



Universidad Nacional De Córdoba

Facultad de Ciencias Exactas,

Físicas y Naturales

Escuela de Ingeniería Industrial



**“Aplicación de Modelos de Simulación Basado
en Eventos Discretos para la Optimización de
una Línea Productiva”**

Autora:

SANTA CRUZ, CAROLINA. Matrícula: 35531499

Tutor:

AMBROSINI, ALEJANDRO

CÓRDOBA, DICIEMBRE 2014

DEDICATORIA

Principalmente a mis padres que dieron todo para que pudiera cumplir este objetivo y convertirme en la persona que soy.

También, a todos mis profesores y demás docentes que se cruzaron en mi camino durante la carrera, por la paciencia y el aprendizaje brindado.

Por último, a mi compañero de vida, a mi familia y amigos que me apoyaron e hicieron mucho más fácil este largo camino.

RESUMEN

El presente Proyecto Integrador busca implementar una herramienta de modelado y simulación de eventos discretos a un sistema constituido por una línea productiva de implantes traumatológicos con el objetivo de encontrar su cuello de botella y proponer soluciones al mismo. Se desarrollaron varias teorías para el logro de la meta planteada.

Primero, se utilizó como guía principal la teoría de proyectos de simulación de eventos discretos para dirigir las actividades necesarias que requiere lograr una simulación representativa de la realidad. Dentro de esta metodología, se utilizó la Teoría General de Sistemas para conceptualizar y modelar el sistema bajo estudio de forma de definir y entender correctamente el alcance y los límites del dicho sistema.

Una vez planteado el modelo de simulación utilizando el software *ExtendSim*, se extrajo la información del funcionamiento del sistema obtenida de las corridas de simulación. A esta información, se aplicaron distintos métodos de detección de cuellos de botella para poder, mediante la Teoría de las Restricciones, descubrir los eslabones más débiles de la línea productiva.

Al descubrir dichos cuellos de botella, se pudo decidir a donde enfocar los esfuerzos de la empresa para lograr aumentos en la capacidad y, por lo tanto, en la productividad de la compañía. Se propusieron diversas herramientas de los sistemas esbeltos para superar las restricciones descubiertas y lograr un proceso de mejora continua dentro de la organización.

PALABRAS CLAVE: Simulación – Eventos discretos – Cuellos de botella – Sistemas esbeltos – Mejora continua.

ABSTRACT

This final project seeks to implement a tool of modeling and discrete-event simulating of a system which consists of a productive line that fabricates trauma implants and prosthesis. The objective is to find the bottleneck of the system and suggest solutions for it. Several theories were developed to reach the stated goal.

First, the theory of discrete-event simulation projects was used as a general guidance for the entire project in order to lead the activities necessary for building a simulation model that is representative of company reality. In this methodology, General System Theory was used for conceptualizing and modeling the system under study in order to define and understand correctly the scope and limits of that system.

Once the simulation model was built using ExtendSim software, the information about the operation of the system was obtained from the simulation runs. Several bottleneck detection methods were used over this information, in attempt to find the weakest link of the productive line according to the Theory of Constraints.

When the bottlenecks were founded, decisions about where to target the efforts of the company were taken, with the objective of increasing throughput and, therefore, productivity. Different industrial management tools were proposed in order to overcome the restrictions discovered and achieve continuous improvement in the organization.

Índice

DEDICATORIA	2
RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	4
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVOS GENERALES	1
1.2 OBJETIVOS PARTICULARES.....	2
1.3 METODOLOGÍA	2
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 TEORÍA DE SISTEMAS	3
2.2 TRANSFORMACIONES ENTRE MODELOS.....	4
2.3 MODELOS DE SIMULACIÓN	5
2.4 TEORÍA DE LAS RESTRICCIONES (TOC: <i>THEORY OF CONSTRAINTS</i>).....	9
2.5 MÉTODOS PARA IDENTIFICAR CUELLOS DE BOTELLA.....	11
2.6 SISTEMAS ESBELTOS.....	11
2.6.1 <i>Calidad en el origen</i>	12
2.6.2 <i>Vínculos estrechos con los proveedores</i>	13
2.6.3 <i>Componentes y métodos de trabajo estandarizados</i>	13
2.6.4 <i>Mantenimiento Preventivo</i>	13
CAPÍTULO 3. PRESENTACIÓN DE LA ORGANIZACIÓN	15
3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL	15
3.2 DESCRIPCIÓN DE PRODUCTOS Y PROCESOS	20
3.3 FODA (FORTALEZAS, OPORTUNIDADES, DEBILIDADES Y AMENAZAS)	28
CAPÍTULO 4. PROYECTO DE SIMULACIÓN	31
4.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	31
4.2 OBJETIVOS Y PLAN DEL PROYECTO	31
4.3 CONCEPTUALIZACIÓN DEL MODELO: TEORÍA DE SISTEMAS.....	31
4.3.1 <i>Modelo Sistémico</i>	31
4.3.2 <i>Transformación</i>	42
4.3.3 <i>Modelo Precursor (Cyclone)</i>	42
4.4 RECOLECCIÓN DE DATOS.....	44
4.4.1 <i>Eficiencia General de los Equipos</i>	44
4.5. TRADUCCIÓN DEL MODELO	53
4.5.1 <i>Elección software de simulación</i>	53
4.6. VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN	86
4.7. ANÁLISIS DE LA CONFIGURACIÓN DE LA SIMULACIÓN: DISEÑO DE EXPERIMENTOS.	88
4.7.1 <i>Análisis de estado estacionario y duración de la simulación</i>	90
4.7.2 <i>Número de corridas</i>	91
4.8. CORRIDA DE SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	92

CAPÍTULO 5. PROPUESTAS DE MEJORA	97
5.1 GESTIÓN DE CALIDAD TOTAL (TQM: TOTAL QUALITY MANAGEMENT).....	97
5.2 “KATA” Y GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO.....	100
5.3 GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO.....	102
5.4 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM: <i>TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE</i>)	104
5.5 ALTERNATIVAS PARA ADECUAR LA CAPACIDAD DISPONIBLE Y NECESARIA A CORTO Y MEDIANO PLAZO	108
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES	110
BIBLIOGRAFÍA:	112
ANEXO 1: ESTUDIOS DE TIEMPOS	115
ANEXO 2: TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS TIEMPOS DE PRODUCCIÓN	126
ANEXO 3: PROCEDIMIENTO Y REGISTROS DE MANTENIMIENTO.	154

