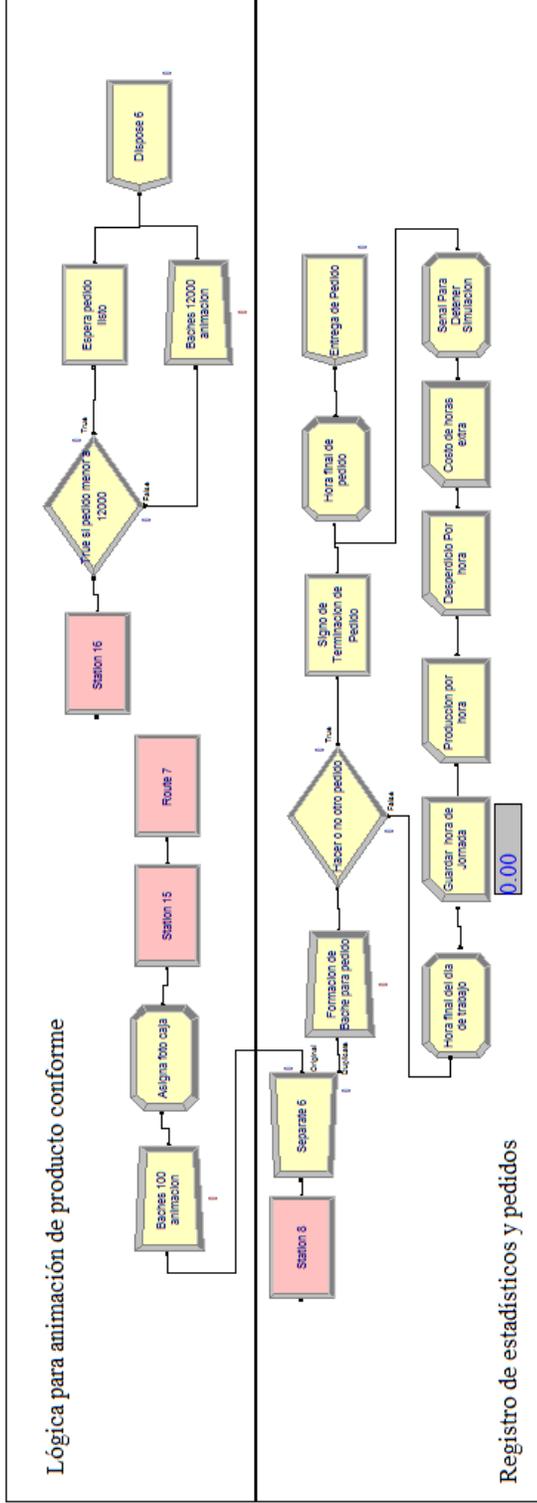
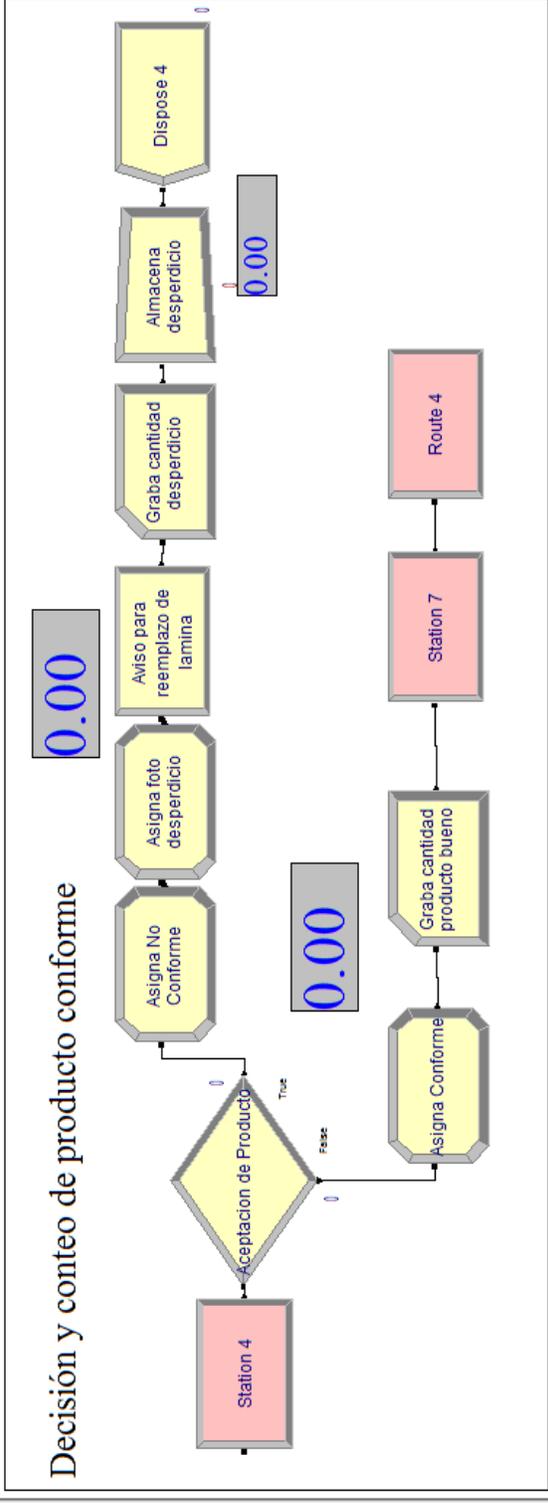
Anexo 16: "Diagramación del modelo" (continuación)



Anexo 17: "Modelo de simulación en ARENA"



Anexo 17: "Modelo de simulación en ARENA" (Continuación)



Anexo 18: “Primera prueba de comparación de medias entre el modelo y la información histórica”

1. Modelo Real

Pedido de 10000 cortes: Tiempo de producción 6 horas

2. Modelo de Simulación:

Tiempos de producción para 10000 cortes:

Réplica	Tiempo de producción
1	5.823
2	6.024
3	5.321
4	6.110
5	6.052
6	5.241
7	5.843
8	5.916
9	6.425
10	5.552
Y..	5.832
Desviación St.	0.369

Estadísticos de la prueba	
to	-1.444
t(0.025, 9)	2.260

Teniendo en cuenta que Y es la variable aleatoria para el estimador del tiempo de producción se hace la siguiente prueba de hipótesis:

$$H_0 = E(Y)=6 \text{ horas}$$

$$H_1 = E(Y) \neq 6 \text{ horas}$$

Dado que to se encuentra dentro del intervalo del t crítico, con una confianza del 95%, no se puede rechazar la hipótesis de la esperanza del estimador del tiempo de producción es el parámetro real. Se comprueba esto observando el reporte de arena con el indicador de interés bajo el título "Tally" a continuación.

Figura 1. Reporte obtenido por Arena

Replications: 10 Time Units: Hours

User Specified

Tally

Expression	Average	Half Width	Minimum Average
Tiempo de creacion de pedido	5.8328	0.19	5.5228

Counter

Count	Average	Half Width	Minimum Average
cantidad producto bueno	10000.00	0.00	10000.00
graba desperdicio	650.10	293.56	0.00

1

Anexo 19: “Segunda prueba de comparación de medias entre el modelo y la información histórica”

1. Modelo Real

Pedido de 3000 cortes : Tiempo de producción 6 horas

2. Modelo de Simulación:

Tiempos de producción para 30000 cortes:

Réplica	Tiempo de producción
1	1.593
2	1.662
3	1.634
4	1.681
5	1.557
6	1.634
7	1.579
8	1.602
9	1.625
10	1.653
Y..	1.626
Desviación St.	0.039

Estadísticos de la prueba	
to	-0.077
t(0.025, 9)	2.260

Teniendo en cuenta que Y es la variable aleatoria para el estimador del tiempo de producción se hace la siguiente prueba de hipótesis:

$$H_0 = E(Y) = 2 \text{ horas}$$

$$H_1 = E(Y) \neq 2 \text{ horas}$$

Dado que to se encuentra dentro del intervalo del t crítico, con una confianza del 95%, no se puede rechazar la hipótesis de la esperanza del estimador del tiempo de producción es el parámetro real. Se comprueba esto observando el reporte de arena con el indicador de interés bajo el título "Tally" a continuación.

