

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

**Propuesta de Optimización de una Línea de Producción de
Empaques de Caucho para Filtros de Equipo Automotriz**

Pablo Sebastián Burneo Arteaga

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

Quito, mayo 2009

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio Politécnico

HOJA DE APROBACION DE TESIS

**Propuesta de Optimización de una Línea de Producción de
Empaques de Caucho para Filtros de Equipo Automotriz**

Pablo Sebastián Burneo Arteaga

Héctor Andrés Vergara, M.Sc.
Director de Tesis y
Miembro del Comité de Tesis

.....

Ximena Córdova, Ph.D.
Miembro del Comité de Tesis

.....

Alba María Cabezas, M.Sc.
Miembro del Comité de Tesis

.....

Fernando Romo, M.Sc.
Decano del Colegio Politécnico

.....

Quito, mayo 2009

©Derechos de autor
Pablo Sebastián Burneo Arteaga
2009

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Esteban Burneo y María Raquel Arteaga, mis padres y amigos incondicionales, quienes gracias a sus esfuerzos diarios me han permitido alcanzar todo lo que hoy tengo.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, mi papá y mi mamá por todo el apoyo brindado que me ha permitido alcanzar este logro, uno más, en este punto de mi vida.

A mi abuelo Bolívar Arteaga, quien con su ejemplo de tenacidad, lucha y fortaleza me ha brindado un soporte para aprender a valorar los logros y siempre luchar por más. Entendiendo que toda adversidad es siempre una prueba que tenemos delante y solo enfrentando podemos sobrellevarla.

También debo agradecer a Héctor Andrés Vergara mi director de tesis, quien gracias a sus consejos me permitió culminar exitosamente mi carrera y mi trabajo; a Ximena Córdova por su apoyo incondicional y confianza depositada en mí durante estos cinco años de carrera, en los cuales formó parte como guía y amiga; y a todos aquellos profesores que han formado parte de mi preparación para llegar a ser la persona que soy y haber alcanzado este título de Ingeniero Industrial.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis consiste en un levantamiento de procesos y estudio de tiempos involucrados en la producción de empaques de caucho para filtros de equipo automotriz en una industria de la ciudad de Quito. Este análisis, enfocado en los productos representativos que genera el sistema, sirve como base para la evaluación del desempeño del sistema de producción y el desarrollo de propuestas de mejora orientadas al aumento del rendimiento productivo del sistema. La evaluación del desempeño actual se realiza mediante la aplicación de un modelo de simulación que utiliza como medida la tasa de producción semanal que alcanza la planta. La propuesta de mejora y su valoración se basan en el establecimiento de una producción meta a ser alcanzada, y la determinación mediante un modelo matemático de los requerimientos mínimos del sistema para alcanzar ese estándar. La comparación con el sistema actual se realiza en base a los resultados obtenidos a partir de la simulación del sistema modificado. Finalmente, se realiza un breve análisis económico de la conveniencia de la propuesta de mejora planteada.

ABSTRACT

This project consists of a process and time study of the production of rubber gaskets for filter equipment used in the automotive industry which are manufactured by a company located in Quito, Ecuador. This study focused on the representative products generated by the system and served as the basis for the performance evaluation of the production system as well as for the development of an improvement proposal aimed at increasing the productivity of the system. The performance evaluation of the current system is achieved through the application of a simulation model, which is used to measure the weekly production rate of the plant. The improvement proposal and assessment are based on the establishment of a production target to be achieved and the determination through a mathematical model of the minimum system requirements needed to reach this standard. The comparison with the current system is accomplished based on the results obtained from the simulation of the modified system. Finally, a brief analysis of the economic viability of the proposal is presented.

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
1. CAPITULO I – INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Justificación del Proyecto.....	1
1.2. Descripción de la Empresa.....	1
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. Organización del Documento	3
2. CAPITULO II – MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Estudio de Tiempos – Determinación de Tiempos Estándar.....	5
2.1.1. Implicaciones Teóricas	6
2.1.2. Implicaciones Prácticas	11
2.2. Estudio de Procesos y Control de Producción	13
2.2.1. Análisis del Proceso	13
2.3. Simulación.....	16
2.3.3. Construcción del Modelo	17
2.3.4. Aspectos Estadísticos.....	20
3. CAPITULO III – DIAGNÓSTICO.....	23
3.1. Análisis del Proceso.....	23
3.1.1. Control de Producción	23
3.1.2. Proceso de Producción.....	24
3.2. Estudio de Tiempos: Establecimiento de Tiempos Estándar	27
3.2.1. Metodología para el Estudio de Tiempos	27
3.2.2. Tiempo Estándar Proceso de Extrusión	32
3.2.3. Tiempo Estándar Proceso de Vulcanizado.....	34
3.2.4. Tiempo Estándar Proceso de Corte.....	38

TABLA DE CONTENIDOS (CONTINUACIÓN)

	Pág.
3.2.5. Tiempo Estándar Proceso de Limpieza y Horneado.....	41
3.3. Estudio del Sistema de Producción.....	43
3.3.1. Conceptualización del Modelo de Simulación.....	43
3.3.2. Construcción de la Lógica del Modelo.....	48
3.3.3. Establecimiento de los Parámetros de la Simulación.....	49
3.3.4. Verificación del Modelo.....	50
3.3.5. Validación.....	50
3.3.6. Análisis del Rendimiento Actual del Sistema de Producción.....	56
4. CAPITULO IV – PROPUESTA DE MEJORA.....	60
4.1. Comportamiento de Sistemas de Manufactura.....	60
4.2. Escenario de Mejora.....	63
4.2.1. Requerimientos del Sistema.....	65
4.2.2. Cambios en el Sistema.....	67
4.2.3. Construcción del Modelo.....	71
4.2.4. Análisis de las Alternativas Propuestas.....	72
4.3. Evaluación del Nuevo Sistema.....	76
4.3.1. Comparación de Alternativas.....	76
4.3.2. Factibilidad Económica de la Propuesta.....	79
4.4. Implementación de Cambios.....	84
5. CAPITULO 5 – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	86
5.1. Conclusiones.....	86
5.2. Recomendaciones.....	88
ANEXOS.....	92
ANEXO A. Flujogramas de los Procesos Involucrados en Producción.....	93
ANEXO A1 Flujograma General de Recepción y Asignación de Producción....	93

TABLA DE CONTENIDOS (CONTINUACIÓN)

	Pág.
ANEXO A2 Flujo del Proceso de Extrusión de Tubos	94
ANEXO A3 Flujo del Proceso de Extrusión de Tiras	95
ANEXO A4 Flujo del Proceso de Corte de Tiras	96
ANEXO A5 Flujo del Proceso de Vulcanizado de Tubos	97
ANEXO A6 Flujo del Proceso de Vulcanizado de Troquel	98
ANEXO A7 Flujo del Proceso de Corte de Tubos	99
ANEXO A8 Flujo del Proceso de Limpieza	100
ANEXO B. Formatos de Toma de Tiempos Procesos de Producción	101
ANEXO B1 Formato de Toma de Tiempos “Proceso Extrusión”	101
ANEXO B2 Formato de Toma de Tiempos “Proceso Vulcanizado”	102
ANEXO B3 Formato de Toma de Tiempos “Proceso Corte”	103
ANEXO B4 Formato de Toma de Tiempos “Proceso Limpieza”	104
ANEXO C. Fotografías de los Productos de Megafiltro S.A.	105
ANEXO C1 Productos de Tubos – Empaques y Rodelas	105
ANEXO C2 Productos de Troquel – Anillos, Empaques y Trompo	106
ANEXO D. Distribuciones de los Tiempos de las Actividades Correspondientes a los Procesos Productivos de Empaques	107
ANEXO D1 Distribuciones Originales	107
ANEXO D2 Distribuciones Corregidas para la Validación del Sistema	113
ANEXO E. Layout de la Planta	116
ANEXO F. Modelo de Simulación	117
ANEXO G. Prueba de Suposiciones para la Prueba t de dos muestras	118
ANEXO G1 Prueba de Independencia de Variables para Prueba t de dos muestras	118
ANEXO G2 Prueba de Igualdad de Varianzas para Prueba t de dos muestras	122

TABLA DE CONTENIDOS (CONTINUACIÓN)

	Pág.
ANEXO H. Análisis para la Corrección de los Datos de la Línea 2.....	123
ANEXO I. Prueba de Suposiciones para la Prueba t de dos muestras para la Propuesta de Mejora	124
ANEXO I1 Prueba de Independencia de Variables para Prueba t de dos muestras para la Propuesta de Mejora.....	124
ANEXO I2 Prueba de Igualdad de Varianzas para Prueba t de dos muestras para la Propuesta de Mejora	125
ANEXO J. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE CAMBIOS.....	126

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fases de Transformación de Tiempos Medidos a Tiempos Estándar.....	6
Figura 2. Proceso de Análisis de Valor Agregado	13
Figura 3. Pasos para un Estudio de Simulación.....	19
Figura 4. Proceso Iterativo de Validación del Modelo	22
Figura 5. Flujograma del Proceso Actual de Producción.....	26
Figura 6. Análisis de Pareto por Familia de Producto	28
Figura 7. Análisis de Pareto por Producto.....	29
Figura 8. Distribución Para Extrusión Estación 1	46
Figura 9. Distribución del Número de Piezas que Genera el Proceso de Corte....	46
Figura 10. Distribución del Tiempo de Montado de Piezas al Horno.....	47
Figura 11. Representación del Sistema de Producción.....	48
Figura 12. Representación del Sistema de Producción para la Simulación	48
Figura 13. Secuencia de Actividades dentro de la línea Extrusión - Vulcanizado .	49
Figura 14. Tasa de Producción vs Nivel de WIP	61
Figura 15. Cambio de la Tasa de Producción por Incremento de la Tasa Cuello de Botella.....	62
Figura 16. Cambio de la Tasa de Producción por Mejora de un Recurso No Cuello de Botella.....	63
Figura 17. Propuesta del Nuevo Sistema de Producción	71
Figura 18. Intervalo de Confianza para la Diferencia de Medias de la Tasa de Producción.....	79
Figura 19. Flujo de Recepción y Asignación de Producción.....	93
Figura 20. Flujo del Proceso de Extrusión de Tubos.....	94
Figura 21. Flujo del Proceso de Extrusión de Tiras.....	95
Figura 22. Flujo del Proceso de Corte de Tiras	96
Figura 23. Flujo del Proceso de Vulcanizado de Tubos	97
Figura 24. Flujo del Proceso de Vulcanizado de Troquel	98
Figura 25. Flujo del Proceso de Corte de Tubos.....	99
Figura 26. Flujo del Proceso de Limpieza	100
Figura 27. Formato de Toma de Tiempos Proceso Extrusión	101
Figura 28. Formato de Toma de Tiempos Proceso Vulcanizado.....	102

LISTA DE FIGURAS (CONTINUACIÓN)

	Pág.
Figura 29. Formato de Toma de Tiempos Proceso de Corte	103
Figura 30. Formato Toma de Tiempos Proceso de Limpieza.....	104
Figura 31. Fotografía Empaques y Rodelas.....	105
Figura 32. Fotografía Productos de Troquel - Anillos, Empaques y Trompo	106
Figura 33. Distribución Para Extrusión Estación 2	107
Figura 34. Distribución Montado de Tubo a Prensa – Prensa 1	108
Figura 35. Distribución Montado de Tubo a Prensa – Prensa 2.....	108
Figura 36. Distribución Prensado de Tubo - Prensa 1.....	109
Figura 37. Distribución Prensado de Tubo - Prensa 2.....	109
Figura 38. Desmoldado de Tubo - Estación 1	110
Figura 39. Desmoldado de Tubo - Estación 2	110
Figura 40. Distribución de la Preparación de Tubo para Corte.....	111
Figura 41. Distribución Acoplar Tubo	111
Figura 42. Distribución Corte de Tubo.....	111
Figura 43. Distribución del Desmontado de Piezas del Horno	112
Figura 44. Distribución de Número de Piezas Requeridas para Hornear	112
Figura 45. Distribución de los Tiempos Corregidos de Acoplar la Matriz a la Extrusora.....	113
Figura 46. Distribución de los Tiempos Corregidos de Alimentar la Extrusora....	113
Figura 47. Distribución de los Tiempos Corregidos de Desmontado y Limpieza de Extrusora.....	114
Figura 48. Distribución de los Tiempos Corregidos de Montar Matriz a Prensa..	114
Figura 49. Distribución de los Tiempos Corregidos de Prensado.....	115
Figura 50. Distribución de los Tiempos Corregidos de Desmoldado de la Matriz	115
Figura 51. Distribución de Máquinas del Área de Producción	116
Figura 52. Modelo de Simulación en Arena para el Escenario Actual de Producción	117
Figura 53. Prueba de Dispersión para la Prueba de Independencia de los datos Históricos de la Tasa de Producción de la Línea 1	118
Figura 54. Prueba de Dispersión para la Prueba de Independencia de los datos Simulados de la Tasa de Producción de la Línea 1	119

LISTA DE FIGURAS (CONTINUACIÓN)

	Pág.
Figura 55. Prueba de Dispersión para la Prueba de Independencia de los datos Históricos de la Tasa de Producción de la Línea 2	119
Figura 56. Prueba de Dispersión para la Prueba de Independencia de los datos Simulados de la Tasa de Producción de la Línea 2	120
Figura 57. Prueba de Dispersión para la Prueba de Independencia de los datos Históricos de la Tasa de Producción de Corte	120
Figura 58. Prueba de Dispersión para la Prueba de Independencia de los datos Simulados de la Tasa de Producción de Corte	121
Figura 59. Prueba de Dispersión para la Prueba de Independencia de los datos Simulados de la Tasa de Producción del Sistema Actual	124
Figura 60. Prueba de Dispersión para la Prueba de Independencia de los datos Simulados de la Tasa de Producción del Sistema Propuesto.....	124
Figura 61. Cronograma de Actividades para la Implementación de Cambios al Sistema de Producción	126

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Número Recomendado de Ciclos de Observación.....	8
Tabla 2. Tolerancias Sugeridas de Acuerdo a las Condiciones del Trabajo.....	10
Tabla 3. Simbología para un Diagrama de Flujo Funcional.....	15
Tabla 4. Simbología Convencional para Diagramas de Análisis por Proceso	16
Tabla 5. Actividades a Ser Medidas de Acuerdo al Tipo de Proceso/Productos.....	30
Tabla 6. Número de Ciclos Necesarios a Medir por Actividad.....	31
Tabla 7. Datos Descriptivos de los Tiempos de la Extrusión de Tubos.....	33
Tabla 8. Tiempos Estándar de Actividades del Proceso de Extrusión de Tubos...	33
Tabla 9. Datos Descriptivos de los Tiempos de la Extrusión de Tiras.....	34
Tabla 10. Tiempos Estándar de Actividades del Proceso de Extrusión de Tiras...	34
Tabla 11. Datos Descriptivos de Tiempos del Proceso de Vulcanizado de Tubos	35
Tabla 12. Tiempos Estándar de las Actividades del Proceso de Vulcanizado de Tubos.....	36
Tabla 13. Datos Descriptivos de Tiempos del Proceso de Vulcanizado de Troquel de la Prensa 1	37
Tabla 14. Datos Descriptivos de Tiempos del Proceso de Vulcanizado de Troquel de la Prensa 2	37
Tabla 15. Tiempos Estándar de las Actividades del Proceso de Vulcanizado de Troquel	38
Tabla 16. Datos Descriptivos de los Tiempos del Proceso de Corte de Tiras.....	39
Tabla 17. Tiempo Estándar de las Actividades del Proceso de Corte de Tiras.....	39
Tabla 18. Datos Descriptivos de los Tiempos del Proceso de Corte de Empaques	40
Tabla 19. Datos Descriptivos de los Tiempos del Proceso de Corte de Rodelas..	40
Tabla 20. Datos Descriptivos de los Tiempos del Proceso de Corte de Trompos.	40
Tabla 21. Tiempos Estándar de las Actividades del Proceso de Corte de Empaques	41
Tabla 22. Tiempos Estándar las Actividades del Proceso de Corte de Rodela.....	41
Tabla 23. Tiempos Estándar de las Actividades del Proceso de Corte de Trompo	41
Tabla 24. Datos Descriptivos de los Tiempos del Proceso de Limpieza	42

LISTA DE TABLAS (CONTINUACIÓN)

	Pág.
Tabla 25. Datos Descriptivos de los Tiempos del Proceso de Horneado.....	42
Tabla 26. Tiempos Estándar de las Actividades del Proceso de Limpieza.....	43
Tabla 27. Tiempo Estándar de las Actividades del Proceso de Horneado.....	43
Tabla 28. Resumen de las Distribuciones para la Simulación.....	47
Tabla 29. Datos de Rendimiento del Sistema por Registro Histórico y por Simulación.....	51
Tabla 30. Prueba t de dos muestras usando Minitab® para la comparación del Rendimiento de la Línea 1.....	52
Tabla 31. Prueba t de dos muestras usando Minitab® para la comparación del Rendimiento de la Línea 2.....	53
Tabla 32. Prueba t de dos muestras usando Minitab® para la comparación del Rendimiento del Corte.....	54
Tabla 33. Rendimiento de la Línea 2 luego de la Validación.....	55
Tabla 34. Prueba t de dos muestras usando Minitab® para la comparación del Rendimiento de la Línea 2 con datos Validados.....	55
Tabla 35. Distribuciones Correspondientes a los datos Corregidos de la Línea 2	56
Tabla 36. Rendimiento Promedio por Estación de Trabajo.....	57
Tabla 37. Utilización de las Estaciones de Trabajo y Operarios.....	58
Tabla 38. Tasa de Producción Esperada de la Nueva Configuración del Sistema	65
Tabla 39. Fracciones de Equipo para la Línea de Producción.....	67
Tabla 40. Utilización de las Máquinas y Operarios en la Propuesta de Mejora Escenario 1.....	73
Tabla 41. Utilización de las Máquinas y Operarios en la Propuesta de Mejora Escenario 2.....	75
Tabla 42. Rendimiento del Sistema Actual y Propuesto.....	76
Tabla 43. Prueba t de dos muestras en Minitab® para la Comparación del Rendimiento del Sistema Actual y del Sistema Propuesto.....	77
Tabla 44. Prueba t de dos muestras en Minitab® para la Comparación del Rendimiento del Sistema Actual y del Sistema Propuesto.....	78
Tabla 45. Rubros y Montos para la Inversión Inicial.....	80
Tabla 46. Prueba de Igualdad de Varianzas del Rendimiento de la Línea 1.....	122

LISTA DE TABLAS (CONTINUACIÓN)

	Pág.
Tabla 47. Prueba de Igualdad de Varianzas del Rendimiento de la Estación 2 ..	122
Tabla 48. Prueba de Igualdad de Varianzas del Rendimiento de Corte.....	122
Tabla 49. Prueba de Igualdad de Varianzas para la Tasa de Producción del Sistema.....	125

PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE EMPAQUES DE CAUCHO PARA FILTROS DE EQUIPO AUTOMOTRIZ

1. CAPITULO I – INTRODUCCIÓN

El conocimiento de una línea de producción es esencial para el manejo, control y coordinación de la producción. El conocer una línea implica tener la información correcta del estado actual para determinar fortalezas y debilidades. El manejo de información fiable sobre de la secuenciación de la producción, las actividades involucradas y sus respectivos tiempos de ejecución permiten tener una visión sistémica del comportamiento de la línea (García Rodríguez e Iturralde Jaramillo).

1.1. Justificación del Proyecto

Debido a la presente crisis financiera en el Ecuador, Megafiltro S.A. ve la necesidad de optimizar el sistema de producción actual para generar mayores beneficios a menores costos. El sistema actual carece de bases técnicas en relación a su adecuado control y optimización de recursos. La planta produce de acuerdo a la demanda que obtiene de sus clientes fijos, sin posibilidad de expansión al mercado. Este sistema de producción en base a pedidos ha generado insatisfacción de los clientes, pérdida de ventas (los clientes se limitan en sus pedidos); y, también la pérdida de clientes. Debido a la falta de planificación, no existe un cumplimiento de los tiempos de entrega, los cuales son establecidos de acuerdo a una estimación de la capacidad determinada por la experiencia. Esto genera productos en proceso que esperan a ser procesados por largos períodos (días) y períodos con productos faltantes para cubrir la demanda lo que resulta en altos niveles de producto en proceso (WIP) (E. Chiriboga).

1.2. Descripción de la Empresa

La información que se presenta en esta sección proviene de una entrevista realizada con Ana Carolina Chiriboga, Gerente de la Empresa. Megafiltro S.A. es una empresa familiar que nace como distribuidor de filtros para automóviles y

equipos pesados. Los filtros que conforman su stock provienen de otra empresa, parte del grupo familiar, que se dedica al ensamble y producción de los filtros. En su inicio, Megafiltro S.A dentro de sus operaciones manejaba la importación de empaques de caucho necesarios para la producción y ensamble de los filtros.

Debido al volumen requerido por cada variedad de empaque que se comercializaba, la importación de estos productos no era rentable. Frente a esta necesidad nace Cuatroquel S.A., la cual forma parte del grupo de empresas familiares, dedicada a la producción de empaques.

Años más tarde, por asuntos legales, Cuatroquel S.A. pasa a formar parte de Megafiltro S.A., por lo que la empresa pasa a ser productora de empaques y distribuidora de filtros para empaques y maquinaria pesada.

Dentro del mercado ecuatoriano, Megafiltro S.A. es una empresa pequeña de poco crecimiento durante los últimos diez años, manteniéndose con un grupo estable de clientes que se ha venido manejando durante este período. La producción de caucho se maneja bajo un sistema de producción de tipo taller, donde se realiza una producción constante de aquellos pedidos ya conocidos. La venta de filtros se encuentra enfocada en lavadoras y lubricadoras del Ecuador, centrandó su venta en tres zonas. En la Región Andina el mercado se encuentra en la zona norte y centro del país. En la Costa el mercado se encuentra enfocado en las provincias de Esmeraldas y Santo Domingo de los Tsáchilas. En el Oriente se enfoca en las provincias del norte.

Para el comercio de empaques de caucho cuenta con tres grandes clientes estables, catalogados así por el volumen de producto manejado, y además un número variable y reducido de clientes rotativos. Clientes rotativos son aquellos que realizan pedidos esporádicamente a la Empresa, estos en su mayoría son clientes que por falta de capacidad dejaron de ser clientes fijos.

Dentro de los principales clientes con los cuales Megafiltro S.A. realiza negocios de venta de empaques se encuentran Filiparte, Autoparte y Filtros ORO, con este último se mantiene también el negocio de compra de filtros terminados.

En la actualidad, Megafiltro S.A se encuentra ubicada en la Av. Eloy Alfaro en el sector industrial del norte de la ciudad de Quito.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Analizar la capacidad del sistema actual de producción mediante el establecimiento de tiempos estándar para las actividades relacionadas con la generación de empaques de caucho.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar un levantamiento de procesos de la fabricación de empaques de caucho.
- Determinar tiempos estándar de operación para los productos más significativos de la línea de producción.
- Analizar el sistema actual de producción mediante un análisis de capacidad para determinar el estado de la línea productiva.
- Proponer un sistema de producción que estuviera en capacidad de generar mayor productividad con una mejor utilización de los recursos disponibles.

1.4. Organización del Documento

El presente trabajo de tesis se encuentra organizado con el fin de alcanzar a cubrir temas relevantes que generan información sobre el estado de una línea de producción, teniendo un enfoque en el estudio de tiempos y el análisis del sistema.

El capítulo II se centra en el marco teórico que involucra el presente proyecto, incluye temas de estudio de tiempos (implicaciones teóricas y prácticas), estudio y análisis de procesos (descripción de procesos) y simulación (creación y validación de un modelo de un sistema).

El capítulo III se encuentra enfocado en el análisis de la situación actual del sistema de producción. Presenta un diagnóstico (descripción) de los procesos del

área productiva y sus actividades involucradas; incluye la descripción de las actividades a medir y sus respectivos tiempos estándar; e incluyen el análisis de la capacidad actual del sistema.

El capítulo IV se enfoca en las propuestas de mejora que pueden ser aplicadas al sistema de producción para generar beneficios a la Empresa desde la perspectiva de estandarización de tiempos y capacidad del sistema.

Por último, el capítulo V presenta las conclusiones del proyecto y las recomendaciones a tomar en cuenta finalizado el estudio.

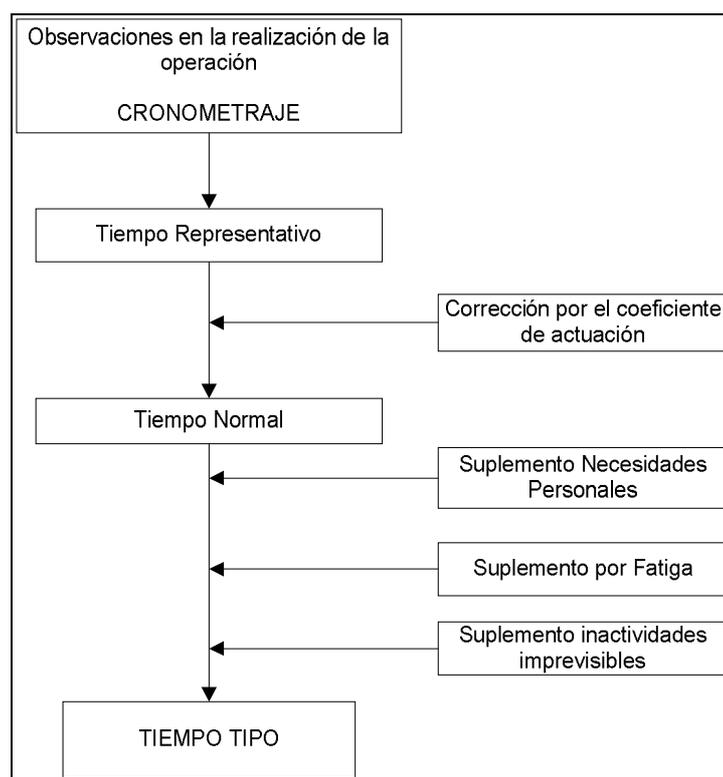
2. CAPITULO II – MARCO TEÓRICO

El presente capítulo pretende explicar brevemente la teoría relacionada con los diferentes temas que van a ser tratados a lo largo del documento. En primer lugar se detallarán los aspectos relacionados con el estudio de tiempos y la determinación de tiempos estándares, aquí se considerarán las implicaciones teóricas y prácticas relacionadas con este tipo de estudio. A continuación, se detalla la metodología para el estudio de procesos de una empresa que tiene como objetivo la identificación de los procesos y su comportamiento. Como tercer punto del capítulo se detallan las implicaciones referentes a la simulación de sistemas.

2.1. Estudio de Tiempos – Determinación de Tiempos Estándar

El estudio de tiempos es una técnica que permite establecer tiempos estándar para el desarrollo de una actividad o tarea determinada (Cisneros, Estudio de Tiempos - Conceptualización 1). Esto es, determinar la cantidad de tiempo mínima, medida normalmente en minutos, que se necesita para que un operario calificado termine la actividad establecida que le permita completar el proceso (Mundel 71) considerando factores de tolerancia. Tolerancia se conoce como o se establece como un porcentaje o fracción del Tiempo Normal, que debe ser incluido al Tiempo Normal ya que estudio de tiempos no incluye pérdidas por interrupciones personales (baño, sed), fatiga y demoras ineludibles (herramientas, setup, variaciones del material) (Cisneros, Estudio de Tiempos - Tolerancias 1). El siguiente gráfico tomado de Mateos (pág. 23) representa claramente las fases principales de transformar los tiempos observados en tiempos estándar o tiempo tipo según su nomenclatura.

El tiempo mínimo obtenido por parte de un estudio de tiempos que no considera tolerancias se lo conoce como Tiempo Normal (Cisneros, Estudio de Tiempos - Tiempo Estándar 1). Al tiempo que se establece considerando tolerancias es lo que se conoce como Tiempo Estándar (Figura 1).



Fuente: Mateos, pág. 23.

Figura 1. Fases de Transformación de Tiempos Medidos a Tiempos Estándar

Esta técnica generalmente es utilizada para establecer un sistema de producción que maximice la utilización de los recursos (equipos, mano de obra, tiempo) y la producción. Esto se logra ya que la existencia de los tiempos estándar forma una base para lograr comparar y medir los resultados obtenidos en el proceso o en una etapa del mismo (Salvendy 1:587). A la larga esta medición y optimización de uso de recursos permite establecer una línea base de costos y su respectivo control a lo largo de las operaciones, y así lograr establecer un sistema de pago de incentivos eficiente.

2.1.1. Implicaciones Teóricas

2.1.1.1. División de la Operación (Therbligs)

Es fundamental una correcta división de las tareas o trabajos que son realizadas en un proceso, esto permite la medición adecuada del proceso bajo control. Cada actividad a ser medida debe tener puntos de iniciación y terminación claramente diferenciables, para esto se debe observar el proceso durante varios ciclos. La

división del proceso debe proporcionar actividades simples de medir pero que a su vez no sean tan pequeñas para que el error existente por el uso de cronómetros sea minimizado (Salvendy 1: 593).

2.1.1.2. Determinación del Número de Ciclos que se van a Estudiar

Debido a que el estudio de tiempos es un procedimiento de muestreo es necesario determinar un número adecuado de mediciones para determinar un estándar que se ajuste a la realidad (Salvendy 594). Este muestreo se lo realiza para disminuir la variación entre tiempos medidos, ya que se sabe que un operario va a variar ligeramente su trabajo de ciclo a ciclo (Barnes 368).

Para establecer un correcto número de ciclos que representen a la población que se está midiendo es necesario primero decidir el nivel de confianza y la precisión estadística. Debido al muestreo de mediciones que se realizan durante el estudio de tiempos es posible suponer que las observaciones tienen una distribución normal alrededor de la media desconocida de la población con varianza desconocida (Salvendy 1:594). Gracias a esta suposición se tiene que el número de ciclos recomendados es:

$$N = \left(\frac{st}{k\bar{x}} \right)^2 \quad (1)$$

Donde:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

k = porcentaje aceptable de \bar{x}

La presencia de la distribución t se da ya que el estudio de tiempos involucra muestra pequeñas ($n < 30$) (Niebel 393).

Además se puede utilizar la siguiente tabla (Tabla 1) la cual estima el número óptimo de ciclos a ser medidos de acuerdo al tiempo de ciclo (Niebel 393).

Tabla 1. Número Recomendado de Ciclos de Observación

Tiempo de Ciclo (Minutos)	Número Recomendado de Ciclos de Observación
0.10	200
0.25	100
0.50	60
0.75	40
1.00	30
2.00	20
2.00-5.00	15
5.00-10.00	10
10.00-20.00	8
20.00-40.00	5
40.00 o más	3

Fuente: Información citada en Niebel, 393, tomada de Time Study Manual de los Erie Works en General Electric Company, desarrollados bajo la guía de Albert E. Shaw, gerente de administración de salario.

2.1.1.3. Manejo y Determinación de Tolerancias

De acuerdo a Niebel (431), las tolerancias o suplementos son ajustes necesarios en la determinación de los tiempos estándares, ya que durante la medición no se incluye las demoras observadas durante un periodo de medición.

Estas tolerancias pueden ser aplicadas en tres áreas de acuerdo a la necesidad. La primera es al tiempo de ciclo total que es expresado como un porcentaje del mismo e incluye ajustes para demoras de necesidades personales, limpieza del puesto de trabajo y lubricación de máquinas. La segunda se aplica al tiempo de máquina, éste incluye el tiempo de mantenimiento de herramientas y variaciones de energía. Por último, la tercera se aplica al tiempo de esfuerzo manual, es decir a las actividades llevadas a cabo por el operario que son afectadas por fatiga o ciertos retrasos inevitables (Salvendy 1:608).

Las demoras por necesidades personales y demoras inevitables pueden ser medidas mediante dos métodos, el primero es el estudio de la producción y el segundo es el muestreo del trabajo (Salvendy 1:609). El estudio de la producción requiere observar las operaciones durante un periodo largo de trabajo, midiendo los tiempos productivos y ociosos para después calcular la proporción del tiempo total de operación destinado a tiempos no productivos (Niebel 432). La segunda

técnica, la del muestreo de trabajo, requiere la medición de un gran número de observaciones aleatorias en las cuales el observador no mide el tiempo sólo registra la actividad que lleva a cabo el operario. Luego del registro de todas las actividades observadas se procede a dividir el número de actividades que no forman parte del trabajo por el número total de actividades observadas con el fin de obtener el porcentaje que cada una representa (Salvendy 1:609).

Mediante varios estudios se han logrado determinar ciertos valores de corrección para ajustar como tolerancias, la Tabla 2 muestra estos factores.

Tabla 2. Tolerancias Sugeridas de Acuerdo a las Condiciones del Trabajo

Tolerancia	Valor (%)
<i>Tolerancias constantes</i>	
Necesidades personales	5
Fatiga Básica	4
<i>Tolerancias Variables</i>	
Estar de Pie	2
Posición anormal	
Ligeramente molesta	0
Molesta (flexión)	2
Muy molesta (tendido, estirado)	7
Empleo de la Fuerza (peso levantado en libras)	
5	0
10	1
15	2
20	3
25	4
30	5
Iluminación Deficiente	
Menor que lo recomendado	0
Mucho menor	2
Muy inadecuado	5
Condiciones atmosféricas (calor y humedad)	
Atención estrecha	
Trabajo algo delicado	0
Delicado o exigente	2
Muy delicado o muy exigente	5
Nivel de ruido	
Continuo	0
Intermitente-fuerte	2
Intermitente-muy fuerte	5
Agudo-fuerte	5
Cansancio mental	
Proceso algo complejo	1
Complejo o que requiere atención amplia	4
Muy complejo	8
Monotonía	
Poca	0
Mediana	1
Mucha	4
Aburrimiento	
Trabajo algo aburrido	0
Aburrido	2
Muy Aburrido	5

Fuente: (Salvendy, Manual de Ingeniería Industrial 612).

2.1.1.4. Cálculo del Tiempo Estándar

El tiempo estándar como ya se ha establecido anteriormente, es el tiempo normal medido durante la toma de datos aplicada una tolerancia como corrección al tiempo normal por la omisión en la medición de tiempos de elementos como fatiga, necesidades personales, etc (Cisneros, Estudio de Tiempos - Tiempo Estándar 1).