Lista de Tablas

Tabla 1. Máquinas: tornos.....	27
Tabla 2. Máquinas: fresas.....	28
Tabla 3. Máquinas: amoladoras.....	28
Tabla 4. Máquinas: pulidoras.....	28
Tabla 5. Máquinas para terminación	28
Tabla 6. Relaciones internas del sistema.....	38
Tabla 7. Relaciones externas del sistema.....	38
Tabla 8. Datos de rechazos de calidad para componente patelar.....	48
Tabla 9. Datos de calidad para componente femoral.....	49
Tabla 10. Motivos de rechazo componente femoral	50
Tabla 11. Datos de rechazos en producción para femorales.....	52
Tabla 12. Cálculo del número de corridas necesarias de simulación.....	91
Tabla 13. Estado de los almacenes durante la simulación	95
Tabla 14. Planilla de toma tiempos: primer torneado componente patelar.	116
Tabla 15. Planilla de toma tiempos: segundo torneado componente patelar.....	117
Tabla 16. Planilla de toma tiempos: fresado componente patelar.	118
Tabla 17. Planilla de toma tiempos: lijado componente patelar.....	119
Tabla 18. Planilla de toma tiempos: pulido componente patelar.	120
Tabla 19. Planilla de toma tiempos: fresado componente femoral.....	121
Tabla 20. Planilla de toma tiempos: fresado componente femoral.....	122
Tabla 21. Planilla de toma tiempos: lijado componente femoral.....	123
Tabla 22. Planilla de toma tiempos: pulido componente femoral.	124
Tabla 23. Planilla de toma tiempos: granallado componente femoral.	125
Tabla 24. Resumen de tiempos de proceso I.....	127
Tabla 25. Estadística descriptiva I.....	128
Tabla 26. Prueba de normalidad I.....	129
Tabla 27. Prueba de normalidad sobre datos simulados I.....	129
Tabla 28. Resumen de tiempos de proceso II.....	131
Tabla 29. Estadística descriptiva II.....	132
Tabla 30. Prueba de normalidad II.....	133
Tabla 31. Prueba de normalidad sobre datos simulados II.....	133
Tabla 32. Resumen tiempos de proceso III.....	135
Tabla 33. Estadística descriptiva III.....	136
Tabla 34. Prueba de bondad de ajuste III.....	137
Tabla 35. Prueba de bondad de ajuste sobre datos simulados III.....	138
Tabla 36. Resumen tiempos de proceso IV.....	139
Tabla 37. Estadística descriptiva IV.....	140
Tabla 38. Prueba de bondad de ajuste IV.....	141
Tabla 39. Prueba de bondad de ajuste sobre datos simulados IV.....	142
Tabla 40. Resumen tiempos de proceso V.....	143
Tabla 41. Estadística descriptiva V.....	144
Tabla 42. Prueba de bondad de ajuste V.....	145

Tabla 43. Prueba de bondad de ajuste sobre datos simulados V	146
Tabla 44. Resumen tiempos de proceso VI	148
Tabla 45. Estadística descriptiva VI.....	149
Tabla 46. Prueba de bondad de ajuste VI	150
Tabla 47. Prueba de bondad de ajuste sobre datos simulados VI	151
Tabla 48. Resumen tiempos de proceso VII	152
Tabla 49. Resumen tiempos de proceso VIII	153
Tabla 50. Resumen tiempos de proceso IX	153

Lista de imágenes

Imagen 1. Transformación de Modelo Sistémico a Modelo Precursor. Fuente: Ambrosini (2013)	5
Imagen 2. Pasos para realizar un proyecto de simulación (en inglés). Fuente: Banks et al. (2005)	7
Imagen 3. Distribución geográfica de la demanda de productos médicos. Fuente: MINCyT.	17
Imagen 4. Distribución de clientes Prima Implantes.	17
Imagen 5. Diseño de una organización. Fuente: Mintzberg (2004)	19
Imagen 6. Variedad de productos Prima Implantes	20
Imagen 7. Prótesis de Reemplazo Total de Rodilla	21
Imagen 8. Diagrama de flujo del proceso productivo completo Prima Implantes S.A.	23
Imagen 9. Diagrama de flujo del proceso de planta	24
Imagen 10. Componente femoral	25
Imagen 11. Diagrama de flujo proceso componente femoral	25
Imagen 12. Componente tibial monoblock	26
Imagen 13. Componente Patelar	26
Imagen 14. Diagrama de flujo componente patelar	27
Imagen 15. FODA: Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas de la empresa.	29
Imagen 16. Representación recursiva del sistema	34
Imagen 17. Inputs y Outputs del sistema	35
Imagen 18. Grafo del modelo sistémico	37
Imagen 19. Diagrama de influencias del sistema	41
Imagen 20. Modelo precursor con software Disco Cyclone	43
Imagen 21. Modelo de simulación: proceso completo. Software ExtendSim.	56
Imagen 22. Modelo de simulación: centro de trabajo torneado. Software ExtendSim.	58
Imagen 23. Modelo de simulación: Línea de Torneado. Software ExtendSim.	60
Imagen 24. Modelo de simulación: centro de trabajo fresado. Software ExtendSim.	64
Imagen 25. Lista de materiales para componente femoral	66
Imagen 26. Modelo de simulación: línea de fresado. Software ExtendSim.	68
Imagen 27. Modelo de Simulación: Centro de Trabajo Pulido. Software ExtendSim.	71
Imagen 28. Modelo de simulación: Líneas paralelas de lijado. Software ExtendSim.	73
Imagen 29. Modelo de simulación: línea de lijado. Software ExtendSim.	75
Imagen 30. Modelo de simulación: Líneas paralelas de pulido. Software ExtendSim.	77
Imagen 31. Modelo de simulación: Línea de pulido. Software ExtendSim.	79
Imagen 32. Modelo de simulación: Línea de vibrado. Software ExtendSim.	81
Imagen 33. Modelo de simulación: Línea de granallado. Software ExtendSim.	83
Imagen 34. Configuración de las corridas de simulación.	89
Imagen 35. Diagrama de Ishikawa para los 4 motivos principales de rechazos obtenidos del Diagrama de Pareto.	99
Imagen 36. Diagrama de flujo del proceso de gestión del mantenimiento.	106