Figura 2. Reporte obtenido por Arena

Replications: 10 Time Units: Hours

User Specified

Tally

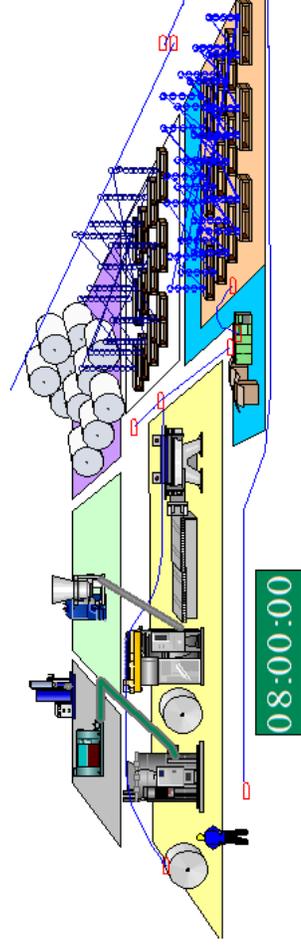
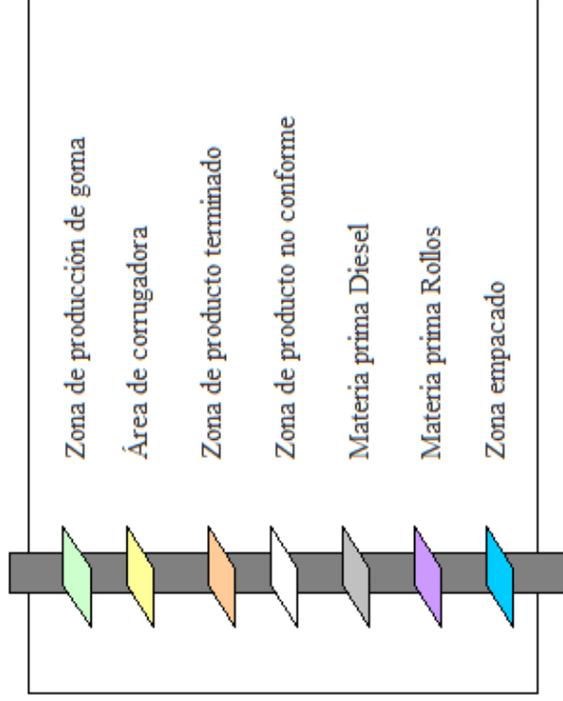
Expression	Average	Half Width	Minimum Average
Tiempo de creacion de pedido	1.6260	0.03	1.5565

Counter

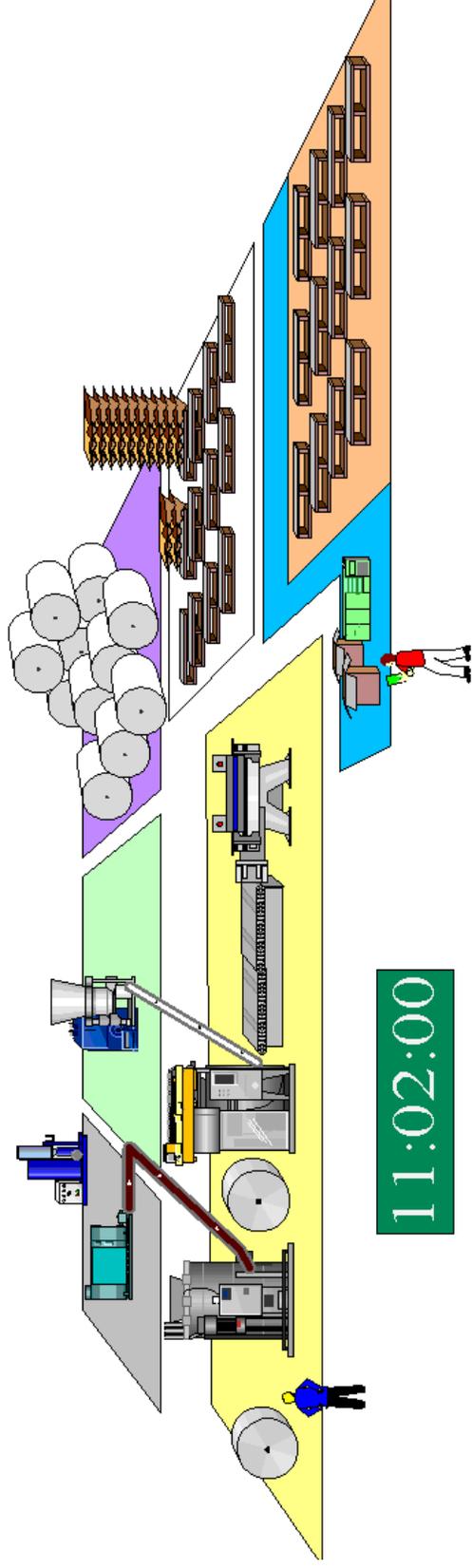
Count	Average	Half Width	Minimum Average
cantidad producto bueno	3000.00	0.00	3000.00
graba desperdicio	195.00	88.08	0.00

Anexo 20: “Animación del modelo de simulación”

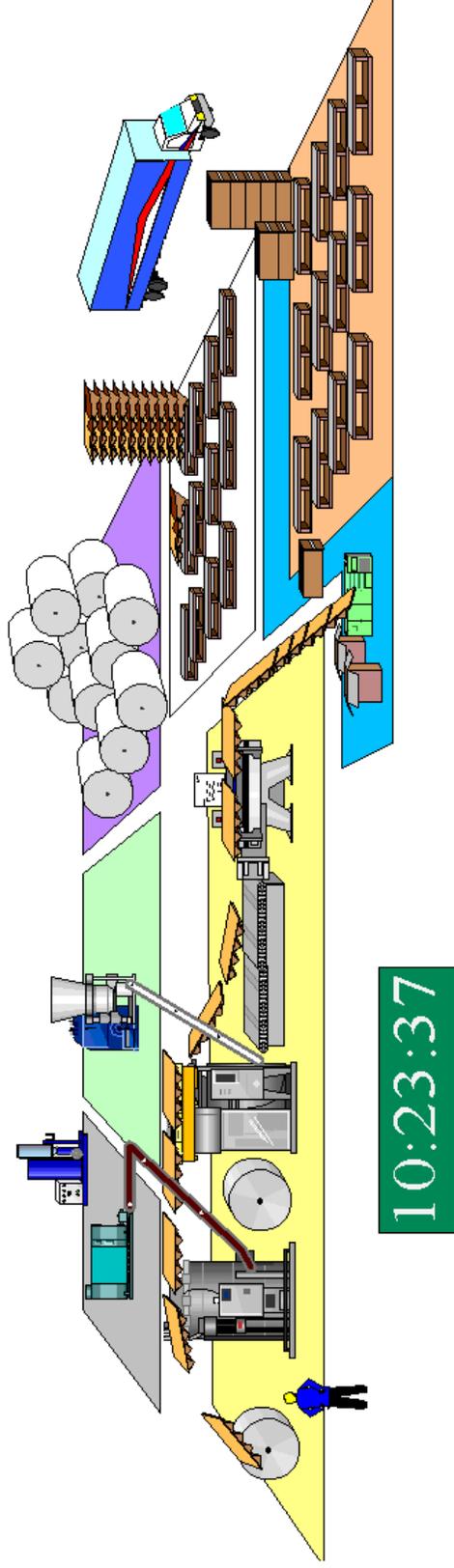
Descripción de Áreas:



La figura superior muestra el modelo de animación “apagado” y la descripción de áreas respectiva.