El tiempo estándar de acuerdo a Niebel (451) puede ser calculado por medio de la siguiente fórmula:

$$TS = TN + TN \times \text{Tolerancia} \quad (3)$$

$$TS = TN \times (1 + \text{Tolerancia}) \quad (4)$$

Donde:

TS=Tiempo Estándar

TN= Tiempo Normal (obtenido por mediciones)

2.1.2. Implicaciones Prácticas

2.1.2.1. Equipos para la Toma de Tiempos

Para un manejo adecuado y control de los tiempos de operación es necesario que se seleccione correctamente el equipo de medición. Comúnmente se utiliza los cronómetros, ya sean estos electrónicos o mecánicos, debido a su facilidad de manejo y el bajo costo que representan frente a otros equipos. Adicionalmente equipos de captación de imagen como equipos de grabación de video y cámaras de cine son útiles para el trabajo de estudio ya que permiten registrar los métodos del operador repetidas veces aún cuando la operación haya culminado. Estas herramientas deben estar acompañadas de una forma de registro bien diseñada que permita registrar el tiempo transcurrido en cada proceso y para cada operación medida (Salvendy 1:588).

2.1.2.2. El Cronometraje y Registro de Información

Aún cuando se considera al cronometraje como una operación sencilla, la cual consiste en medir el tiempo que el operario se demora en realizar una actividad, éste presenta dificultades al momento de su medición. Se presentan problemas de tipo social, esto es que el operario se siente afectado por la medición; problemas psicológicos, esto es que el operario afecta a su trabajo (aumenta o disminuye el ritmo) por la presencia del control sobre su trabajo; problemas técnicos, esto es relacionado con el cronometrador quien debe estar preparado y con los equipos adecuados para lograr completar la operación (Mateos 37).

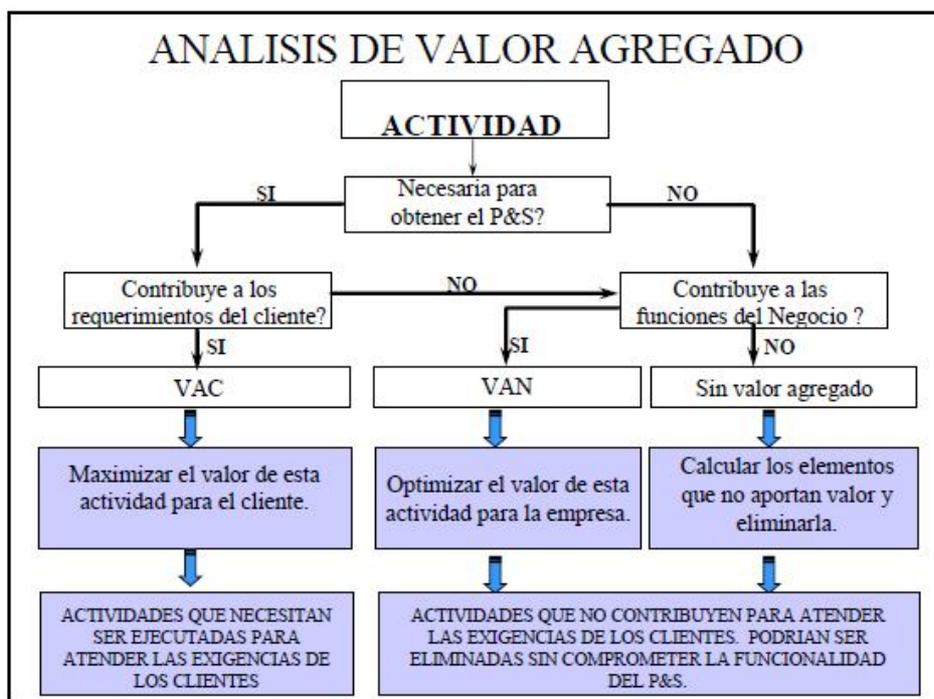
El registro de la información es la actividad desarrollada luego de la toma de tiempos o cronometraje. Si se obtiene un cronometraje adecuado, el registro de la información es una actividad sencilla que no implica mayores inconvenientes. Pero hay que tomar en cuenta que durante el cronometraje se pueden realizar dos métodos de medición (Niebel 384). El primero, el método continuo en el cual se deja correr el cronometro a lo largo de todo el estudio y sólo se leen los tiempos correspondientes al inicio y final de cada operación. El segundo método, el de vuelta a cero es en el cual el operario reinicia la toma de tiempos al finalizar cada medición. La complicación al momento de registrar la información con estos métodos se da en la velocidad necesaria y en la memoria del operador. Para el método continuo, si el operador no lleva un registro inmediato de las operaciones medidas puede perder valores necesarios y dañar la medición de tiempos. De igual forma, si existen actividades secuenciales realizadas por el operador que no pertenecen a un mismo proceso, esto quiere decir que el operador puede realizar una actividad diferente entre dos actividades de un mismo proceso. Las dificultades presentes en el método de vuelta a cero se centran en la velocidad que debe tener el operador para lograr medir cada operación, anotar su tiempo y reiniciar el cronometro para la siguiente operación. Usualmente con el método de vuelta a cero es más fácil medir actividades que no siempre poseen una secuencia, pero no se registra el tiempo total de operación (Salvendy 1:597).

2.2. Estudio de Procesos y Control de Producción

2.2.1. Análisis del Proceso

2.2.1.1. Análisis de Valor Agregado

El análisis de valor agregado se lleva a cabo para determinar qué actividades desarrolladas por la empresa generan valor ya sea para el negocio o para el cliente. Este análisis permite además identificar aquellas actividades que no generan valor (Cisneros, Análisis de los Procesos 23). El proceso de análisis de valor agregado se identifica en la Figura 2.



Fuente: Cisneros, Análisis de los Procesos pág 24

Figura 2. Proceso de Análisis de Valor Agregado

El VAC son todas aquellas actividades que generan valor al cliente y el VAN aquellas que generan valor al negocio. Las actividades que entran dentro de estas dos categorías son todas aquellas que: generan un cambio físico durante el trabajo, es solicitado por el cliente, algo por lo que el cliente ha pagado, son necesarias para dirigir la empresa, necesarias para satisfacer requerimientos de accionistas y/o empleados entre otras. Otras actividades como: aprobar, archivar,

asignar, esperar, controlar, copiar, mover, inspeccionar recoger entre otras no agregan valor (Cisneros, Análisis de los Procesos 27).

2.2.1.2. Diagramas de Flujo

Es una herramienta que permite obtener una visión de la secuencia de actividades y pasos necesarios para completar la transformación de un insumo en un producto final (proceso) de acuerdo a su situación actual (Cisneros, Análisis de los Procesos 19). En general, se puede entender como una forma de escritura visual que permite facilitar la comprensión de un trabajo (proceso) que ha sido dividido en componentes o unidades básicas (Salvendy 1:411).

Se puede clasificar un diagrama de flujo en dos grandes categorías de acuerdo a su funcionalidad, el diagrama de flujo general o diagrama de flujo funcional y el diagrama de análisis por proceso (Salvendy 1:420).

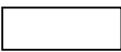
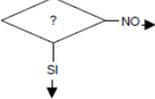
Diagrama de Flujo General o Diagrama de Flujo Funcional

El diagrama de flujo general es aquel que brinda la visión general de todas las actividades involucradas en el desarrollo del proceso que se estudia. Permite visualizar y encontrar las relaciones existentes entre el proceso (sus actividades) con los diferentes agente involucrados y áreas de la empresa relacionadas (Cardona Henao).

Este tipo de diagrama permite además representar el flujo de productos, materiales, equipos e información que circulan a lo largo del proceso (Salvendy 1:421).

Convencionalmente se manejan ciertos símbolos que permiten identificar la dirección del flujo y el tipo de tarea que se está realizando, permitiendo identificar el tiempo cronológico en el cual toma lugar cada una de las actividades (Salvendy 1:421). La simbología utilizada comúnmente se presenta en la Tabla 3 a continuación de acuerdo a la ANSI (American National Standard Institute):

Tabla 3. Simbología para un Diagrama de Flujo Funcional

Símbolo	Función:
	Actividad/Tarea del Proceso
	Inicio/Fin del Proceso
	Decisión – Permite decidir entre dos opciones "sí" y "no" dependiendo la condición establecida
	Conector de Flujo – Para enlazar dos puntos del diagrama de flujo en una misma página
	Conector de Flujo – Para enlazar dos puntos del diagrama de flujo en páginas distintas
	Línea de Flujo – indica la dirección en que se mueve el flujo del proceso
	Documento del Proceso
	Archivo Temporal o Permanente – se lo identifica con una "T" para temporal o una "P" para permanente

Fuente: ANSI. Generación Propia.

Diagrama de Análisis por Proceso

El diagrama de análisis por proceso es aquel que brinda una visión más detallada de los procesos y sus respectivas actividades que son llevadas a cabo para completar cada uno de los procesos. El diagrama de análisis por proceso permite realizar además, conjuntamente con la "matriz de valor agregado", la evaluación de la eficiencia del proceso (Salvendy 1:412).

De acuerdo a Salvendy (1:412) el diagrama de análisis de flujo por proceso puede ser dividido en tres tipos, el de producto (o material), para personas y para el equipo.

De igual manera convencionalmente se manejan símbolos que permiten identificar la dirección del flujo y el tipo de tarea que se está realizando, permitiendo identificar la naturaleza de la actividad y así encontrar aquellas actividades que agregan valor al proceso (Salvendy 1:241). La simbología utilizada comúnmente se presenta en la Tabla 4 a continuación, propuesta de acuerdo a la ANSI (American National Standard Institute):

Tabla 4. Simbología Convencional para Diagramas de Análisis por Proceso

Símbolo	Función:
	Inspección – toda actividad que se realiza para examinar un objeto o lote ya sea para identificarlo, verificar la cantidad y verificar calidad
	Operación – actividad que se lleva a cabo para modificar intencionalmente las características físicas o químicas de un objeto. Otro tipo de operación son aquellas actividades realizadas cuando se recibe o proporciona información y cuando se planea o calcula
	Almacenamiento – el almacenamiento tiene lugar cuando un objeto se guarda hasta que es requerido para ser utilizado
	Demora – se da cuando un objeto o persona espera la acción planeada siguiente
	Transportación – todo traslado de un objeto o de una persona de un lugar a otro. No se considera transportación a un movimiento que forma parte de la operación

Fuente: ANSI. Generación Propia.

2.3. Simulación

La simulación se considera una técnica que emplea modelos matemáticos análogos a los sistemas reales, en el cual se varían las entradas en los modelos para lograr establecer decisiones sobre las condiciones escritas por el modelo dentro a los parámetros establecidos (Manyard 1602).

Un modelo de simulación usualmente se utiliza para el estudio de sistemas muy complejos para manejarlos como experimentos; para experimentar con nuevos diseños o políticas de manejo para verificar el funcionamiento del sistema bajo las nuevas normas; determinar y manejar capacidades de máquinas, procesos y sistemas, entre otros (Banks 4).

Esto permite obtener información detallada sobre el comportamiento esperado bajo los parámetros establecidos que pueden ser fácilmente modificados, permitiendo obtener una gama de respuestas bajo diferentes situaciones a costos

mínimos logrando determinar fortalezas y debilidades del sistema y así evaluar su rendimiento (Salvendy 2:1180).

Para el análisis de un sistema a ser simulado es necesario clasificar al sistema de acuerdo a su comportamiento. Se manejan dos tipos de clasificación, aquellos sistemas discretos o continuos, aún cuando es difícil encontrar sistemas que se encuentren puros en uno de estos dos estados, generalmente se encuentran dentro del espectro que uno estos dos extremos (Banks 11).

2.3.1. Sistema Discreto

El sistema discreto es aquel en el cual las variables dependientes del sistema cambian en puntos específicos del tiempo. Este tipo de sistemas da mayor facilidad para su simulación (Banks 11).

“El propósito de un modelo de simulación discreta es reproducir las actividades en que participan las entidades y de allí conocer acerca del comportamiento y rendimiento potenciales del sistema.” (Salvendy 2:1183).

2.3.2. Sistema Continuo

El sistema continuo es aquel en el cual las variables dependientes del modelo cambian continuamente a lo largo del tiempo (Banks 12). Es un modelo de mayor complejidad para el cual es necesario construir el modelo definiendo ecuaciones para un conjunto de variables cuyo comportamiento simula al sistema real (Salvendy 2:1185).

Existen varios programas de software que permiten el desarrollo de modelos de simulación, entre ellos se encuentra Arena® desarrollado por Rockwell Software.

2.3.3. Construcción del Modelo

La construcción del modelo es un proceso complejo que puede ser facilitado si existen leyes conocidas que rijan al sistema, métodos para representar

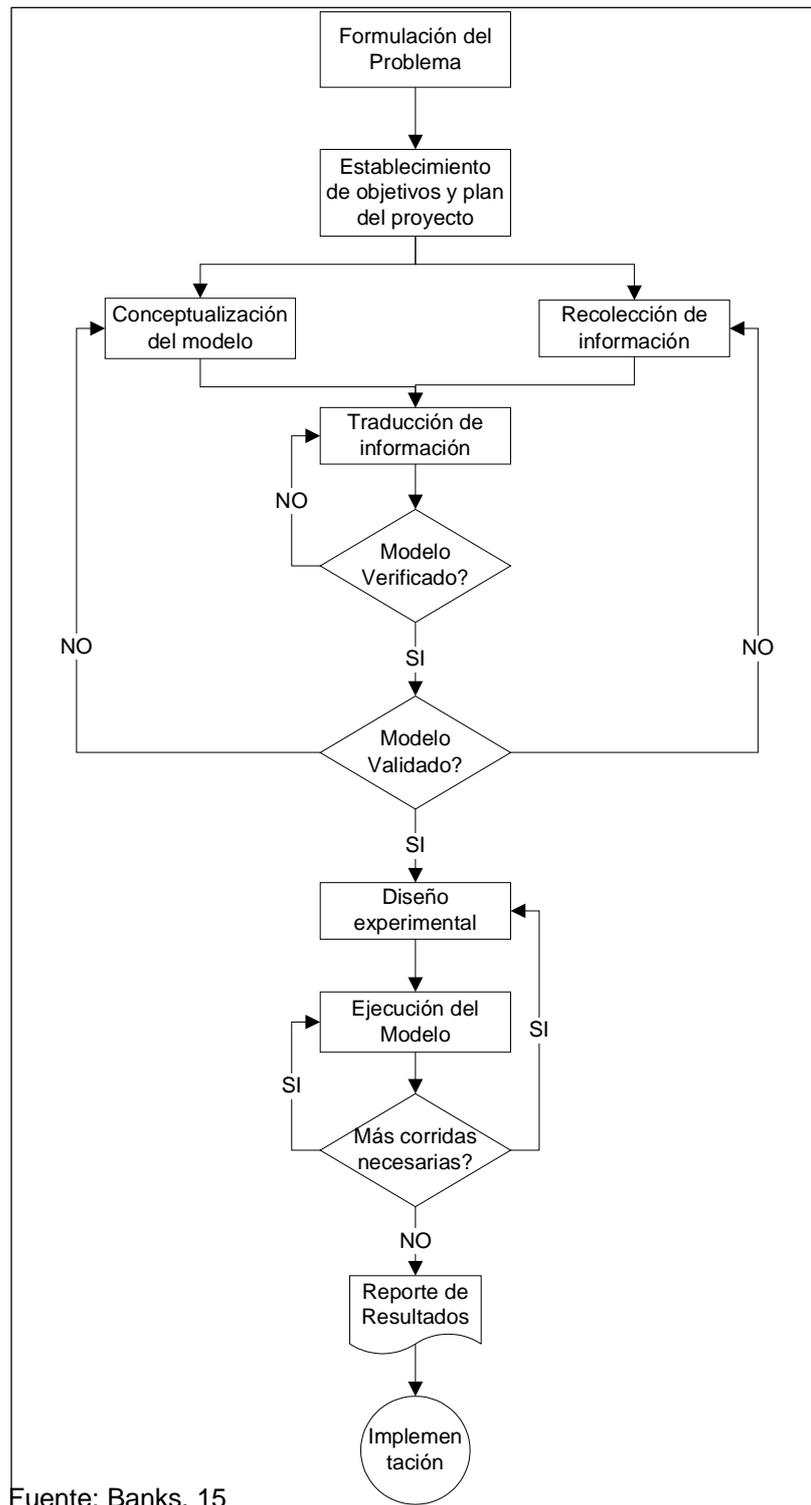
gráficamente lo que se desea modelar y es posible manejar la variabilidad del sistema (Salvendy 2:1180).

Debido a que el modelo de simulación busca plasmar la realidad es necesario llevar un esquema claramente definido para lograr reducir el error que pueda ser ocasionado en la programación (Banks 14). La Figura 3 muestra la secuencia necesaria para desarrollar correctamente el modelo.

De acuerdo a la Figura 3, Banks (15) indica que es necesario:

Primero, formular claramente el problema a ser tratado, esto es necesario para saber que se quiere lograr con el modelo. A partir de esto, determinar los objetivos que se desean alcanzar, con esto se pretende establecer las preguntas que deseamos resolver al aplicar el modelo. Desarrollados estos elementos se pasa a la conceptualización del modelo, que es abstraer la información necesaria y correcta de la información existente y plasmar ésta correctamente dentro del modelo; y la recolección de información, esto es identificar de la información existente datos válidos para el modelo, ya sean: tiempos de ciclo, tiempos de espera, distribución de intervalos, etc.

Una vez obtenida la información es necesario transformar o traducir esta en un lenguaje que el programa a ser utilizado pueda entender. Una vez ingresada la información en el sistema es necesario verificar y validar el sistema, esto consiste en determinar si el programa está trabajando correctamente (verificación) y mediante la comparación del modelo con el sistema real calibrar el proceso para su funcionamiento (validación). El siguiente paso es determinar que diferentes combinaciones o modelos se requiere o se desea modelar. Una vez determinados las combinaciones a ser modeladas se puede iniciar con la corrida del modelo para ser evaluados, es necesario constantemente verificar si las corridas realizadas son suficientes para llegar a una conclusión adecuada.



Fuente: Banks, 15

Figura 3. Pasos para un Estudio de Simulación

Este proceso permite obtener documentos y reportes para realizar el análisis del sistema propuesto. Una vez aceptado el modelo y sus resultados, si estos son favorables, es posible proceder a la implantación del modelo propuesto.

2.3.4. Aspectos Estadísticos

Elección de Distribuciones de Probabilidad de Entrada

La elección de las distribuciones de probabilidad con las que el sistema se maneja es necesaria para caracterizar los elementos aleatorios del sistema. Para esto es necesario conocer el comportamiento de las diferentes distribuciones y las circunstancias en que surgen (Salvendy 2:1195).

Generación de Números y Variantes Aleatorias

Para la simulación de sistemas discretos es indispensable la generación de números aleatorios los cuales pueden ser generados mediante un sistema computarizado. El principal uso de los números aleatorios es que permiten generar variantes aleatorias que pueden ser utilizadas para representar tiempos de arribo u otros componentes aleatorios de interés en una simulación (Banks 251).

Cada número aleatorio debe cumplir con dos propiedades estadísticas: uniformidad e independencia. Esto quiere decir que cada número aleatorio debe ser una muestra independiente tomada de una distribución uniforme continua entre 0 y 1. Además, no debe existir correlación entre los números generados o mostrar una tendencia creciente o decreciente a partir de la media. Si los números generados no cumplen con estas propiedades estadísticas, estos no pueden ser considerados como aleatorios (Banks 252).

Un método común de generación de variantes aleatorias, asumiendo que se especifica claramente la distribución que deben seguir los datos y los respectivos parámetros que describen la distribución, es el de transformación inversa. Existen otros métodos pero este es de gran aplicación y utilidad (Banks 273).

El método de la transformación inversa permite generar variantes para las distribuciones: exponencial, uniforme, Weibull, triangular y otras distribuciones empíricas (Banks 273).

De acuerdo a Banks (275) los pasos para la generación de variantes mediante este método son:

Paso 1: Generar un número que siga una distribución uniforme entre $[0,1]$.

Generar $U \sim u(0,1)$

Paso 2: Calcular la cdf (distribución acumulada) de la variable X deseada

Paso 3: Establecer $F(X)=U$ dentro del rango de X

Paso 4: Resolver la ecuación $F(X)=U$ para toda X en función de U

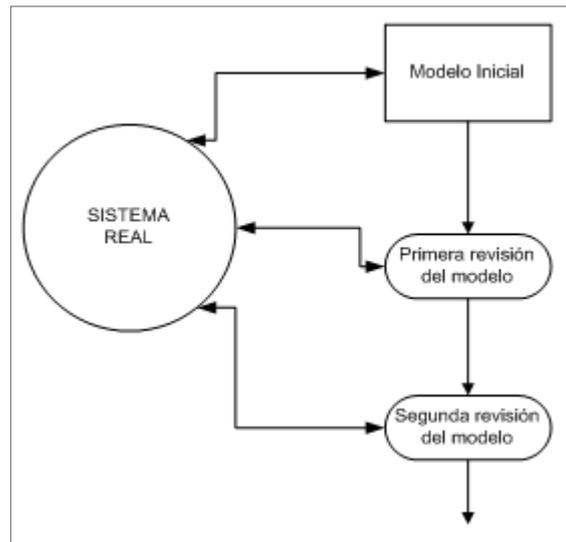
Hacer $X=F^{-1}(U)$ Devolver X

Validación del Modelo

La validación del sistema se refiere a determinar si el modelo es una representación razonable del sistema real que se trata de duplicar. La validación debería ser realizada a los datos de entrada, los elementos del modelo, los puntos de interface, etc. (Salvendy 2:1196). Conjuntamente con la verificación es una de las actividades más difíciles de realizar al desarrollar un modelo de simulación (Banks 354).

La validación de un modelo usualmente es un proceso iterativo que debe ser desarrollado mediante la comparación del modelo propuesto y el comportamiento real del sistema. Esta comparación permite corregir las discrepancias existentes y mejorar el producto. Este proceso iterativo debe ser llevado a cabo hasta alcanzar un nivel aceptable de precisión por parte del modelo (Banks 355).

La Figura 4 representa este proceso:



Fuente: Banks, 361

Figura 4. Proceso Iterativo de Validación del Modelo

Métodos de Estimación

Si un modelo incorpora entradas aleatorias, las medidas de desempeño que la corrida de simulación arroje tendrán a su vez aleatoriedad lo cual afecta la toma de decisión final (Salvendy 2:1197).

Para el soporte de la decisión final es necesario tomar en cuenta el tipo de datos generados por la simulación. Para esto se debe entender la diferencia que existe entre los modelos de Simulación con Terminación y los modelos de Simulación de Estado Estable (Banks 384).

Un modelo de Simulación con Terminación es en el cual se establece un tiempo T definido y se realiza la corrida hasta alcanzar un evento E de terminación. En este tipo de modelos al inicio de cada corrida se asume que el sistema se encuentra vacío (Banks 384).

Un modelo de Simulación de Estado Estable es aquel que corre continuamente a través de un largo periodo de tiempo. La simulación de este sistema inicia en un tiempo 0 bajo un estado definido y corre hasta alcanzar un evento E determinado en un período T . Usualmente este modelo de simulación se utiliza para sistemas en los cuales luego de un período de producción, el sistema se mantiene con producto para iniciar el siguiente período (Banks 386).

3. CAPITULO III – DIAGNÓSTICO

El presente capítulo se enfoca en la descripción y diagnóstico de la situación actual de la Empresa referente a los temas expuestos dentro del marco teórico. Para el estudio del modelo actual de producción, el enfoque se concentrará en determinar el flujo que sigue cada uno de los procesos dentro del área de producción y se incluirá una breve descripción del sistema de control y organización de la producción. Además, este capítulo describe el estudio de la medición de tiempos de los procesos a ser mencionados en el análisis del sistema de producción y actividades. Esta sección incluirá la determinación de tiempos estándares para cada uno de los procesos.

3.1. Análisis del Proceso

3.1.1. Control de Producción

Debido a la falta de planificación que ha existido a lo largo de los años de operación de Megafiltro S.A., el control que se lleva de la producción y su correspondiente planificación no tiene una base teórica sólida, ésta se realiza mediante conceptos ganados por la experiencia adquirida durante los años de operación. De esta forma mediante asignaciones “lógicas” se logra coordinar las diferentes actividades para llevar a cabo la producción (A. Sayay).

La planificación de la producción es realizada por uno de los operarios que a su vez cumple una función dentro de las actividades productivas. El encargado de la coordinación de la producción es quien asigna a los operarios de los procesos de Extrusión, Vulcanizado y Corte las órdenes de trabajo que necesitan ser completadas. La asignación de tareas se encuentra dada por los volúmenes correspondientes a las órdenes a ser completadas, el tiempo de entrega y por la complejidad del empaque a ser procesado (A. Sayay). Para esta asignación no se manejan órdenes de trabajo estándares ni procedimientos, es realizada según la necesidad del trabajo y según como la persona encargada de la producción se acople para dar a conocer las necesidades de producción.

El proceso de recepción de órdenes de trabajo y su asignación se da desde la llegada de una orden a la Empresa, la cual es recibida por la coordinadora de ventas, quien tiene la obligación de verificar los datos del cliente, el tipo de producto y el volumen solicitado. Obtenida esta información, el coordinador de producción debe verificar si la orden puede ser entregada en el plazo solicitado. Una vez aprobado se procede a la asignación de órdenes de trabajos seguido del proceso de producción (A. Sayay). El ANEXO A1 plasma este proceso.

El manejo del inventario de producto terminado también se encuentra bajo responsabilidad del coordinador de producción, quien mediante la experiencia determina los niveles óptimos stock de cada uno de los productos. El manejo de inventario de materia prima no es asignado a ningún operario, se realizan pedidos de material para períodos de cuatro a seis meses de acuerdo a la temporada y el punto de re-orden se encuentra dado por apreciación visual del nivel de inventario existente (A. Sayay).

3.1.2. Proceso de Producción

El proceso productivo se encuentra compuesto por cinco procesos principales. El primer proceso dentro de la línea productiva es el de preparación del material, este incluye cortar los rollos de materia prima en tiras rectangulares de tamaño adecuado para que puedan ser fácilmente procesadas durante el proceso de extrusión. Una vez listo el material destinado a ser extruido este es almacenado temporalmente en un anaquel hasta que requiera ser procesado. Esta actividad es realizada durante el tiempo que toma a las máquinas alcanzar la temperatura mínima para iniciar el proceso.

Luego de estas actividades se pasa al proceso de extrusión, el cual consiste en transformar las tiras de caucho (rectangulares) en cilindros o en tiras cilíndricas (forma de fideos) más pequeñas para que puedan ser procesadas. La transformación se lleva a cabo mediante la adecuación del molde de salida, el cual determina la forma del producto final del proceso, de acuerdo a las necesidades de producción. Estos moldes deben ser adaptados a un molino el cual derrite el material y lo empuja hacia la matriz o molde.

Para la siguiente actividad del proceso es necesario definir si el producto a ser trabajado es mediante tubo (cilindro) o mediante un anillo (ver Figura 5). Si es el caso de un producto que es generado por medio de una matriz de tubo es necesario primero definir qué tipo de producto es el generado, si es un producto que requiere ser vulcanizado inmediatamente pasa a ese proceso, si no lo requiere se dirige a corte. El proceso de vulcanizado consiste en calentar el caucho en presencia de químicos como el azufre, esto se realiza mediante la compresión del mismo para volverlo más resistente y duro al frío, además se consigue que el material se vuelva impermeable (E. Chiriboga). Una vez que se tiene el producto vulcanizado ya no hay posibilidad de revertir el proceso y el producto debe pasar al proceso de corte.

Para el caso de los anillos y empaques que siguen el proceso de troquelado primero es necesario cortar el material según la necesidad del tamaño y estos deben ser colocados en la matriz respectiva para dirigirse al proceso de vulcanizado. Esto se evidencia en el flujo representado en el ANEXO A4. El proceso de vulcanizado para los productos de troquel (matrices) es similar que el de los cilindros, a diferencia de lo ya establecido, que es necesario seleccionar el troquel (molde) correspondiente previo al ingreso a la prensa. El ANEXO A5 y ANEXO A6 representan estos procesos.

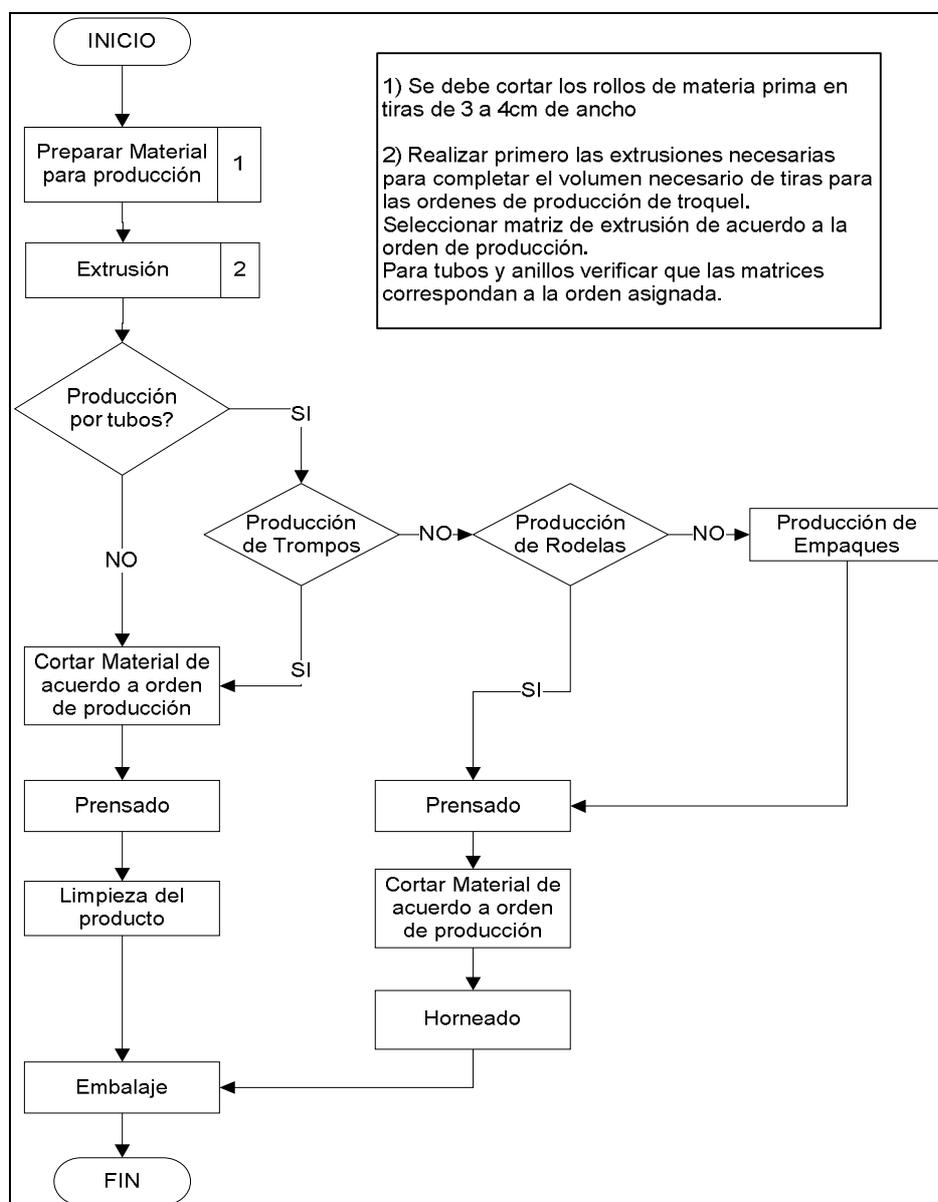
El corte de los cilindros (tubos) es un proceso el cual requiere primero adecuar el tubo a ser cortado al torno para que genere los cortes de acuerdo al grosor planificado, una vez ya adecuado se puede proceder al corte del mismo (ver ANEXO A7). Es necesario durante este proceso mantener correctamente afiladas las cuchillas para mantener la calidad del corte.

Seguido se tiene el proceso de limpieza, donde ingresan solamente los productos provenientes del vulcanizado por medio de troquel, mediante el cual primero se retira el material en exceso que no forma parte del producto final (empaque, anillo o trompo) y se realiza el pelado de los excesos todavía presentes, esta actividad puede ser realizada manualmente o con ayuda de un esmeril (ver ANEXO A8).

Para el caso de los productos provenientes de los tubos, estos deben ser horneados antes de ser empacados, estos no necesitan del proceso de limpieza.

La última etapa del proceso consiste en inspeccionar uno por uno los empaques y así contarlos para que puedan ser empacados, esto se realiza seguido del proceso de limpieza u horneado.

Este proceso productivo detallado anteriormente puede ser observado en la Figura 5.



Generación Propia.

Figura 5. Flujograma del Proceso Actual de Producción

3.2. Estudio de Tiempos: Establecimiento de Tiempos Estándar

3.2.1. Metodología para el Estudio de Tiempos

Todos los datos que son utilizados para el análisis que se presenta a continuación, son datos proporcionados por la Sra. Carolina Chiriboga gerente de Megafiltro S.A. estos datos pertenecen a la base que mantiene la Empresa en sus registros de pedidos, producción y ventas correspondientes al año 2008.

De acuerdo a la producción actual se manejan cuatro categorías o familias de productos, Anillos, Empaques, Rodelas y Trompos. Las categorías se encuentran asignadas de acuerdo a la función que desempeña el producto dentro de un filtro y de acuerdo a su forma. De estas cuatro categorías se ofrecen más de 200 tipos de productos.

Debido a la alta cantidad y variedad de los productos es necesario, para enfocar el estudio, realizar un análisis de los productos para determinar aquellos más representativos en cuanto al volumen de ventas el cual es proporcional a los ingresos generados por producto. Mediante un análisis de Pareto, el cual consiste en detectar aquellos elementos relevantes (pocos vitales) y descartar aquellos elementos irrelevantes (muchos triviales) que afectan al sistema (Sales) , se determinaron los productos más representativos. Para realizar la comparación de acuerdo al volumen de ventas (número de unidades vendidas) es necesario identificar una unidad estándar de medición, debido a la alta variedad de productos. Como unidad base de comparación se establece el peso por unidad (kg/unidad), esta unidad se selecciona debido a la facilidad de medición, dado la alta variedad entre cada una de las piezas.

Mediante el análisis de Pareto, se determinó que el 70.1% del volumen de ventas (en peso) corresponde a los empaques, seguido por las rodelas que representa el 19.9%, trompos el 9.1% y tan solo el 0.9% la venta de anillos. Esto indica que la producción principalmente se encuentra centrada en los empaques. La Figura 6 representa esta distribución.