Lista de gráficos

Gráfico 1. Evolución de la Prod. de Insumos y Eq. Médico e Ind. Manufacturera. Fuente: MINCyT	18
Gráfico 2. Evolución de las cantidades producidas en función del tiempo sin restricción	66
Gráfico 3. Evolución de las cantidades producidas en función del tiempo con restricción.	67
Gráfico 4. Productividad en función del tiempo	90
Gráfico 5. Cantidad de piezas producidas total y por componente.	92
Gráfico 6. Proporción de los problemas de calidad en el componente femoral.	93
Gráfico 7. Porcentajes de estado de las máquinas (%TPP: Porcentaje de tiempo de puesta a punto).....	94
Gráfico 8. Diagrama de Pareto: Motivos de rechazo componente femoral.	97
Gráfico 9. Gráfico de cajas I	128
Gráfico 10. Densidad de puntos I	128
Gráfico 11. Histograma I	128
Gráfico 12. Distribución empírica I	128
Gráfico 13. Densidad de puntos II	132
Gráfico 14. Gráfico de cajas II	132
Gráfico 15. Distribución empírica II	132
Gráfico 16. Histograma II	132
Gráfico 17. Densidad de puntos III	136
Gráfico 18. Gráfico de cajas III	136
Gráfico 19. Distribución empírica III	136
Gráfico 20. Histograma III	136
Gráfico 21. Densidad de puntos IV	140
Gráfico 22. Gráfico de cajas IV	140
Gráfico 23. Histograma IV	140
Gráfico 24. Distribución empírica IV	140
Gráfico 25. Densidad de puntos V	144
Gráfico 26. Gráfico de cajas V	144
Gráfico 27. Histograma V	144
Gráfico 28. Distribución empírica V	144
Gráfico 29. Densidad de puntos VI	149
Gráfico 30. Gráfico de cajas VI	149
Gráfico 31. Histograma VI	149
Gráfico 32. Distribución empírica VI	149

CAPÍTULO 1. Introducción

Este proyecto integrador busca presentar una herramienta que no es comúnmente usada en la mayoría de las empresa nacionales para estudiar y optimizar procesos. Sin embargo, presenta grandes potencialidades para resolver casos complejos y que implican el manejo de muchas variables a tener en cuenta como sucede en cualquier línea productiva. La herramienta mencionada es la simulación de eventos discretos mediante un paquete de software, que permite programar el funcionamiento de cualquier proceso y simular el mismo para identificar problemas y plantear soluciones. A diferencia de otras herramientas aplicables como los sistemas MRP (*“Manufacturing Resource Planning”*) y la filosofía “Justo a Tiempo”. Esta herramienta permite estudiar procesos más complejos de manera más rápida y cómoda ya que una vez programada la simulación que refleja la realidad del sistema bajo estudio, se puede analizar la evolución de su funcionamiento en el tiempo, estimar producciones, probar cualquier tipo de cambio en el sistema sin necesidad de afectar el normal funcionamiento de la línea, estimar resultados productivos para justificar inversiones, etc.

La simulación de eventos discretos ha sido aplicada a sistemas de manufactura desde los años '60. Sin embargo, la evolución computacional ha hecho crecer su uso en los '90 aunque todavía en Europa y Japón es sólo utilizado esporádicamente por unas pocas empresas. Esto implica que dicha herramienta tiene un gran potencial para ser explotado aún y es lo que se busca mostrar en este trabajo.

Con el objetivo de utilizar esta herramienta, se buscó una empresa de la que se pudiera obtener un rápido y fácil acceso a la información de manera de obtener los datos necesarios para programar la simulación. Esta empresa se llama Prima Implantes y se dedica a la fabricación de implantes traumatológicos en la ciudad de Córdoba, Argentina.

A través de dicha herramienta, se estudió profundamente el proceso en cuestión y se recolectaron datos de la realidad para ingresar a la simulación. Luego, se programó el funcionamiento de la línea de manera simplificada debido a que la inmensa variedad de productos que produce la compañía complejiza demasiado el sistema para su programación de acuerdo a los objetivos de este proyecto integrador. Por último, con los resultados obtenidos de la simulación se decidió acerca del/de los cuellos de botella del área productiva de la empresa y se plantearon posibles soluciones a los mismos.

1.1 Objetivos Generales

El objetivo general de este trabajo es construir un modelo de simulación para determinar los cuellos de botella de la línea productiva bajo estudio, en la cual la información es incompleta.

1.2 Objetivos Particulares

Los objetivos particulares del proyecto integrador son:

- (1) Mostrar la potencialidad de la herramienta de modelado y simulación de eventos discretos
- (2) Promover un mejor entendimiento de la línea productiva través de la información generada para diseñar el modelo de simulación.
- (3) Identificar cuellos de botella de la línea.
- (4) Encontrar las variables más importantes que afectan a la productividad del sistema y proponer mejoras para su optimización.

1.3 Metodología

Se utilizaron, básicamente, tres grandes herramientas a lo largo del desarrollo del proyecto integrador.

Primero y principal, se utilizó como guía general de todo el proyecto los pasos, sugeridos por Banks et al (2005) y Law (2006), para guiar a un diseñador de modelos durante un estudio de simulación. De esta forma, se logra tener un método claro y preciso de las etapas que se deben cumplir para generar un modelo válido y estadísticamente correcto y así, poder lograr resultados confiables.