Inicio de una orden por parte del gerente de producción (hombre al centro abajo), sistema esperando inicialización.



Sistema activo: Orden de producción bajo proceso, cortadora activa y producto siendo acumulado.

Anexo 21: “Determinación del número de réplicas”

Después de correr las 10 réplicas piloto en ARENA los resultados fueron los siguientes:

# Replicas	Producción por hora	Costo de hora extra	Desperdicio por hora
1	1,383.42	5.1067E+01	41.1178696
2	1,370.97	4.7553E+01	19.8791066
3	1,675.74	5.4155E+01	110.541547
4	1,789.97	5.9254E+01	136.390614
5	1,593.29	3.3082E+01	74.5845243
6	1,615.02	4.3108E+01	50.9397738
7	1,483.51	1.3348E+01	97.9549435
8	1,574.23	1.2515E+01	71.8726062
9	1,551.57	4.5543E+01	62.4859532
10	1,693.55	3.6970E+01	100.468863
Media	1573.13	39.66	76.62
Desv. Estándar	133.1528	16.0300	35.1394

Con lo que es posible calcular el número de réplicas:

$$R \geq \left(\frac{Z_{\alpha/2} S_0}{\varepsilon} \right)^2$$

$$R \geq \left(\frac{Z_{0.025} 133.1528}{10} \right)^2$$

$$R \geq \left(\frac{(1.96)(133.1528)}{10} \right)^2$$

$$R \geq 26$$

$$R \geq \left(\frac{t_{\frac{\alpha}{2}, R-1} S_0}{\varepsilon} \right)^2$$

$$26 \geq \left(\frac{t_{0.025, 9} 133.1528}{10} \right)^2$$

$$26 \geq \left(\frac{(1.74)(133.1528)}{10} \right)^2$$

$$R = 26 \geq 23$$

De donde se obtiene que el número de replicas necesarias es 26

Anexo 22: “Determinación del tamaño de la muestra para el Tiempo de Corte de láminas”

Para la toma de datos el tamaño de muestra se determina con la siguiente fórmula:

$$n = \left(\frac{\sigma Z_{1-\frac{\alpha}{2}}}{d} \right)^2$$

Donde n es el tamaño de la muestra, σ la varianza poblacional, d es el error estándar o error máximo prefijado y $1-\alpha$ es el nivel de confianza. Si no se conoce la varianza población se la pueda aproximar al hacer una muestra piloto y sustituirla con la varianza muestral. (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2005)

Se realiza una muestra piloto que se encuentra en la Tabla a cuya desviación muestral es 0.151296, se desea tener una confianza del 95% y el error máximo aceptado es de 0.1 segundos. De tal manera:

$$n = \left(\frac{(0.151296 * 1.95)}{0.1} \right)^2 = 9 \text{ datos de tiempo}$$

Definido este tamaño de muestra, se obtienen los 9 datos adicionales en la Tabla b.

Tabla a. Datos de tiempo de corte para muestra piloto

N de Datos	T de corte						
1	1.24	31	1.36	61	1.42	91	1.3
2	1.06	32	1.06	62	1.18	92	1.2
3	1.26	33	1.2	63	1.32	93	1.24
4	1.84	34	1.44	64	1.24	94	1.24
5	1.14	35	1.22	65	1.12	95	1.2
6	1.54	36	1.14	66	1.46	96	1.36
7	1.26	37	1.32	67	1.18	97	1.34
8	1.78	38	1.3	68	0.94	98	1.32
9	1.52	39	1.3	69	1.62	99	1.1
10	1.24	40	1.22	70	1.38	100	1.18
11	1.14	41	1.22	71	1.38	101	1.28
12	1.2	42	1.3	72	1.26	102	1.32
13	1.38	43	1.34	73	1.14	103	1.24
14	1.22	44	0.98	74	1.56	104	1.4
15	1.1	45	1.04	75	1.22	105	1.14
16	1.1	46	1.38	76	1.04	106	1.48
17	1.44	47	1.22	77	1.36	107	1.18
18	1.32	48	1.4	78	1.24	108	1.18
19	1.22	49	1.3	79	1.18	109	1.54
20	1.02	50	1.38	80	1.54	110	1.2
21	1.48	51	1.2	81	1.06		
22	1.36	52	1.26	82	1.24		
23	1.3	53	1.04	83	1.42		
24	1.16	54	1.46	84	1.32		
25	1.2	55	1.28	85	1.28		
26	1.32	56	1.16	86	1.22		
27	1.06	57	1.46	87	1.3		
28	1.36	58	1.16	88	1.16		
29	1.32	59	1.2	89	1.18		
30	1.2	60	1.24	90	1.42		

Tabla b: Datos de tiempo de corte para muestra

Numero de Datos	Tiempo de corte
1	1.04
2	1.54
3	1.08
4	1.48
5	1.06
6	1.24
7	1.2
8	1.42
9	1.52

Anexo 23: “Determinación del tamaño de la muestra para Porcentaje de desperdicio”

Para el porcentaje de desperdicio se toma 140 muestras cada una de 50 unidades de producción y se determina el número de disconformes dentro de la muestra. La fracción disconforme viene a ser número de disconformes / tamaño de la muestra. Se define una unidad como un corte horizontal.

El tamaño de la muestra se determina mediante la siguiente fórmula:

$$n = \left(\frac{\sigma Z_{1-\frac{\alpha}{2}}}{d} \right)^2$$

Donde n es el tamaño de la muestra, σ la varianza poblacional, d es el error estándar o error máximo prefijado y $1-\alpha$ es el nivel de confianza. Si no se conoce la varianza población se la pueda aproximar al hacer una muestra piloto y sustituirla con la varianza muestral. (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2005)

Se realiza una muestra piloto de 140 muestras para determinar la varianza muestral. Vea Tabla c a continuación. La varianza muestral es 0.032477362. Se desea tener una confianza del 95% y el error máximo aceptado es de 0.006 que equivale a un error menor al 1% y para propósitos del estudio es suficiente.

$$n = \left(\frac{(0.0325 \cdot 1.96)}{0.006} \right)^2 = 112 \text{ datos de fracción disconforme}$$

En caso de que el número de muestras necesarias sea menor al de la prueba piloto, un método posible es aceptar los datos tomados para la prueba piloto como datos finales para la estimación. (Zagarola, 2010)