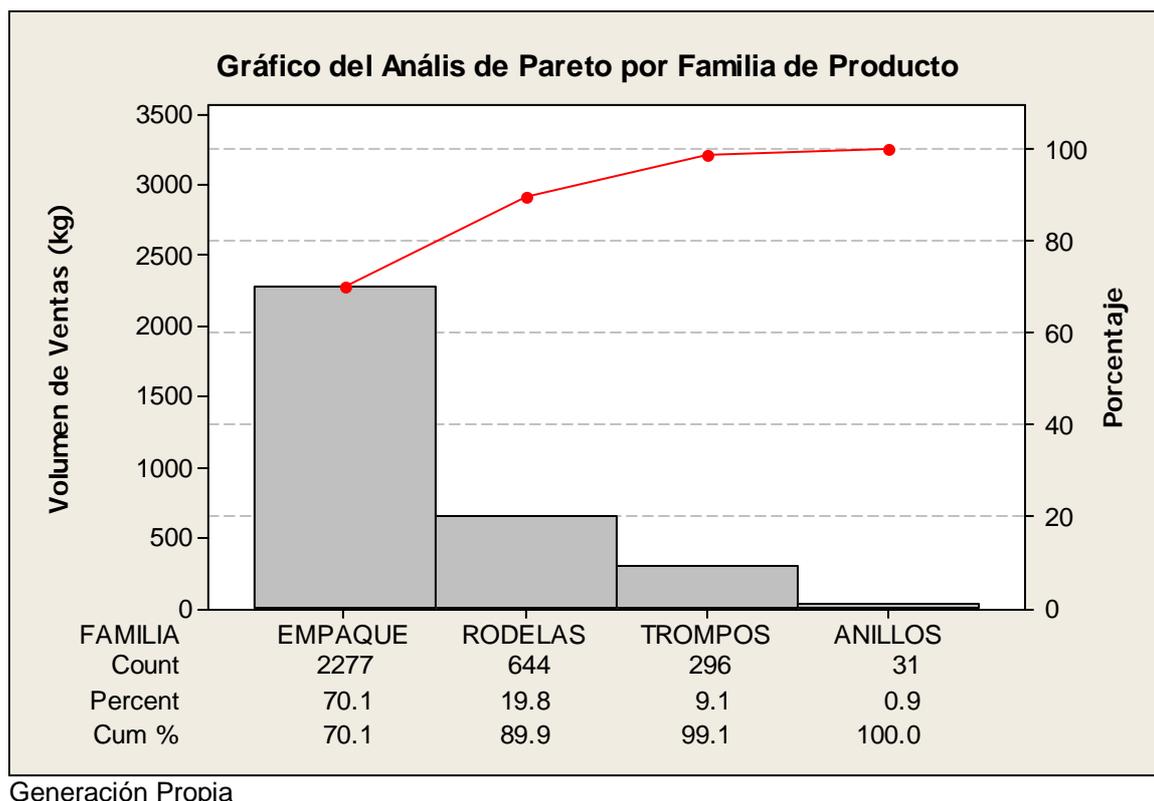


Figura 6. Análisis de Pareto por Familia de Producto

Del 70.1% de las ventas correspondientes a los de empaques, el 67.9% corresponde a un único producto, el cual a su vez representa el 48% de la venta total de la Empresa. Esto centra aun más la producción, se da un enfoque primordial en un solo producto, teniendo en consideración que el siguiente únicamente representa el 6%. La Figura 7 muestra el análisis de Pareto realizado por producto.

Además, de la Figura 7 se obtiene que tan solo el 6% de los productos representan el 80% de las ventas anuales, lo que demuestra que la producción se encuentra centrada en un reducido grupo de productos. Hay que tomar en cuenta que hay un alto número de productos que son considerados especiales debido a que son generados en muy bajo volumen y de acuerdo a solicitud especial de algún cliente, estos por más que se encuentran dentro de la lista de productos no son representativos.

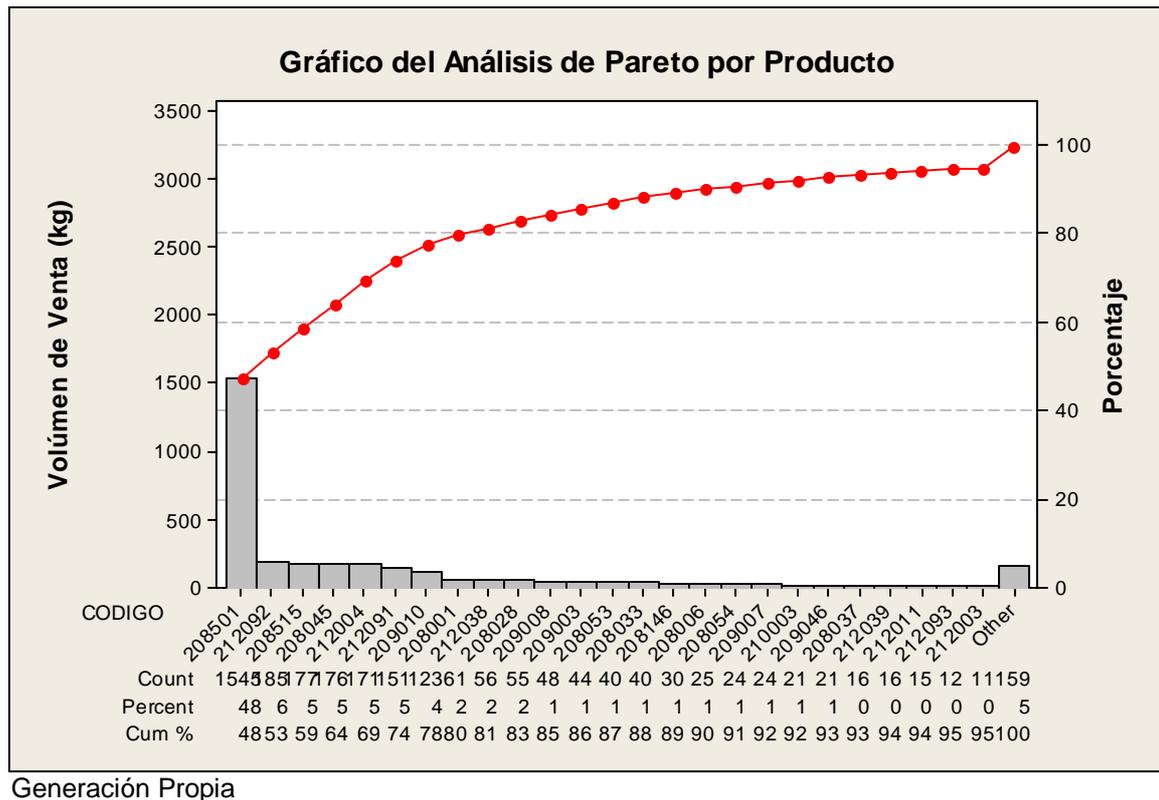


Figura 7. Análisis de Pareto por Producto

Mediante esto se determinó la necesidad de analizar las respectivas actividades que son desarrolladas para completar cada uno de los productos considerados vitales (6% de los productos). Estos productos vitales se centran en tres familias Empaques, Rodelas y Trompos. El estudio de tiempos estará centrado en estos productos. Hay que tener en consideración que los empaques siguen dos procesos significativamente diferentes los cuales deben ser estudiados.

La división de las actividades se da a partir de la facilidad de la medición y la diferenciación de actividades que complementan un proceso. Los flujogramas respectivos de la secuencia de las tareas/actividades de cada proceso se encuentran detallados en el ANEXO A de acuerdo a lo establecido en la sección 3.1.2.

Se tomaron las siguientes actividades de cada proceso para ser evaluadas (Tabla 5).

Tabla 5. Actividades a Ser Medidas de Acuerdo al Tipo de Proceso/Producto

Actividad/Tarea	Proceso - Producto			
	Empaques-Troquelado	Empaque	Trompo	Rodela
Extrusión de Tiras	X			
Alimentar el Molino	X			
Desmoldado y Retirar Residuo	X			
Extrusión de Tubos		X	X	X
Acoplar Molde de Tubo al Molino		X	X	X
Alimentar el Molino		X	X	X
Desmontar Molde del Molino		X	X	X
Retirar Residuo		X	X	X
Vulcanizado de Troquel	X		X	
Preparar/Cortar Tiras	X			
Colocar Tiras/Trompos en Molde	X		X	
Montar Moldes a la Máquina	X		X	
Desmontar Moldes de la Máquina	X		X	
Desmoldar Molde	X		X	
Vulcanizado de Tubo		X		X
Montar el Molde a la Prensa		X		X
Prensado		X		X
Desmoldar		X		X
Corte Tubos		X	X	X
Preparación de tubo para Corte		X	X	X
Acoplar tubo para Corte		X	X	X
Realizar Corte		X	X	X
Horneado		X		X
Limpieza	X		X	
Pelado	X		X	
Esmerilado			X	

Para cada uno de los Procesos, de acuerdo a los límites correspondientes de las actividades que corresponden a cada uno de ellos, se realizó una plantilla formato para la toma de tiempos de las diferentes actividades involucradas en cada uno de los procesos de producción. Estas plantillas se presentan en el ANEXO B.

Para cada una de estas actividades se realizaron medidas piloto para determinar el número de ciclos necesarios a medir para obtener resultados fiables.

Tabla 6. Número de Ciclos Necesarios a Medir por Actividad

Actividad	Tiempo de Ciclo (minutos)	Numero de Ciclos Necesarios a Medir
Acoplar Molde de Tubo al Molino	0.37	100
Alimentación Extrusión Tubos	2.03	15
Desmontar tubo del Molino y Limpieza	0.69	60
Extrusión Anillos	64	3
Amoldamiento Empaque en Troquel (molde)	0.49	100
Montar Molde de Empaques a Prensa	0.07	200
Prensado Empaque (troquel)	6.53	10
Desmoldar Empaque (troquel)	0.36	100
Amoldamiento Trompo en Troquel (molde)	1.44	30
Montar Molde de Trompo a Prensa	0.22	200
Prensado Trompo (troquel)	7.74	10
Desmoldar Molde de Trompo (troquel)	1.13	30
Montar Tubos a Prensadora	0.28	100
Prensado Tubos	3.66	15
Desmolde Tubos	0.42	100
Corte Tiras para Empaques	0.31	100
Preparación de Tubo de Empaque para corte	0.82	40
Acoplamiento Tubo de Empaque para Corte	0.25	100
Corte de Tubo de Empaques	1.58	30
Preparación de Tubo de Rodela para corte	0.75	40
Acoplamiento de Tubo de Rodela para Corte	0.43	100
Corte de Tubo de Rodela	9.64	10
Corte Trompo	1.06	30
Horneado	120	3
Limpieza Anillos	0.05	200
Limpieza Trompos	0.07	200
Limpieza Empaques	0.13	200

* El tiempo de Horneado es estándar dado por la máquina.

De acuerdo a estos tamaños de muestra (Tabla 6) para la medición, se procedió a la medición correspondiente de cada uno de las actividades y procesos.

La medición de los procesos y actividades se realizó en dos etapas. Para las dos etapas se determinaron los procesos y actividades a medir y los operarios correspondientes. En la primera etapa se procedió a la medición mediante la selección de dos estaciones de trabajo adyacentes o cercanas y la determinación de un punto de referencia para la medición. Este punto de referencia se determinó junto a una estación A de tal forma que facilite la visibilidad de la estación cercana B. La medición de las actividades se realizó desde la estación más lejana al encargado de la medición para evitar la presencia del mismo junto al operario.

La segunda etapa se llevó a cabo mediante la medición de las actividades con el encargado de medición junto al operario encargado de la actividad. En esta segunda etapa se utilizó también el apoyo de una cámara de video para registrar actividades que se encontraban fuera del alcance del operario y aquellas actividades que incluyen actividades de mayor detalle.

3.2.2. Tiempo Estándar Proceso de Extrusión

El proceso de extrusión consiste en transformar la materia prima (tiras de caucho) en subproductos mediante el uso de un molino en forma de tornillo sin fin, el cual derrite el caucho que ingresa y lo empuja hacia una matriz donde este toma su forma final.

Durante el proceso de extrusión se pueden obtener diversas formas de producto mediante la variación de la matriz de salida. De acuerdo a la producción actual se obtienen dos formas básicas de productos de este proceso, un tubo o cilindro y tiras, las cuales pueden variar en su diámetro y para tomar forma primero deben pasar por el proceso de troquelado. El ANEXO C muestra imágenes de estos productos.

3.2.2.1. Extrusión de Tubos

El proceso de extrusión de tubos, de acuerdo a lo establecido a la sección 3.1.2, se da inicio con la llegada de la materia prima a la estación de trabajo y su fin se produce cuando el producto sale de la estación, y el molino queda listo para el siguiente ciclo. Este proceso consiste en tres actividades principales: el montaje

de la matriz al molino, la alimentación del molino o extrusión, y el desmontado de la matriz del molino y limpieza.

Esta actividad se desarrolla en paralelo por dos molinos con capacidades distintas dadas por el motor de cada uno de ellos. Debido a esto, la estandarización del tiempo de Alimentación del Molino debe darse por separado para cada máquina. El montaje, y el desmontado y limpieza para ambas máquinas son actividades manuales similares que pueden ser estandarizadas sin diferenciación de operario.

A continuación (Tabla 7), en la se presenta el resumen de los datos correspondientes a las actividades del proceso de extrusión de tubos:

Tabla 7. Datos Descriptivos de los Tiempos de la Extrusión de Tubos

Actividad	Media (min)	Desv. Estándar (min)	Coefficiente de Variación
Montado de la Matriz al Molino (mq 1)	0.38	0.062	0.162
Montado de la Matriz al Molino (mq 2)	0.36	0.044	0.122
Alimentación del Molino (mq 1)	2.29	0.224	0.098
Alimentación del Molino (mq 2)	1.76	0.140	0.079
Desmontado y Limpieza (mq 1)	0.695	0.074	0.106
Desmontado y Limpieza (mq 2)	0.678	0.079	0.116
Producción de Tubos para Trompos (tiempo entre salidas)	0.29	0.160	0.556

Las tolerancias para estas actividades, de acuerdo a las bases establecidas en la Tabla 2 de la sección 2.1.1.3, se presentan en la Tabla 8, al igual que los tiempos estándar de cada actividad:

Tabla 8. Tiempos Estándar de Actividades del Proceso de Extrusión de Tubos

Actividad	Tiempo Medido (min)	Tolerancia (%)	Tiempo Estándar (min)
Montado de la Matriz al Molino	0.37	21%	0.45
Alimentación del Molino (mq 1)	2.29	17%	2.68
Alimentación del Molino (mq 2)	1.71	17%	2.00
Desmontado y Limpieza	0.68	22%	0.83
Extrusión de Tubos	0.29	14%	0.33

3.2.2.2. Extrusión de Tiras

Para la extrusión de tiras (forma de fideos), el proceso da inicio con la llegada de materia prima a la estación de trabajo y el ingreso del producto al molino; y, su fin se da a la salida del producto de la estación. Este proceso requiere de dos actividades principales, la de alimentación del molino o extrusión y la de retiro y eliminación de residuo de caucho del molino considerado como desmontaje o desmontado. Esta actividad es realizada únicamente en la extrusora 1.

A continuación, en la Tabla 9, se presenta el resumen de los datos correspondientes a las actividades del proceso de extrusión de tiras:

Tabla 9. Datos Descriptivos de los Tiempos de la Extrusión de Tiras

Actividad	Media (min)	Desv. Estándar (min)	Coefficiente de Variación
Alimentación del Molino	57.86	4.22	0.073
Desmontado y Limpieza	6.49	1.43	0.220

Las tolerancias para estas actividades, de acuerdo a las bases establecidas en la Tabla 2 de la sección 2.1.1.3 se presentan a continuación en la Tabla 10 al igual que los tiempos estándar de cada actividad:

Tabla 10. Tiempos Estándar de Actividades del Proceso de Extrusión de Tiras

Actividad	Tiempo Medido (min)	Tolerancia (%)	Tiempo Estándar (min)
Alimentación del Molino	57.86	14%	65.96
Desmontado y Limpieza	6.49	14%	7.40

3.2.3. Tiempo Estándar Proceso de Vulcanizado

El proceso de vulcanizado, como se estableció en la sección 3.1.2, consiste en transformar el caucho natural en caucho resistente a altas temperaturas e impermeable. Este proceso se realiza a continuación del proceso de extrusión

para el producto en tubo (menos trompos), y luego del proceso de corte para el producto que requiere troquelado (trompos y empaques de tiras).

Indiferente de donde provenga el producto, el proceso se lleva a cabo mediante la colocación de la matriz a ser vulcanizada dentro de la prensa, donde permanece el tiempo necesario para que se realice la transformación del material. Los productos que requieren moldeado por troquel (tiras y trompos) requieren una actividad previa, que es colocar el producto en la matriz.

3.2.3.1. Vulcanizado de Tubos

El proceso inicia con la llegada de la matriz lista para ser procesada y culmina con la separación del producto de la matriz (desmolde).

El tiempo de vulcanizado (tiempo que pasa el producto dentro de la prensa) depende directamente del tiempo de proceso de la actividad previa (extrusión). Este proceso cuenta con dos máquinas prensadoras en paralelo donde cada extrusora alimenta a una prensadora (operado por la misma persona) por lo que es necesario diferenciar los tiempos de estas dos máquinas para la estandarización de tiempos.

En la Tabla 11 se presenta el resumen de los datos correspondientes a las actividades del proceso de vulcanizado de tubos:

Tabla 11. Datos Descriptivos de Tiempos del Proceso de Vulcanizado de Tubos

Actividad	Media (min)	Desv. Estándar (min)	Coefficiente de Variación
Montado de Tubo a Prensadora (mq 1)	0.276	0.038	0.136
Montado de Tubo a Prensadora (mq 2)	0.319	0.043	0.135
Prensado de Tubo (mq 1)	4.136	0.253	0.061
Prensado de Tubo (mq 2)	3.657	0.175	0.048
Desmolde del Tubo (mq 1)	0.436	0.078	0.180
Desmolde del Tubo (mq 2)	0.419	0.062	0.148

Las tolerancias para estas actividades, de acuerdo a las bases establecidas en la Tabla 2 de la sección 2.1.1.3, se presentan a continuación (Tabla 12), al igual que

los tiempos estándar de cada actividad. Los tiempos de prensado no contienen tolerancia ya que son tiempos de máquina.

Tabla 12. Tiempos Estándar de las Actividades del Proceso de Vulcanizado de Tubos

Actividad	Tiempo Medido (min)	Tolerancia (%)	Tiempo Estándar (min)
Montar Tubo a Prensadora	0.30	21%	0.36
Prensado de Tubo (mq 1)	4.14	-	4.14
Prensado de Tubo (mq 2)	3.66	-	3.66
Desmolde del Tubo	0.43	20%	0.52

3.2.3.2. Vulcanizado de Troquel

El proceso comienza con la llegada de las tiras del proceso de extrusión y de los trompos del proceso de corte y termina con la separación del producto de la matriz (desmolde).

Para el vulcanizado de troquel se trabaja con dos prensas en paralelo, manejadas por diferentes operarios, los cuales combinan diferentes actividades para completar el trabajo.

En la Tabla 13, correspondiente a la Prensa 1 y la Tabla 14 a la Prensa 2, se presenta el resumen de los datos correspondientes a las actividades del proceso de vulcanizado de troquel. Se diferencian las actividades por máquina (estación) ya que además de las actividades similares que son realizadas, hay actividades que son únicas de cada estación:

Prensa 1

Tabla 13. Datos Descriptivos de Tiempos del Proceso de Vulcanizado de Troquel de la Prensa 1

Actividad	Media (min)	Desv. Estándar (min)	Coefficiente de Variación
Amoldamiento de Empaques (por matriz)	0.527	0.062	0.117
Amoldamiento de Trompos (por matriz)	1.444	0.144	0.100
Montado del Molde de Empaque a la Prensadora (por matriz)	0.061	0.011	0.172
Montado del Molde de Trompos a la Prensadora (por matriz)	0.051	0.003	0.231
Prensado Empaque	7.653	1.689	0.221
Prensado Trompo	7.673	1.099	0.143
Desmolde de Empaque (por matriz)	0.378	0.177	0.470
Desmolde de Trompo (por matriz)	1.128	0.131	0.116

Prensa 2

Tabla 14. Datos Descriptivos de Tiempos del Proceso de Vulcanizado de Troquel de la Prensa 2

Actividad	Media (min)	Desv. Estándar (min)	Coefficiente de Variación
Amoldamiento de Empaques (por matriz)	0.450	0.039	0.087
Montado del Molde de Empaque a la Prensadora (por matriz)	0.082	0.014	0.169
Prensado de Empaque	5.41	0.550	0.102
Desmolde de Empaque (por matriz)	0.338	0.063	0.186

Las tolerancias para estas actividades, de acuerdo a las bases establecidas en la Tabla 2 de la sección 2.1.1.3, se presentan a continuación (Tabla 15), al igual que los tiempos estándar de cada actividad. Los tiempos de prensado no contienen tolerancia ya que son tiempos correspondientes a actividades realizadas por máquina.

Tabla 15. Tiempos Estándar de las Actividades del Proceso de Vulcanizado de Troquel

Actividad	Tiempo Medido (min)	Tolerancia (%)	Tiempo Estándar (min)
Amoldamiento de Empaques (por matriz)	0.49	18%	0.58
Amoldamiento de Trompos (por matriz)	1.44	18%	1.70
Montado del Molde a la Prensadora (Empaque)	0.07	17%	0.08
Montado del Molde a la Prensadora (Trompo)	0.22	17%	0.26
Prensado Empaque (máquina 1)	7.65	-	7.65
Prensado Empaque (máquina 2)	5.41	-	5.41
Prensado Trompo	7.67	-	7.67
Desmolde de Empaques (por matriz)	0.36	18%	0.42
Desmolde de Trompos (por matriz)	1.13	18%	1.33

3.2.4. Tiempo Estándar Proceso de Corte

El proceso de corte, como se estableció en la sección 3.1.2 es la secuencia de actividades realizadas para transformar el producto en proceso en el producto final, previo a la limpieza y horneado. El corte se lleva a cabo mediante dos procesos diferentes; el proceso de corte de tubos y el proceso de corte de tiras los cuales son precedidos por actividades diferentes. El proceso de corte de tubos se encuentra precedido por el proceso de vulcanizado (a excepción de los trompos) y el corte de tiras viene precedido del proceso de extrusión, al igual que los trompos.

El proceso de corte se muestra en el ANEXO A4 para las tiras y en el ANEXO A6 para los tubos.

3.2.4.1. Corte de Tiras

El proceso de corte de tiras inicia con la llegada del producto a la estación de trabajo y termina al colocar las tiras en la repisa para el proceso de vulcanizado por troquel.

A continuación (Tabla 16) se presenta el resumen de los datos correspondientes a las actividades del proceso de corte de tiras.

Tabla 16. Datos Descriptivos de los Tiempos del Proceso de Corte de Tiras

Actividad	Media (min)	Desv. Estándar (min)	Coefficiente de Variación
Corte Tiras	0.310	0.120	0.386

Las tolerancias para estas actividades, de acuerdo a las bases establecidas en la Tabla 2 de la sección 2.1.1.3, se presentan en la Tabla 17, al igual que los tiempos estándar de cada actividad.

Tabla 17. Tiempo Estándar de las Actividades del Proceso de Corte de Tiras

Actividad	Tiempo Medido (min)	Tolerancia (%)	Tiempo Estándar (min)
Corte Tiras	0.31	16%	0.36

3.2.4.2. Corte de Tubos

El proceso de corte de tubos, de acuerdo a lo establecido en la sección 3.1.2, se da inicio a la llegada del producto a la estación de corte (rodela y empaques o trompos) y la salida del producto a los contenedores de producto en proceso a espera de la siguiente etapa.

Las rodela y empaques son cortadas por un mismo operador en una estación de trabajo separada de la de corte de trompos, los cuales son procesados en una estación diferente por un operador diferente.

En las siguientes tablas se presenta el resumen de los datos correspondientes a las actividades del proceso de corte de tubos. Se diferencia los tiempos de cada familia de producto debido a que existe una diferencia entre cada tipo de producto; la Tabla 18 corresponde al corte de empaques, la Tabla 19 corte de rodela y la Tabla 20 al corte de trompos.

Corte de Empaques

Tabla 18. Datos Descriptivos de los Tiempos del Proceso de Corte de Empaques

Actividad	Media (min)	Desv. Estándar (min)	Coefficiente de Variación
Preparar Tubo de Empaque para Corte	0.820	0.180	0.222
Acoplar Tubo de Empaque para Corte	0.250	0.007	0.292
Corte Tubo de Empaque	1.580	0.400	0.257

Corte de Rodelas

Tabla 19. Datos Descriptivos de los Tiempos del Proceso de Corte de Rodelas

Actividad	Media (min)	Desv. Estándar (min)	Coefficiente de Variación
Preparar Tubo de Rodela para Corte	0.750	0.100	0.135
Acoplar Tubo de Rodela para Corte	0.460	0.006	0.128
Corte Tubo de Rodela	9.640	1.830	0.190

Corte de Trompos

Para los trompos se midió un solo tiempo desde el momento de acoplar el trompo al torno hasta la finalización del corte. Esta medición conjunta se realizó por la falta de continuidad del proceso, ya que el operario que maneja este torno está encargado de la prensa 1.

Tabla 20. Datos Descriptivos de los Tiempos del Proceso de Corte de Trompos

Actividad	Media (min)	Desv. Estándar (min)	Coefficiente de Variación
Corte Tubo de Empaque	1.060	0.270	0.254

Las tolerancias para estas actividades, de acuerdo a las bases establecidas en la Tabla 2 de la sección 2.1.1.3, al igual que los tiempos estándar correspondientes a cada actividad se presentan en la Tabla 21 para empaques, Tabla 22 para Rodelas y Tabla 23 para Trompos

Corte de Empaques

Tabla 21. Tiempos Estándar de las Actividades del Proceso de Corte de Empaques

Actividad	Tiempo Medido (min)	Tolerancia (%)	Tiempo Estándar (min)
Preparar Tubo de Empaque Para Corte	0.82	15%	0.94
Acoplar Tubo de Empaque Para Corte	0.25	17%	0.29
Corte de Tubo de Empaque	1.58	20%	1.89

Corte de Rodelas

Tabla 22. Tiempos Estándar las Actividades del Proceso de Corte de Rodela

Actividad	Tiempo Medido (min)	Tolerancia (%)	Tiempo Estándar (min)
Preparar Tubo de Rodela Para Corte	0.75	15%	0.87
Acoplar Tubo de Rodela Para Corte	0.43	17%	0.51
Corte de Tubo de Rodela	9.64	20%	11.56

Corte de Trompos

Tabla 23. Tiempos Estándar de las Actividades del Proceso de Corte de Trompo

Actividad	Tiempo Medido (min)	Tolerancia (%)	Tiempo Estándar (min)
Corte de Trompo	1.06	21%	1.28

3.2.5. Tiempo Estándar Proceso de Limpieza y Horneado

El proceso de Limpieza tiene inicio con la llegada de los productos de los procesos de Vulcanizado por Troquel, ya que son los únicos que requieren de este proceso.

La Limpieza consta de dos actividades principales, la de separación de residuo del producto y la de pelado. Concluidas las dos actividades el proceso tiene fin al colocar el producto en los contenedores de despacho. De acuerdo a la forma y tamaño del producto, el pelado del producto debe ser realizado con ayuda de un

esmeril, este es el caso de los trompos y de los anillos, aún cuando el estudio no se encuentra enfocado en estos productos. Los empaques no requieren el trabajo con esmeril, la operación es manual con una cuchilla.

El proceso de horneado se da inicio con la llegada de los productos provenientes de corte que corresponden a la producción de tubos. El proceso de horneado consta de dos actividades manuales, el montado y desmontado, y de una actividad de máquina que es el horneado. El proceso tiene fin con la salida de producto del horno y la colocación del mismo en los respectivos contenedores de despacho.

A continuación, en la Tabla 24 se presenta el resumen de los datos correspondientes a las actividades del proceso de limpieza, seguido de la Tabla 25 donde se presentan los datos correspondientes a las actividades de horneado.

Limpieza

Tabla 24. Datos Descriptivos de los Tiempos del Proceso de Limpieza

Actividad	Media (min)	Desv. Estándar (min)	Coefficiente de Variación
Separa Residuo del Empaque (por unidad)	0.065	0.008	0.128
Pelado de Empaque (por unidad)	0.126	0.022	0.175
Esmerilado Trompo-Interior (por unidad)	0.040	0.006	0.150
Esmerilado Trompo-Exterior (por unidad)	0.02	0.001	0.050

Horneado

Tabla 25. Datos Descriptivos de los Tiempos del Proceso de Horneado

Actividad	Media (min)	Desv. Estándar (min)	Coefficiente de Variación
Montar piezas al Horno (batch)	10.010	2.555	0.255
Desmontar Horno (por unidad)	0.020	0.002	0.105

Las tolerancias para estas actividades, de acuerdo a las bases establecidas en la Tabla 2 de la sección 2.1.1.3, al igual que los tiempos estándar correspondientes a cada actividad se presentan en la, Tabla 26 y Tabla 27 respectivamente.

Limpieza

Tabla 26. Tiempos Estándar de las Actividades del Proceso de Limpieza

Actividad	Tiempo Medido (min)	Tolerancia (%)	Tiempo Estándar (min)
Separar Producto de Empaque (c/u)	0.07	15%	0.011
Pelado de Empaque (c/u)	0.13	15%	0.14
Esmerilado Trompo-Interior (c/u)	0.04	15%	0.05
Esmerilado Trompo-Exterior (c/u)	0.02	15%	0.03

Horneado

Tabla 27. Tiempo Estándar de las Actividades del Proceso de Horneado

Actividad	Tiempo Medido (min)	Tolerancia (%)	Tiempo Estándar (min)
Montar (batch)	10.01	12%	11.214
Horneado	120.00	-	120
Desmontar (c/u)	0.02	15%	0.003

3.3. Estudio del Sistema de Producción

Para analizar el desempeño actual del sistema de producción, se realizó un análisis mediante un estudio de simulación. Para la construcción del modelo de simulación que representa el sistema de producción, se llevaron a cabo los pasos necesarios, de acuerdo a lo descrito en la sección 2.3.3.

La etapa de formulación del problema y la formulación del plan del proyecto corresponden a las necesidades por las cuales se lleva a cabo este proyecto de Tesis, lo cual se encuentra detallado dentro del Capítulo I.

Como se estableció en la sección 3.2.1, de acuerdo a la grafica de Pareto, existe un producto en particular que representa una proporción significativa de la producción total de la Empresa. El modelo de simulación desarrollado se enfoca en las actividades que se realizan para generar este producto.

3.3.1. Conceptualización del Modelo de Simulación

La recolección de datos para la simulación de los elementos aleatorios del sistema corresponde al estudio de tiempos de los procesos productivos detallado

en la sección 3.2., mientras que la conceptualización del modelo nace a partir del análisis del sistema de producción y el levantamiento de procesos (Capítulo III).

3.3.1.1. Distribuciones de los Tiempos para la Simulación

De acuerdo a los pasos para la construcción de un modelo de simulación de un sistema productivo es necesario traducir la información obtenida en la recolección de información a un lenguaje que pueda ser entendido por el programa que va a ser utilizado para el análisis.

Para el presente estudio se va a trabajar con Arena®, programa desarrollado por Rockwell Software. Arena® trabaja mediante un diseño en base a objetos llamados módulos, que permiten la conceptualización gráfica del sistema, donde se secuencian lógicamente los componentes físicos involucrados en el estudio (máquinas, operarios) por los cuales fluyen las entidades del sistema (producto). Estos módulos manejados por Arena® incluyen aspectos específicos de manufactura y manejo de materiales. El manejo de los módulos se realiza dentro de plantillas, las cuales recopilan la información del sistema, la lógica del modelo, medidas de desempeño, y adicionalmente el programa permite realizar animaciones del modelo en estudio (Banks 123).

Para utilizar Arena®, es necesario ingresar las distribuciones que describen las variables aleatorias correspondientes a los datos del estudio de tiempos de producción con sus respectivos parámetros. Es por eso que mediante la aplicación "Input Analyzer" de Arena® se analizaron los tiempos medidos durante la etapa de determinación de tiempos estándar para establecer las distribuciones que siguen los tiempos de cada actividad.

Esta aplicación permite generar distribuciones compuestas que se ajustan a los datos que se ingresan como entradas al programa y adicionalmente, muestra los resultados correspondientes a las pruebas de bondad de ajuste Chi-cuadrado y Kolmogorov-Smirnov para las respectivas distribuciones encontradas. Las pruebas de bondad de ajuste se utilizan para probar la hipótesis de que una distribución correspondiente a un componente aleatorio se ajusta de manera

satisfactoria a los datos de dicho componente (Banks 327). La prueba Kolmogorov-Smirnov resulta mejor cuando se poseen pocos datos, mientras que la prueba Chi-Cuadrado tiene un mejor desempeño cuando se tienen muestras grandes (Banks 332).

Mediante esto se logró determinar las distribuciones que siguen cada una de las actividades que fueron analizadas durante el estudio de tiempos, las cuales se encuentran relacionadas con la producción de empaques por medio de tubos. Además, de la misma forma se determinaron las distribuciones para el número de piezas resultantes luego del proceso de corte y el número de piezas agrupadas para el proceso de horneado.

Hay que tomar en cuenta que para la simulación fue necesario separar cada una de las estaciones de trabajo y establecer para cada una la distribución de sus tiempos de proceso correspondientes.

A continuación se presenta, a manera de ejemplo, el análisis de modelamiento de la distribución de probabilidad para tres componentes aleatorios del sistema a simular realizados con la ayuda del Input Analyzer. Para cada variable aleatoria se presentan el tipo de distribución que esta sigue, sus parámetros descriptivos, el error que se presenta durante el ajuste, el valor p correspondiente al estadístico de prueba (para las muestras grandes se utiliza el valor p de la prueba Chi-cuadrado, y para aquellas con pocos datos se utiliza el valor p de la prueba Kolmogorov-Smirnov), y adicionalmente ciertas estadísticas descriptivas como la media y la desviación estándar de la muestra en estudio. Esta información se encuentra acompañada con la representación gráfica de la distribución de los datos (histograma) y la curva que mejor se ajusta a los mismos (Figuras 8 a 10). El análisis de las demás distribuciones correspondientes a los restantes componentes aleatorios se presenta en el ANEXO D1.