Dentro de esta guía para proyectos de simulación, existe una de las etapas llamada conceptualización del modelo. Para dicha fase se utilizó la Teoría General de Sistemas, propuesta por Johansen Bertoglio (1982) y Ambrosini (2013), que pretende explicar los fenómenos que suceden en la realidad mediante el análisis de las totalidades y las interacciones internas entre éstas y las externas con su medio. Permite entonces, dar un entendimiento más acabado del sistema bajo estudio, en este caso, de una línea productiva. Se logra así una visión integral y total que permite, mediante las transformaciones y el concepto de modelización sugerido por Ambrosini (2013), llegar de forma fluida y organizada a un modelo de simulación que abarca la realidad de acuerdo a los objetivos claros del diseñador.

Por último, se utilizó la Teoría de las Restricciones (Goldratt, 2004 y Dominguez Machuca, 1995) o TOC por sus siglas en inglés (*Theory of Constraints*) que desarrolla una filosofía de gestión de sistemas que se crea sobre una guía y se diseña para lograr un proceso de mejora continua. Se aplicó para encontrar los recursos cuellos de botella o restricciones del sistema que determinan la capacidad de la planta. Entonces al incrementar la capacidad de dichos recursos, se incrementa la capacidad total de la línea productiva en consecuencia y se mejora la productividad de la compañía, objetivo principal de este proyecto.

CAPÍTULO 2. Marco Teórico

2.1 Teoría de Sistemas

La TGS de sus siglas “Teoría General de Sistemas” puede definirse como una forma ordenada y científica de aproximación y representación del mundo real, es decir, una poderosa herramienta que permite explicar fenómenos que se suceden en la realidad y predecir su conducta futura.

La TGS fue una idea desarrollada por L. Von Bertalanffy en 1930 que investiga las propiedades de los sistemas que se presentan consistentemente en los distintos campos científicos, causando un gran impacto en la comunidad científica.

Existen muchas definiciones de sistemas, generando distintos enfoques en la TGS pero presentaremos la definición simple y concisa de Johansen Bertoglio (1982): un sistema es “un conjunto de partes coordinadas y en interacción para alcanzar un conjunto de objetivos”.

La metodología sistémica consiste en describir a un sistema estática y dinámicamente a partir de una serie de conceptos que se explicarán brevemente a continuación según Johansen Bertoglio (1982), Ambrosini (2013) y Arnold & Osorio (1998):

- Realidad: es la existencia real y efectiva de una cosa afectada por la subjetividad de quien la observa.
- Plano de análisis: es el punto de vista desde el cual se analiza a la realidad observada. Existen infinitos planos de análisis desde los que se puede estudiar una realidad pero deben quedar claramente definidos de manera de guiar correctamente el diseño del sistema.
- Objetivo general y secundario: es la finalidad, explícita o implícita, de la realidad misma evitando la subjetividad o influencia por parte del diseñador que tiene sus propios objetivos para con la realidad observada.
- Objetivo del diseñador del sistema: es la intención de la persona que diseña un sistema, la cual guiará al diseñador en su construcción conceptual de la realidad.
- Motivación del diseñador: responde al motivo por el cual el diseñador está diseñando el sistema en cuestión. La motivación se puede ver afectada por distintos sentimientos, como por ejemplo la conveniencia, el conocimiento, la experiencia pasada, la aceptación o rechazo hacia la realidad estudiada, la cantidad de esfuerzo y tiempo que implica el diseño del sistema, etc.
- Recursos del diseñador: son propiamente los recursos con que cuenta el diseñador para poder lograr los objetivos propuestos y, claramente, a mayor complejidad de la realidad observada, mayores recursos se consumirán.
- Sinergia y recursividad: sinergia es la propiedad de los sistemas por la cual la suma de sus partes consideradas por separado no logran igualar al sistema total ya que el mismo depende también del tipo de interacciones entre dichas partes. La recursividad, por su parte, es el grado de detalle con que se estudia un sistema, es decir, el orden de

jerarquía con que se analizará al sistema teniendo en cuenta que siempre existe un sistema de mayor orden.

- Tiempo y escala temporal: se debe definir el entorno temporal en que se está diseñando el sistema, determinando la fecha, el calendario y el incremento de tiempo que se considerará para estudiarlo.
- Subsistemas de control y retroalimentaciones: es la capacidad del sistema para estudiar su conducta con respecto al medio e informarse de los resultados y consecuencias generados de forma de poder autorregularse de modo conveniente para su supervivencia.
- Medio ambiente y frontera de un sistema: es la delimitación del sistema sobre el cual se hará foco respecto del resto del universo donde éste está incorporado. Se determina así el medio ambiente el cual influencia significativamente al sistema pero que no es influenciado con la misma significancia por el sistema. Se puede distinguir un medio cercano que se vincula en forma directa al sistema y uno lejano, en forma indirecta.
- Ingresos (“Inputs”) y Egresos (“Outputs”) del sistema: son los flujos entrantes del medio hacia el sistema y los flujos saliente del sistema hacia el medio respectivamente. Este intercambio se puede dar en forma de información, de recursos, de energía, etc.
- Dinámica del sistema: implica comprender las causas estructurales que provocan el comportamiento del sistema generando diagramas de influencias que permitan identificar bucles de realimentación negativa o positiva de carácter autorregulador o inestabilizador respectivamente.

Ambrosini (2013), sugiere la confección de matrices de incidencia, semejantes a las utilizadas en matemática discreta, que permitan resumir la complejidad de las relaciones entre los diferentes subsistemas y entre ellos y el medio ambiente. Se debe, previamente, generar un grafo del modelo sistémico donde se enumeren los subsistemas para poder identificar las relaciones existentes y explicarlas. Al sumar los totales por filas y columnas, se pueden identificar posibles vértices del sistema para los subsistemas más relacionados y, subsistemas superfluos poco relacionados.