Número de muestra	Fracción Disconforme i/50	Número de muestra2	Fracción Disconforme i/503	Número de muestra4	Fracción Disconforme i/505	Número de muestra6	Fracción Disconforme i/507	Número de muestra8	Fracción Disconforme i/509	Número de muestra10	Fracción Disconforme i/5011
1	0	26	0.02	51	0.1	76	0.04	101	0.08	126	0.06
2	0.04	27	0.08	52	0.08	77	0.1	102	0.1	127	0.08
3	0.06	28	0.06	53	0.04	78	0	103	0.06	128	0.06
4	0.02	29	0.04	54	0.04	79	0.06	104	0	129	0.1
5	0.04	30	0.04	55	0	80	0.04	105	0.04	130	0.12
6	0.08	31	0.04	56	0.02	81	0.06	106	0.06	131	0.04
7	0.08	32	0.06	57	0.12	82	0.06	107	0.12	132	0.04
8	0.04	33	0.02	58	0.1	83	0.08	108	0.04	133	0.1
9	0.12	34	0.02	59	0.04	84	0	109	0.12	134	0.08
10	0.06	35	0.02	60	0.02	85	0.04	110	0.1	135	0.04
11	0.1	36	0.08	61	0.04	86	0.12	111	0.02	136	0.02
12	0.08	37	0.1	62	0.08	87	0.08	112	0.06	137	0
13	0.06	38	0.02	63	0	88	0.06	113	0.1	138	0.06
14	0.04	39	0.12	64	0.1	89	0.04	114	0.04	139	0.06
15	0.08	40	0.06	65	0.1	90	0	115	0.06	140	0.04
16	0.12	41	0.06	66	0.08	91	0.06	116	0.02		
17	0.04	42	0.08	67	0.06	92	0.06	117	0.1		
18	0.02	43	0.04	68	0.04	93	0.04	118	0.06		
19	0.06	44	0.02	69	0.1	94	0.02	119	0.02		
20	0	45	0.06	70	0.02	95	0.1	120	0.1		
21	0.02	46	0.08	71	0.08	96	0.08	121	0.04		
22	0.02	47	0.1	72	0.06	97	0.06	122	0.04		
23	0.02	48	0.02	73	0.04	98	0.1	123	0.02		
24	0.06	49	0.04	74	0.02	99	0.06	124	0.06		
25	0.1	50	0.04	75	0.06	100	0.04	125	0.02		

Tabla c: Datos de fracción disconforme (Jaramillo, Toma de datos Noviembre 15, 2010)

Anexo 24: “Análisis de Resultados para las medidas de desempeño del modelo actual”

Resumen de resultados para cada réplica:

Modelo Actual: Medidas de Desempeño en 16 replicas			
Replicas	Costo de horas extra	Desperdicio por hora(unidades)	Producción por hora (unidades)
1	29,197	41,117	1383,42
2	190,02	19,879	1370,972
3	21,64	110,541	1675,739
4	23,678	154,39	1789,972
5	13,219	74,458	1593,291
6	30,013	50,939	1625,02
7	53,337	97,955	1683,512
8	0	71,872	1574,229
9	0	62,485	1551,569
10	14,773	100,468	1693,552
11	24,384	70,066	1882,899
12	0	61,681	1424,444
13	0	113,05	1190,282
14	0	89,218	1717,449
15	25,531	69,094	1636,807
16	0	57,438	1368,278
Y..	26,612	77,7906875	1572,589688
Desviación St.	46,21892573	32,39742283	181,8675202

Análisis de intervalos de confianza con pruebas t:

$t(0.025,15)$ 2,13

Intervalos de Confianza del 95%

Fórmula utilizada= $Y.. \pm t_{(0.025,15)} * S/\sqrt{16}$

Intervalo de Confianza para Costo de horas extras

2,000422049 $\leq Y.. \leq$ 51,22357795

Intervalo de Confianza para el Desperdicio por hora en unidades

60,53905984 $\leq Y.. \leq$ 95,04231516

Intervalo de Confianza para Producción por hora en unidades

1475,699688 $\leq Y.. \leq$ 1669,479688

Intervalos de Predicción del 95%

Fórmula utilizada= $Y.. \mp t_{(0.025,15)} * S \sqrt{1 + \frac{1}{16}}$

Intervalo de Predicción para Costo de horas extras

0 $\leq Y.. \leq$ 128,0881355

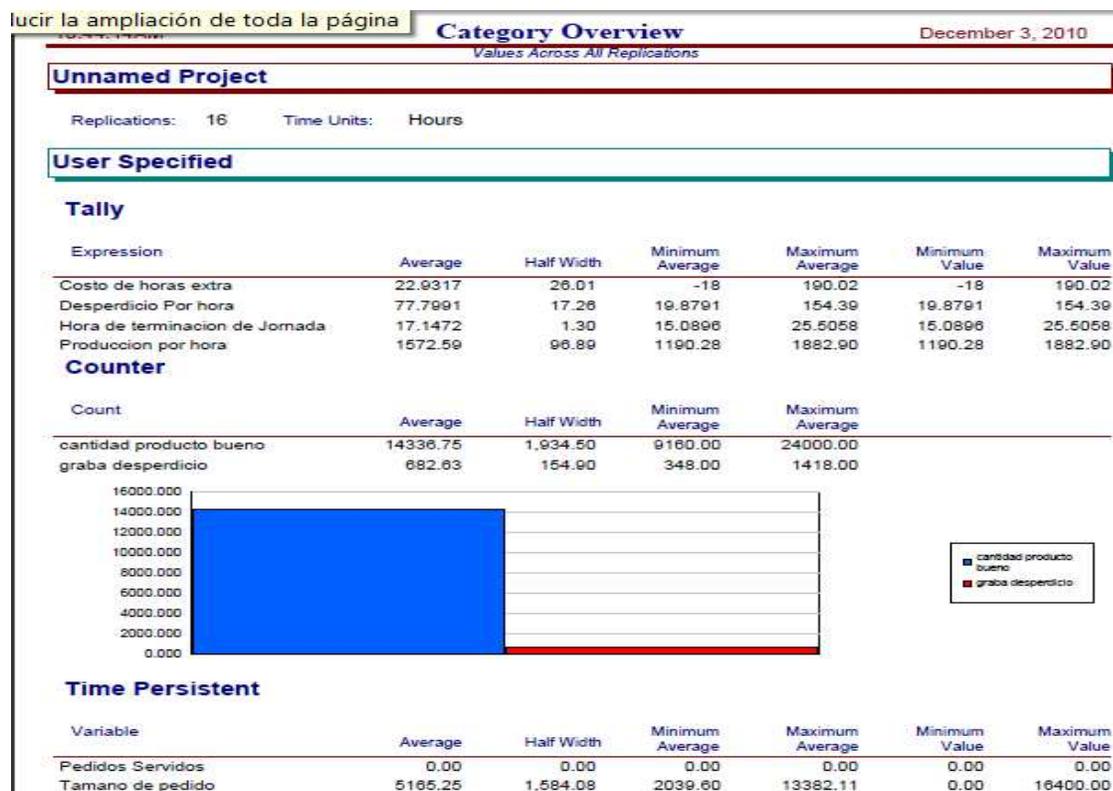
Intervalo de Predicción para el Desperdicio por hora en unidades

6,660404463 $\leq Y.. \leq$ 148,9209705

Intervalo de Predicción para Producción por hora en unidades

1173,289772 $\leq Y.. \leq$ 1971,889603

Figura 2. Reporte Obtenido por Arena



Anexo 25: “Cálculo de VPN y ROI para escenarios propuestos de simulación”

Esperando que la inversión inicie en enero del 2011, note que un movimiento de fechas no afectaría el ingreso de efectivo ni los costos por ende este formato es conveniente para el análisis incluso si se realiza la inversión en otro período. El costo de la máquina cortadora es de \$23000 dólares más un estimado de \$4000 por importación e instalación. (Bravo G. , 2010) Entonces para cada escenario los flujos de efectivo al presente son:

Escenario Propuesto A (Vendedor p=1)				
		Interés	6%	
		Inversión	Retorno Anual	VP
1	2011	\$ (27,000.00)	\$ 34,433.00	\$ 34,433.00
2	2012		\$ 29,514.00	\$ 27,843.40
3	2013		\$ 24,595.00	\$ 21,889.46
4	2014		\$ 19,676.00	\$ 16,520.35
5	2015		\$ 14,757.00	\$ 11,688.93
6	2016		\$ 9,838.00	\$ 7,351.53
7	2017		\$ 4,919.00	\$ 3,467.70
	TOTAL VPN	\$ (27,000.00)		\$ 123,194.36

Escenario Propuesto B (p=2)				
		Interés	6%	
		Inversión	Retorno Anual	VP
1	2011	\$ (27,000.00)	\$ 22,725.00	\$ 22,725.00
2	2012		\$ 19,478.57	\$ 18,376.01
3	2013		\$ 16,232.14	\$ 14,446.55
4	2014		\$ 12,985.71	\$ 10,903.06
5	2015		\$ 9,739.29	\$ 7,714.43
6	2016		\$ 6,492.86	\$ 4,851.84
7	2017		\$ 3,246.43	\$ 2,288.60
TOTAL VPN		\$ (27,000.00)		\$ 81,305.49

Escenario Propuesto C (p=3)				
		Interés	6%	
		Inversión	Retorno Anual	VP
1	2011	\$ (27,000.00)	\$ 11,018.00	\$ 11,018.00
2	2012		\$ 9,444.00	\$ 8,909.43
3	2013		\$ 7,870.00	\$ 7,004.27
4	2014		\$ 6,296.00	\$ 5,286.24
5	2015		\$ 4,722.00	\$ 3,740.27
6	2016		\$ 3,148.00	\$ 2,352.37
7	2017		\$ 1,574.00	\$ 1,109.61
TOTAL VPN		\$ (27,000.00)		\$ 39,420.19

Ahora, el VPN y ROI se calculan utilizando las fórmulas de la sección correspondiente

al análisis económico en el capítulo 2:

$$ROI = \frac{V_f - V_i}{V_i} \times 100 \quad (\text{Ecuación 18})$$

$$VPN = \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0 \quad (\text{Ecuación 20})$$

De tal manera que en cada escenario se obtienen los valores siguientes, repetidos en la Tabla 15: resumen de indicadores económicos para las propuestas de simulación”

Escenario	Período	VPN	ROI
Propuesta A	Total en 10 años	\$ 96,194.36	418%
	Anual	\$ 9,619.44	42%
Propuesta B	Total en 10 años	\$ 54,305.49	236%
	Anual	\$ 5,430.55	24%
Propuesta C	Total en 10 años	\$ 12,420.19	54%
	Anual	\$ 1,242.02	5%

Anexo 26: “Modelos posibles de comparación para pronóstico”

Automatic Forecasting Options

Models to Include

<input checked="" type="checkbox"/> Random Walk	<input checked="" type="checkbox"/> Optimize Parameters
<input checked="" type="checkbox"/> Random Walk with Drift	<input checked="" type="checkbox"/> Optimize Parameters
<input checked="" type="checkbox"/> Mean	<input checked="" type="checkbox"/> Optimize Parameters
<input checked="" type="checkbox"/> Linear Trend	<input checked="" type="checkbox"/> Optimize Parameters
<input checked="" type="checkbox"/> Quadratic Trend	<input checked="" type="checkbox"/> Optimize Parameters
<input checked="" type="checkbox"/> Exponential Trend	<input checked="" type="checkbox"/> Optimize Parameters
<input checked="" type="checkbox"/> S-Curve	<input checked="" type="checkbox"/> Optimize Parameters
<input checked="" type="checkbox"/> Moving Average	<input checked="" type="checkbox"/> Optimize Parameters
<input checked="" type="checkbox"/> Simple Exp. Smoothing	<input checked="" type="checkbox"/> Optimize Parameters
<input checked="" type="checkbox"/> Brown's Linear Exp. Smoothing	<input checked="" type="checkbox"/> Optimize Parameters
<input checked="" type="checkbox"/> Holt's Linear Exp. Smoothing	<input checked="" type="checkbox"/> Optimize Parameters
<input checked="" type="checkbox"/> Quadratic Exp. Smoothing	<input checked="" type="checkbox"/> Optimize Parameters
<input checked="" type="checkbox"/> Winter's Exp. Smoothing	<input checked="" type="checkbox"/> Optimize Parameters
<input checked="" type="checkbox"/> ARIMA: <input checked="" type="checkbox"/> Optimize Model Order	<input checked="" type="checkbox"/> Optimize Parameters

AR Terms (p)

Nonseasonal:

Seasonal:

MA Terms (q)

Nonseasonal:

Seasonal:

Fix q at p-1

Differencing (d)

Nonseasonal:

Seasonal:

Include constant

Method Selection Criterion

Akaike Information Criterion (AIC)

Hannan-Quinn Criterion (HQC)

Schwarz Bayesian Inf. Criterion (SBIC)

Mean Squared Error (MSE)

Mean Absolute Error (MAE)

Mean Abs. Percentage Error (MAPE)

OK

Cancel

Help

Adjustments...

Parameters...

Estimation...

Input series...

Anexo 27: “Comparación de modelos en StatGraphics”

A continuación se enlistan los modelos analizados cada uno asignado por una letra mayúscula. La primera tabla calcula y lista los indicadores de ajuste para cada modelo de acuerdo a los datos. Y por último la tabla final es un resumen de pruebas de hipótesis que comparan los residuales. Cuando se marca OK quiere decir que no se encuentra diferencia significativa entre el modelo y los datos, un asterisco indica una diferencia marginal y dos asteriscos o mas indican que si hay diferencia. El modelo escogido marca OK en las cinco pruebas realizadas, de modo que probablemente es correcto para ajustar los datos.

Modelos considerados

- (C) Constant mean = 33863.2
- (D) Linear trend = $28575.9 + 229.882 t$
- (E) Quadratic trend = $27520.1 + 364.668 t + -2.93012 t^2$
- (F) Exponential trend = $\exp(10.2482 + 0.00703285 t)$
- (H) Simple moving average of 2 terms
- (I) Simple exponential smoothing with $\alpha = 0.1168$
- (L) Quadratic exp. smoothing with $\alpha = 0.0331$
- (M) Winter's exp. smoothing with $\alpha = 0.2204$, $\beta = 0.0276$, $\gamma = 0.3823$
- (N) ARIMA(0,0,1)x(2,2,1)₁₂
- (O) ARIMA(0,0,2)x(2,2,0)₁₂
- (P) ARIMA(0,0,2)x(2,2,1)₁₂
- (Q) ARIMA(0,1,2)x(2,2,2)₁₂
- (R) ARIMA(0,2,1)x(2,2,2)₁₂

A partir de estos modelos se ajustan estadísticos de error que son la diferencia entre los valores pronosticados y los datos reales, en donde estén los datos disponibles. En este caso se usan con sus siglas en inglés:

- (1) root mean squared error (RMSE)
- (2) mean absolute error (MAE)
- (3) mean absolute percentage error (MAPE)

- (4) mean error (ME)
- (5) mean percentage error (MPE)

Los tres primeros estadísticos miden la magnitud del error, mientras los dos últimos miden la desviación del error. En todos los estadísticos, un valor más cercano a 0 indicará un mejor ajuste.