Tiempo de Proceso de Extrusión Estación 1

Es el tiempo que se demora en extruir la materia prima en la Estación 1

Distribución:	Erlang
Expresión:	$2.77 + \text{ERLA}(0.112, 5)$
Error Cuadrático:	0.008623
Valor p	= 0.331
Promedio de la Muestra	= 3.33
Desv. Est de la Muestra	= 0.259

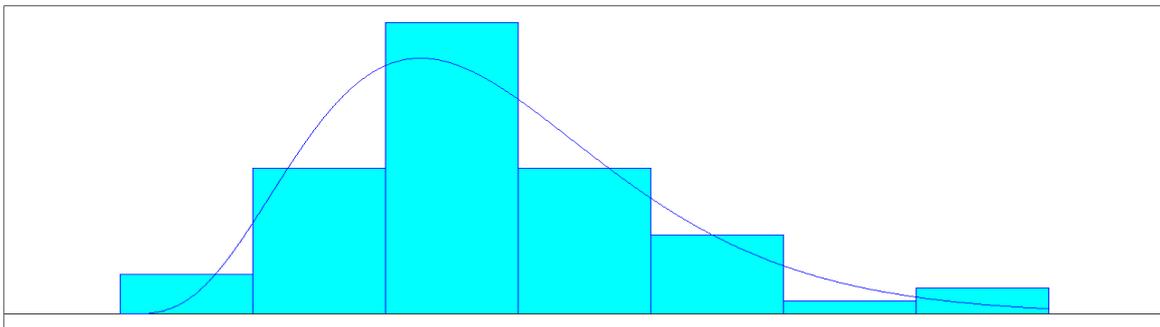


Figura 8. Distribución Para Extrusión Estación 1

Número de Piezas de Corte

Es el número de piezas que salen del proceso de corte

Distribución:	Poisson
Expresión:	$\text{POIS}(19.9)$
Error Cuadrático:	0.837962
Valor p	< 0.005
Promedio de la Muestra	= 19.9
Desv. Est de la Muestra	= 0.43

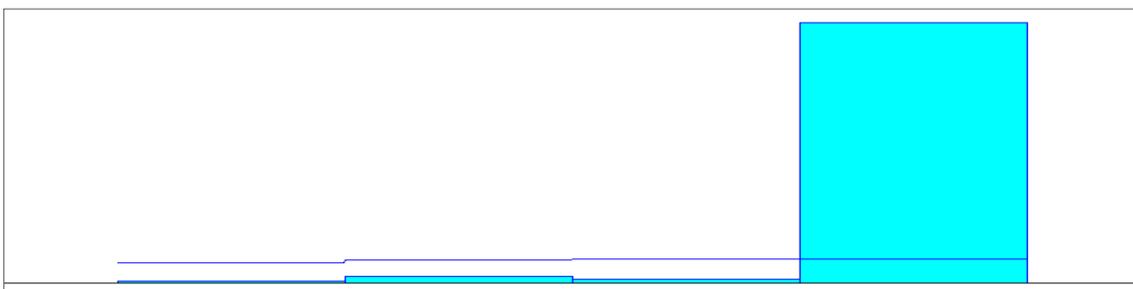


Figura 9. Distribución del Número de Piezas que Genera el Proceso de Corte

Proceso de Horneado

Tiempo en Montar Piezas al Horno

Es el tiempo que toma en montar el lote de piezas al Horno.

Distribución:	Triangular
Expresión:	TRIA(6, 8.7, 15)
Error Cuadrático:	0.008617
Valor p	> 0.15
Promedio de la Muestra	= 10
Desv. Est de la Muestra	= 2.56

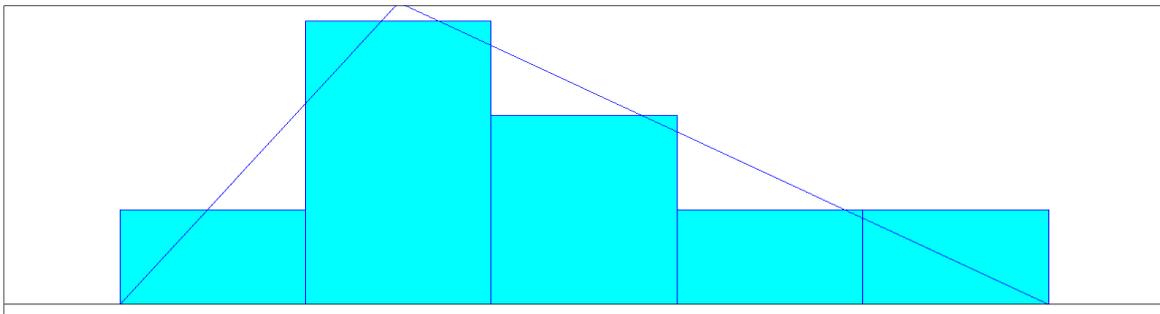


Figura 10. Distribución del Tiempo de Montado de Piezas al Horno

La Tabla 28 a continuación presenta las distribuciones que se obtuvieron para todos los componentes aleatorios correspondientes a las actividades del proceso en estudio.

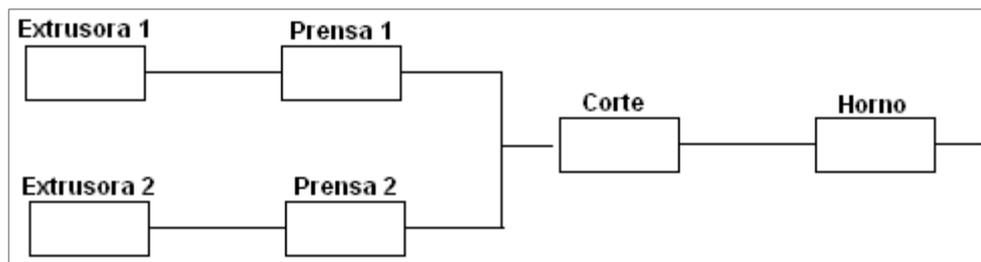
Tabla 28. Resumen de las Distribuciones para la Simulación	
Elemento Aleatorio	Distribución (Expresión)
Extrusión	
Tiempo Extrusión Mq1	$2.77 + \text{ERLA}(0.112, 5)$ min.
Tiempo Extrusión Mq2	$2.38 + \text{GAMM}(0.0764, 5.28)$ min.
Prensado	
Tiempo Montar Prensa 1	$0.16 + \text{WEIB}(0.129, 3.47)$ min.
Tiempo Montar Prensa 2	$0.22 + \text{LOGN}(0.0995, 0.0458)$ min.
Tiempo Prensado-Prensa 1	$3.55 + 1.15 * \text{BETA}(2.13, 2.05)$ min.
Tiempo Prensado-Prensa 2	$3.28 + \text{GAMM}(0.0891, 4.23)$ min.
Tiempo Desmoldar 1	$0.23 + \text{LOGN}(0.207, 0.084)$ min.
Tiempo Desmoldar 2	$0.26 + \text{WEIB}(0.179, 2.8)$ min.
Corte	
Tiempo Preparación Tubo	$0.47 + \text{WEIB}(0.395, 2.06)$ min.
Tiempo Acoplar Tubo	$\text{BETA}(4.1, 2.73136)$ min.
Tiempo Corte	$\text{UNIF}(0.86, 2.27)$ min.
# de Piezas Corte	$\text{POIS}(19.9)$
Horneado	
Tiempo Montar Horno	$\text{TRIA}(6, 8.7, 15)$ min.
Tiempo Desmontar Horno	$0.01 + 0.01 * \text{BETA}(4.56, 4.37)$ min.

# de Unidades Horneado	DISC(0.143, 2500, 0.571, 3000, 0.714, 3500, 0.857, 4000; 1, 5000)
------------------------	---

3.3.2. Construcción de la Lógica del Modelo

Gracias a la información obtenida mediante el levantamiento de procesos y el estudio de tiempos se procedió a construir la lógica del modelo de simulación para el sistema de producción. Se consideró el sistema desde la llegada de producto a la primera estación de trabajo (extrusión) hasta la salida de la línea luego del horneado.

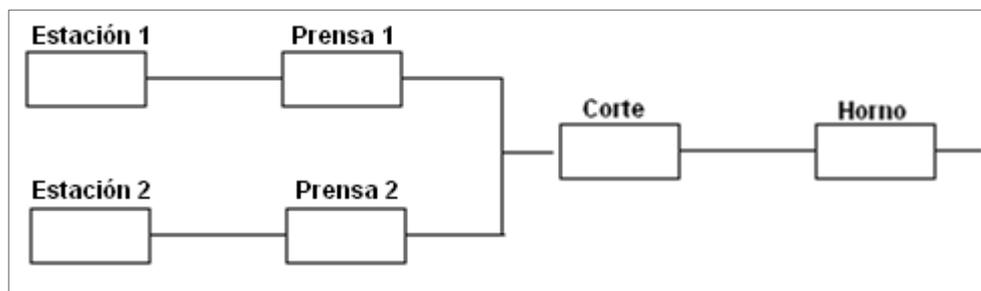
El sistema de producción para la elaboración de Empaques por medio de tubo se observa en la Figura 11 (esta figura representa la secuencia de actividades no el layout de la planta, éste se muestra en el ANEXO E).



Generación Propia

Figura 11. Representación del Sistema de Producción

Para el modelamiento de la lógica de la simulación, el sistema se va a considerar de acuerdo a lo que se muestra en la Figura 12

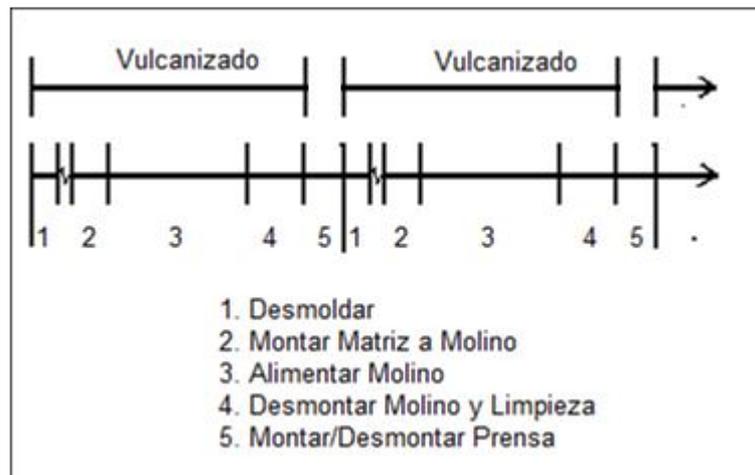


Generación Propia

Figura 12. Representación del Sistema de Producción para la Simulación

En este modelo, representado en la Figura 12, lo que se considera como Estación 1 y Estación 2 incluye todas las actividades secuenciales que se desarrollan en

paralelo al tiempo de vulcanizado de las partes que anteriormente han pasado por la extrusión (incluyendo el tiempo de extrusión del siguiente tubo en la secuencia). La secuencia se presenta a continuación en la Figura 13.



Fuente: Generación Propia

Figura 13. Secuencia de Actividades dentro de la línea Extrusión - Vulcanizado

Además para facilidad de identificación, cuando sea requerido, va a ser considerado como Línea 1 las entidades Estación 1 y Prensa 1 y como Línea 2 las entidades Estación 2 y Prensa 2.

De acuerdo a estas consideraciones, la lógica del modelo a ser simulado mediante Arena® se presenta en el ANEXO F.

3.3.3. Establecimiento de los Parámetros de la Simulación

Para las corridas de simulación se consideraron los siguientes parámetros:

Longitud de Corrida

De acuerdo a políticas internas de la Empresa, la jornada laboral es de ocho horas por día de trabajo durante cinco días laborables. La producción se programa para realizar entregas parciales o totales de los productos al finalizar al menos una semana de trabajo (A. C. Chiriboga).

Por este motivo, en el presente estudio se considera una simulación con terminación de tal forma que:

Longitud de una corrida: 1 semana (40 horas de trabajo).

Con esto se consigue que la producción se mantenga continua a lo largo de una semana, donde se permite que luego de ocho horas laborables el sistema quede cargado (con producto por procesar). Consecuentemente, al ser una simulación con terminación, al inicio de la siguiente semana el sistema se encontrará vacío y listo para una nueva semana de producción.

Número de Replicaciones

El número de replicaciones establecido busca encontrar la producción promedio de un trimestre de trabajo (3 meses o 12 semanas de trabajo), debido a que este es el período en el cual se realizan controles periódicos de la producción. Por lo tanto, en la presente simulación se realizan 12 replicaciones del modelo.

3.3.4. Verificación del Modelo

La verificación de acuerdo a lo que establece Banks (16) consiste en determinar si el modelo se encuentra listo para funcionar, esto quiere decir que se encuentra libre de errores que limiten su corrida.

Mediante ensayos de prueba y error se comprobó que el modelo representado en el ANEXO F se encuentra en condiciones para operar sin fallas.

Lograda la verificación del modelo se realizaron las primeras corridas para obtener información del sistema.

3.3.5. Validación

La validación del modelo de simulación corresponde a la comprobación de que la lógica utilizada en la construcción del modelo es lo suficientemente capaz para predecir el comportamiento del sistema real (Banks 363).

Para la validación del sistema se puede considerar al modelo como un sistema de transformación entrada-salida, donde el modelo recibe parámetros de información (distribuciones de los componentes aleatorios) y transforma estas entradas en variables medibles de rendimiento (Banks 364).

Para la validación de los datos obtenidos mediante la simulación, se va a considerar como variable de rendimiento la producción semanal promedio que alcanza la planta. Como parámetro de comparación se van a manejar los registros históricos de la producción correspondiente al producto en estudio. Estos datos corresponden a los últimos 15 meses de producción, desde enero del 2008 hasta marzo del 2009 (A. C. Chiriboga). Cabe señalar que los datos que se toman en cuenta de estos registros son aquellos relacionados únicamente con el Empaque en estudio. Aquellas jornadas laborales donde se realizaron otros productos o se secuenció la producción del Empaque con otro producto fueron excluidas para obtener producción de jornadas completas.

Este registro histórico que se mantiene contempla la producción alcanzada en cada una de las estaciones de trabajo y por cada operador, también incluye el volumen de ventas mensuales alcanzadas por la Empresa.

El resumen de los datos correspondientes al registro histórico y a la salida de la simulación para el número de unidades producidas en una semana (rendimiento del sistema) se presenta en la Tabla 29.

Tabla 29. Datos de Rendimiento del Sistema por Registro Histórico y por Simulación

Estación	Rendimiento del Sistema	
	Registro Histórico (u/semana)	Simulación (u/semana)
Línea 1	$\bar{x} = 275.4$ $S = 13$	$\bar{x} = 269.8$ $S = 0.622$
Línea 2	$\bar{x} = 402.2$ $S = 10$	$\bar{x} = 297.4$ $S = 0.669$

Corte	$\bar{x} = 613.3$ $S = 28$	$\bar{x} = 620.3$ $S = 0.754$
--------------	-------------------------------	----------------------------------

Con estos datos se realizó una prueba de hipótesis para la comparación de medias con la ayuda del software estadístico Minitab®. Para este análisis se utilizó una prueba t de dos muestras con un nivel de confianza del 95%. En el ANEXO G se muestran las pruebas de validación de las suposiciones para este análisis como son la prueba de independencia de las variables y la de igualdad de varianzas de las muestras de datos.

De la prueba de independencia (ANEXO G1) se confirma que las variables correspondientes a cada una de las muestras son independientes al no presentar patrones de comportamiento en sus respectivos diagramas de dispersión (Montgomery 184). De la prueba de igualdad de varianzas (0) se obtiene que las varianzas de las muestras en comparación no son iguales, esto se evidencia en los valores p de las pruebas que son menores al nivel de confianza, por lo que para el análisis en Minitab®, al momento de llevar a cabo las pruebas t, se asumen varianzas diferentes para las muestras en estudio.

Línea 1 (Estación 1 y Prensa 1)

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Con un valor $P=0.263$ se tiene que no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Con lo cual se asume que las medias no son distintas y que los datos de la simulación representan los datos reales de producción.

Los datos correspondientes a la prueba t de dos muestras para la igualdad de medias del rendimiento real y simulado de la Línea 1 se presentan a continuación en la Tabla 30.

Tabla 30. Prueba t de dos muestras usando Minitab® para la comparación del Rendimiento de la Línea 1

N	Mean	StDev	SE Mean
---	------	-------	---------

Línea 1 real	8	275.4	13.1	4.6
Línea 1 sim	12	269.750	0.622	0.18

Difference = mu (Línea 1 real) - mu (Línea 1 sim)

Estimate for difference: 5.62500

95% CI for difference: (-5.31049, 16.56049)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 1.22 P-Value = 0.263 DF = 7

Línea 2 (Estación 2 y Prensa 2)

$H_0: \mu_1 = \mu_2$

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

Con un valor $P=0.000$ se concluye que se debe rechazar la hipótesis nula. Con lo cual no es posible asumir que las medias son iguales y que los datos de la simulación no representan los datos reales de producción, por lo que es necesario revisar los datos correspondientes a las actividades desarrolladas en la Estación 2 y la Prensa 2.

Los datos correspondientes a la prueba t de dos muestras para la igualdad de medias del rendimiento real y simulado de la Estación 2 y la Prensa 2 se presentan a continuación en la Tabla 31.

Tabla 31. Prueba t de dos muestras usando Minitab® para la comparación del Rendimiento de la Línea 2

	N	Mean	StDev	SE Mean
Línea 2 real	12	402.17	9.97	2.9
Línea 2 sim	12	297.417	0.669	0.19

Difference = mu (Línea 2 real) - mu (Línea 2 sim)

Estimate for difference: 104.750

95% CI for difference: (98.400, 111.100)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 36.31 P-Value = 0.000 DF = 11

Corte

$H_0: \mu_1 = \mu_2$

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

Con un valor $P=0.714$ se tiene que no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Con lo cual se asume que las medias no son diferentes y que los datos de la simulación representan los datos reales de producción.

Los datos correspondientes a la prueba t de dos muestras para la igualdad de medias del rendimiento real y simulado del Corte se presentan a continuación en la Tabla 32

Tabla 32. Prueba t de dos muestras usando Minitab® para la comparación del Rendimiento del Corte

	N	Mean	StDev	SE Mean
Corte real	3	613.3	28.4	16
Corte sim	12	620.250	0.754	0.22

Difference = mu (Corte real) - mu (Corte sim)
 Estimate for difference: -6.91667
 95% CI for difference: (-77.54990, 63.71656)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.42 P-Value = 0.714 DF = 2

Debido a que la simulación no genera datos fiables para la representación del desempeño de la Línea 2, es necesario revisar el modelo propuesto para esta estación.

3.3.5.1. Corrección de los Datos del Modelo de Simulación

Debido a la adecuación de la Línea 1 y Corte para generar datos capaces de representar la realidad, para la corrección del modelo de simulación se realizaron controles de la lógica de la simulación para la Línea 2 y las distribuciones de los componentes aleatorios correspondientes.

Inicialmente se consideró una sola distribución para los tiempos totales correspondientes a las tres actividades involucradas en extrusión. Luego de un análisis más profundo, se determinó que era necesario separar estos tres componentes y considerarlos independientemente.

Esta modificación de la lógica del modelo no generó beneficios a la tasa de producción de la Línea 2, por lo que se realizó un análisis de los datos de tiempos correspondientes a estos componentes aleatorios.

Del análisis de los datos correspondientes a los componentes aleatorios se determinó que se debería aplicar un factor de corrección de reducción del 5% a los tiempos medidos correspondientes a cada uno de estos componentes aleatorios (ANEXO H).

La Tabla 33 recopila los datos previos a la validación y los nuevos datos con las correcciones correspondientes a la Línea 2.

Tabla 33. Rendimiento de la Línea 2 luego de la Validación

Estación	Rendimiento		
	Simulación Inicial (u/semana)	Simulación Corregida (u/semana)	Registro Histórico (u/semana)
Línea 2	$\bar{x} = 298$ S = 0.669	$\bar{x} = 396.42$ S = 0.669	$\bar{x} = 402.2$ S = 10

Con estos nuevos datos, la prueba t de comparación de las medias con un nivel de significancia del 95% nos indica que con un valor $p=0.072$ se tiene que no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Con lo cual se asume que las medias no son diferentes y que los datos de la simulación representan los datos reales de producción.

Los datos correspondientes a la prueba t de dos muestras para la igualdad de medias del rendimiento real y simulado de la Línea 2 luego de la validación se presentan a continuación en la Tabla 34.

Tabla 34. Prueba t de dos muestras usando Minitab® para la comparación del Rendimiento de la Línea 2 con datos Validados

	N	Mean	StDev	SE Mean
Línea 2 real	12	402.17	9.97	2.9
Línea 2 sim	12	396.417	0.669	0.19

Difference = mu (Línea 2 real) - mu (Línea 2 sim)
 Estimate for difference: 5.75000
 95% CI for difference: (-0.59960, 12.09960)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 1.99 P-Value = 0.072 DF = 11

Las nuevas distribuciones de los componentes aleatorios correspondientes a las actividades de la Línea 2 luego de la corrección se presentan en la Tabla 35

Tabla 35. Distribuciones Correspondientes a los datos Corregidos de la Línea 2

Proceso/ Actividad	Distribución (Expresión) Min
Extrusión	
Acoplar extrusora	$0.17 + 0.25 * \text{BETA}(6.1, 6.87)$
Alimentar	$1.08 + \text{LOGN}(0.259, 0.108)$
Desmontar	$0.31 + 0.45 * \text{BETA}(5.51, 7.36)$
Prensado	
Montar Prensa 2	$0.17 + \text{GAMM}(0.0142, 5.09)$
Prensado-Prensa 2	$2.49 + \text{GAMM}(0.0667, 4.34)$
Desmoldar 2	$\text{NORM}(0.319, 0.0469)$

3.3.6. Análisis del Rendimiento Actual del Sistema de Producción

Considerando las correcciones al modelo de simulación que se presentan en la sección 3.3.5.1, y manteniendo la lógica del modelo que se muestra en la sección 3.3.2, se corrió el modelo de acuerdo a sus parámetros de corrida de 12 replicaciones de una semana completa de producción (40 horas). A continuación se presenta un resumen del análisis que se llevó a cabo para los resultados que se obtuvieron.

3.3.6.1. Determinación de las Medidas de Desempeño

Se determinaron como medidas de desempeño del sistema de producción a la tasa media de producción semanal (rendimiento medio) y a la utilización de los recursos (porcentaje del tiempo disponible que el recurso se encuentra utilizado).

3.3.6.2. Evaluación de las Medidas de Desempeño

De los resultados obtenidos en la simulación, se observa que el sistema bajo las condiciones actuales de producción está en capacidad de alcanzar una tasa de producción semanal de 11.020 ± 136.4 empaques. De acuerdo al proceso, dentro

de las Líneas 1 y 2 la unidad de producto es el tubo, que luego del corte se convierte en empaque.

Al analizar la tasa de producción de cada recurso, se observan los siguientes resultados (Tabla 36).

Tabla 36. Rendimiento Promedio por Estación de Trabajo

Estación	Producción
Línea 1	265.75 ± 0.39 u/semana
Línea 2	396.42 ± 0.5 u/semana
Corte	635.33 ± 0.41 u/semana*
Horno	11020 ± 136.4 empaques/semana

* De Corte se obtiene que cada unidad (tubo) se divide en 20 empaques, lo que significa 12760 empaques a la semana

La Línea 1 evidencia una clara inferioridad respecto a la capacidad de rendimiento de la Línea 2, la cual alcanza una tasa de producción 49.43% mayor. Esta diferencia de capacidad entre las dos líneas genera una mayor variabilidad en los tiempos de arribo de producto de la estación de corte, lo cual implica llegada de productos en tipo ráfagas en ciertos momentos de la producción. Este arribo variable a la estación de corte hace que se creen colas de producto en proceso en ciertos periodos y tiempos inactivos largos entre los períodos de actividad.

Esta variabilidad de los tiempos de arribo, además, genera que la tasa de producción por parte de la estación de corte sea inferior a la tasa de producción de las dos líneas que la alimentan, afectando al rendimiento del Sistema Productivo, existe un 4% de producto que no logra pasar la estación de corte.

Aún cuando la estación de corte se encuentra alimentada por dos estaciones predecesoras y no procesa todo el producto que arriba, esta no se convierte en cuello de botella, ya que la utilización de la misma, por los tiempos de procesos cortos, le da cierta flexibilidad frente a sus predecesoras las cuales mantienen un tiempo de proceso y utilización más alta (Tabla 37).

Además de la información presentada en la Tabla 36, se evidencia que el horno no se encuentra procesando los productos a la misma tasa que la estación de corte, lo que genera que la tasa de producción del sistema se encuentre limitada.

Este limitante del sistema productivo en su última etapa (horneado) se debe a las condiciones actuales de la lógica presente en el modelo de simulación del sistema, donde siempre se espera que se forme un lote de al menos 3000 empaques (150 tubos) para utilizar el horno. Esto implica que se generen colas de espera y producto sin procesar al finalizar una semana de producción (una corrida del modelo). Lo que lleva a que el horno mantenga una utilización de tan solo el 22.3%.

La Tabla 37 a continuación presenta las utilizaciones de los diferentes recursos del sistema de producción.

Tabla 37. Utilización de las Estaciones de Trabajo y Operarios

Máquina/Operario	Utilización
Extrusora 1	37.22%
Prensa 1	94.93%
Operario 1	100.00%
Extrusora 2	34.65%
Prensa 2	94.54%
Operario 2	100.00 %
Desmoldadora	10.04%
Moladora (corte)	64.08%
Operador Corte	79.11%
Horno	22.03%
Operador de Horno	2.03%

De acuerdo a estos resultados (Tabla 37) se obtiene que las estaciones cuello de botella en el sistema de producción de empaques se encuentran ubicadas en el proceso de Vulcanizado que involucra las prensas para cada línea. Se conoce como cuello de botella a aquella máquina o recurso que limita la producción del sistema (Hopp y Spearman 218).

Es necesario tomar en cuenta que la capacidad de la estación que, de acuerdo al análisis de utilización de los recursos, se está considerando como cuello de botella se encuentra relacionada directamente a la capacidad de la Extrusora. Esto se debe a las condiciones que deben existir para que el proceso fluya continuamente y no se afecte a la calidad del producto. El tiempo que el producto pasa dentro de la Prensa, como se estableció en la sección 3.3.2 es el mismo que transcurre mientras se llevan a cabo las actividades dentro de la estación de

Extrusión, por lo que las condiciones de operación de las prensas pueden ser modificadas para adaptarse al tiempo de las actividades previas al vulcanizado.

Para que el producto (caucho) alcance el punto donde consigue ser vulcanizado, requiere ser sometido a una temperatura mínima de 180 grados centígrados a partir de la cual se puede modificar el tiempo de exposición y la temperatura para alcanzar el punto en que el material adquiere las cualidades necesarias (E. Chiriboga). Esto quiere decir que a menor tiempo en la estación de Extrusión, se puede mejorar la tasa de producción de la Prensa ajustando los factores de operación a las nuevas condiciones del proceso, aumentar la temperatura y exponer al producto a un menor tiempo de vulcanizado.

Por otro lado, adicionalmente, se evidencia una altísima ocupación (100%) de los operarios de las Líneas 1 y 2, esto se debe al tipo de actividades y el número de actividades que cada uno debe cumplir. Estos manejan las actividades que se llevan a cabo en la estación de Extrusión y de Prensado.

Además, el operador de limpieza, encargado de montar y desmontar el horno, mantiene una utilización mínima (2.03%). Esta baja utilización se debe a dos factores, el primero es que el operador de limpieza realiza actividades dentro de la Empresa que no pertenecen a la línea de estudio y segundo se tiene los tiempos de espera (ciclos largos) hasta repetir el proceso de montado de piezas al horno y el desmontado del mismo.

De acuerdo a este análisis, es evidente que las condiciones de producción no son las más favorables, lo que permite llevar a cabo cambios al sistema para buscar un escenario de producción que genere mayor rendimiento con una mejor utilización de los recursos. Esto se detalla a continuación en el Capítulo IV, donde se presenta una propuesta de mejora al sistema.

4. CAPITULO IV – PROPUESTA DE MEJORA

4.1. Comportamiento de Sistemas de Manufactura

De acuerdo a lo obtenido en la sección 3.3.6, se observa que se pueden llevar a cabo mejoras en dos sectores de la línea productiva. Una opción es centrar los esfuerzos en mejorar el cuello de botella mientras que la otra opción es centrar los esfuerzos en las máquinas que sin ser cuellos de botella, se encuentran relacionadas con el desempeño del recurso cuello de botella, o se afectan por la mejora en el cuello de botella.

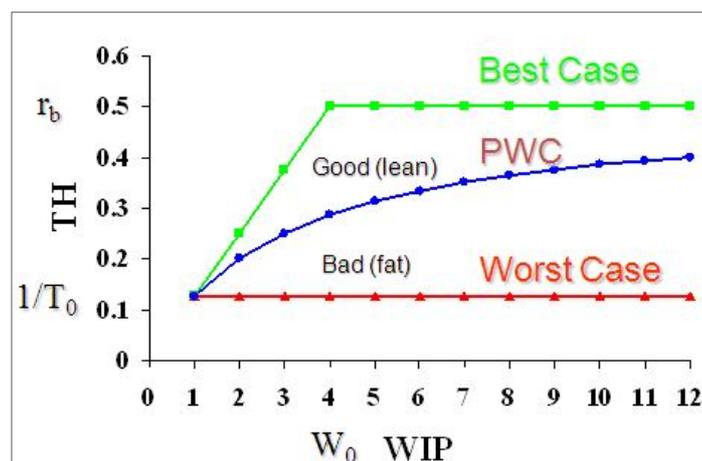
Teóricamente, el desempeño de todo sistema de manufactura va a encontrarse en un rango limitado por su mejor escenario productivo y por su peor escenario productivo. Adicionalmente, se puede establecer un punto de referencia (el peor escenario práctico) que discrimine entre sistemas de producción con un desempeño aceptable y un desempeño inaceptable, por lo que es necesario definir qué tipo de esfuerzo de mejora conviene más al desempeño del sistema producción (Hopp y Spearman 221).

De acuerdo a Hopp y Spearman (232) se conoce como el Mejor Escenario de Desempeño (BC – Best Case Performance) al escenario ideal para un sistema de producción el cual opera sin variabilidad y en el cual además se logra alcanzar el rendimiento máximo para un nivel de WIP (producto en proceso) dado. Además, el Peor Escenario Práctico de Desempeño (PWC – Practical Worst Case Performance) es el escenario que implica máxima aleatoriedad del sistema y permite establecer una referencia del estado actual del sistema (ver Figura 14) y por último el Peor Escenario (WC – Worst Case) es aquel en el cual las condiciones del sistema hacen que se alcance el mínimo rendimiento posible con un tiempo de ciclo máximo.

Para evaluar estos escenarios es necesario conocer la tasa cuello de botella r_b (tasa de de la estación con mayor utilización a largo plazo), el tiempo de ciclo T_0 (suma de los promedios a largo plazo de los tiempos de cada estación de trabajo en línea) y el WIP crítico W_0 (nivel de WIP con el cual una línea que no tiene

congestión puede alcanzar el máximo rendimiento con el mínimo tiempo de ciclo) (Hopp y Spearman 219).

En la Figura 14 se pueden observar los tres escenarios de desempeño antes mencionados donde se aprecia el rendimiento (tasa de producción) que en teoría se alcanzaría con respecto a un nivel de WIP específico para cada uno de ellos. Esta representación se convierte en un marco de referencia en el cual se puede evaluar el desempeño real del sistema. En este marco de referencia, cualquier tasa de producción evaluada para un sistema que se encuentre entre el BC y el PWC se considera como buena, mientras que el desempeño real evaluado (tasa de producción) que se encuentre entre en el PWC y el WC se considera como malo (Hopp y Spearman 234).



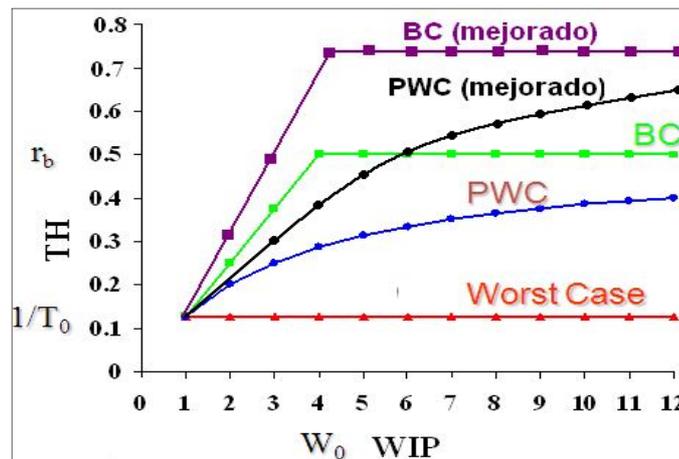
Fuente: (Hopp y Spearman 234)

Figura 14. Tasa de Producción vs Nivel de WIP

Aquellos sistemas que mantengan un desempeño que se encuentre dentro de la región considerada como mala deben ser manejados como prioritarios para realizar los esfuerzos de mejora, por otro lado aquellos sistemas ubicados en la región considerada como buena, no son prioritarios para un esfuerzo de mejora aún cuando dentro de la filosofía de mejora continua todo sistema puede y debe ser mejorado para alcanzar su mejor escenario teórico posible (Hopp y Spearman 235).

Sin importar la calificación del desempeño actual del sistema de producción, siempre se pueden considerar opciones de mejora. Por un lado, es posible centrar

los esfuerzos de mejora en la estación cuello de botella, lo que va a generar un cambio en la tasa de producción del sistema para todo nivel de WIP. Esto se debe principalmente a que la tasa de producción limitante (r_b) de la capacidad del sistema va a aumentar. Esto se evidencia en la Figura 15 donde se observa como los escenarios BC y PWC cambian luego de haber realizado una mejora en la estación cuello de botella (Hopp y Spearman 236).

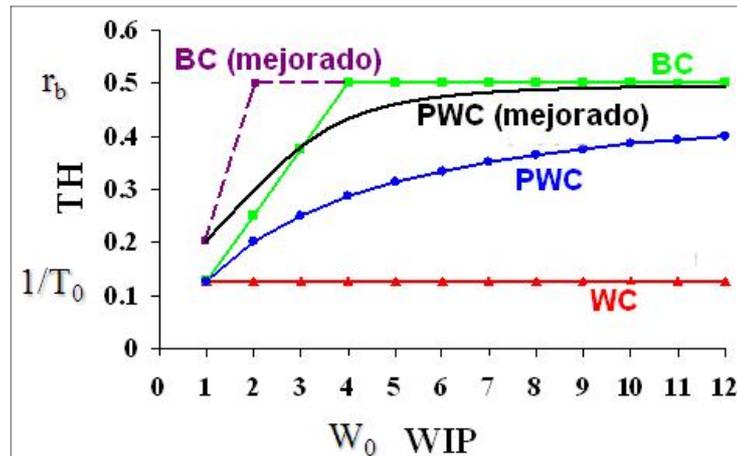


Fuente: (Hopp y Spearman 235)

Figura 15. Cambio de la Tasa de Producción por Incremento de la Tasa Cuello de Botella

Esta mejora enfocada en el cuello de botella, la cual se considera lo más recomendable con el fin de alcanzar mejoras significativas en el desempeño, no siempre es viable. Esto se da ya que para mejorar el cuello de botella es posible que sean necesarias modificaciones que impliquen la inversión de altas cantidades de dinero y recursos (Hopp y Spearman 235).