2.2 Transformaciones entre modelos

Siguiendo la metodología propuesta por Ambrosini (2013), se observa la necesidad de generar un modelo intermedio entre el sistémico y el de simulación para evitar pérdidas de información en el traspaso directo de uno a otro. Esta transformación permite la coherencia total entre ambos modelos. Esta primera transformación implica incorporar información referida a la variabilidad del problema en el tiempo adquiriendo una visión dinámica del modelo sistémico a través de un modelo precursor previo al modelo de simulación. Se debe elegir primero el software con que se planteará el modelo precursor dependiendo si el problema es de eventos discretos o de flujos continuos. Luego, se procede a transformar los subsistemas en reservorios o stocks y las relaciones entre los subsistemas en flujos o procesos especificados en las matrices de incidencia interna y externa de acuerdo a la siguiente imagen 1.

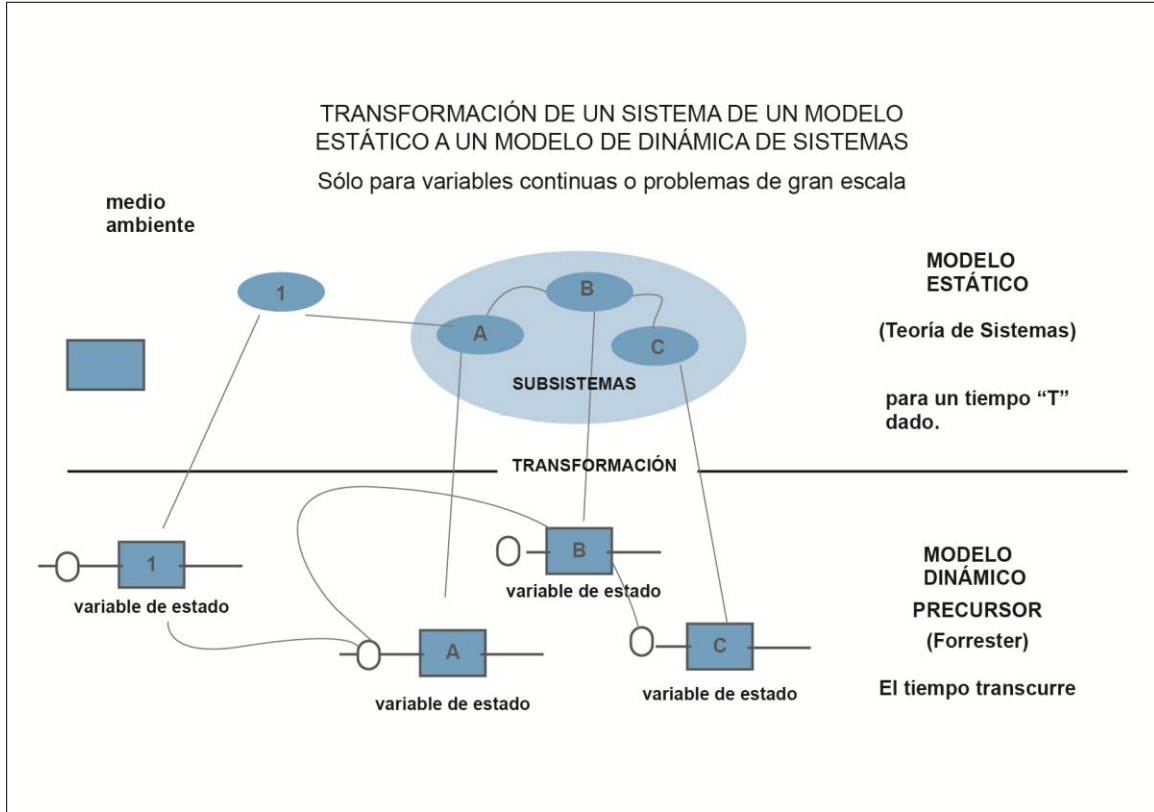


Imagen 1. Transformación de Modelo Sistémico a Modelo Precursor. Fuente: Ambrosini (2013)

La segunda transformación, implica elegir un software de simulación acorde al tipo de modelo de simulación que se quiera utilizar, ya sea de eventos discretos, flujos continuos o híbridos. Con este software seleccionado, se debe programar el funcionamiento del sistema guardando isomorfismo con el planteo dinámico del modelo precursor que, a su vez, guarda isomorfismo con el modelos sistémico estático planteado mediante la conceptualización de la TGS.

2.3 Modelos de simulación

Como explica Banks et al. (2005), un sistema puede ser estudiado mediante experimentos reales sobre dicho sistema o mediante experimentos a través de un modelo de dicho sistema. Para esta segunda opción, que incluye la modelación del sistema, existen otras dos opciones: crear un modelo físico o un modelo matemático. Dentro de los modelos matemáticos se puede elegir entre una solución analítica o una simulación.

La mayor ventaja de la simulación es que no se afecta al funcionamiento del sistema real mientras que si aplicaran cambios a la realidad, esto puede resultar costoso, disruptivo y hasta

imposible. Cuando el sistema a estudiar es muy complejo, los métodos analíticos suelen ser muy difíciles de desarrollar por lo que se requiere de la simulación.

Pero, ¿qué es entonces la simulación? Es una imitación, principalmente estadística, de la operación de un proceso del mundo real o de un sistema a través del tiempo bajo ciertos supuestos. Existen distintos tipos de modelos de simulación: determinísticos o estocásticos, estáticos o dinámicos y continuos o discretos.

El tipo de simulación utilizado en este proyecto es un modelo de simulación determinístico, dinámico y discreto. Para ayudar a diseñar un modelo de simulación correcto durante un proyecto de simulación, los autores Banks et al. (2005) y Law (2006), sugieren el cumplimiento de la mayoría de los siguientes pasos mostrados en la imagen 2.