Listado de indicadores de ajuste para los datos

Modelo	RMSE	MAE	MAPE	ME	MPE
(C)	7263.75	4935.38	16.6079	-267.831	-4.14625
(D)	6885.4	4744.55	14.9275	-172.676	-3.27876
(E)	6971.9	4769.44	14.9099	-176.197	-3.23092
(F)	6903.46	4709.74	14.6482	362.936	-1.62786
(H)	8302.23	5602.46	17.6356	-73.9438	-3.01534
(I)	7183.2	4974.88	15.6323	983.186	-0.0328097
(L)	7287.61	5007.17	15.8472	920.45	-0.283651
(M)	7381.25	5341.5	16.8729	949.145	-0.292116
(N)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(O)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(P)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(Q)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(R)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla de ajuste para cada modelo

Modelo	RMSE	AUTO	MEAN	VAR
(C)	7263.75	OK	*	OK
(D)	6885.4	*	OK	OK
(E)	6971.9	*	OK	OK
(F)	6903.46	*	OK	OK
(H)	8302.23	***	OK	OK
(I)	7183.2	*	OK	OK
(L)	7287.61	OK	OK	OK
(M)	7381.25	OK	OK	OK
(N)	0.0			
(O)	0.0			
(P)	0.0			
(Q)	0.0			
(R)	0.0			

Código de pruebas:

RMSE = Root Mean Squared Error

AUTO = Prueba de auto-correlación excesiva

MEAN = Diferencia de medias

VAR = Diferencia de varianzas

Código de resultados:

OK = no significativo ($p \geq 0.05$)

* = marginalmente significativo ($0.01 < p \leq 0.05$)

** = significativo ($0.001 < p \leq 0.01$)

*** = muy significativo ($p \leq 0.001$)

Se realiza pruebas de auto correlación, diferencia de media y varianzas para los modelos, de modo que se tenga mejores parámetros de decisión. Como muestra el código de resultados arriba, las pruebas con OK indican que una prueba es no significativa. Es decir no se encontró correlación, o diferencia estadísticamente significativa en las medias y varianzas del modelo y los datos. Note que las aproximaciones ARIMA sugeridas obtienen errores de prácticamente 0 (RMSE cercano o igual a 0), por tanto no se pueden realizar las pruebas de auto correlación y diferencia de media y varianza.

De aquí se determina que el mejor modelo para realizar pronósticos con los datos es el ARIMA (0,0,1) x (2,2,1) 12. Es decir un modelo de promedio móvil auto regresivo integrativo con un período de 12. Este tipo de modelo indica que existe una función matemática que permite aproximar los valores de pronóstico en base a sus valores conocidos.

**Anexo 28: “Tabla de pronóstico para Producción mensual Kg 2007-2010
utilizando ARIMA(0,0,1)x(2,2,1)¹²”**

Modelo: ARIMA(0,0,1)x(2,2,1)¹²

<i>Periodo</i>	<i>Datos</i>	<i>Pronóstico</i>	<i>Residual</i>
1/50	57954.7		
2/50	19413.7		
3/50	23038.0		
4/50	31179.7		
5/50	36715.8		
6/50	21043.3		
7/50	20105.4		
8/50	18907.1		
9/50	19914.9		
10/50	30190.4		
11/50	33738.0		
12/50	39336.8		
1/51	65381.3		
2/51	25590.0		
3/51	20878.6		
4/51	52116.9		
5/51	21533.6		
6/51	24740.6		
7/51	33664.3		
8/51	22949.8		
9/51	34116.5		
10/51	44995.3		
11/51	24103.9		
12/51	35906.8		
1/52	60215.0	60215.0	0.0
2/52	27832.1	27832.1	0.0
3/52	23946.7	23946.7	0.0
4/52	42953.1	42953.1	0.0
5/52	31235.2	31235.2	0.0
6/52	27337.8	27337.8	0.0
7/52	25199.5	25199.5	0.0
8/52	24081.9	24081.9	0.0
9/52	37505.7	37505.7	0.0
10/52	40770.2	40770.2	0.0
11/52	42960.9	42960.9	0.0
12/52	40427.9	40427.9	0.0
1/53	57309.0	57309.0	0.0
2/53	38492.5	38492.5	0.0
3/53	27923.7	27923.7	0.0
4/53	45562.8	45562.8	0.0
5/53	40645.1	40645.1	0.0
6/53	31457.8	31457.8	0.0
7/53	35589.9	35589.9	0.0
8/53	18875.8	18875.8	0.0
9/53	24063.5	24063.5	0.0

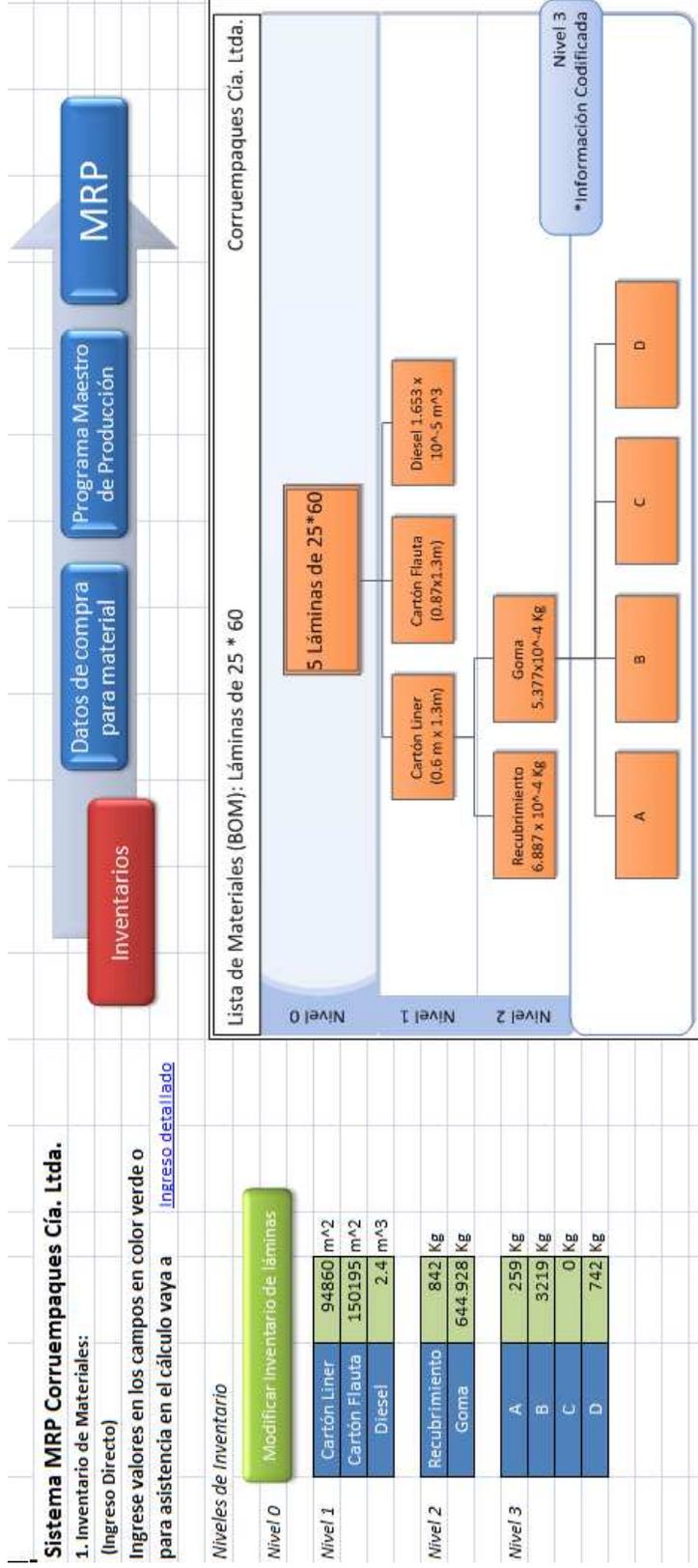
Anexo 29: "Formato de muestreo para cartas de control"