Sin embargo, hay que reconocer que el desempeño del sistema también puede mejorarse a partir de realizar modificaciones en otras estaciones que no son cuello de botella. El centrar los esfuerzos en las máquinas no cuello de botella, no produce un incremento en la capacidad límite del sistema (r_b), pero resulta en un aumento de la tasa de producción del sistema, especialmente para niveles bajos de WIP (Figura 16) (Hopp y Spearman 235).



Fuente: (Hopp y Spearman 235)

Figura 16. Cambio de la Tasa de Producción por Mejora de un Recurso No Cuello de Botella

De acuerdo a lo establecido en la sección 3.3.3, se conoce que el cuello de botella del proceso productivo se encuentra en el proceso de Vulcanizado que involucra las máquinas Prensa 1 y Prensa 2.

Por lo cual, para mejorar el rendimiento del sistema se puede trabajar directamente con las máquinas cuello de botella (Prensas), pero como se mencionó en la sección 3.3.6.2, estas dependen directamente del tiempo de proceso de las extrusoras, por esto, la mejora a ser analizada se encuentra enfocada en las máquinas no cuello de botella que es este caso tienen impacto directo en los recursos cuello de botella (E. Chiriboga).

4.2. Escenario de Mejora

Para lograr centrar el esfuerzo de mejora de tal manera que se generen los mayores beneficios es necesario analizar cada una de las estaciones de trabajo y sus máquinas para definir donde es necesario realizar los cambios de mejora.

Estación 1 y Estación 2

Mediante la intervención y modificación de las Estaciones 1 y 2 se puede lograr una reducción de variabilidad en el sistema de producción, y a su vez generar un aumento de capacidad.

El incremento de la capacidad, puede lograrse mediante la modificación de la Estación 1 para que esta alcance la capacidad de producción de la Estación 2. Esto implica realizar modificaciones a la Extrusora 1 (parte de Estación 1) para que pueda estar en capacidad de producción similar a la Extrusora 2 (parte de Estación 2).

Cualquier modificación en las Estaciones de trabajo 1 o 2 generaría un impacto directo en el cuello de cada línea.

Prensa 1 y Prensa 2

Como se estableció en la sección 4.1, el esfuerzo de mejora va a estar enfocado en las estaciones no cuello de botella. Por lo tanto, al ser estas los cuellos de botella de cada línea, la propuesta de mejora no estará enfocada directamente en estos recursos, sino en aquellos que las afectan.

Corte

Una mejora centralizada en la estación de Corte, no generará beneficios adicionales, ya que su capacidad actual (operario y máquina) se encuentra subutilizada. Además, esta estación se encuentra alimentada directamente por los cuellos de botella por lo que la tasa de producción del sistema no se va a ver afectada por el incremento de la capacidad de la estación de corte, si es que previamente no se realizan modificaciones a la tasa de producción del cuello de botella.

Horno

Centrar los esfuerzos en el horno, de igual forma que en el caso de la estación de corte, no se justifica. El horno tiene flexibilidad suficiente como para ser utilizado a lo largo de toda una jornada de trabajo para generar la producción requerida. La utilización del equipo alcanza el 22.03%, lo que implica que la máquina pasa hambrienta y sin trabajo cerca de cuatro quintos del tiempo total de producción.

4.2.1. Requerimientos del Sistema

Para alcanzar una mejora viable, mediante la cual se pueda alcanzar un mayor rendimiento del sistema (mejora de la tasa de producción), de acuerdo al análisis del sistema y por requerimientos presentados durante conversaciones con la Gerencia, se establece como propuesta de mejora el incremento de capacidad de la Línea 1 (línea de menor producción).

Dado el conocimiento que se obtuvo a partir de la simulación del sistema actual, el mejor desempeño de la Línea 2 se establecerá como punto de referencia para definir una tasa de producción deseada para la Línea 1. Esto quiere decir, que se buscarán cambios que permitan que la Línea 1 pueda igualar el rendimiento de producción que actualmente alcanza la Línea 2, la cual no será modificada.

Para las estaciones de Corte y Horneado, el rendimiento esperado se establece como la tasa de producción a la cual todos los trabajos que arriben desde las estaciones previas en el sistema puedan ser completados dentro de la semana de producción.

La Tabla 38 a continuación presenta los valores esperados de la tasa de producción a ser alcanzada por cada estación de trabajo una vez que se haya realizado las modificaciones propuestas al sistema.

Tabla 38. Tasa de Producción Esperada de la Nueva Configuración del Sistema

Estación	Tasa de Producción Mínima Esperada
Línea 1	410 tubos/semana
Línea 2	410 tubos/semana
Corte	820 tubos/semana
Horneado	16400 empaques/semana

Dados estos niveles deseados de producción semanal, es necesario evaluar los requerimientos mínimos de recursos que se necesitan para cada estación de trabajo para alcanzar el rendimiento esperado de producción. Para esta evaluación se utilizará el modelo matemático de Fracción de Equipo.

4.2.1.1. Fracción de Equipo

Como fracción de equipo se considera a la cantidad de recursos que se necesitan para realizar una operación requerida bajo condiciones específicas (Tompkins, White y Bozer 56). La fracción de equipo se obtiene al dividir el tiempo total requerido para efectuar la operación entre el tiempo disponible para completar la operación. En una aplicación general, el tiempo total requerido para completar la operación es el producto del número de veces que se realiza la operación y el tiempo estándar de esa actividad (Tompkins, White y Bozer 56).

Para calcular la fracción de equipo, de acuerdo a Tompkins y otros (57) se utiliza el siguiente modelo:

$$F = \frac{SQ}{ERH} \quad (5)$$

Donde:

F = el número de máquinas requeridas por turno

S = es el tiempo estándar (en minutos) por unidad producida

Q = el número de unidades que se van a producir por turno

E = el desempeño real, expresado como un porcentaje del tiempo estándar

H = la cantidad de tiempo (en minutos) disponible por máquina

R = la confiabilidad de una máquina, expresada como porcentaje de “tiempo de funcionamiento”

En el presente caso, si se considera la producción de una semana como un turno de producción, se tienen 2,400 minutos de trabajo, donde para las Líneas 1 y 2 se espera una producción de 410 unidades en cada una. Además, la producción esperada para Corte es de 820 unidades, lo que significaría cortar todas las unidades producidas en la Línea 1 y Línea 2. Para la estación de Horneado se espera que se procesen las 16,400 unidades en 5 lotes.

Considerando tiempos muertos durante la producción, se estima que las máquinas estarán disponibles el 90% del tiempo total.

Por otro lado, el desempeño real de cada máquina está dado como un porcentaje del desempeño estándar que se puede alcanzar. De esta manera se ha establecido que las máquinas operarán de manera regular al 90% de su velocidad estándar.

La Tabla 39 presenta los valores correspondientes a cada uno de estos parámetros y el resultado de la fracción de equipo requerida.

Tabla 39. Fracciones de Equipo para la Línea de Producción

Parámetro	Extrusora 1	Extrusora 2	Prensa 1	Prensa 2	Corte	Horno
S (min)	5.06	3.75	8.62	4.34	3.35	120
Q (uni)	410	410	410	410	820	5
E	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
H (min)	2400	2400	2400	2400	2400	2400
R	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
F (# de recursos)	1.05	0.78	1.80	.91	1.40	0.31
[F] (# de recursos)	2	1	2	1	2	1

De acuerdo a la Tabla 39, para generar un aumento en la producción actual de 613 tubos semanales a 820 tubos semanales (de 12,260 unidades a 16,400 unidades), considerando que todos los tubos cortados van a pasar por el horno antes del fin de la jornada, se requieren dos máquinas Extrusoras y dos Prensas para la Línea 1, y también son necesarias dos 2 recursos de Corte. La cantidad de recursos para la Línea 2 y Horno es suficiente para cumplir con la tasa de producción requerida.

4.2.2. Cambios en el Sistema

Tomando en consideración estos requerimientos de recursos para las diferentes estaciones, se determina que se deben realizar modificaciones al sistema actual para lograr satisfacer la tasa de producción esperada.

Extrusora 1

De acuerdo al modelo de Fracción de Equipo, la Línea 1 requeriría de dos máquinas Extrusoras. Actualmente se dispone de un sólo recurso en esta estación, y por lo tanto se debe analizar la conveniencia de aumentar un recurso adicional o modificar el que actualmente se dispone.

Con respecto a la primera opción, observando la determinación de la fracción de equipo para este recurso, se evidencia que un recurso adicional resultaría en una considerable subutilización dado que la relación entre tiempo requerido y tiempo disponible apenas excede la unidad (1.05). Por lo tanto, se determina que la mejor opción en este caso es modificar el recurso que actualmente se dispone.

Considerando lo expuesto recientemente, se debe analizar las condiciones de operación actual de la Extrusora de la Línea 1 con el fin de establecer posibles modificaciones que representen mejoras en su desempeño. Se logró determinar, con ayuda del Gerente, que la diferencia de los tiempos de proceso de esta máquina con respecto a la Extrusora de la Línea 2 es la distinta potencia del motor que mueve el molino, dado que la menor potencia obliga a que el proceso de alimentación del molino requiera de mayor tiempo, alargando así el tiempo total que pasa el producto dentro de la Línea 1.

Mediante un análisis realizado en conjunto con el Gerente, el molino de la Extrusora 1 puede ser adaptado a un nuevo motor de mayor potencia. Este incremento de potencia del motor es suficiente para que los tiempos de extrusión de la Estación 1 sean similares a los de la Estación 2, alcanzado de esta forma cumplir la tasa de producción esperada con un solo recurso.

Esta modificación corresponde a la mejora de un recurso no cuello de botella, cuyo efecto se describió en la sección 4.1 y será evaluada mediante simulación del sistema modificado más adelante.

Prensa 1

De acuerdo al modelo de Fracción de Equipo, la Línea 1 requeriría de dos Prensas. Actualmente se dispone de un sólo recurso en esta estación, y por lo tanto se debe analizar la conveniencia de aumentar un recurso adicional o modificar el que actualmente se dispone.

Considerando lo que se estableció anteriormente en la sección 3.3.6.2, el tiempo de proceso de la Prensa 1 y su tasa de producción se encuentran relacionados directamente con la Extrusora 1, por lo tanto, se determina que la mejor opción en este caso es modificar el recurso que actualmente se dispone en lugar de aumentar la capacidad de esta estación por medio de un recurso adicional.

Considerando lo expuesto recientemente, se debe analizar las condiciones de operación actual de la Prensa de la Línea 1 con el fin de establecer posibles modificaciones que representen mejoras en su desempeño.

Las Prensas trabajan bajo dos factores operacionales principales para poder completar el proceso de vulcanizado. El primero es la temperatura de exposición al material; para completar el vulcanizado se requiere que el producto sea sometido a una temperatura mínima de 180 grados centígrados. El segundo factor es el tiempo de exposición, el cual depende directamente de la temperatura establecida, a mayor temperatura se requiere menor tiempo de exposición (E. Chiriboga).

Tomando en consideración estos factores de operación de la Prensa, se puede realizar un ajuste de la temperatura de acuerdo a una nueva tasa de arribos de producto a la estación. Esta tasa va a depender del rendimiento de la Extrusora 1 la cual alimenta a la Prensa 1. Si se modifica la Prensa 1 para que opere en condiciones de temperatura y tiempo similares a la Prensa 2, se puede lograr la tasa de producción que cubra el rendimiento esperado y compense la fracción de equipo requerida dada por relación entre tiempo requerido y tiempo disponible en el análisis de Fracción de Equipo. Esta suposición de cumplimiento del rendimiento esperado se confirma ya que, de acuerdo al mismo análisis de Fracción de Equipo, la relación entre tiempo requerido y tiempo disponible para la

Prensa 2 establece que se requiere sólo una Prensa para completar la tasa de producción esperada.

Por lo tanto, esta modificación corresponde a la mejora de un recurso cuello de botella, cuyo efecto se describió en la sección 4.1 y será evaluada mediante simulación del sistema modificado más adelante.

Corte

De acuerdo al modelo de Fracción de Equipo, la estación de Corte requeriría de dos recursos para completar la tasa de producción esperada. Actualmente, se dispone de un operario y una máquina en esta estación (Moladora), por lo tanto se debe analizar la conveniencia de aumentar la capacidad, ya sea mediante la inclusión de un operario de apoyo adicional al que existe actualmente, o alternativamente como segunda opción, considerar la inclusión de una nueva máquina que requeriría de un nuevo trabajador para su operación. Para esto, es necesario analizar las actividades que corresponden a esta estación.

La estación de Corte consta de dos actividades macro, la primera es la de preparación del tubo para corte, la cual consiste en limpiar el producto para facilitar el proceso posterior; y, la segunda es el corte propiamente dicho, el cual involucra la adecuación del tubo a la Moladora y la actividad de corte (Sección 3.2.4). De estas actividades, se determinó que el tiempo requerido para la preparación del tubo representa el 40% del tiempo total del proceso de la estación. Esto implica que en la primera opción planteada previamente, el nuevo operario que sería asignado a la estación de Corte tendría la función de apoyar en la limpieza y preparación del tubo previo al corte, el cual ahora sería realizado por el operario regular quien tendría ésta como su única función.

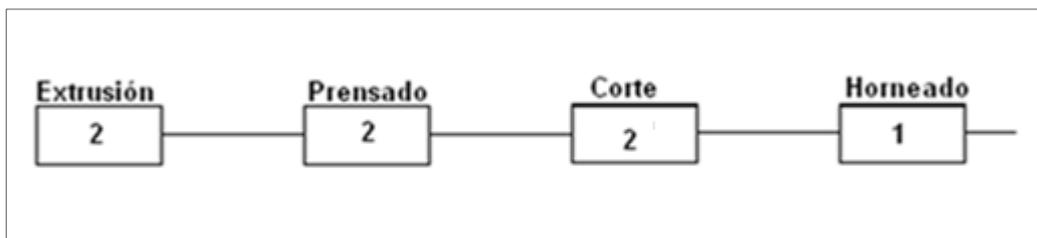
Estos dos escenarios serán considerados y evaluados mediante la simulación del sistema propuesto teniendo en consideración las modificaciones a la Extrusora 1 y Prensa 1. Este análisis buscará determinar que modificación genera un mayor beneficio en función del rendimiento del sistema de producción.

4.2.3. Construcción del Modelo

Establecidas las posibles modificaciones al sistema de producción actual, es necesario construir el modelo y su lógica correspondiente para evaluar cada una de las alternativas mediante simulación.

La propuesta de mejora en la Línea 1, donde se busca igualar los tiempos de producción de las dos máquinas Extrusoras y de las dos Prensas existentes en el sistema actual, permitirá entender al sistema como un sistema de producción en serie donde las estaciones de Extrusión, Prensado y Corte están compuestas por dos recursos cada una.

La representación gráfica del nuevo sistema, tomando en cuenta las modificaciones propuestas en la sección 4.2.2., puede ser observada en la Figura 17.



Fuente: Generación Propia

Figura 17. Propuesta del Nuevo Sistema de Producción

4.2.3.1. Parámetros de la Simulación

Los escenarios que van a ser evaluados a continuación, consideran los siguientes parámetros de corrida para la simulación.

Longitud de Corrida

Al igual que para el modelo inicial, se establece una longitud de corrida del modelo de simulación de 1 semana (40 horas de trabajo).

Número de Replicaciones

Similarmente, el número de replicaciones se mantiene en 12, lo que intenta representar la producción promedio de un trimestre de trabajo (3 meses o 12 semanas de trabajo), período en el cual se realizan controles periódicos de la producción por parte de la Empresa.

4.2.4. Análisis de las Alternativas Propuestas

En función de los cambios planteados en la sección 4.2.2., se establecieron dos escenarios alternativos que serán evaluados mediante simulación para determinar aquel con el cual se obtiene el mejor desempeño para el sistema de producción en función del rendimiento alcanzado y la adecuada utilización de los recursos.

4.2.4.1. Escenario 1

Este escenario considera el sistema de producción que se presentó en la Figura 17. La particularidad en el Escenario 1 es que para la estación de Corte, se toma en cuenta la alternativa planteada de contratar únicamente a un operario de apoyo quien se encargará de las actividades de preparación de los tubos de caucho que serán cortados en esta estación de trabajo. Como se mencionó anteriormente, esto hace que el operario regular de la estación de trabajo deba enfocarse únicamente en las actividades de corte. Esto pretende aumentar la tasa de producción de la estación de trabajo para alcanzar el objetivo de rendimiento impuesto para la línea.

Luego de correr las doce replicaciones para la simulación de esta alternativa, se observa que existiría un aumento en la tasa de producción semanal del sistema de producción equivalente al 42.1%. Esto se debe a que la nueva tasa de producción semanal que se alcanzaría sería de $15,646.6 \pm 16.6$ empaques semanales, 4,626 empaques más que los que se obtiene actualmente.

Este aumento en el rendimiento, además representa un incremento en la flexibilidad del sistema de producción ya que se alcanzaría una producción similar a la actual en un menor tiempo de operación. En este sentido, de acuerdo a la

información de las ventas del año 2008, se pudo determinar que se logró alcanzar un nivel de ventas de 223,345 empaques al año, lo que considerando la tasa de producción actual del sistema correspondía a una producción continua de 20.26 semanas, mientras que tomando en consideración los resultados obtenidos mediante la simulación para el Escenario 1, la misma cantidad de producción se podría alcanzar en 14.27 semanas. Esto implica una reducción de 6 semanas en la producción, lo que representaría 6 semanas de capacidad extra para producción adicional del producto de mayor demanda o elaboración de nuevos productos demandados por el mercado (A. C. Chiriboga).

Adicionalmente, de acuerdo a la simulación del sistema propuesto en el Escenario 1, las utilidades alcanzadas por los recursos que forman parte del sistema se presentan en la Tabla 40.

Tabla 40. Utilización de las Máquinas y Operarios en la Propuesta de Mejora Escenario 1

Máquina/Operario	Utilización
Extrusora 1	33.42 %
Prensa 1	94.85 %
Operario1	100 %
Extrusora 2	33.46 %
Prensa 2	94.96 %
Operario2	99.96 %
Desmoldadora	10.46 %
Moladora 1 (corte)	70.99%
Operador Corte	97.77 %
Operador Apoyo*	26.69 %
Horno	27.55 %
Operador de Horno	10.51 %

*Trabajo de limpieza y preparación del tubo para corte

A partir de los resultados de la simulación que se observan en la Tabla 40, las máquinas con la más alta utilización (cuellos de botella) seguirían siendo las Prensas. Sin embargo, los resultados muestran que se pudiera obtener una mejor utilización de los recursos. En este sentido, las extrusoras, prensas y operarios de prensas y extrusoras mantendrían la misma utilización que experimentan actualmente, mientras que la Moladora estaría utilizada un 6,91% más del tiempo disponible llegando a una utilización del 70.99% y el Horno alcanzaría una utilización del 27.55% lo que representa 5.52% más de utilización.

Respecto al operario de Corte, este alcanzaría una utilización del 97.77% lo que representa un 18.66% más que en el sistema de producción actual. De igual forma el operario del horno incrementaría su utilización en un 8.48% más del tiempo disponible, llegando a una utilización del 10.51% para esta actividad.

Es importante también observar que el nuevo operador de apoyo tendría una utilización del 26.69% lo que significa el trabajo correspondiente a 10 horas de producción dedicados a la limpieza y preparación de los tubos para corte.

4.2.4.2. Escenario 2

Este escenario también considera el sistema de producción que se presentó en la Figura 17. La particularidad de este Escenario, respecto al Escenario 1, es que para la estación de Corte, se toma en cuenta la alternativa planteada de adquirir una nueva máquina Moladora y contratar un operario quien se encargará de las actividades de preparación de los tubos de caucho y el corte de los mismos. El trabajo de este operario no deberá afectar al operario regular de la estación de Corte, quien deberá cumplir sus mismas funciones actualmente asignadas. Esto pretende aumentar la tasa de producción de la estación de trabajo para alcanzar el objetivo de rendimiento impuesto para la línea.

Luego de correr las doce replicaciones para la simulación de esta alternativa, se observa que existiría un aumento en la tasa de producción semanal igual al que se alcanzó en el Escenario 1, un incremento equivalente al 42.1%. Lo que permite inferir que el rendimiento alcanzado y los beneficios que se logran son similares.

Adicionalmente, de acuerdo a la simulación del sistema propuesto en el Escenario 2, las utilidades alcanzadas por los recursos que forman parte del sistema se presentan en la Tabla 41

Tabla 41. Utilización de las Máquinas y Operarios en la Propuesta de Mejora Escenario 2

Máquina/Operario	Utilización
Extrusora 1	33.42 %
Prensa 1	94.85 %
Operario1	100 %
Extrusora 2	33.46 %
Prensa 2	94.96 %
Operario2	99.96 %
Desmoldadora	10.46 %
Moladora 1 (corte)	35.44 %
Moladora 2 (corte)	35.44 %
Operador 1 Corte	48.83 %
Operador 2 Corte	48.73 %
Horno	27.55 %
Operador de Horno	10.51 %

A partir de los resultados de la simulación que se observan en la Tabla 41 al igual que en el escenario anterior, las máquinas con la más alta utilización (cuellos de botella) seguirían siendo las Prensas.

De la Tabla 41, se determina que las Extrusoras, Prensas, Horno y sus respectivos operarios tendrían la misma utilización que experimentarían en el Escenario 1.

Sin embargo, bajo las condiciones presentadas en el Escenario 2, se observa que se daría una subutilización de los recursos presentes en la Estación de Corte. El Operario de Corte 1, llegaría a tener una utilización del 48.83%, lo que representa un 48.94% menos de utilización del tiempo disponible comparado con su utilización en el Escenario 1, y un 30.28% menos de utilización con respecto al sistema actual. Similar situación se daría con la Moladora 1, la cual presentaría una utilización del 35.44%, lo que representa un 35.55% menos de utilización que en el Escenario 1 y un 28.64% menos de utilización con respecto al sistema actual. Con respecto a los nuevos recursos añadidos al sistema (Moladora 2 y Operario de Corte 2), se observa que la Moladora 2 tendría una utilización del 35.44% mientras que el Operario de Corte 2 llegaría a una utilización del 48.73%, lo que se considera insuficiente para justificar su incorporación al sistema productivo que se dispone actualmente.

Por lo tanto, la modificación del sistema de producción planteada en el Escenario 2 no se justifica con respecto al desempeño del Escenario 1, debido a que se alcanzaría el mismo rendimiento con una utilización deficiente de los recursos.

4.3. Evaluación del Nuevo Sistema

De acuerdo al análisis de la sección 4.2.4, la mejor opción es la que presenta el Escenario 1 al realizar las modificaciones en la Extrusora 1 y Prensa 1, y aumentar un operario de apoyo para que realice las actividades de limpieza del producto previo al Corte. Este sistema modificado genera los mayores beneficios tomando en cuenta el aumento de rendimiento (tasa de producción) y la mejor utilización de los recursos.

4.3.1. Comparación de Alternativas

A partir de los resultados de la simulación del sistema propuesto y del sistema actual de producción, se realiza una comparación estadística de estas dos alternativas.

La Tabla 42 presenta el resumen de los datos correspondientes al rendimiento de los sistemas de producción actual y propuesto.

Tabla 42. Rendimiento del Sistema Actual y Propuesto

Sistema Producción	Rendimiento del Sistema (u/semana)
Sistema Actual	$\bar{x} = 11,020$ $S = 9.84$
Sistema Propuesto	$\bar{x} = 15,660$ $S = 0.492$

Para comparar el desempeño del nuevo sistema con respecto al existente, se pueden utilizar intervalos de confianza o pruebas de hipótesis para la igualdad de medias (Banks 435).

Según Banks, el uso de intervalos de confianza puede ser considerado un método informal de comparación y es estudiado mediante tres métodos, el primero es probar que el intervalo de confianza para la diferencia de las medias de las

muestras se encuentra a la izquierda de cero lo que permite concluir que la media del sistema actual es estadísticamente menor que la media del sistema propuesto $\mu_{act} - \mu_{prop} < 0$ ó $\mu_{act} < \mu_{prop}$; el segundo es probar que la diferencia de las medias de las muestras se encuentra a la derecha de cero, esto permite concluir que las medias son distintas ó que la media del sistema propuesto es menor que la del sistema actual $\mu_{act} - \mu_{prop} > 0$ ó $\mu_{act} > \mu_{prop}$; la tercera alternativa es probar si es que el intervalo de confianza de la diferencia de las dos medias de las muestras contiene cero, lo que permite concluir que el sistema propuesto no es mejor que el actual $\mu_{act} = \mu_{prop}$ (435).

De la misma forma, Banks considera que un método formal de comparación de resultados de una simulación es mediante la aplicación de una prueba t de dos muestras (435). Esto es lo que se utiliza para determinar si el rendimiento del sistema propuesto es estadísticamente mejor que rendimiento del sistema actual.

Hipótesis de la prueba:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

La Tabla 43 presenta el resumen obtenido en el software estadístico Minitab® para la prueba t de dos muestras llevada a cabo para la comparación de los rendimientos de los dos sistemas. Las pruebas de independencia de los datos y la prueba de igualdad de varianzas para validar los resultados de este análisis se encuentran en el Anexo I.

Tabla 43. Prueba t de dos muestras en Minitab® para la Comparación del Rendimiento del Sistema Actual y del Sistema Propuesto

	N	Mean	StDev	SE Mean
Rendimiento (actual)	12	551.333	0.492	0.14
Rendimiento (propuesto)	12	782.92	1.24	0.36

Difference = mu (Rendimiento (actual)) - mu (Rendimiento (propuesto))
 Estimate for difference: -231.583
 95% CI for difference: (-232.382, -230.785)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -601.24 P-Value = 0.000 DF = 22
 Both use Pooled StDev = 0.9435

De acuerdo al valor $p=0.000$ obtenido, se puede concluir que se debe rechazar la hipótesis nula, con lo cual se asume que las medias no son iguales. Observando el intervalo de confianza del 95% generado, tenemos un indicio de que la media de rendimiento actual es significativamente mayor que la media de rendimiento del sistema actual. Para confirmar esta última conclusión, se realiza una prueba de hipótesis para probar que la media de rendimiento del sistema propuesto es mayor que la media del rendimiento del sistema actual.

Hipótesis de la prueba:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 < \mu_2$$

De acuerdo al valor $p=0.000$ obtenido para esta prueba de hipótesis, se puede concluir se debe rechazar la hipótesis nula, con lo cual se asume que la media de rendimiento de la propuesta de mejora es mayor que la media de rendimiento del sistema actual. El estimado de la diferencia entre medias es de 231.5 unidades semanales más producidas por el sistema modificado. La prueba se presenta en la Tabla 44.

Tabla 44. Prueba t de dos muestras en Minitab® para la Comparación del Rendimiento del Sistema Actual y del Sistema Propuesto

	N	Mean	StDev	SE Mean
Rendimiento (actual)	12	551.333	0.492	0.14
Rendimiento (propuesto)	12	782.92	1.24	0.36

Difference = mu (Rendimiento (actual)) - mu (Rendimiento (propuesto))
 Estimate for difference: -231.583
 95% lower bound for difference: -230.922
 T-Test of difference = 0 (vs <): T-Value = -601.24 P-Value = 0.000 DF = 22
 Both use Pooled StDev = 0.9435

Además del intervalo de confianza para la diferencia de las medias y el estimado de la diferencia de las medias presentado en la Tabla 43, se puede concluir que el rendimiento del Escenario 1 propuesto es mayor que el rendimiento del sistema actual observando la Figura 18 donde se muestra que el intervalo de confianza del

95% para la diferencia entre medias se encuentra considerablemente a la izquierda de cero.

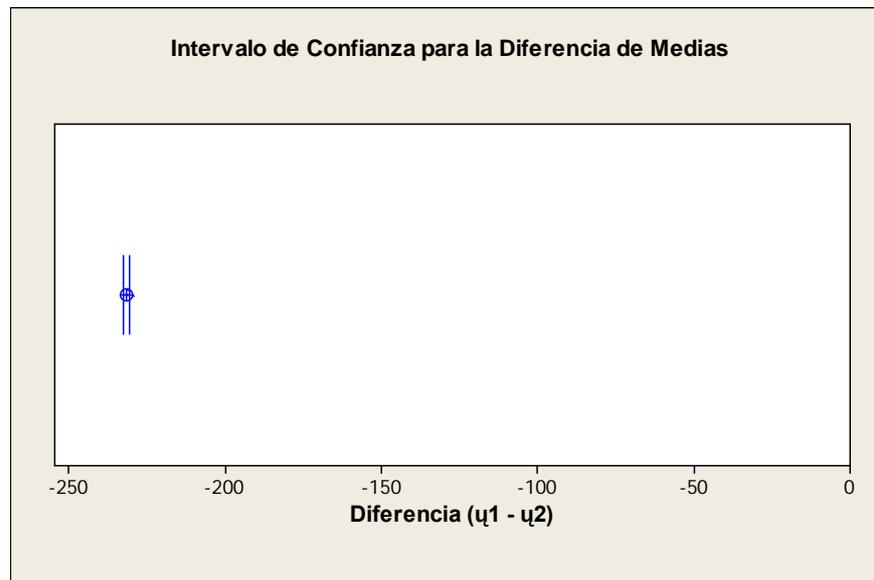


Figura 18. Intervalo de Confianza para la Diferencia de Medias de la Tasa de Producción

4.3.2. Factibilidad Económica de la Propuesta

El presente análisis económico para la implementación de las modificaciones dentro del sistema de producción tiene como base los registros históricos, provistos por la Empresa, que se manejan respecto a costos e ingresos relacionados con la producción y modificaciones (ajustes) y compra de equipos. Además el análisis contempla observaciones presentadas por parte de la Gerencia y el Contador de la Empresa.

4.3.2.1. Demanda, Ventas y Competencia

La demanda efectiva de productos, en especial de empaques, que son producidos en Megafiltro S.A., supera con creces la producción actual de la Empresa, produciéndose al momento una incapacidad de atender los pedidos periódicos de la clientela. Por esta razón, el mercado debe abastecerse de importaciones de otros países, especialmente colombianos, desde donde llegan los productos pero a un precio significativamente superior al que rige para la venta de la producción de Megafiltro S.A (E. Chiriboga – El Mercado de Empaques).

En el año 2008, las ventas del tipo de empaque en el cual se basó el análisis técnico de mejora de la producción ascendieron a 223,345 unidades, lo cual representa aproximadamente el 48% de las ventas de la Empresa (sección 3.2.1). El resto de las ventas corresponde al conjunto de otros productos que se fabrican, entre los cuales se pueden contar ciertos productos que se elaboran en la línea de estudio que se pretende optimizar, y otros tipos de productos adicionales que en volumen son menos importantes.

Esta situación de disponer de una demanda efectiva suficiente, ha motivado a la Gerencia de la Empresa a aceptar la propuesta de mejoramiento de las líneas de producción.

4.3.2.2. Inversión Necesaria

En un análisis realizado en conjunto con la Gerencia de la Empresa, se pudo determinar que la inversión que se requeriría para ampliar la capacidad productiva asciende a USD 1,700 dólares, de los cuales el rubro más importante corresponde al de la maquinaria, como se puede observa en la Tabla 45 que se presenta a continuación. Aquí se muestra que la inversión en el mejoramiento de la maquinaria representa el 71% de la inversión programada.

Tabla 45. Rubros y Montos para la Inversión Inicial

Monto	Costo
Modificación Extrusora (motor)	\$ 1.200,00
Instalación y montaje	\$ 100,00
Insumos varios (repuestos)	\$ 300,00
Entrenamiento personal nuevo	\$ 100,00
Total	\$ 1.700,00

Se inversión se completa con los gastos necesarios para la instalación y montaje del nuevo motor para la Extrusora de la Línea 1, los insumos y repuestos que se requieren, y el gasto de entrenamiento del personal necesario que se dedicará al apoyo de la producción en la Estación de Corte. Con respecto al último aspecto, se considera que el entrenamiento será en situ, es decir, en la actual línea de producción y se lo hará durante el período de instalación y montaje de la nueva

máquina; dicho entrenamiento será efectuado por el personal que actualmente trabaja en la Empresa.

La inversión pretende ser financiada parcialmente por la propia Empresa, y se espera conseguir un crédito de producción a 18 meses plazo al 12% de interés anual, pagadero sobre el saldo adeudado, con amortización mensual a partir del siguiente mes de puesta en operación la máquina. El crédito a contratarse será por el 70% del valor total de la nueva inversión (monto usualmente asignado a créditos). El monto de crédito a solicitarse ascenderá a USD 1,190 dólares. El plazo seleccionado para el crédito corresponde a una estrategia de la Empresa.

4.3.2.3. Ingresos

Los ingresos incrementales que provendrán de la venta de la producción adicional que se pretende generar con la mejora planteada, ascienden a USD 9,000 dólares anuales, tomando como precio de referencia el que actualmente se mantiene para las ventas de la Empresa. Este análisis de ingresos se basa en la experiencia de la Empresa y únicamente se refiere al producto Empaques tipo C1, en el cual se concentró el análisis técnico.

Adicionalmente, se espera que la máquina permita producir mayor cantidad de producto diferente al del actual análisis, lo que a la larga redundará en una mejora en la posición económica de la Empresa; y, por consiguiente, permitir una más rápida recuperación de la inversión.

4.3.2.4. Gastos

El principal gasto que proviene de la propuesta de mejora es el de materia prima en el cual se debe incurrir con el fin de incrementar la tasa de producción.

Además, la inversión recomendada permitirá a la Empresa generar un puesto de empleo adicional ya que se requiere contratar una persona a tiempo parcial bajo un contrato de obra cierta. La función de esta persona será la de apoyar al técnico de corte, efectuando la preparación (limpieza) de los tubos. El gasto esperado de

personal para el primer año de operación de la mejora de la línea de producción asciende a USD 661.74 dólares.

Otro componente de gasto en cuanto a la propuesta es el resultante de la depreciación del nuevo motor. De acuerdo a la normativa de la autoridad tributaria, el motor se depreciará a cinco años. El gasto de depreciación asciende a USD 240 dólares anuales.

Los demás gastos son marginales y prácticamente no tienen importancia alguna pero son considerados dentro del análisis.

4.3.2.5. Análisis Financiero

Para el presente análisis se realizó una proyección de ingresos y gastos en un horizonte de planeación de 24 meses. De acuerdo al flujo de caja acumulado proyectado, se observa que los beneficios que se recibirán son negativos hasta el quinto mes, y que a partir del sexto mes de haber iniciado la producción con la máquina modificada y haberse realizado la mejora en la producción, los flujos acumulados son positivos, llegándose a un superávit global que asciende a USD 2,033 dólares en el mes 12 y alcanza los USD 6,200 dólares, de las ventas correspondientes al incremento de producción, en el mes 24, es decir al finalizar el segundo año.