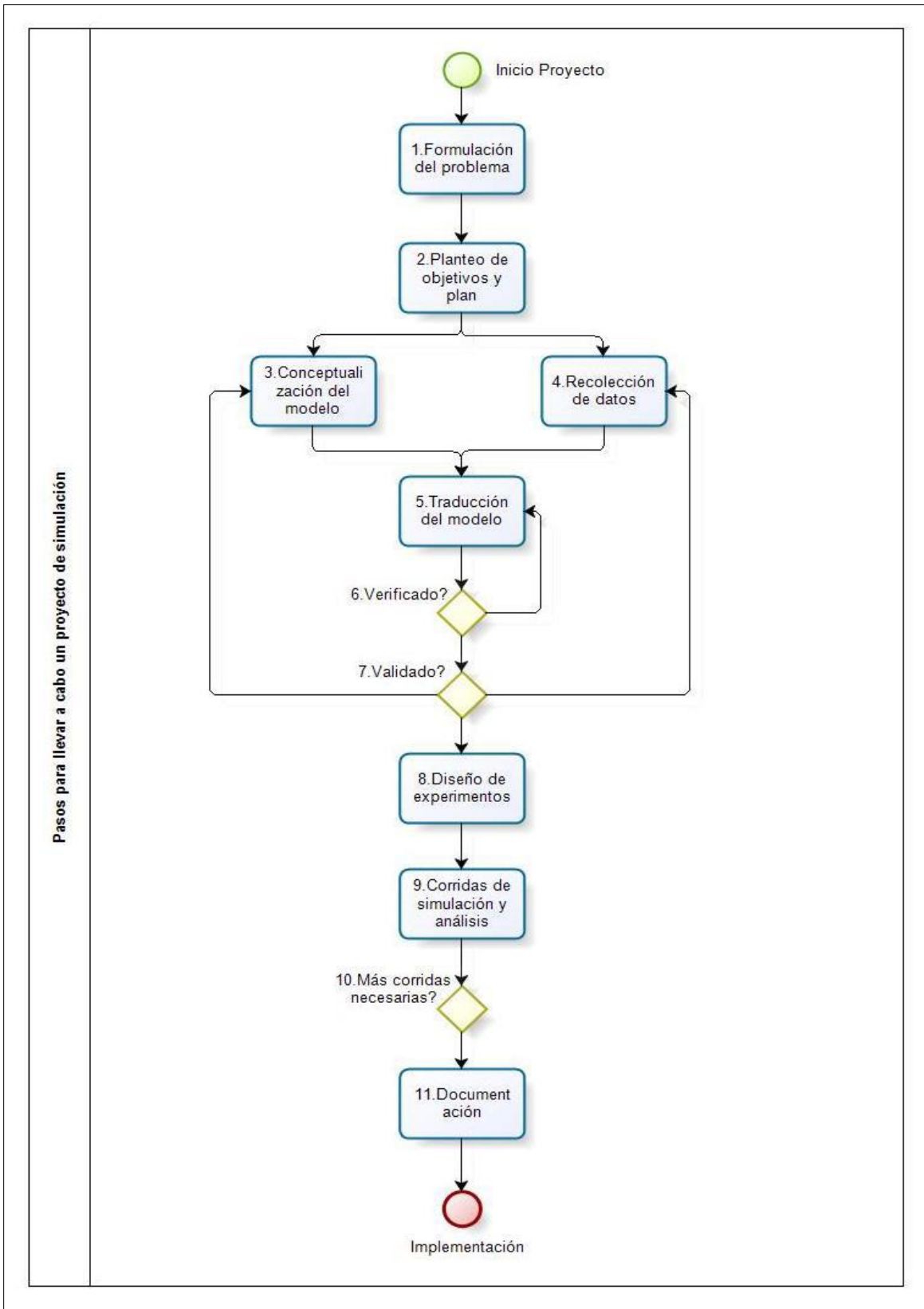


Imagen 2. Pasos para realizar un proyecto de simulación (en inglés). Fuente: Banks et al. (2005)

Se explicarán brevemente las actividades que se requieren realizar en cada uno de los pasos sugeridos en la imagen anterior sin especificar fórmulas y procedimientos estadísticos que pueden ser consultados en la bibliografía mencionada. Los pasos sugeridos son:

1. Formulación del problema a solucionar: definirlo claramente para que sea entendido tanto por la empresa donde se realiza la simulación como por el encargado de la simulación.
2. Planteo de objetivos y plan general del proyecto: indicar las preguntas a ser contestadas, el por qué del proyecto, el dueño del proyecto, la fecha estimada de resultados, el grado de detalle que tendrá el proyecto, la metodología a utilizar, si el modelo planea ser utilizado a futuro o sólo servirá para el objetivo planteado, etc.
3. Conceptualización del modelo: Describir el modelo de forma simple y acotada, abstrayendo los aspectos esenciales del problema a resolver. Intentar ir definiendo los inputs y outputs en los que se tiene mayor interés.
4. Recolección de datos: layout, procesos, datos para decidir sobre parámetros del modelo y distribuciones de probabilidad, datos para una futura validación, etc. También generar un documento con todos los supuestos del modelo tanto estructurales como de los datos recolectados y su forma de recolección.
5. Traducción del modelo: determinación del lenguaje o paquete de software a utilizar para el proyecto.
6. Verificación y Validación: esto es, primero, determinar si el modelo ha sido correctamente traducido en el software depurando errores de programación y, segundo, determinar si ese modelo de simulación es una buena representación del sistema real para los objetivos particulares del proyecto. Para validar se debe involucrar al personal de la empresa en cuestión, hacer análisis de sensibilidad, revisar el documento de supuestos paso por paso, comparar resultados del modelo con datos históricos o datos reales actuales, test de Turing, etc.
7. Diseño de experimentos: definir la longitud de las corridas de simulación, el tiempo de “calentamiento” de la simulación para llegar a condiciones de régimen y la cantidad de réplicas de las corridas de simulación para obtener resultados confiables.
8. Corridas de simulación y análisis.: Analizar los outputs obtenidos a través de la simulación, generar escenarios “What if”, diseñar nuevos experimentos, utilizar la optimización basada en la simulación, etc.
9. Decisión de necesidad de más corridas: definir si es necesario cambiar la cantidad de corridas de simulación para las nuevas configuraciones planteadas en el paso anterior.
10. Documentación: describir funcionalidades, lógicas, relaciones a través de gráficos, diagramas de flujo, imágenes, etc. y también documentar el progreso del proyecto de simulación cronológicamente describiendo el trabajo realizado y las decisiones adoptadas.
11. Implementación: el éxito de la implementación dependerá de cuán bien realizados se hayan hecho los pasos anteriores y de que los supuestos hayan sido correctamente comunicados.