Corruempaques Cía. Ltda.		1		Mida 50 unidades		<input checked="" type="checkbox"/> <i>Unidad Mala</i> <input checked="" type="checkbox"/> <i>Unidad Buena</i>		(Cuenta las X de una muestra)									
Formato de muestreo para cartas de control																	
Fecha:		2		Calcule:		Valor P: (# de unidades disconformes / 50)											
Hora:				Muestra		<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td> </tr> </table>		1	2	3	4	5	6	7	8		
1	2	3	4	5	6	7	8										
Responsable:		3		Ingrese Valor P en su carta de control y determine si está bajo control													
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8										
1	26	1	26	1	26	1	26	1	26								
2	27	2	27	2	27	2	27	2	27								
3	28	3	28	3	28	3	28	3	28								
4	29	4	29	4	29	4	29	4	29								
5	30	5	30	5	30	5	30	5	30								
6	31	6	31	6	31	6	31	6	31								
7	32	7	32	7	32	7	32	7	32								
8	33	8	33	8	33	8	33	8	33								
9	34	9	34	9	34	9	34	9	34								
10	35	10	35	10	35	10	35	10	35								
11	36	11	36	11	36	11	36	11	36								
12	37	12	37	12	37	12	37	12	37								
13	38	13	38	13	38	13	38	13	38								
14	39	14	39	14	39	14	39	14	39								
15	40	15	40	15	40	15	40	15	40								
16	41	16	41	16	41	16	41	16	41								
17	42	17	42	17	42	17	42	17	42								
18	43	18	43	18	43	18	43	18	43								
19	44	19	44	19	44	19	44	19	44								
20	45	20	45	20	45	20	45	20	45								
21	46	21	46	21	46	21	46	21	46								
22	47	22	47	22	47	22	47	22	47								
23	48	23	48	23	48	23	48	23	48								
24	49	24	49	24	49	24	49	24	49								
25	50	25	50	25	50	25	50	25	50								

Anexo 30: “Formato propuesto para órdenes de producción”

Fecha				
Responsable				
Revisión				
	Cantidad Inicial		Cantidad Final	
Altura Diesel		cm		cm
Recubrimiento		kg		kg
Goma		kg		kg
Tipo de Goma	I		O	
Producto	Cantidad Inicial			
A				
B				
C				
D				
Tipo de producto	Cantidad (unidades)		Tipo de producto	Cantidad (unidades)
8*30				
8*55			25*60	
12*56			25*65	
14*80			25*70	
15*45			25*75	
15*50			25*80	
18*40			30*40	
18*47			30*45	
18*50			30*50	
18*60			30*55	
20*40			30*60	
20*45			30*65	
20*50			30*70	
20*55			30*75	
20*60			30*80	
20*70			30*85	
25*30			30*90	
25*35			30*100	
25*40			35*70	
25*45			35*75	
25*50			35*80	
25*55			35*90	

Anexo 31: “Sistema MRP: módulo 1. Inventarios”



El primer módulo permite el ingreso de los niveles de inventario para materias primas. Consta un detalle de la lista de materiales (BOM), para facilitar la comprensión de la jerarquía. De ser necesario, se permite un segundo tipo de ingreso al seguir el vínculo de “ingreso detallado” cuyas funciones se muestran a continuación.

Anexo 32: “Sistema MRP: módulo 1. Inventarios” (Continuación)

Inventario de Materiales (Ingreso Detallado)

Ingrese valores en los campos en color verde y haga click en el botón correspondiente para que excel grabe la información

Modificar Inventario de láminas

Nivel 0			Cálculo de m ² de cartón	
Nivel 1	Cartón Liner	94860 m ²	# Rollos Blanco =	12
	Cartón Flauta	150195 m ²	# Rollos Flauta =	19
	Diesel	3.85 m ³	1 rollo =	7905 m ²

Calcular m² Cartón

Nivel 2			Cálculo Goma	
	Recubrimiento	842 Kg	Profundidad de Tanque (m) =	1.2
	Goma	644.928 Kg		

Calcular Kg Goma

Nivel 3		
	A	259 Kg
	B	3219 Kg
	C	0 Kg
	D	742 Kg

Listo

Para facilidad de los operadores se permite un segundo tipo de ingreso de datos en donde se ingresa el número de rollos en inventario y el nivel en metros del tanque de goma. El programa calcula el inventario implicado y se debe ingresar los otros campos y dar click en el botón “listo” para regresar a “Inventarios”.

Anexo 33: “Sistema MRP: módulo 1. Inventarios” (Continuación)

Si se da click en el botón “Modificar inventario de láminas” en las pantallas del Módulo 1 mostradas anteriormente es posible ingresar inventario de producto terminado. Note que Corruempaques normalmente no tiene este tipo de inventario pues sólo trabaja bajo pedido, sin embargo se presta esta facilidad en el programa para manejar cancelación de pedidos y sobreproducción. El formato de ingreso es el mismo que se ha sugerido para las órdenes de producción. Una vez terminado el ingreso oprima el botón “listo”.

Inventario de Láminas	
Ingrese el inventario de láminas en el formato de orden de producción	
Si un valor se deja en blanco, el modelo lo asumirá como 0	
8*30	
8*55	25*60 2200
12*56	25*65
14*80	25*70
15*45	25*75
15*50	25*80
18*40	30*40
18*47	30*45 1000
18*50	30*50
18*60	30*55
20*40	30*60 2000
20*45	
20*50	30*65 8500
20*55	30*70
	30*75
20*60	30*80 4500
20*70	30*85
25*30	30*90
25*35	30*100
25*40	35*70
25*45	35*75
25*50	35*80
25*55	35*90



Anexo 34: “Sistema MRP: módulo 2. Datos de compra para material”

2. Datos de compra para material:		Inventarios			Datos de compra para material		Programa Maestro de Producción		MRP
		Plazos de compra para materiales (Lead Times)	Unidad de tiempo	Capacidad del Contenedor	Cantidad por unidad de compra	Tamaño usual de lote			
Nivel 1	Cartón Liner	6	Semanas		7905 m	40 Rollos			
	Cartón Flauta	6	Semanas		7905 m	50 Rollos			
	Diesel	0	Semanas	4.4 m ²					
Nivel 2	Recubrimiento	2	Semanas						
	Goma	0	Semanas	648 Kg	100 Kg	162 Kg			
Nivel 3	A	9	Semanas						
	B	2	Semanas						
	C	0	Semanas						
	D	1	Semanas						

El módulo 2 contiene información no modificable, que permite la comprensión del sistema de manejo de materiales. A la izquierda se detallan los plazos de compra, o lead times para la materia prima. Los productos Diesel, Goma y “C” tienen un lead time de máximo 1 hora, por tanto su planificación en el MRP se ha programado como si su llegada fuese instantánea (0 semanas). Si ocurriese un cambio en el sistema de compras de materiales la reprogramación partiría de este módulo.