Los resultados obtenidos garantizan, tanto a la Empresa como al posible acreedor, que la operación crediticia que deberá contratarse tiene la suficiente garantía de que será cubierta con holgura. Es decir, se garantiza que la Empresa en los próximos 24 meses cubrirá las obligaciones con suficiencia.

El flujo analizado parte de un criterio conservador, no se ha considerado incremento de precios, y se mantienen los que estaban vigentes a la fecha de realización de la investigación de campo. Así mismo, en cuanto al mercado, las previsiones son más bien conservadoras, no se pretende abastecer sino a parte de la demanda real de pedidos que tiene la Empresa en la actualidad.

El beneficio neto en el horizonte de análisis, calculado en base al VPN (valor presente neto) asciende a USD 1,048 dólares. Para ello, se realizó la actualización de los flujos mensuales futuros a una tasa del 10% anual. Se adoptó esta tasa como tasa real equivalente de oportunidad (tasa mínima atractiva de rendimiento), es decir, considerando una tasa suficientemente alta que está por encima de las tasas de mercado para las inversiones financieras y por sobre la tasa de inflación del país.

Se denomina Valor Presente Neto (VPN) a la suma y resta de cada uno de estos valores traídos al presente o momento cero, y su resultado será la ganancia neta que se obtiene durante la vida del proyecto (para el presente análisis 24 meses) (Blank y Tarquin 176). Si se obtiene un valor positivo, el negocio o proyecto está recuperando todos los costos, y los ingresos están por encima de la inversión generando ganancias, por lo tanto el proyecto es rentable (Blank y Tarquin 177). Si por el contrario, el resultado matemático de este análisis es negativo, por el momento no sería rentable invertir en este proyecto, ya que en el horizonte de estudio se estarían produciendo pérdidas (Blank y Tarquin 177). Como se puede observar, en este caso existe un VPN positivo lo que indica que la propuesta de mejora es rentable para la Empresa.

Adicionalmente, se pudo determinar que la tasa interna de retorno (TIR) asciende al 18%. Si comparamos la TIR que se obtiene con la tasa prevista para la operación de crédito a contratarse, observamos que la tasa interna de retorno de la inversión es superior que la tasa de crédito considerada que era del 12%.

Además, si se considera dentro del análisis la relación Beneficio Costo (B/C) que es un indicador que refleja el beneficio neto obtenido por cada unidad monetaria de inversión (Blank y Tarquin 327), observamos que para este proyecto el indicador en cuestión muestra una relación beneficio costo de 1.44. Esto quiere decir que se cuenta con 1.44 dólares de beneficio por cada dólar de obligaciones. Nuevamente, este resultado da tranquilidad a los inversionistas y a un probable acreedor, pues se cuenta con suficiente margen de recursos para cancelar las obligaciones y cubrir los costos de operación.

Tomando la totalidad de este análisis financiero en consideración, se determina que es factible realizar la inversión para ampliar la capacidad del sistema mediante las modificaciones propuestas al sistema actual.

4.4. Implementación de Cambios

De acuerdo a las modificaciones requeridas para el sistema, es necesario considerar aquellas actividades que deben programarse para la implementación de los cambios, de tal forma que se lleven a cabo secuencialmente y con una lógica adecuada. El Diagrama de Gantt que se presenta en el ANEXO J resume las diferentes actividades que se deberían llevar a cabo, su secuencia de realización y la duración de cada una. Cada actividad se llevará a cabo de acuerdo al avance de la implementación de los cambios y al avance de las actividades precedentes requeridas para que puedan desarrollarse. Los tiempos para cada actividad son determinados en base a la complejidad de la actividad y a los tiempos de espera estimados para la llegada de los recursos necesarios.

La primera actividad, de donde nace el cronograma, es la compra del nuevo motor a ser instalado en la Extrusora 1. El tiempo de duración de esta actividad incluye el tiempo de negociación por el motor y la espera por el arribo del mismo hasta las instalaciones de la Empresa, para esto se considera un distribuidor local (E. Chiriboga). La segunda actividad en secuencia es la compra de insumos requeridos para la instalación, esto es, nuevas cadenas, piñones, y otros materiales necesarios para la instalación los cuales van a ser comprados para que estén disponibles a la llegada del motor. Luego de esto se debería llevar a cabo la instalación del motor y las pruebas de su funcionamiento.

Paralelamente a estas actividades, se debe realizar la selección, contratación y entrenamiento del nuevo operario para la Estación de Corte ya que las actividades para la modificación de la Extrusora son independientes de las de Corte. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que el nuevo operario para la Estación de Corte no debe ser incorporado antes de la modificación y pruebas de funcionamiento del motor de la Extrusora 1, ya que bajo esas consideraciones el nuevo Operario es requerido.

Finalmente, el cronograma se cierra con la puesta en marcha de la producción bajo este nuevo sistema.

5. CAPITULO 5 – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Megafiltro S.A. no maneja un control sobre el sistema de producción ni registro de tiempos estándar, por lo que basa su producción en la experiencia ganada con los años de operación, confiando en cada operador y su habilidad.
- El estudio de tiempos realizado, permite establecer tiempos estándar de producción logrando definir un día de trabajo justo, considerando las actividades más representativas dentro de la producción. Esta definición de tiempos permite mejorar el control sobre el sistema productivo y establecer lineamientos para la creación de manuales de competencia y carrera.
- La creación de flujogramas permite identificar la secuencia de los procesos dentro del sistema de producción, facilitando la localización de las diferentes actividades dentro de la línea productiva. Esto, en conjunto con la definición de tiempos estándar, permite generar un control sobre cada una de las actividades para el manejo de la producción y la programación de la misma.
- La simulación para el estudio del sistema de producción fue una herramienta valiosa y efectiva por su versatilidad y flexibilidad, permitiendo analizar y sintetizar el modelo observado y modificarlo sin interferir; permitiendo evaluar diferentes alternativas.
- Para que un modelo de simulación represente fielmente al sistema real, se requiere un proceso de desarrollo minucioso y extenso, partiendo de la toma de datos y observación del sistema para el modelamiento del mismo, y realizando las verificaciones correspondientes a la lógica propuesta hasta alcanzar la validación del sistema.
- Existen varias medidas de desempeño que permiten el análisis de un sistema de producción. El rendimiento (tasa de producción) del sistema y de sus estaciones de trabajo, y la utilización de los recursos son dos

medidas de desempeño que fueron efectivas para inferir sobre el estado del sistema de producción bajo las condiciones actuales.

- De acuerdo al análisis realizado con respecto a la utilización de los recursos y su desempeño, fue posible evidenciar que el sistema de producción actual presenta deficiencias que pueden ser corregidas para incrementar su rendimiento.
- La diferencia de capacidad de las Extrusoras, dada por la diferencia en la potencia de los motores que las mueven, hace que el rendimiento de las Líneas de producción sea significativamente diferentes.
- El rendimiento del sistema de producción actual se ve limitado por el recurso de mayor utilización de la línea de producción. De acuerdo al análisis realizado el cuello de botella del sistema corresponde a las Prensas.
- La mejora de un sistema de producción, ya sea en su capacidad o en su rendimiento, puede ser realizada en aquellos recursos del sistema que no son limitantes (no cuellos de botella) o directamente en los cuellos de botella que sí limitan la tasa de producción. La propuesta realizada implica la modificación de un recurso no cuello de botella y de un recurso cuello de botella lo que implicaría una mejora en la capacidad del sistema y en su rendimiento..
- Al realizar modificaciones a un sistema de producción en base a un objetivo a ser alcanzado, como se realizó en el presente estudio, es necesario evaluar la capacidad requerida del sistema para alcanzar esa meta a partir de los recursos existentes. El modelo matemático de Fracción de Equipo permite evaluar los requerimientos mínimos de recursos que deberían ser utilizados bajo las condiciones existentes del sistema para que éste pueda cumplir con el objetivo impuesto.
- A partir de la determinación de los requerimientos mínimos de recursos para el sistema de producción, mediante el modelo matemático de Fracción de Equipo, se realizó un análisis para determinar la conveniencia de adquirir un recurso extra para las estaciones que lo requieran o modificar el ya existente en cada una.

- De acuerdo a la evaluación de las alternativas propuestas, el mayor incremento en la tasa de producción con una mejor utilización de los recursos se obtiene mediante la modificación en primer lugar del motor que mueve la Extrusora 1, luego adecuando las condiciones de operación de la Prensa 1 a los nuevos tiempos de arribo, y por último incluyendo un nuevo operario de apoyo para la limpieza del producto en la operación de Corte.
- Los beneficios que podrían ser alcanzados mediante el nuevo sistema de producción propuesto son evidentes. La tasa de producción puede ser incrementada en un 42.1% semanal, lo que representaría capacidad extra de producción y/o flexibilidad para cubrir demanda de nuevos productos.
- La inversión requerida para realizar las modificaciones al sistema de producción, considerando un crédito bancario a 18 meses plazo, es rentable ya que presenta una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 18%, con un VPN de USD 1,047.93 dólares en un horizonte de dos años, y una recuperación de la inversión al sexto mes de puesto en marcha el sistema bajo las nuevas condiciones.

5.2. Recomendaciones

- Debido a que el sistema de producción analizado (producción de empaques vía tubo) es similar que el sistema de producción de Rodelas se puede realizar un estudio similar para comprobar si el beneficio generado por el aumento de capacidad y mejora del rendimiento puede ser reflejado también en este producto.
- En los procesos de extrusión y vulcanizado se debería analizar los movimientos realizados en las actividades manuales (montado, desmontado) para mejorar la eficiencia de los mismos.
- Es necesario implementar un adecuado sistema de control y coordinación de producción en el cual se consideren las variables de disponibilidad y utilización de recursos, y tiempos estándar de producción. Este sistema de producción debe considerar la capacidad de cada estación de trabajo y sus interacciones con las demás para no sobrecargar el sistema con inventario en proceso.

- Se debería realizar un estudio de desperdicios por estación de trabajo para evaluar los costos relacionados y el nivel de pérdidas que se generan en cada una. Estaciones como Vulcanizado de troquel, Corte y Limpieza requieren mayor dedicación.
- Se recomienda modificar el diseño actual de las máquinas extrusoras para evitar el reproceso del producto sobrante dentro del torno luego de cada ciclo de extrusión.
- El operario que sería contratado para realizar actividades de limpieza en la Estación de Corte, puede ser utilizado como apoyo para otras actividades que deban ser completadas dentro del sistema de producción, debido a la flexibilidad de tiempo que este presentaría.
- Se recomienda utilizar la versatilidad de la simulación, con el fin de llevar a cabo un análisis que involucre otras modificaciones al sistema de producción para generar mayores beneficios al sistema. Esta herramienta puede ser también utilizada para llevar a cabo análisis similares en otras áreas de la Empresa.

BIBLIOGRAFÍA

- Banks, Jerry. Discrete-Event Systems Simulation. Estados Unidos: Pearson, 2005.
- Barnes, Ralph M. Estudio de Movimientos y Tiempos. España: Economía de la Empresa - Aguilar, 1973.
- Blank, Leland y Anthony Tarquin. Ingeniería Económica. México D.F.: McGraw-Hill, 2004.
- Cardona Henao, Mario. Ingeniería de Métodos y Medición del Trabajo: Eficiencia para Pequeña Industria. 19 de Enero de 2009 <<http://www.revista-mm.com/rev50/admon.pdf>>.
- Chiriboga, Ana Carolina. La Empresa Entrevista Personal (Pablo Burneo). 3 de Febrero de 2009.
- Chiriboga, Esteban. La Empresa, Vulcanizado y otros Entrevista Personal (Pablo Burneo). 20 de Marzo de 2009.
- Cisneros, Patricio. «Análisis de los Procesos.» Clase de Ingeniería Industrial. Quito, 2006.
- . «Estudio de Tiempos - Conceptualización.» Clase de Ingeniería Industrial. Quito, 2006.
- . «Estudio de Tiempos - Tiempo Estándar.» Clase de Ingeniería Industrial. Quito, 2006.
- . «Estudio de Tiempos - Tolerancias.» Clase de Ingeniería Industrial. Quito, 2006.
- García Rodríguez, María Gabriela y Miguel Ángel Iturralde Jaramillo. Determinación de los tiempos estándar de producción y diseño de un sistema de costeo de productos: Análisis de capacidad de la línea de producción principal en REMODULARSA ' Madeval Fábrica. Tesis de Grado. Quito, 2007.
- Hopp, Wallace J y Mark L Spearman. Factory Physics. 2th. New York: McGraw-Hill, 2001.
- Manyard, Harnold B. Manual de Ingeniería y Organización Industrial. Vol. III. Colombia: Reverté, 1988.
- Mateos, Cardiel. Tiempos y Tareas. México: Limusa, 1974.
- Montgomery, Douglas C. Control Estadístico de la Calidad. 3ra edición. Mexico D.F.: Editorial Limusa S.A., 2006.

- Mundel, Marvin E. Estudio de Tiempos y Movimientos. México: Continental, S.A., 1984.
- Niebel, Benjamin W. Ingeniería Industrial. Métodos, Tiempos y Movimientos. México: Alfaomega S.A., 2008.
- Sales, Matias. Diagrama de Pareto. Julio de 2002. 24 de Marzo de 2009 <<http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/eco/diagramapareto.htm>>.
- Salvendy, Gavriel. Manual de Ingeniería Industrial. Vol. I. México: Limusa, S.A., 2007.
- . Manual de Ingeniería Industrial. Vol. II. México: Limusa, S.A., 2007.
- Sayay, Alexandra. Coordinación de Producción Entrevista Personal (Pablo Burneo). 16 de Enero de 2009.
- Tompkins, James A., y otros. Planeación de Instalaciones. 3ra Edición. México: Thomson, 2006.

ANEXOS

ANEXO A. Flujogramas de los Procesos Involucrados en Producción

ANEXO A1 Flujograma General de Recepción y Asignación de Producción

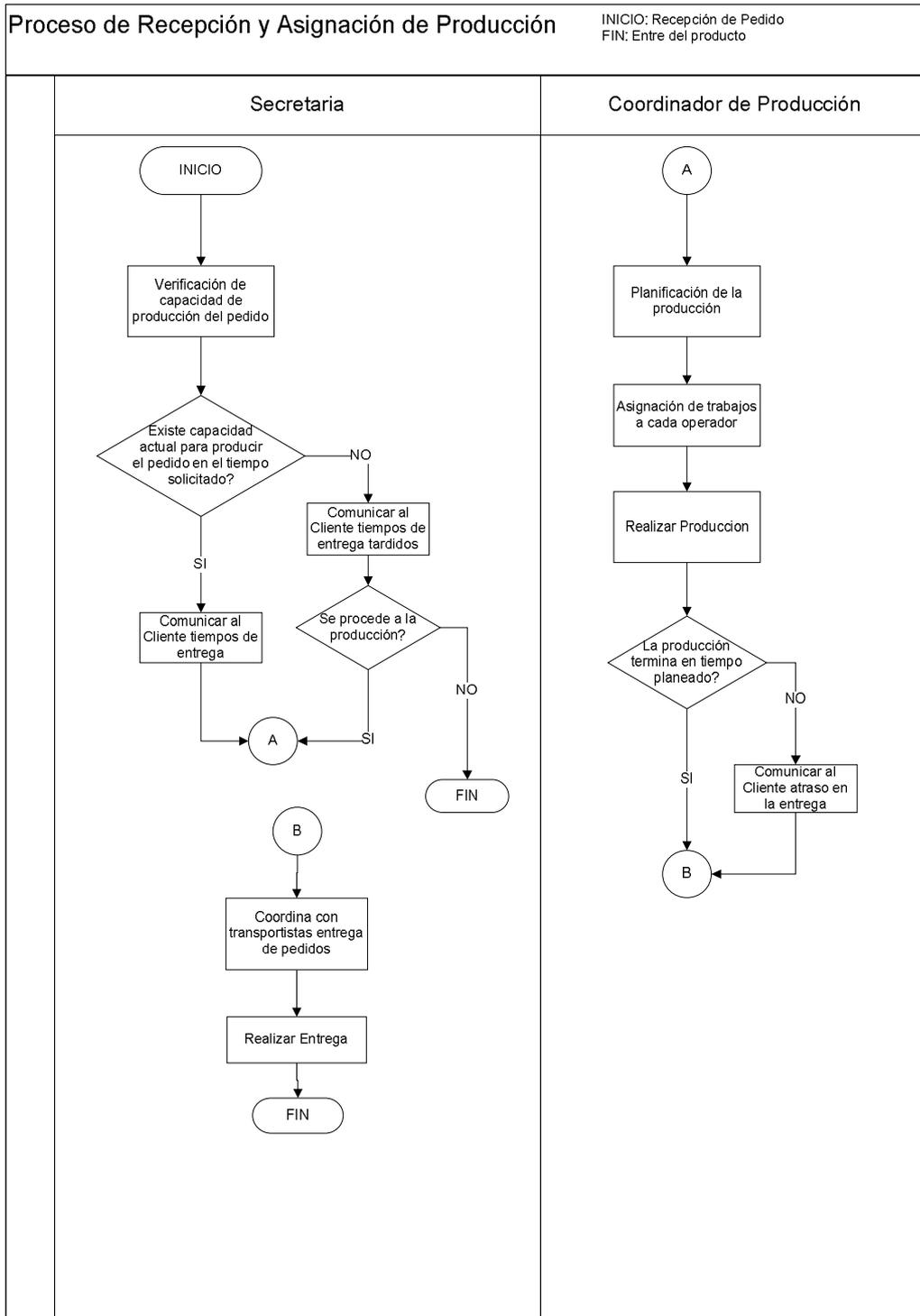


Figura 19. Flujo de Recepción y Asignación de Producción

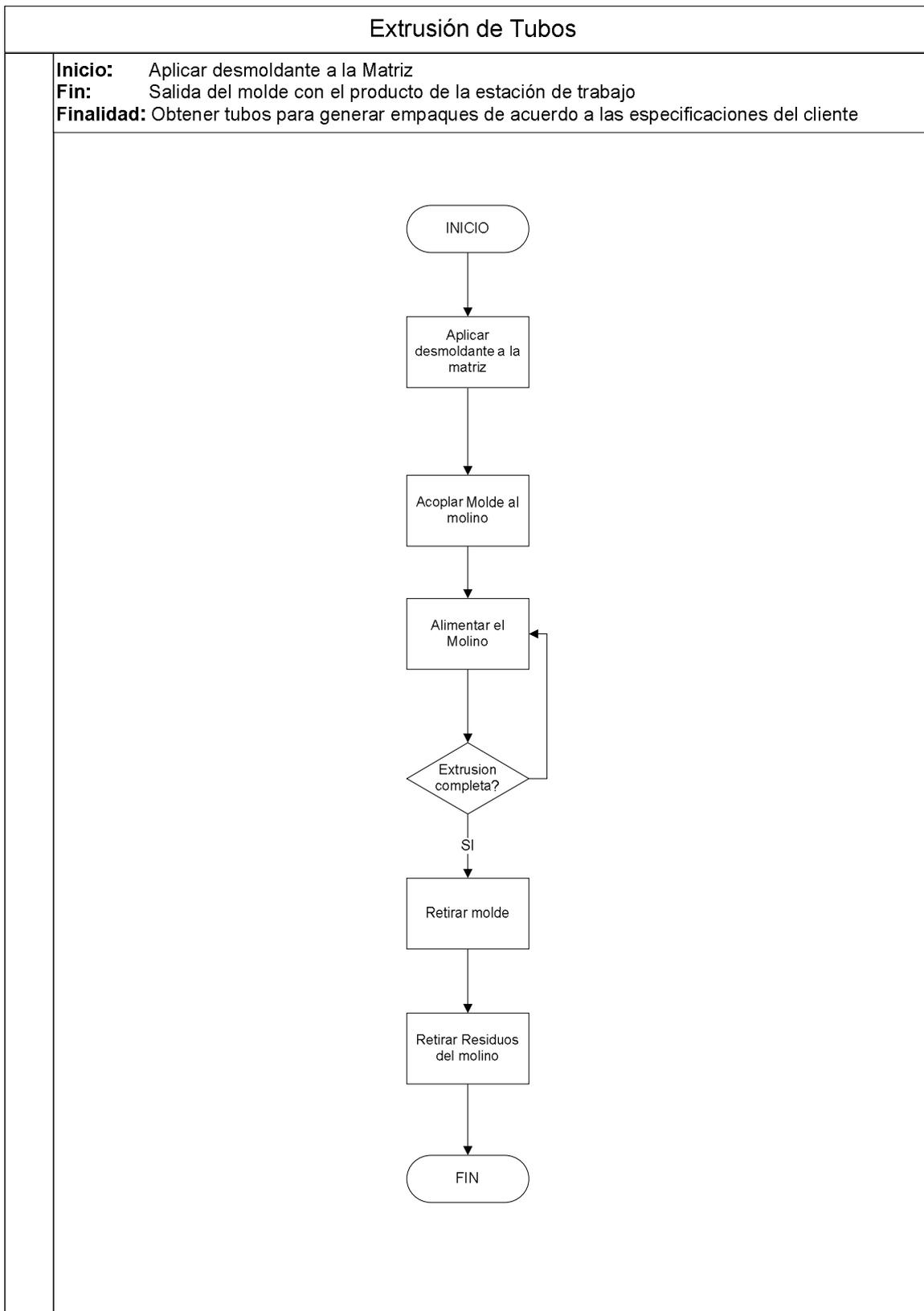
ANEXO A2 Flujo del Proceso de Extrusión de Tubos

Figura 20. Flujo del Proceso de Extrusión de Tubos

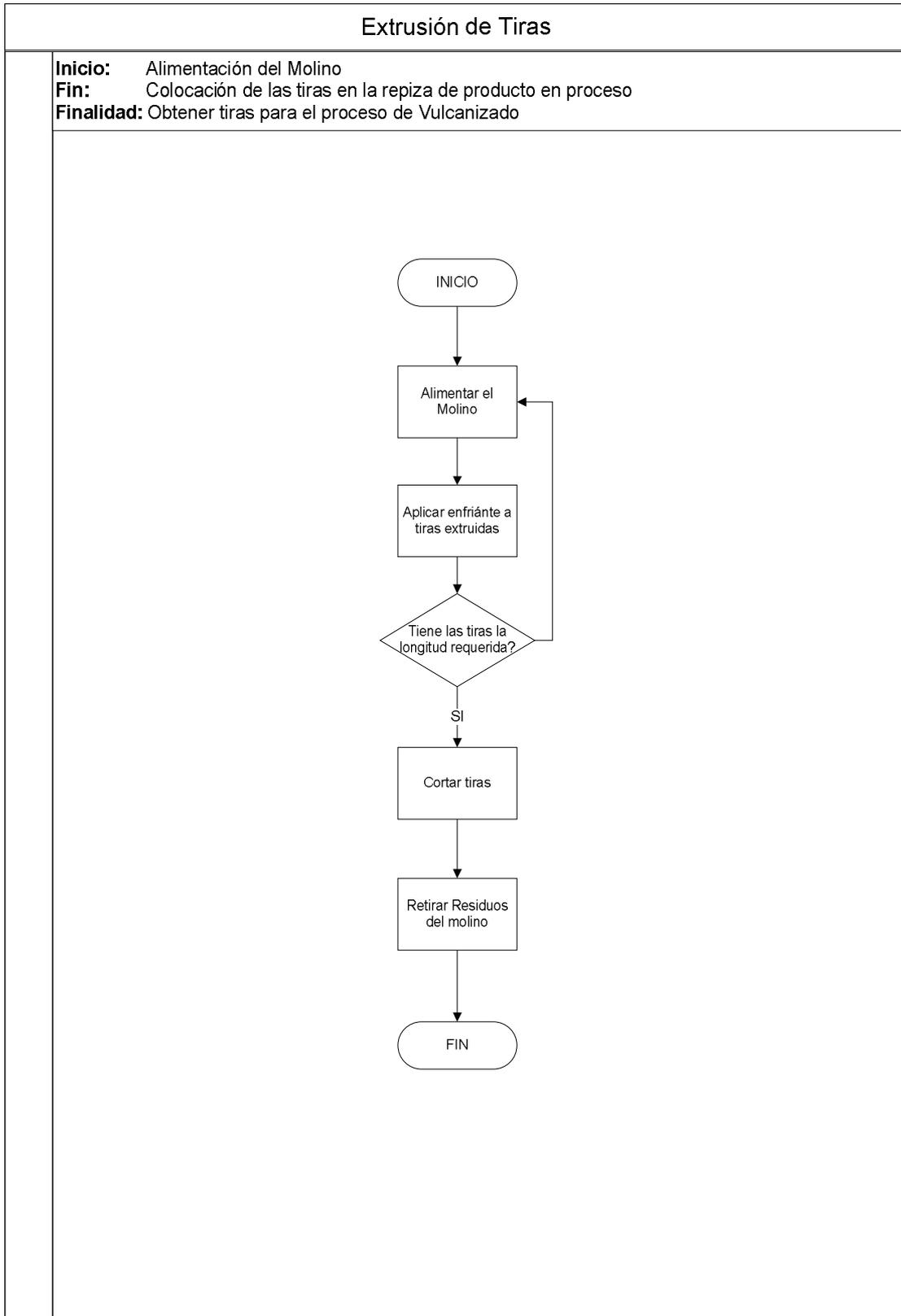
ANEXO A3 Flujo del Proceso de Extrusión de Tiras

Figura 21. Flujo del Proceso de Extrusión de Tiras

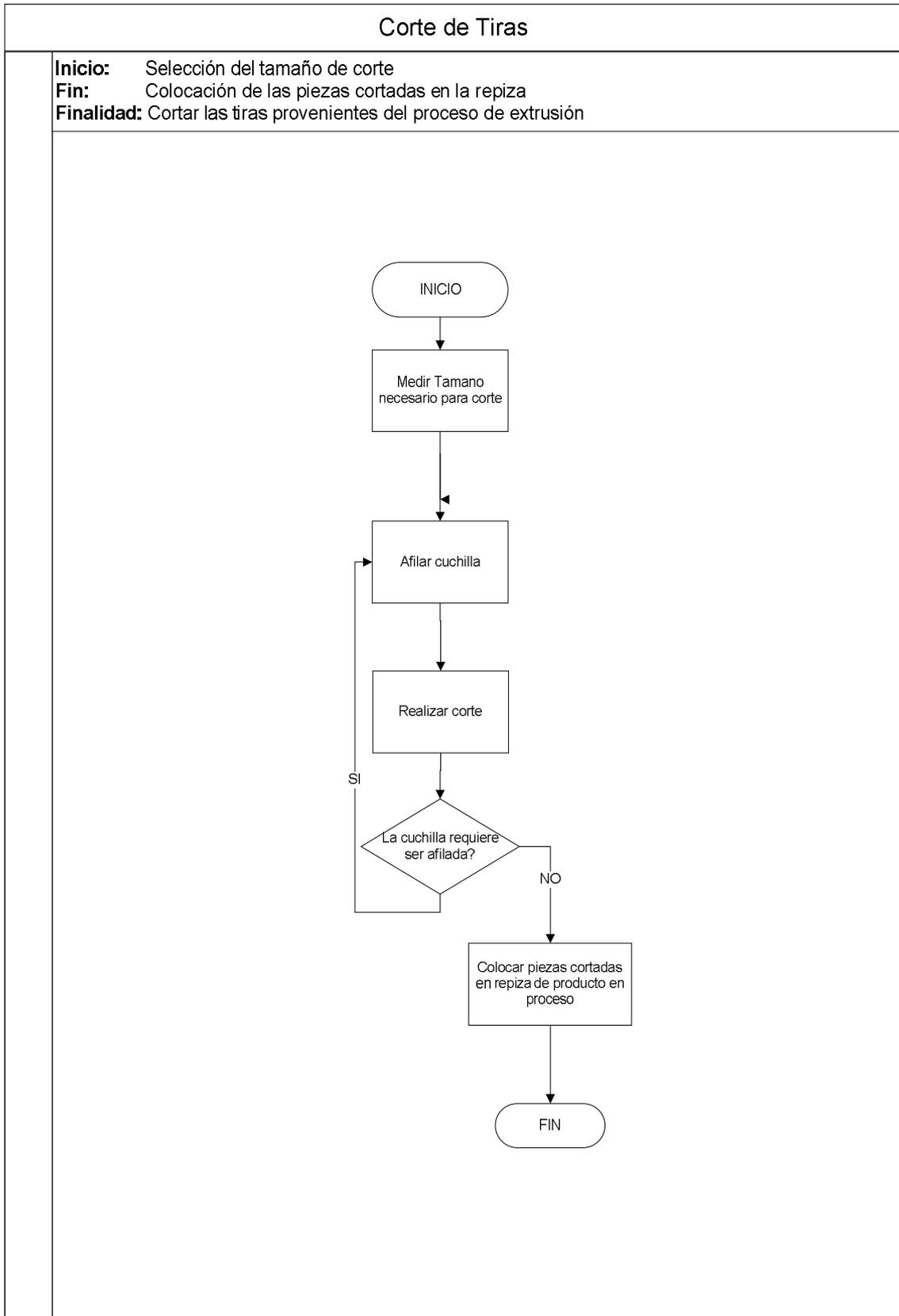
ANEXO A4 Flujo del Proceso de Corte de Tiras

Figura 22. Flujo del Proceso de Corte de Tiras

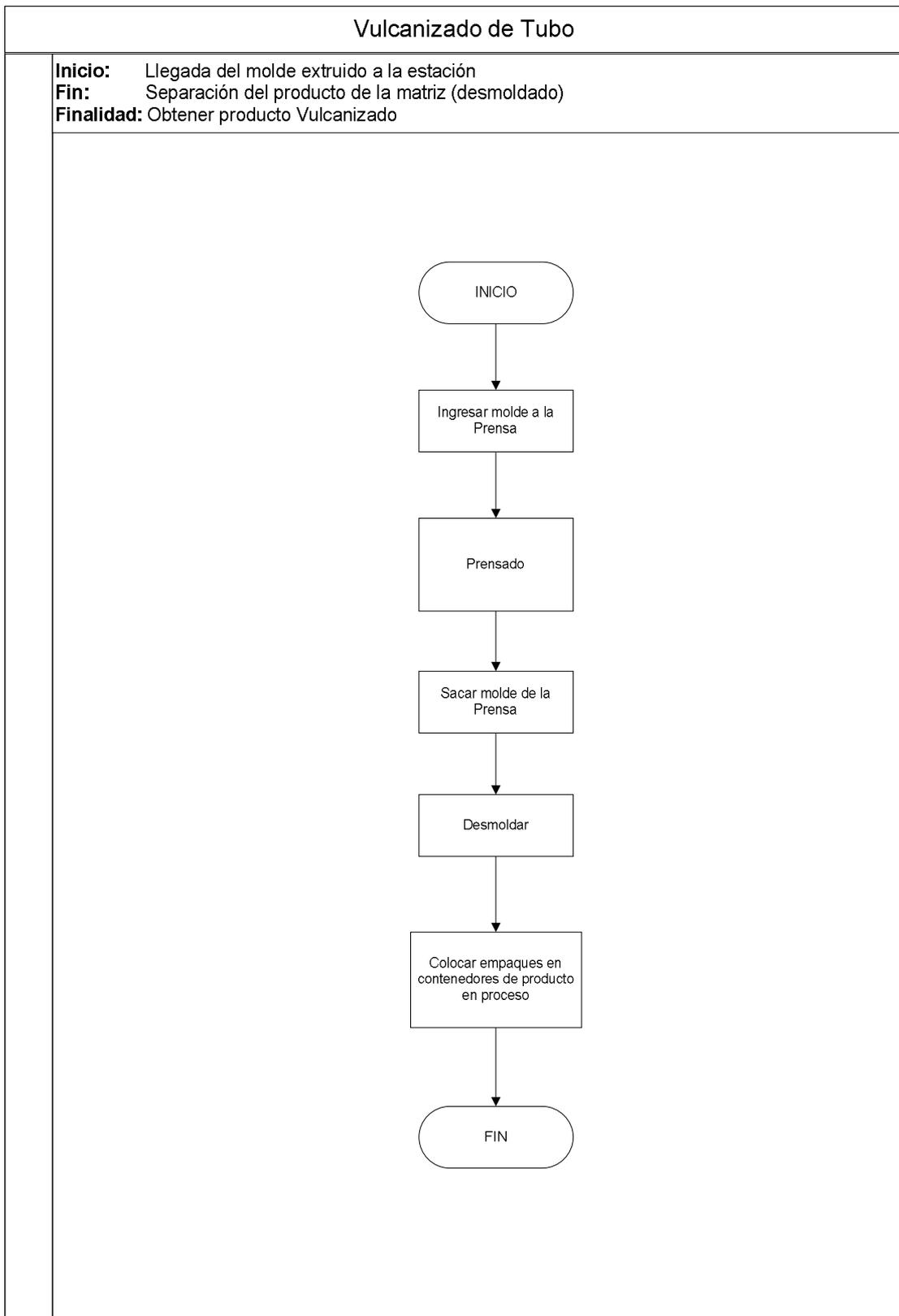
ANEXO A5 Flujo del Proceso de Vulcanizado de Tubos