2.4 Teoría de las Restricciones (TOC: *Theory of Constraints*)

Según Dominguez Machuca et al. (1995), la TOC se basa en dos características organizacionales fundamentales. La primera, es la estructura jerárquica piramidal que genera problemas cuando los mandos medios buscan un óptimo local para el área que tienen a cargo que a veces no es coherente con el óptimo global de la empresa. Sucede, entonces que la cúspide es la que posee una visión global de la organización para coordinar el esfuerzo de todas las áreas y perseguir la integración. La segunda, es la configuración organizacional como una sucesión de acciones en cadena donde el rendimiento está determinado por el eslabón más débil. Por lo tanto, la cumbre estratégica de la compañía debe esforzarse por encontrarlos y enfocarse es fortalecer dichos eslabones débiles que son llamados limitaciones del sistema.

Se llaman así porque impiden a la compañía acercarse a la meta: ganar dinero de forma sostenida. Estas restricciones o cuellos de botella son definidas por Goldratt (2004): *“un cuello de botella es un recurso cuya capacidad es igual o menor a la demanda que hay de él”*. Por lo tanto, los cuellos de botella determinan la capacidad de la planta independientemente de la demanda. Entonces, si se incrementa la capacidad del cuello de botella, se incrementa consecutivamente la capacidad de la empresa en su totalidad.

Goldratt (2004) también sugiere, en consecuencia, 5 pasos fundamentales para implementar la TOC y generar un proceso de mejora continua:

- 1) Identificar la/s restricción/es del sistema: se refiere a encontrar los pocos elementos que determinan la capacidad del sistema cualquiera sea la complejidad de dicho sistema.
- 2) Decidir cómo explotar la/s restricciones del sistema: esto implica mejorar el desempeño de la línea buscando la forma de obtener la mayor producción posible en la etapa considerada como restricción.
- 3) Subordinar todo lo demás a la decisión del paso anterior: consiste en hacer que el resto de los recursos actúen en función de la capacidad de la restricción ya que de nada sirve exigirles un máximo rendimiento si la capacidad global no se verá influenciada por ello.
- 4) Elevar la/s restricción/en del sistema: significa aumentar la capacidad de dichas restricciones para explotar al máximo la misma. Sin embargo, puede suceder que al hacerlo, la restricción desaparezca pero esto no implica la finalización de la metodología, queda un quinto paso.
- 5) Si en los pasos previos se elimina alguna restricción, regresar al paso uno: de esta forma se sigue un proceso de mejora continua ya que seguramente la restricción se encuentra ahora en otra parte del sistema pudiendo aún mejorar más el rendimiento global.

Goldratt (2004), además, enuncia nueve reglas que sintetizan los principios básicos para optimizar la producción:

- 1° Equilibrar el flujo de producción, no la capacidad productiva. El flujo se debe diseñar en función del cuello de botella haciendo que éste marque el ritmo de producción.

- 2° El uso de un recurso no cuello de botella está determinado por una limitación ajena al recurso. Si a un recurso no cuello de botella se le establece una producción superior a la del flujo permitido por el cuello de botella, sólo se acumulará stock de materiales en proceso.
- 3° No es lo mismo utilizar un recurso que activar un recurso. De acuerdo al autor de la TOC, utilizar un recurso significa hacer uso del recurso de un modo que mueva el sistema hacia la meta, es decir, obteniendo beneficios del mismo.
- 4° Una hora perdida en un cuello de botella es una hora que pierde todo el sistema ya que es el que determina la capacidad global del sistema.
- 5° Una hora ganada en un recurso no cuello de botella es un espejismo ya que lo único que genera es stock de material en proceso sin aportar beneficios.
- 6° Los cuellos de botella rigen tanto el inventario como la facturación del sistema.
- 7° El lote de transferencia puede no ser igual al lote en proceso. El lote de transferencia es el que se utiliza para transportar elementos de un puesto de trabajo a otro mientras que el lote de proceso es el realizado por un centro de trabajo entre dos puestas a punto. Cuando se subdividen los lotes de proceso en lotes más pequeños de transferencia, se acortan los tiempos totales del ciclo de producción.
- 8° El lote de proceso puede ser variable a lo largo de su ruta y en el tiempo.
- 9° Las prioridades solo se pueden fijar teniendo en cuenta todas las limitaciones del sistema. El tiempo de fabricación es un derivado del programa.

La TOC propone un sistema de programación y control de la producción llamado DBR por sus siglas en inglés (*Drum, Buffer, Rope* o Tambor, Colchón y Cuerda en castellano). En esta técnica, el tambor representa el ritmo de producción determinado por el cuello de botella que deben seguir el resto de los recursos. La cuerda ata al cuello de botella con el primer recurso de la línea haciendo que la materia prima que ingresa sea en las cantidades justas para abastecer al cuello de botella posterior. El colchón es el amortiguador que se ubica delante del cuello de botella para proteger el mismo de cualquier problema previo en el ritmo de la producción establecido por los componentes anteriores, (Goldratt, 2004).

2.5 Métodos para identificar cuellos de botella

A partir del surgimiento de la teoría de las restricciones de Goldratt, el estudio de los cuellos de botella ganó atención rápidamente y existen muchos artículos que estudian distintos métodos para identificar los cuellos de botella.