Anexo 35: “Sistema MRP: módulo 3. Programa Maestro de Producción (MPS)”

3. Programa Maestro de Producción

Ingrese los requerimientos de producción disponibles para las próximas 8 semanas

Inventarios Datos de compra para material Programa Maestro de Producción MRP

Tipo de producto	Tamaño de pedido (# de láminas)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
MPS m^2	15346.75	16923.4	13757.94	11619.63	6017	2280	800	0
8*30	12000	12000						
8*55			2700					
12*56			1200					
14*80	1800							
15*45	6600							
15*50					5400			
18*40			3000					
18*47	7500							
18*50								
18*60		24000						
20*40	2100		9200	11650			10000	
20*45								
20*50								
20*55	4000	4800	7500	2500				

Pasara Nueva Semana

En este módulo se debe ingresar los pedidos en firme que se dispongan para las siguientes 8 semanas, tal como muestra la figura. Se ingresa el número de cada tipo de láminas y el programa lo traduce a requerimientos en metros cuadrados para la planificación de materiales. Cada nueva semana se puede aplastar el botón “Nueva Semana” para preparar los nuevos pedidos (todos los pedidos se desplazan una semana hacia la izquierda).

Anexo 36: “Sistema MRP: módulo 4.Planeación de requerimientos de materiales (MRP)”

4. MRP: Planeación de Requerimientos de Materiales									
El MRP Le asigna un % de seguridad al MPS por desperdicio y otros imprevistos									
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Inventarios</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Datos de compra para material</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Programa Maestro de Producción</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; color: white; background-color: red;">MRP</div> </div>									
	6%	15053.75	15053.75	15053.75	15053.75	16958.025	16958.025	16958.025	16958.025
	90%	15053.75	15053.75	15053.75	15053.75	16958.025	16958.025	16958.025	16958.025
		20,334.44	22,423.51	18,229.27	15,396.01	16,958.03	16,958.03	16,958.03	16,958.03
Vivel 1	Requerimientos Totales	20,334.44	22,423.51	18,229.27	15,396.01	16,958.03	16,958.03	16,958.03	16,958.03
	Recepciones Programadas	-	-	-	-	-	316,200.00	-	-
	Inventario en Mano	94,860.00	74,525.56	52,102.05	33,872.78	18,476.77	1,518.75	300,760.72	283,802.70
	Recepción Planeada de órdenes	-	-	-	-	-	-	15,439.28	-
Emisión Planeada de órdenes									
Cartón Flauta (m ²)	Requerimientos Totales	29,484.94	32,514.08	26,432.44	22,324.21	24,589.14	24,589.14	24,589.14	24,589.14
	Recepciones Programadas	-	-	-	-	-	395,250.00	-	-
	Inventario en Mano	150,195.00	120,710.06	88,195.97	61,763.53	39,439.32	14,850.18	385,511.05	360,921.91
	Recepción Planeada de órdenes	-	-	-	-	-	-	9,738.95	-
Emisión Planeada de órdenes									
Diesel(m ³)	Requerimientos Totales	0.45	0.49	0.40	0.34	0.37	0.37	0.37	0.37
	Recepciones Programadas	-	-	-	-	-	-	-	-
	Inventario en Mano	2.40	1.95	1.46	1.06	0.72	0.34	4.37	4.00
	Recepción Planeada de órdenes	-	-	-	-	-	0.03	-	-
Emisión Planeada de órdenes									

Las semanas en morado son calculadas en función del pronóstico de demanda

En el último módulo se debe ingresar un porcentaje de seguridad para los pedidos de materiales, pues en realidad se necesita materia prima para el producto disconforme también. Además se ingresa el pronóstico semanal manualmente y un porcentaje de aceptación para determinar el peso del pronóstico en el modelo. Desde la semana cuatro se utiliza el valor mayor entre el pronóstico ponderado y el valor real de órdenes en firme. En caso de que se estén utilizando valores del pronóstico se marcan las semanas con otro color. Con esta información el sistema calcula el MRP de la empresa automáticamente para los niveles 1 y 2 del BOM.

Anexo 38: "Sistema MRP: módulo 4. Reportes del MRP, Reporte utilización de materiales"

Resumen Utilización de Materiales

Fecha:

		Utilización de Materiales								
		Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Total
Cartón Liner (m ²)	En firme	20,334	22,424	18,229	15,396	7,973	3,021	1,060	-	88,437
	Estimada	20,334	22,424	18,229	15,396	16,958	16,958	16,958	16,958	144,215
	Real									-
Cartón Flauta (m ²)	En firme	29,485	32,514	26,432	22,324	11,560	4,380	1,537	-	128,233
	Estimada	29,485	32,514	26,432	22,324	24,589	24,589	24,589	24,589	209,112
	Real									-
Diesel (m ³)	En firme	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	Estimada	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	Real									-
Recubrimiento Kg	En firme	439	484	394	333	172	65	23	-	1,910
	Estimada	439	484	394	333	366	366	366	366	3,115
	Real									-
Goma Kg	En firme	617	681	553	467	242	92	32	-	2,684
	Estimada	617	681	553	467	515	515	515	515	4,377
	Real									-



Ingrese los valores reales de utilización de materiales para llevar un control

La estimación se realiza en base a los valores pronosticados de ventas ingresados en el MRP

El segundo reporte que se obtiene del sistema es un reporte de utilización de materiales. En él se puede comparar la utilización de materiales esperada de acuerdo a pedidos en firme, el valor estimado según los pronósticos y por último se da espacio para ingreso manual una vez se conozcan los valores reales de utilización de materiales para monitorear el desempeño. Para regresar al MRP presione el botón correspondiente.

	Proceso propuesto de corrugado Actividades	Factor de ocurrencia	Valor Agregado Cliente	Valor Agregado Negocio	Operación	Movimiento	Inspección	Demora	Inventario - Base de datos
1	Carga de rollos (base y corrugable) en máquina								
2	Carga de goma en la máquina								
3	Carga de recubrimiento en la máquina								
4	¿Está instalada la flauta correcta?								
5	Reemplazo de flauta en la corrugadora								
6	Ajuste de rollos en sistema de flauta según producto								
7	Ajuste de temperaturas, goma y recubrimiento								
8	Ajuste de velocidad de producción								
9	Inicio de motores de la corrugadora								
10	¿Es correcto el producto obtenido?								
11	Detener motores de la corrugadora								
12	Solucionar problemas mecánicos								
13	Programar órdenes de producción								
14	Recolección y conteo automático de cortes*								
15	Muestreo y diagramación de gráficas de control "p"								
16	Empaque de cortes en grupos								
17	Documentar cantidades de producto conforme para MRP								

Anexo 39: "Categorización de tareas proceso propuesto de corrugado"

Fuente: Diagramación propia

Proceso propuesto de producción de goma Actividades		Factor de ocurrencia	Valor Agregado Cliente	Valor Agregado Negocio	Operación	Movimiento	Inspección	Demora	Inventario - Base de datos
1	Leer del MRP la cantidad de goma requerida								
2	Leer del MRP cantidad de productos A, B, D necesarios para la preparación								
3	Obtener de inventario cantidades de producto A, B, D respectivos								
4	Mezclar solución con 12% de producto A en 88% de producto C								
5	Llenar tanque con producto C de acuerdo a cantidad final requerida								
6	Agregar producto B al tanque.								
7	Calibrar temperatura a 57-58 grados C								
8	Esperar dos minutos								
9	Es la temperatura de la solución menor a 20 grados C?								
10	Está la temperatura de la mezcla entre 56 y 59 grados C?								
11	Agregar solución a la mezcla de forma constante durante 2 minutos								
12	Agregar producto D a la mezcla								
13	Controlar temperatura de la mezcla entre 56 y 59 grados C								
14	Confirmar valores de producción y recursos usados al MRP								

Anexo 40: “Categorización de tareas proceso propuesto de producción de goma”

Fuente: Diagramación propia

Anexo 41: "Plan de implementación propuesto"