Figura 23. Flujo del Proceso de Vulcanizado de Tubos

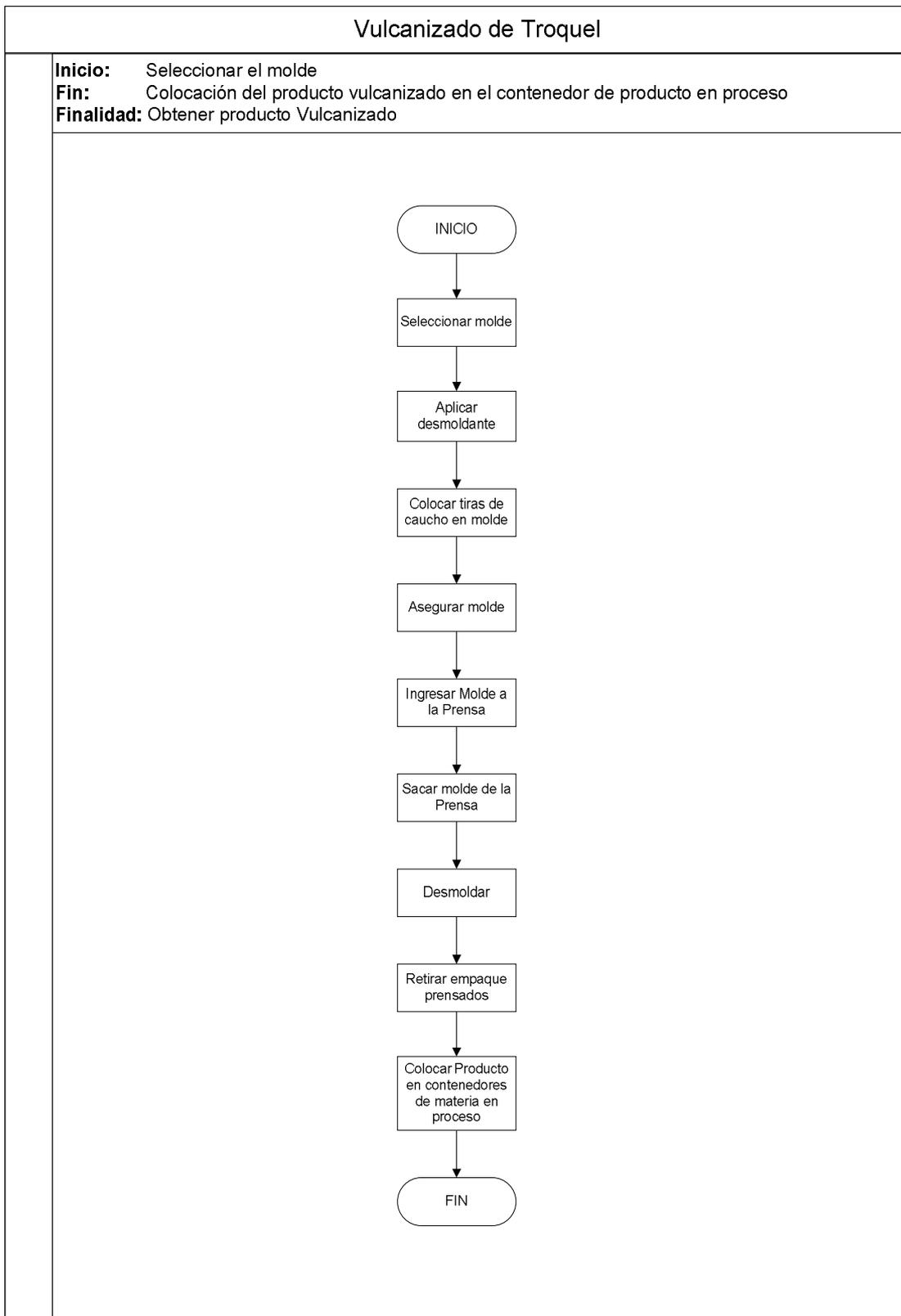
ANEXO A6 Flujo del Proceso de Vulcanizado de Troquel

Figura 24. Flujo del Proceso de Vulcanizado de Troquel

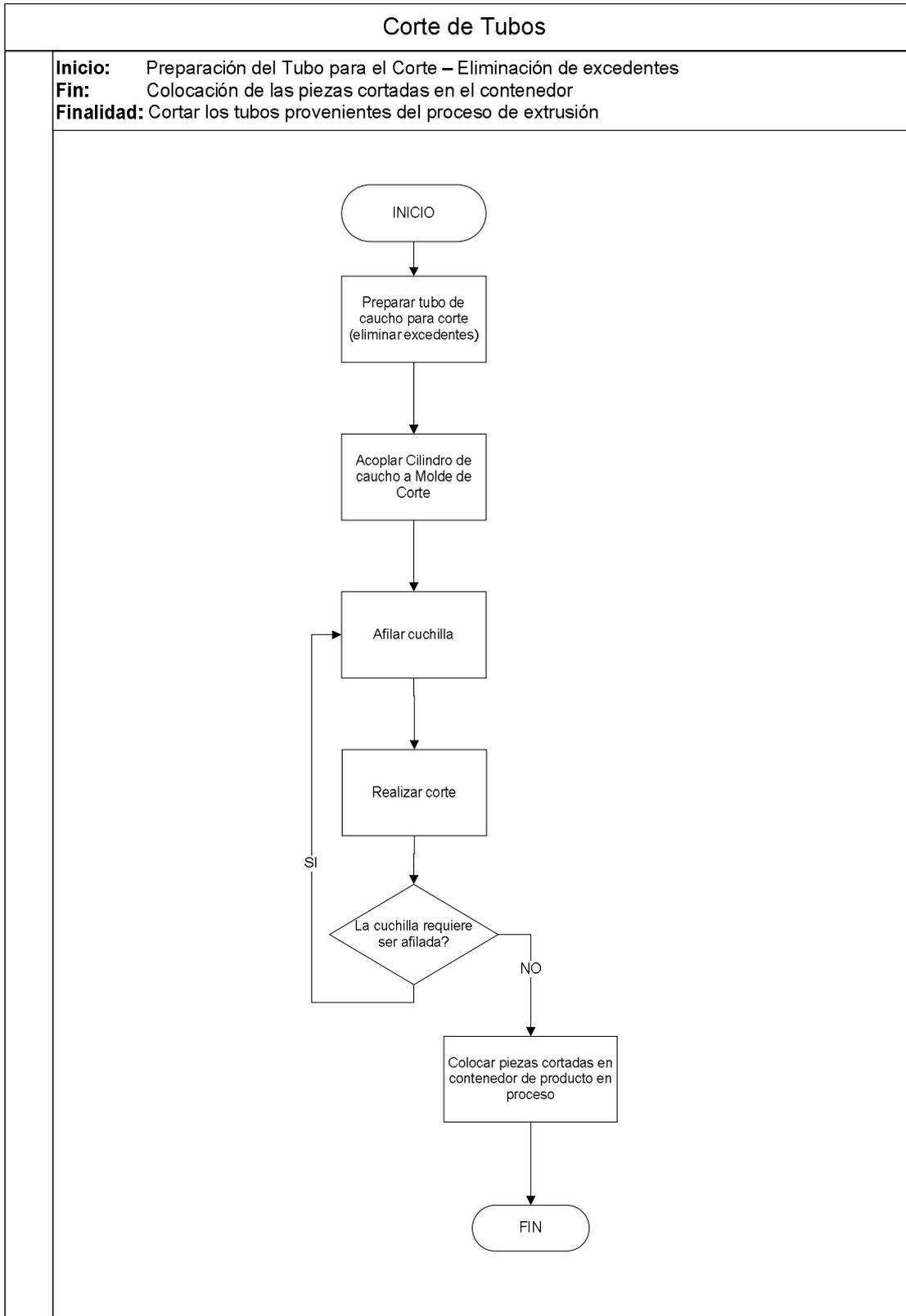
ANEXO A7 Flujo del Proceso de Corte de Tubos

Figura 25. Flujo del Proceso de Corte de Tubos

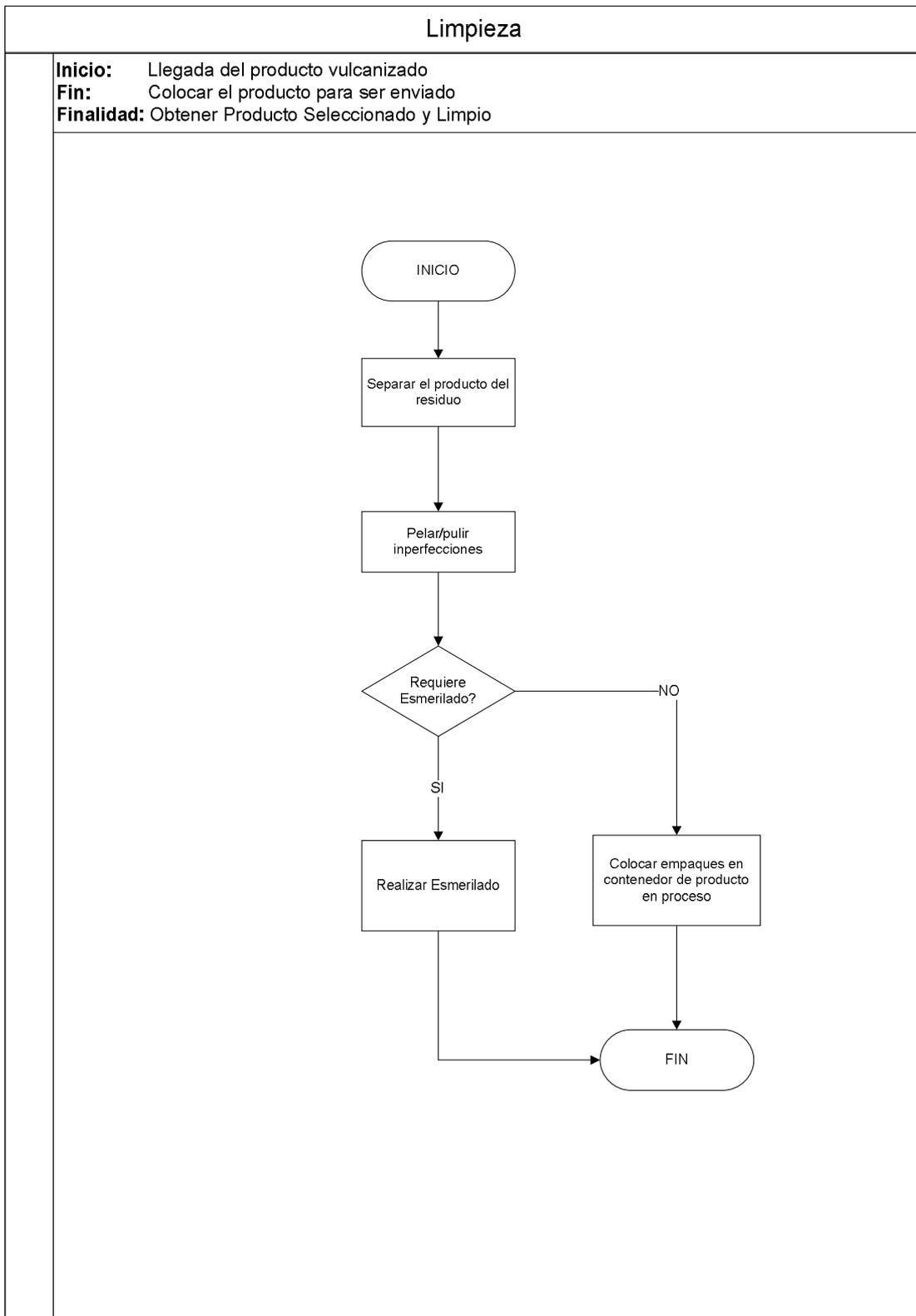
ANEXO A8 Flujo del Proceso de Limpieza

Figura 26. Flujo del Proceso de Limpieza

ANEXO B. Formatos de Toma de Tiempos Procesos de Producción

ANEXO B1 Formato de Toma de Tiempos “Proceso Extrusión”

<u>Formato Toma de Tiempos de Producción - Megafiltro S.A.</u>							
Proceso:		<u>Extrusión</u>		Tipo:		<u>Tubo</u>	<u>Anillo</u>
Día:		<u>L</u>	<u>M</u>	<u>I</u>	<u>J</u>	<u>V</u>	Maquina <u>1</u> <u>2</u>
Elementos	Tiempos Medidos						
Preparar Molde							
Alimentar Molino							
Retirar Molde							
Retira Residuo							

Figura 27. Formato de Toma de Tiempos Proceso Extrusión

ANEXO B2 Formato de Toma de Tiempos “Proceso Vulcanizado”

<u>Formato Toma de Tiempos de Producción - Megafiltro S.A.</u>							
Proceso:	<u>Vulcanizado</u>	Tipo:	<u>Tubo Anillo Empaque</u>				
Día:	<u>L M I J V</u>	Maquina	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	
Elementos	Tiempos Medidos						
Moldar							
Montar							
Prensado (M)							
Desmoldar							

Figura 28. Formato de Toma de Tiempos Proceso Vulcanizado

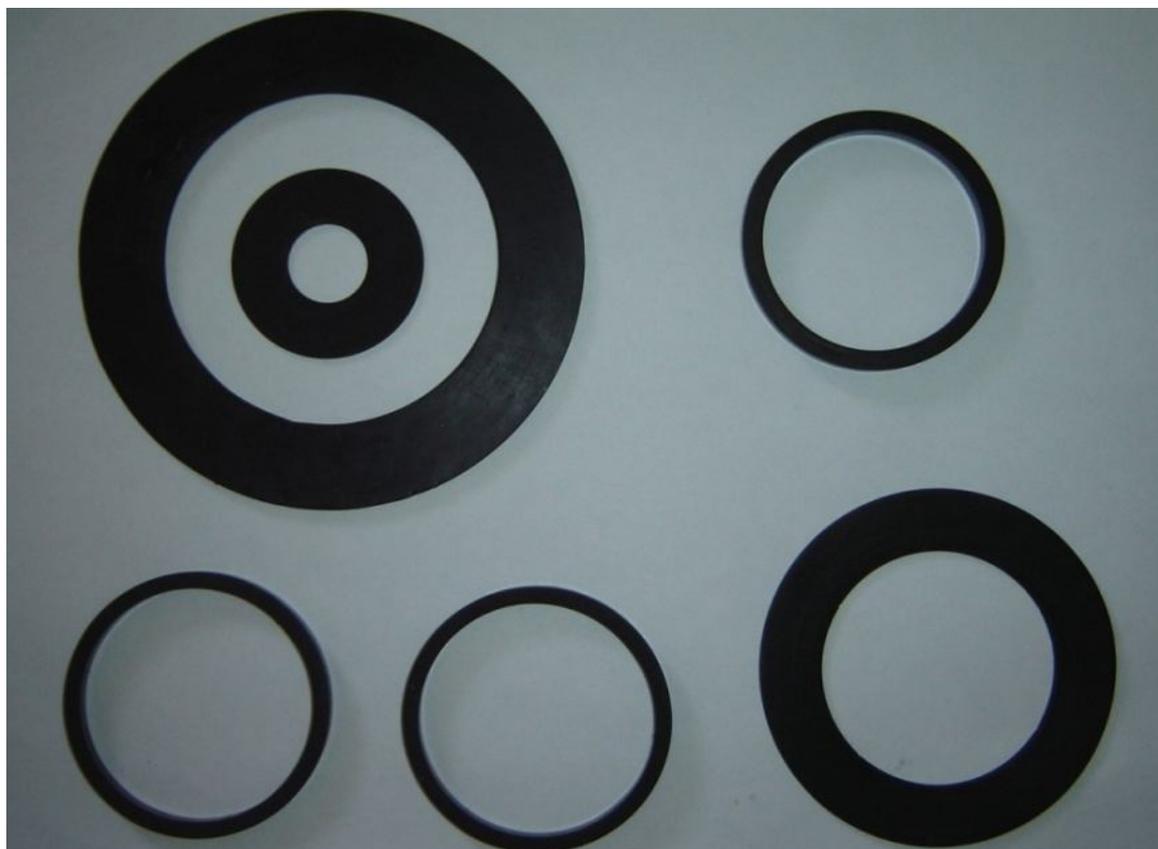
ANEXO C. Fotografías de los Productos de Megafiltro S.A.**ANEXO C1 Productos de Tubos – Empaques y Rodelas**

Figura 31. Fotografía Empaques y Rodelas

ANEXO C2 Productos de Troquel – Anillos, Empaques y Trompo

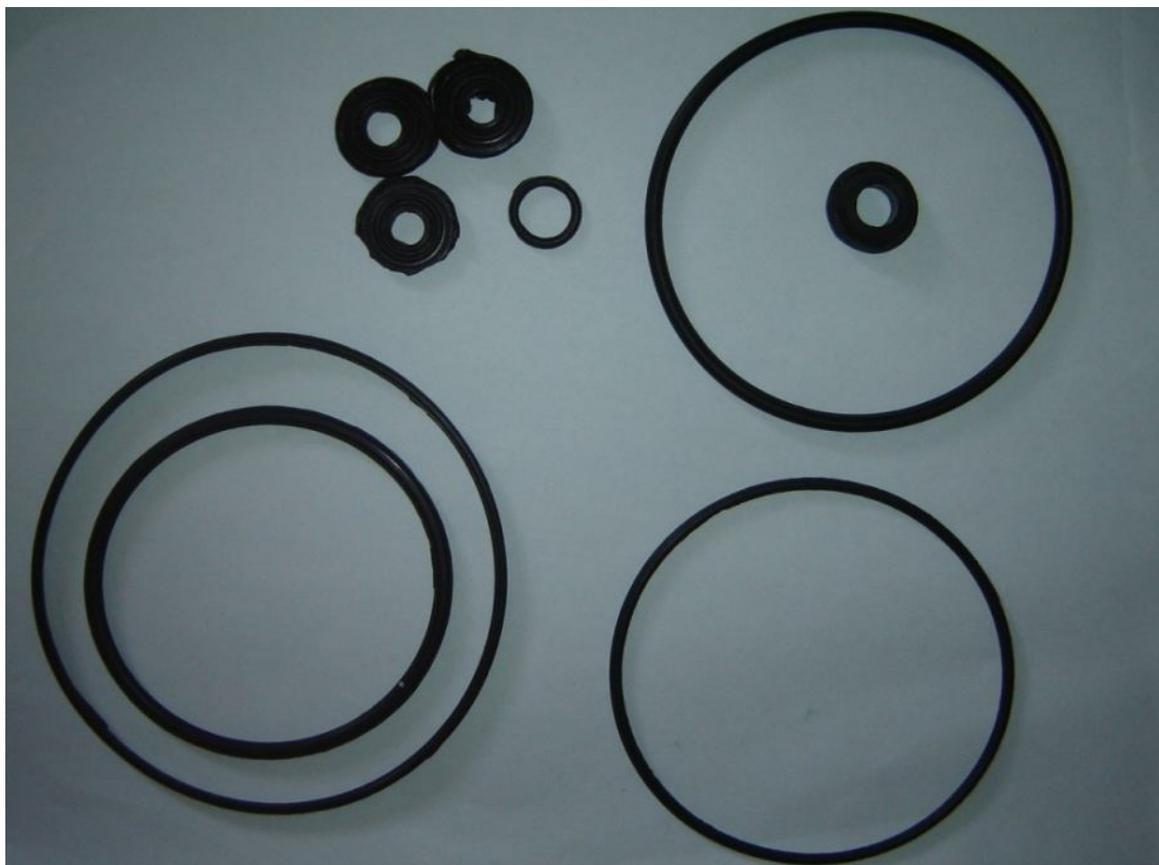


Figura 32. Fotografía Productos de Troquel - Anillos, Empaques y Trompo

ANEXO D. Distribuciones de los Tiempos de las Actividades Correspondientes a los Procesos Productivos de Empaques

ANEXO D1 Distribuciones Originales

Extrusión Estación 2

Distribución:	Gamma
Expresión:	$2.38 + \text{GAMM}(0.0764, 5.28)$
Error Cuadrático:	0.000890
Valor p	> 0.75
Promedio de la Muestra	= 2.78
Desv. Est de la Muestra	= 0.178

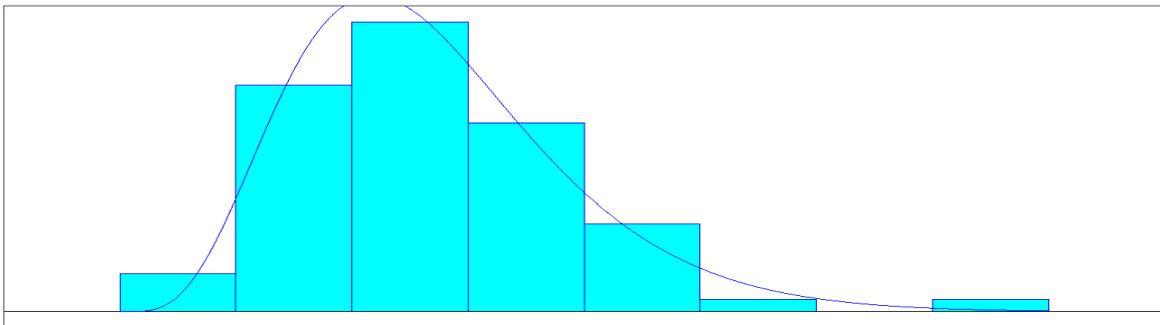


Figura 33. Distribución Para Extrusión Estación 2

Proceso de Vulcanizado

Montar-Prensa 1

Distribución:	Weibull
Expresión:	$0.16 + \text{WEIB}(0.129, 3.47)$
Error Cuadrático:	0.005805
Valor p	= 0.189
Promedio de la Muestra	= 0.276
Desv. Est de la Muestra	= 0.0378

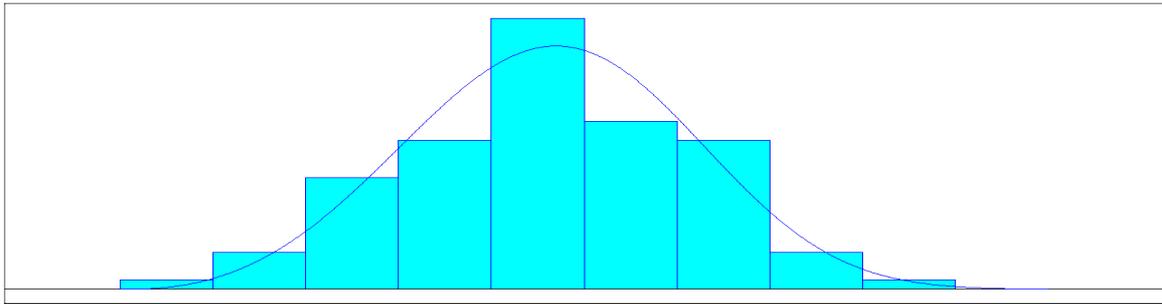


Figura 34. Distribución Montado de Tubo a Prensa – Prensa 1

Montar-Prensa 2

Distribución:	Lognormal
Expresión:	$0.22 + \text{LOGN}(0.0995, 0.0458)$
Error Cuadrático:	0.002931
Valor p	= 0.446
Promedio de la Muestra	= 0.319
Desv. Est de la Muestra	= 0.0431

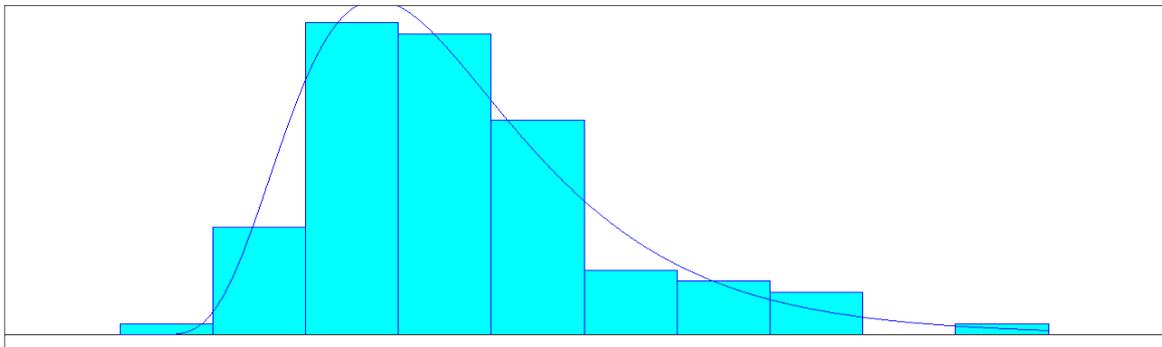


Figura 35. Distribución Montado de Tubo a Prensa – Prensa 2

Prensado-Prensa 1

Distribución:	Beta
Expresión:	$3.55 + 1.15 * \text{BETA}(2.13, 2.05)$
Error Cuadrático:	0.001275
Valor p	= 0.688
Promedio de la Muestra	= 4.14
Desv. Est de la Muestra	= 0.253

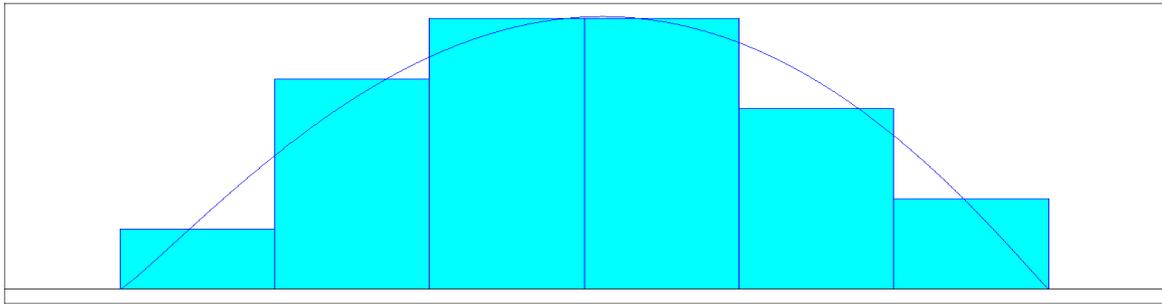


Figura 36. Distribución Prensado de Tubo - Prensa 1

Prensado-Prensa 2

Distribución:	Gamma
Expresión:	$3.28 + \text{GAMM}(0.0891, 4.23)$
Error Cuadrático:	0.010689
Valor p	= 0.0786
Promedio de la Muestra	= 3.66
Desv. Est de la Muestra	= 0.175

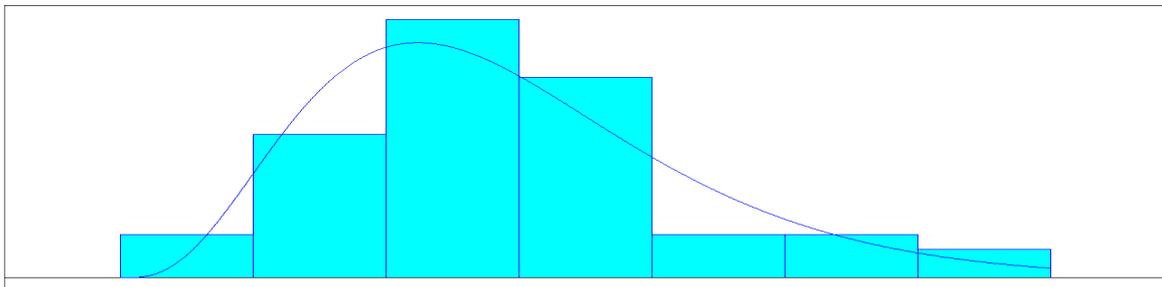


Figura 37. Distribución Prensado de Tubo - Prensa 2

Desmoldar 1

Distribución:	Lognormal
Expresión:	$0.23 + \text{LOGN}(0.207, 0.084)$
Error Cuadrático:	0.004990
Valor p	= 0.104
Promedio de la Muestra	= 0.436
Desv. Est de la Muestra	= 0.0782

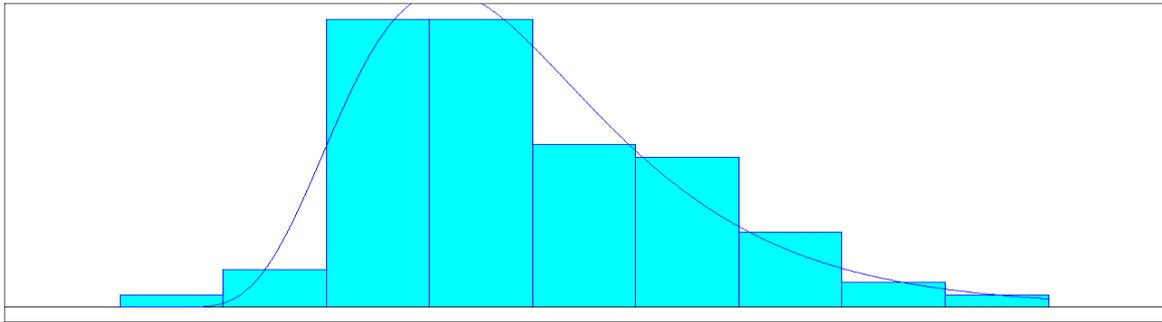


Figura 38. Desmoldado de Tubo - Estación 1

Desmoldar 2

Distribución:	Weibull
Expresión:	$0.26 + \text{WEIB}(0.179, 2.8)$
Estadístico de Prueba	= 0.619
Valor p	= 0.736
Promedio de la Muestra	= 0.42
Desv. Est de la Muestra	= 0.062

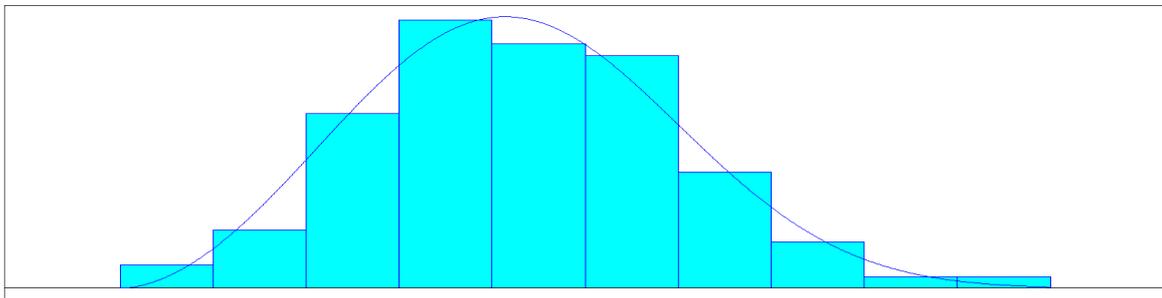


Figura 39. Desmoldado de Tubo - Estación 2

Proceso de Corte

Preparación

Distribución:	Weibull
Expresión:	$0.47 + \text{WEIB}(0.395, 2.06)$
Error Cuadrático:	0.008501
Valor p	= 0.181
Promedio de la Muestra	= 0.818
Desv. Est de la Muestra	= 0.182

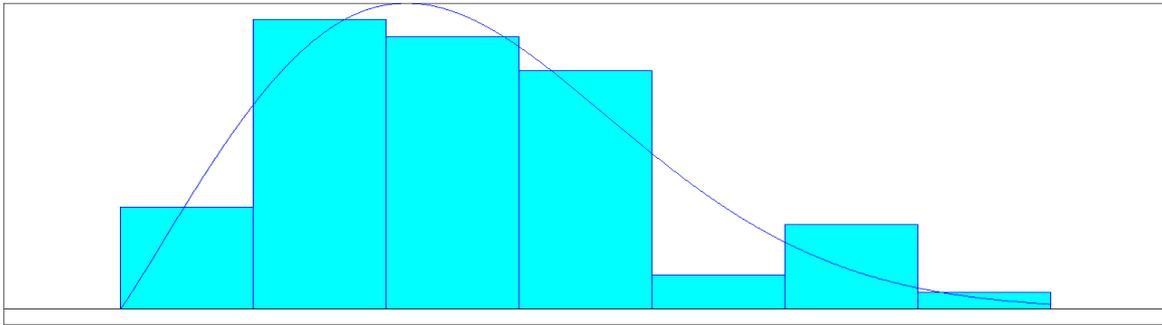


Figura 40. Distribución de la Preparación de Tubo para Corte

Acoplar Tubo

Distribución:	Beta
Expresión:	BETA(4.1, 2.73136)
Error Cuadrático:	0.006758
Valor p	= 0.0575
Promedio de la Muestra	= 0.252
Desv. Est de la Muestra	= 0.0735

Figura 41. Distribución Acoplar Tubo

Corte

Distribución:	Uniform
Expresión:	UNIF(0.86, 2.27)
Error Cuadrático:	0.075089
Valor p	< 0.005
Promedio de la Muestra	= 1.58
Desv. Est de la Muestra	= 0.405

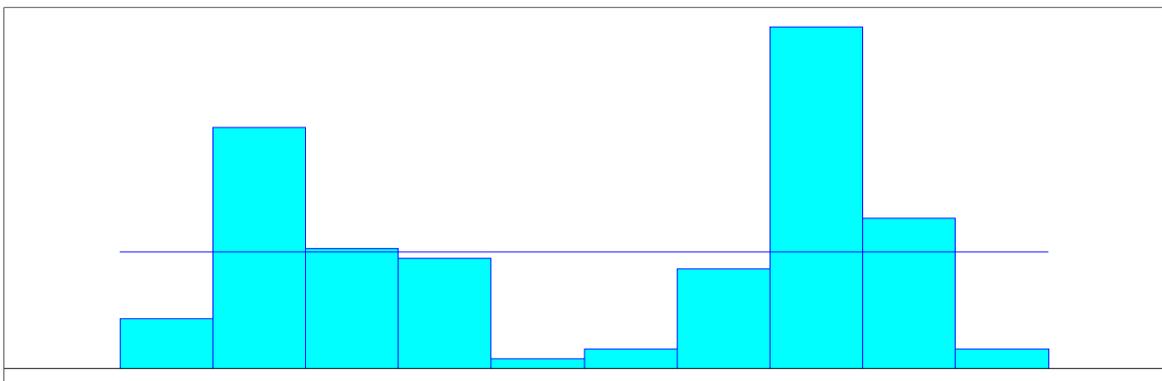


Figura 42. Distribución Corte de Tubo

Desmontar Piezas del Horno

Distribución:	Beta
Expresión:	$0.01 + 0.01 * \text{BETA}(4.56, 4.37)$
Error Cuadrático:	0.004404
Valor p	> 0.15
Promedio de la Muestra	= 0.0151
Desv. Est de la Muestra	= 0.00159

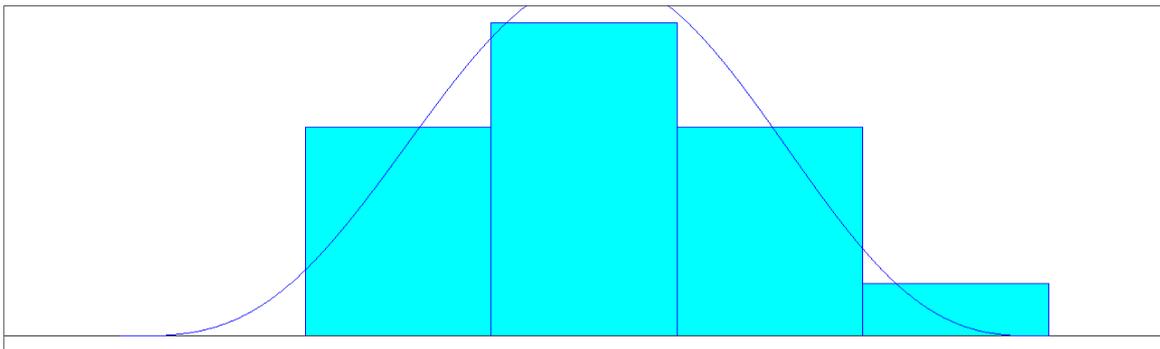


Figura 43. Distribución del Desmontado de Piezas del Horno

Número de Piezas de Horneado

Es el número de piezas que deben ingresar en el horno para poder realizar el proceso.

Distribución:	Empirica
Expresión:	EMPIRIC(1/7, 2500 3/7, 3000 1/7, 3500 1/7, 4000 1/7, 5000)

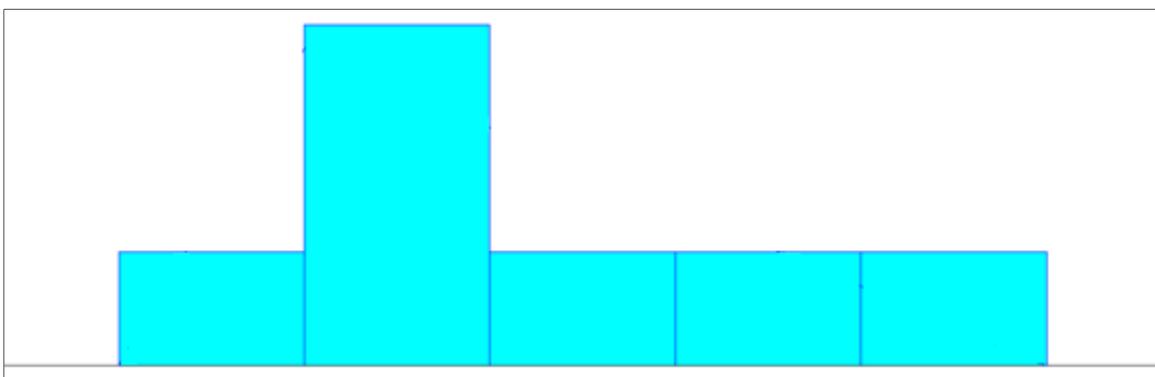


Figura 44. Distribución de Número de Piezas Requeridas para Horneear

ANEXO D2 Distribuciones Corregidas para la Validación del Sistema

Acoplar Matriz a la Extrusora

Distribución:	Beta
Expresión:	$0.17 + 0.25 * \text{BETA}(6.1, 6.87)$
Error Cuadrático:	0.005771
Valor p	= 0.207
Promedio de la Muestra	= 0.288
Desv. Est de la Muestra	= 0.0351

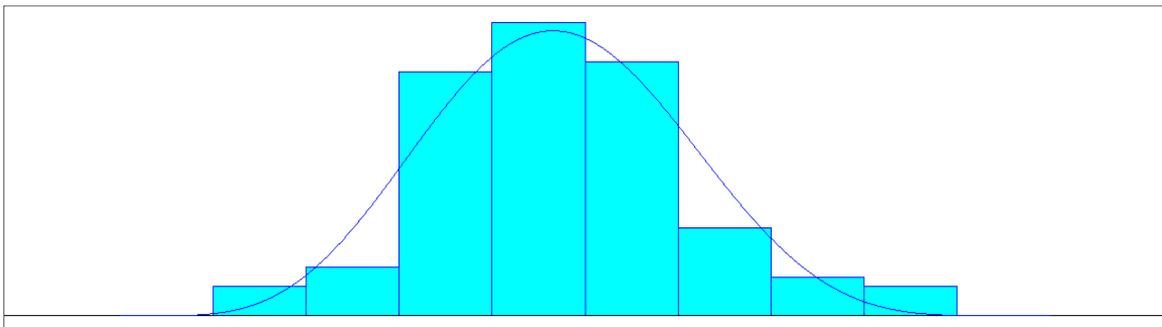


Figura 45. Distribución de los Tiempos Corregidos de Acoplar la Matriz a la Extrusora

Alimentar la Extrusora

Distribución:	Lognormal
Expresión:	$1.08 + \text{LOGN}(0.259, 0.108)$
Error Cuadrático:	0.009845
Valor p	= 0.207
Promedio de la Muestra	= 1.34
Desv. Est de la Muestra	= 0.106

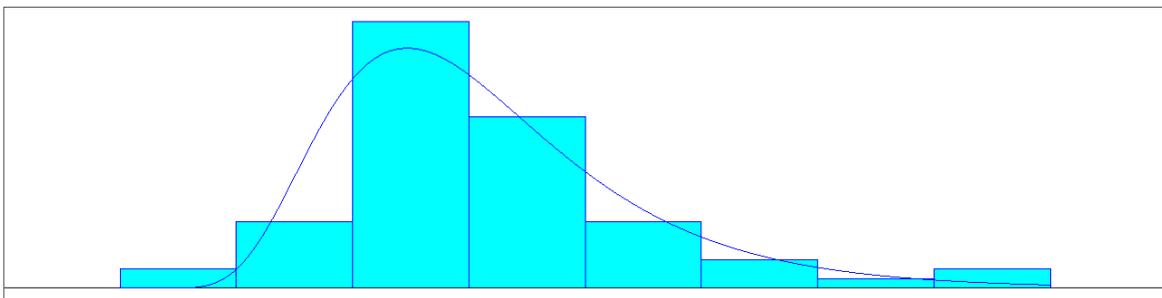


Figura 46. Distribución de los Tiempos Corregidos de Alimentar la Extrusora

Desmontado y Limpieza de Extrusora

Distribución:	Beta
Expresión:	$0.31 + 0.45 * \text{BETA}(5.51, 7.36)$
Error Cuadrático:	0.001907
Valor p	= 0.422
Promedio de la Muestra	= 0.503
Desv. Est de la Muestra	= 0.0598

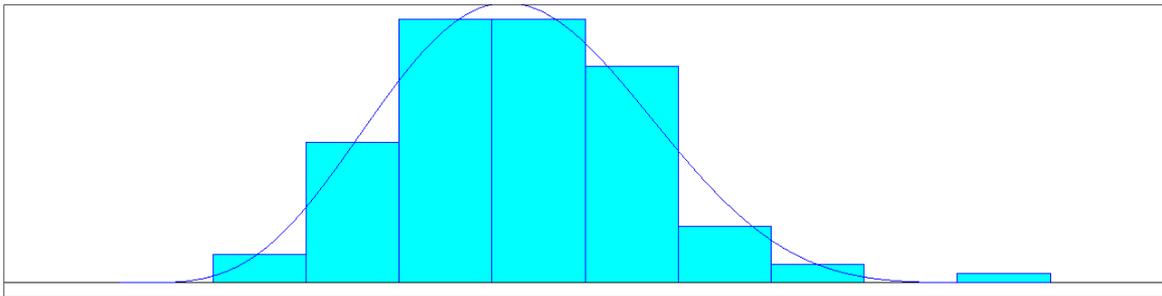


Figura 47. Distribución de los Tiempos Corregidos de Desmontado y Limpieza de Extrusora

Montado de Prensa

Distribución:	Gamma
Expresión:	$0.17 + \text{GAMM}(0.0142, 5.09)$
Error Cuadrático:	0.004356
Valor p	= 0.4
Promedio de la Muestra	= 0.242
Desv. Est de la Muestra	= 0.0327

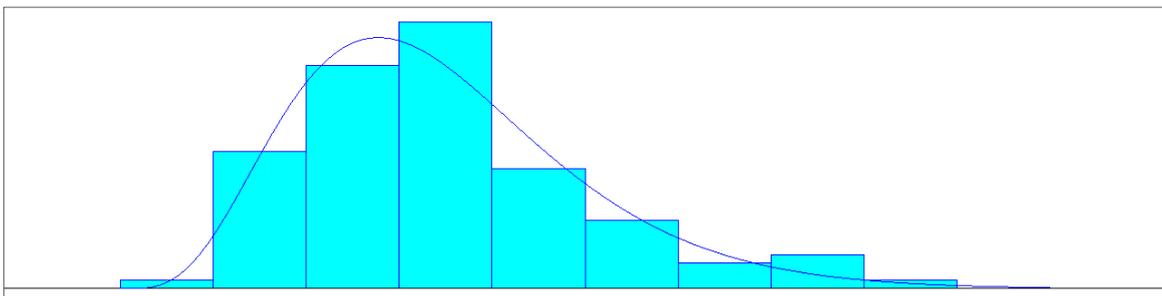


Figura 48. Distribución de los Tiempos Corregidos de Montar Matriz a Prensa

Prensado

Distribución:	Gamma
Expresión:	$2.49 + \text{GAMM}(0.0667, 4.34)$
Error Cuadrático:	0.014052
Valor p	= 0.0584
Promedio de la Muestra	= 2.78
Desv. Est de la Muestra	= 0.133

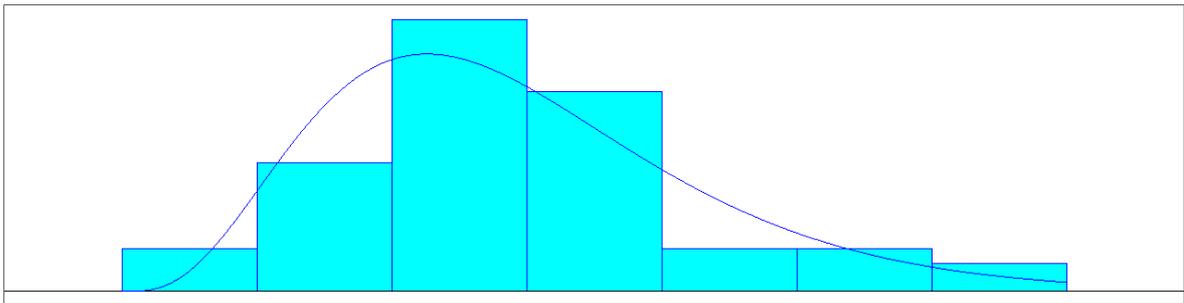


Figura 49. Distribución de los Tiempos Corregidos de Prensado

Desmoldado de Matriz

Distribución:	Normal
Expresión:	$\text{NORM}(0.319, 0.0469)$
Error Cuadrático:	0.001545
Valor p	> 0.75
Promedio de la Muestra	= 0.319
Desv. Est de la Muestra	= 0.0472

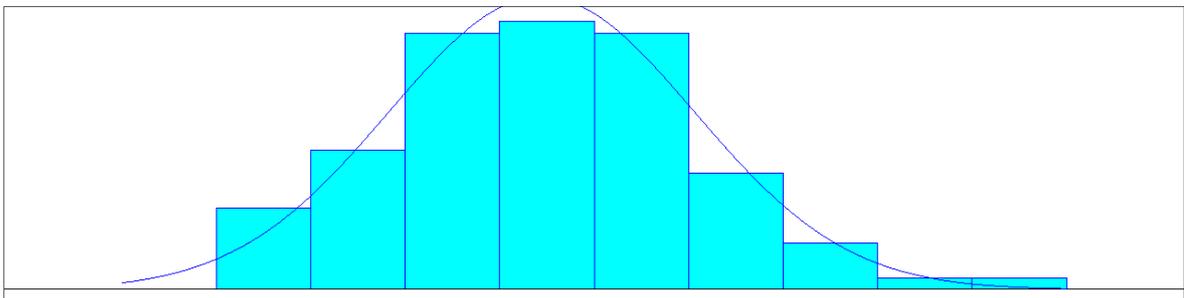


Figura 50. Distribución de los Tiempos Corregidos de Desmoldado de la Matriz

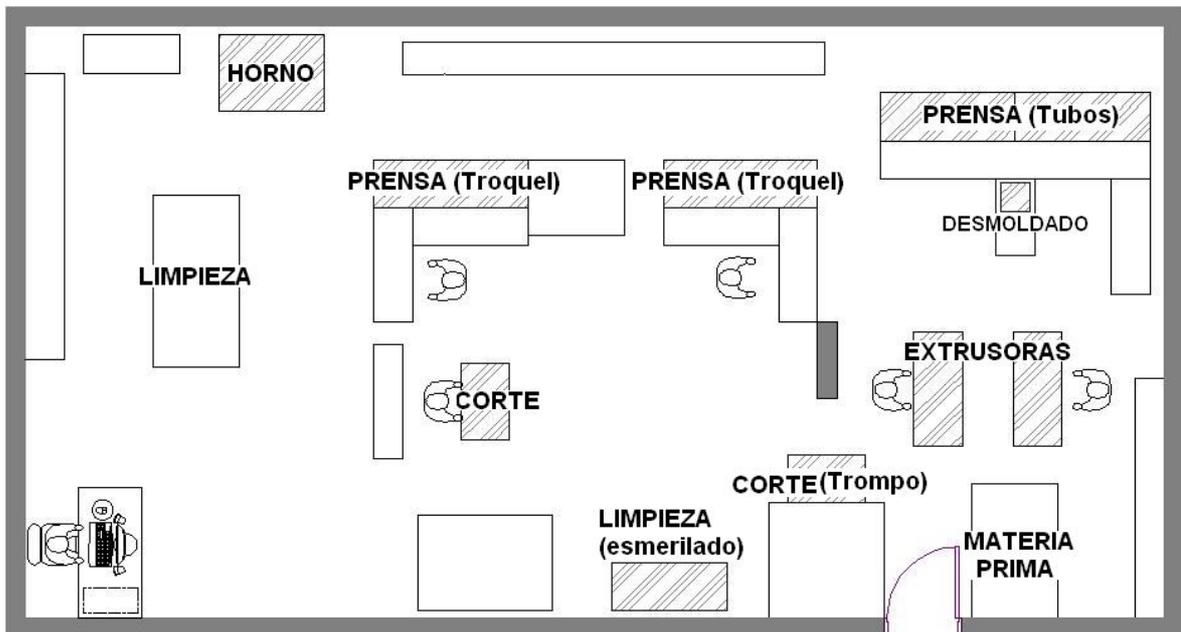
ANEXO E. Layout de la Planta

Figura 51. Distribución de Máquinas del Área de Producción

ANEXO F. Modelo de Simulación

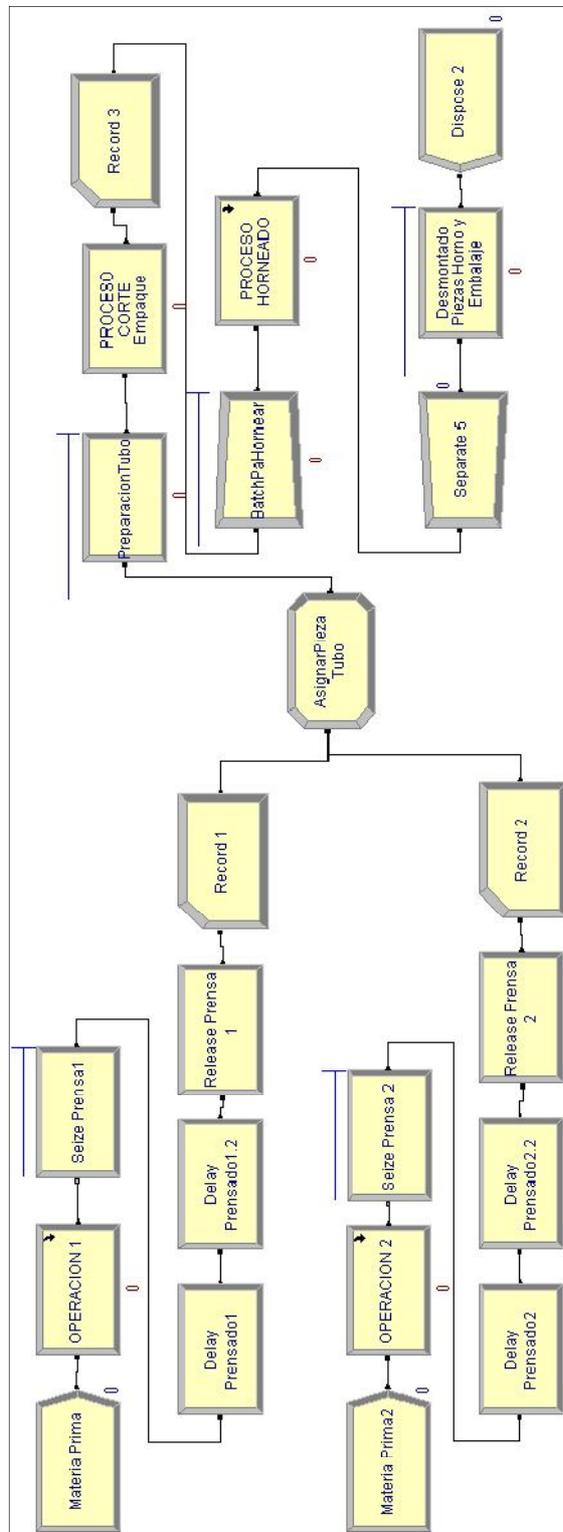


Figura 52. Modelo de Simulación en Arena para el Escenario Actual de Producción

ANEXO G. Prueba de Suposiciones para la Prueba t de dos muestras

ANEXO G1 Prueba de Independencia de Variables para Prueba t de dos muestras

Para la prueba de independencia de las variables dentro de una misma muestra se realizan pruebas de dispersión. La independencia de las variables se presenta al no existir tendencia o patrón de los componentes aleatorios. Las Figuras de la 53 a la 58 muestran las Pruebas de Dispersión para cada una de muestras de datos analizadas.

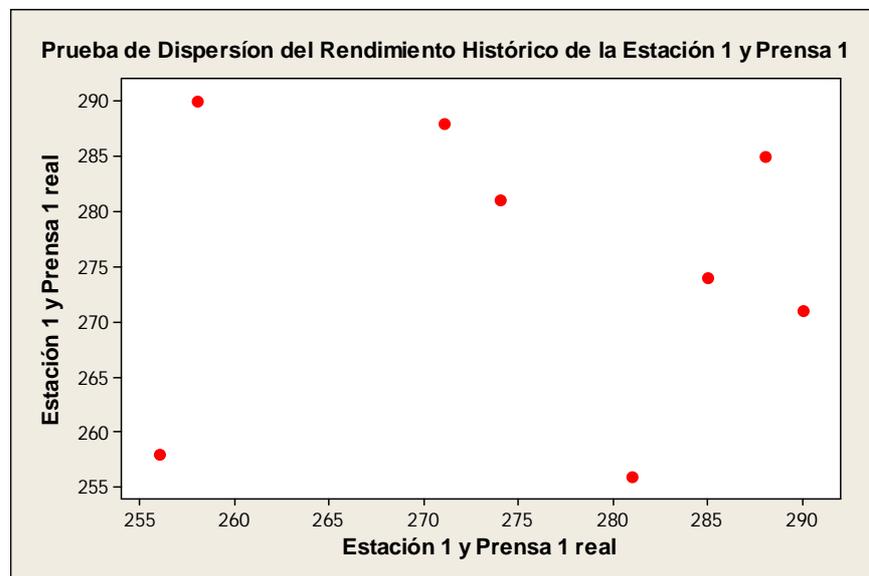


Figura 53. Prueba de Dispersión para la Prueba de Independencia de los datos Históricos de la Tasa de Producción de la Línea 1

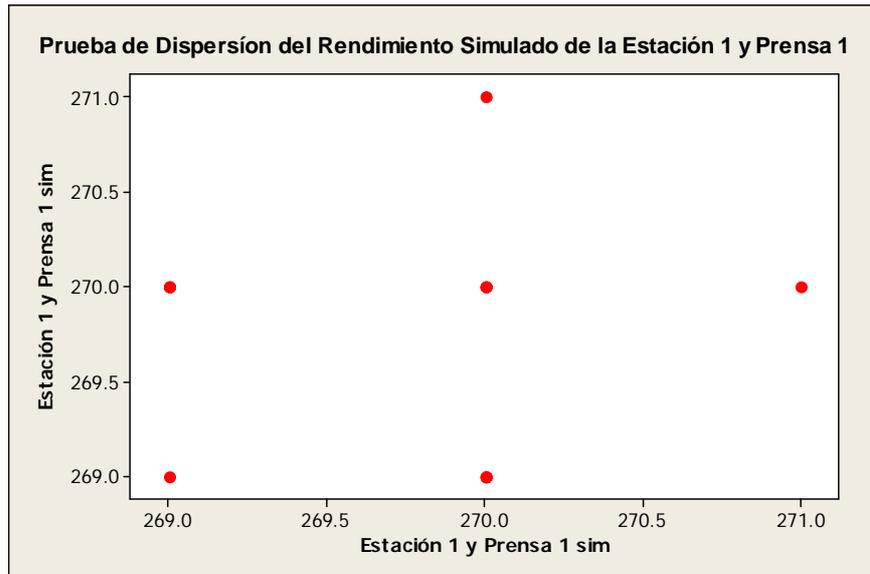


Figura 54. Prueba de Dispersión para la Prueba de Independencia de los datos Simulados de la Tasa de Producción de la Línea 1

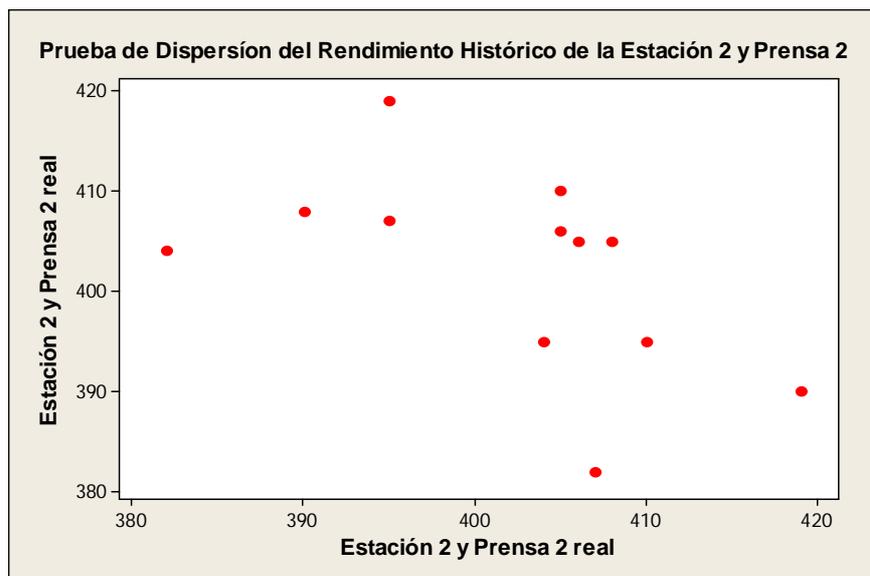


Figura 55. Prueba de Dispersión para la Prueba de Independencia de los datos Históricos de la Tasa de Producción de la Línea 2

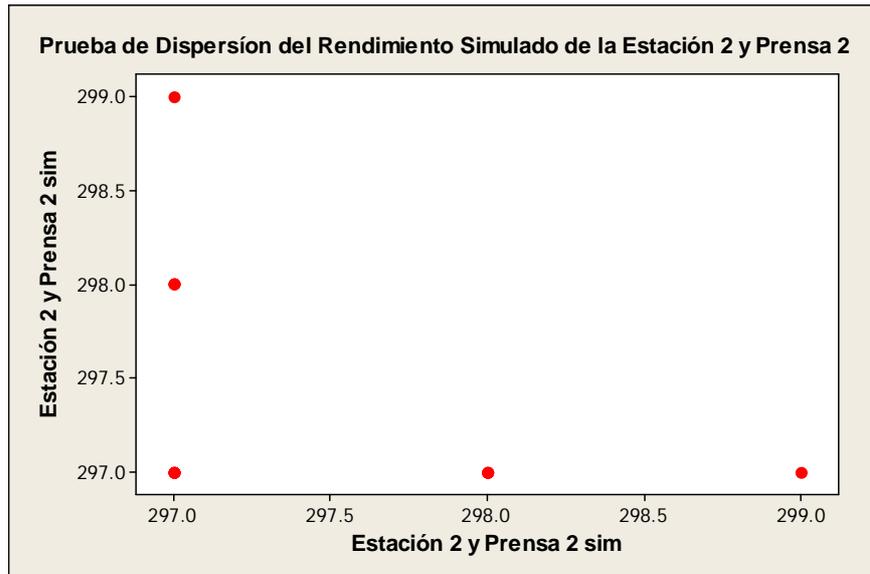


Figura 56. Prueba de Dispersión para la Prueba de Independencia de los datos Simulados de la Tasa de Producción de la Línea 2

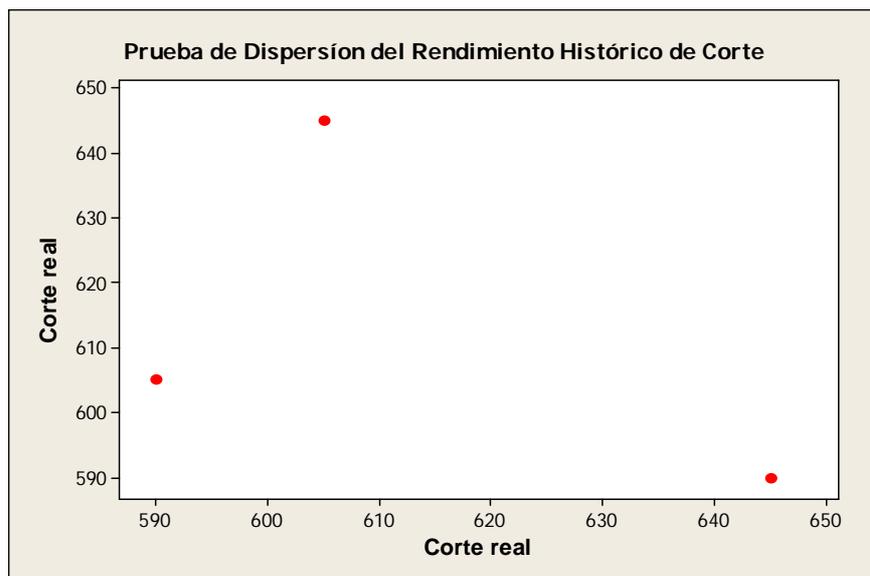


Figura 57. Prueba de Dispersión para la Prueba de Independencia de los datos Históricos de la Tasa de Producción de Corte

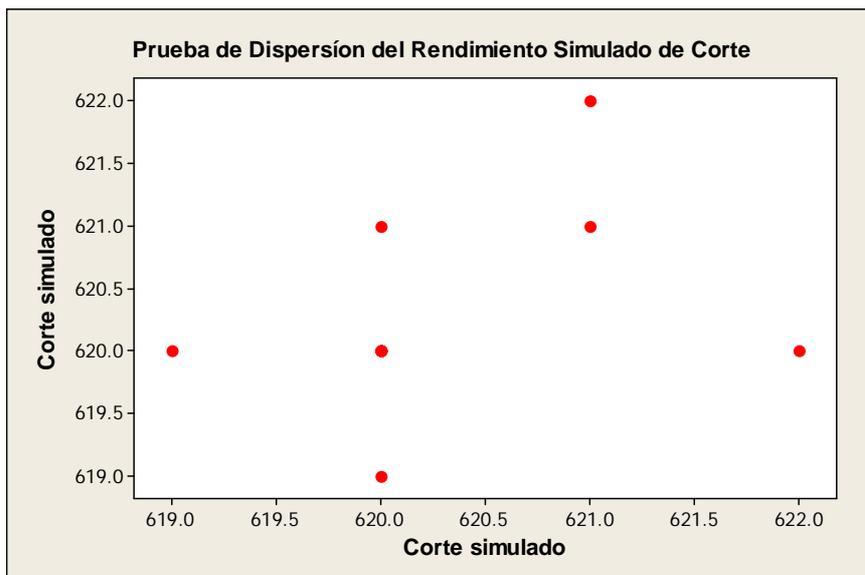


Figura 58. Prueba de Dispersión para la Prueba de Independencia de los datos Simulados de la Tasa de Producción de Corte

ANEXO G2 Prueba de Igualdad de Varianzas para Prueba t de dos muestras

Tabla 46. Prueba de Igualdad de Varianzas del Rendimiento de la Línea 1

	N	Lower	StDev	Upper
Línea 1 real	8	8.17709	13.0706	29.9379
Línea 1 sim	12	0.42032	0.6216	1.1490

F-Test (normal distribution)
Test statistic = 442.17, p-value = 0.000

Levene's Test (any continuous distribution)
Test statistic = 27.14, p-value = 0.000

Tabla 47. Prueba de Igualdad de Varianzas del Rendimiento de la Estación 2

	N	Lower	StDev	Upper
Línea 2 real	12	6.74268	9.97117	18.4318
Línea 2 sim	12	0.45209	0.66856	1.2358

F-Test (normal distribution)
Test statistic = 222.44, p-value = 0.000

Levene's Test (any continuous distribution)
Test statistic = 9.43, p-value = 0.006

Tabla 48. Prueba de Igualdad de Varianzas del Rendimiento de Corte

	N	Lower	StDev	Upper
Corte real	3	13.5818	28.4312	253.499
Corte sim	12	0.4404	0.6513	1.204

F-Test (normal distribution)
Test statistic = 1905.36, p-value = 0.000

Levene's Test (any continuous distribution)
Test statistic = 12.31, p-value = 0.004

ANEXO H. Análisis para la Corrección de los Datos de la Línea 2

De acuerdo a los registros históricos de la producción de la Línea 2, se determinó el tiempo promedio que se demora una pieza en salir del sistema. El rendimiento de producción semanal de acuerdo a los registros históricos es de 402 unidades, lo que significa una producción diaria de 80.4 unidades en promedio. Tomando en consideración las 8 horas de jornada laboral, se tiene un rendimiento promedio de 10.05 unidades por hora. Para alcanzar este rendimiento, las piezas deberían ser procesadas en la Línea 2 a un promedio de 5.97 minutos

Los datos obtenidos durante el estudio de tiempos reflejan que en promedio una pieza se procesa en la Línea 2 es de 6.32 minutos, lo que significa una tasa de producción de 9.49 unidades por hora, que es menor a la observada de acuerdo a los registros históricos.

Por lo tanto, para alcanzar una tasa de producción de al menos 10 unidades por hora de trabajo, el tiempo promedio de proceso que una pieza experimenta en la Línea 2 debe ser de 6 minutos.

De esta manera, se estable el siguiente Factor de Corrección a los tiempos de proceso de los recursos en la Línea 2.

$$\text{Factor de Corrección} = \left(1 - \frac{\text{tiempo deseado}}{\text{tiempo actual}}\right) \times 100 \quad (6)$$

$$\text{Factor de Corrección} = \left(1 - \frac{6}{6.32}\right) \times 100 = 5.06\%$$

De manera práctica, se considerará que el Factor de Corrección es el del 5%.

ANEXO I. Prueba de Suposiciones para la Prueba t de dos muestras para la Propuesta de Mejora

ANEXO I1 Prueba de Independencia de Variables para Prueba t de dos muestras para la Propuesta de Mejora

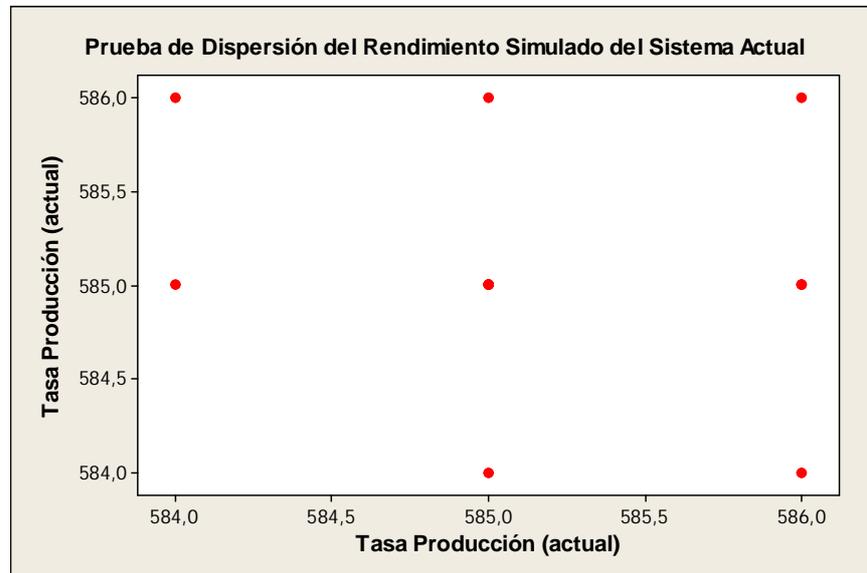


Figura 59. Prueba de Dispersión para la Prueba de Independencia de los datos Simulados de la Tasa de Producción del Sistema Actual

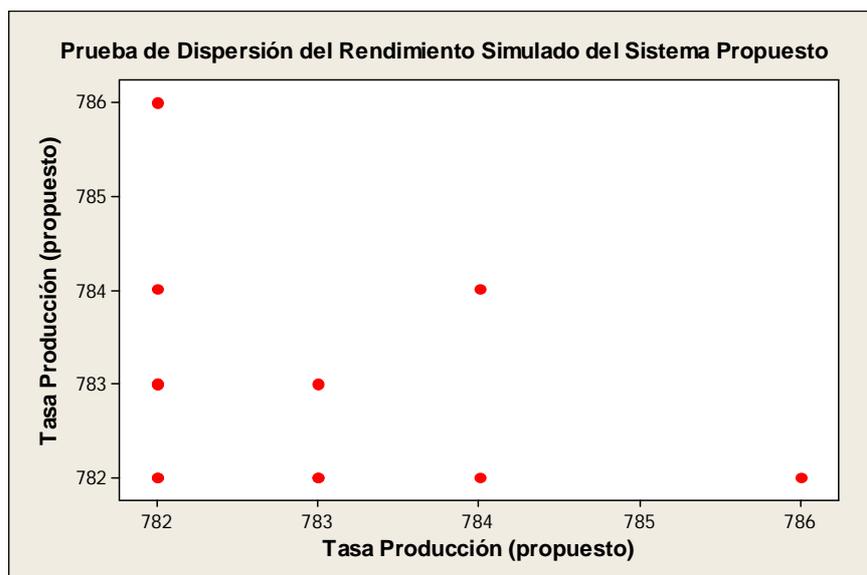


Figura 60. Prueba de Dispersión para la Prueba de Independencia de los datos Simulados de la Tasa de Producción del Sistema Propuesto

ANEXO I2 Prueba de Igualdad de Varianzas para Prueba t de dos muestras para la Propuesta de Mejora

Tabla 49. Prueba de Igualdad de Varianzas para la Tasa de Producción del Sistema

	N	Lower	StDev	Upper
Producción Sistema (ant)	12	0.509718	0.75378	1.39337
Producción Sistema (nuev)	12	0.838586	1.24011	2.29236

F-Test (normal distribution)
Test statistic = 0.37, p-value = 0.113

Levene's Test (any continuous distribution)
Test statistic = 2.39, p-value = 0.137

ANEXO J. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE CAMBIOS

ID	ACTIVIDAD	INICIO	FIN	DURACIÓN	Jun 2009		Jul 2009				Aug 2009			
					21/6	28/6	5/7	12/7	19/7	26/7	2/8	9/8		
1	Compra Motor Nuevo	7/1/2009	7/30/2009	22d										
2	Compra de Insumos para Instalación	7/27/2009	7/31/2009	5d										
3	Instalación Motor	8/3/2009	8/4/2009	2d										
4	Prueba de Validación del Nuevo Motor	8/5/2009	8/7/2009	3d										
5	Selección Personal Nuevo	7/27/2009	7/31/2009	5d										
6	Contratación Nuevo Operario (Corte)	8/3/2009	8/3/2009	1d										
7	Entrenamiento Nuevo Operario (Corte)	8/3/2009	8/7/2009	5d										
8	Puesta en Marcha Nuevo Sistema	8/10/2009	8/10/2009	1d										

Generación Propia

Figura 61. Cronograma de Actividades para la Implementación de Cambios al Sistema de Producción