Roser et al. (2003) sugiere la existencia de 5 métodos que permiten la detección de cuellos de botella y prueba su funcionamiento mediante la simulación de distintas configuraciones de líneas productivas. Los métodos son:

1. Método del factor de utilización: mide el porcentaje de tiempo que una estación productiva está siendo utilizada respecto del tiempo total en que se mide el sistema. La máquina con mayor porcentaje de utilización sería el cuello de botella.
2. Método del tamaño de colas al frente de una máquina: mide justamente la cantidad de productos que se acumulan frente a una máquina intentando ser procesados. Entonces, la máquina con la cola más larga de espera debería ser el cuello de botella.
3. Método del tiempo de espera al frente de una máquina: mide el tiempo de espera en vez del tamaño de las colas que se generan frente a una máquina. La estación donde las piezas esperen más tiempo en una cola previa sería el cuello de botella.
4. Método del período activo: mide el tiempo o porcentaje del tiempo total tenido en cuenta en que la máquina estuvo activo. Un estado es considerado activo siempre y cuando la máquina pueda causar que otras máquinas deban esperar, es decir, cuando está trabajando o en reparación o cambiando herramientas. Un estado inactivo sería cuando está esperando o bloqueada. Entonces, la máquina con el mayor período activo es el cuello de botella.
5. Método del cuello de botella cambiante: mide la sumatoria de las duraciones en que una máquina está en estado activo sin interrupción en un período de tiempo. Los períodos de tiempo en que la estación es un único cuello de botella se suman a los períodos de tiempo en que la estación es un cuello de botella “compartido” para encontrar el tiempo total de cuello de botella de la máquina. Entonces, aunque algunas máquinas puedan ser instantáneamente un cuello de botella, la que tenga el mayor valor será el mayor cuello de botella.

En Roser et al. (2002), Roser et al. (2003) y Lima et al. (2008) se realizan casos de estudio utilizando los distintos métodos y obteniendo conclusiones de la confiabilidad en los resultados y los casos en que conviene usar cada uno de ellos ya que todos poseen ventajas y desventajas ante determinadas situaciones.

2.6 Sistemas Esbeltos

Según Krajewski et al. (2008) los sistemas esbeltos son “*Sistemas de operaciones que maximizan el valor agregado por cada una de las actividades de una compañía, mediante la reducción de los recursos innecesarios y la supresión de los retrasos en las operaciones*”.

El Sistema de Producción Toyota (TPS) es un claro ejemplo de estos sistemas esbeltos que afectan el funcionamiento de la totalidad de los vínculos existente dentro de la organización y de la misma con el medio que la rodea, es decir, clientes y proveedores. Estos sistemas se caracterizan por ciertas cualidades, algunas de las cuales se explicarán a continuación.

2.6.1 Calidad en el origen

De acuerdo con Krajweski et al. (2008), esta característica de los sistemas esbeltos implica satisfacer de forma sistemática las expectativas del cliente. Esto se logra haciendo que toda la organización se esfuerce en forma conjunta para mejorar la calidad de los productos de la empresa. El objetivo principal de esta metodología es que los trabajadores nunca pasen unidades defectuosas al siguiente proceso.

Una forma de implementar la calidad en el origen es, según Heizer y Render (2009), la gestión de la calidad total (TQM por sus siglas en inglés Total Quality Management). Este método comprende a toda la organización, desde proveedores hasta clientes y se basa en siete conceptos básicos para su implementación eficaz. De estos siete conceptos, se enfocará en dos de ellos: la mejora continua y la potenciación de los empleados.

La mejora continua supone que todos los aspectos de una organización pueden ser mejorados ininterrumpidamente, incluyendo personas, equipos, proveedores, materiales y procedimientos. El objetivo último es la perfección y el cero defecto que aunque son ideales, no deben dejar de perseguirse. Los japoneses llaman *kaizen* a este proceso de mejora sin fin y lo califican como una cultura de trabajo que debe ser emanada desde los directivos de la compañía. Existe un modelo muy simple y efectivo conocido como PDCA (por sus siglas en inglés "*Plan, Do, Check, Act*") que implica incentivar la mejora continua a través de 4 pasos iterativos que implican planificar al identificar una mejora, realizar dicho plan, comprobar que el mismo funcione y por último actuar implementándolo.

La potenciación de los empleados implica involucrar a los operarios en todos los pasos del proceso productivo. Esto se debe a que estas personas son las que entienden dicho proceso mejor que nadie porque lidian todos los días con él. En consecuencia, conocen sus puntos débiles y permiten enfocar las mejoras correctamente. Se proponen 5 técnicas específicas para la implementación de este concepto: (1) establecer redes de comunicación que incluyan a los empleados, (2) elegir supervisores que sean abiertos y den apoyo, (3) trasladar responsabilidades de directivos y personal de control a los empleados de producción, (4) formar organizaciones con una moral alta, y (5) crear estructuras organizativas oficiales como equipos y círculos de calidad.

Además, el TQM ofrece 7 herramientas útiles para analizar la calidad y su mejora: las hojas de control, los diagramas de dispersión, los diagramas de Ishikawa o causa-efecto, los gráficos de Pareto y los diagramas de flujo. (Heizer y Render, 2009).

2.6.2 Vínculos estrechos con los proveedores

Como el objetivo principal de los sistemas esbeltos es tener bajos niveles de inventarios se necesita tener vínculos cercanos con los proveedores para lograr entregas frecuentes y puntuales y de alta calidad. Esto requiere establecer una estrategia coherente de la cadena de suministro. (Kajweski et al. 2006)

Según Hezier & Render (2009), existen distintas estrategias de la cadena de suministro: muchos proveedores, pocos proveedores, integración vertical, redes keiretsu y compañías virtuales. De éstas, se explicarán sólo las que persiguen lograr vínculos estrechos.

La estrategia de pocos proveedores implica crear relaciones estables y a largo plazo con poca cantidad de fuentes de materias primas. Esto permite generar contratos exclusivos, descuentos por cantidad o lotes pequeños pero frecuentes de acuerdo a la conveniencia del cliente.

La estrategia *Keiretsu* fue ideada por los japoneses, quienes sugieren crear alianzas mutuas y propiedad cruzada con los proveedores. La palabra significa, en japonés, "coalición de compañías" que implica dar apoyo financiera a los proveedores generando también transferencia técnica y calidad estable.

2.6.3 Componentes y métodos de trabajo estandarizados

Cuando el proceso productivo consta de operaciones altamente repetitivas, es ventajoso analizar los métodos de trabajo y documentarlos para ganar eficiencia. De esta forma, aumenta también la productividad porque al haber un mayor número de repeticiones, los operarios aprenden una forma simplificada de hacer las tareas sin necesidad de pensar tanto en ellas. (Krajweski et al., 2006)

La forma de estandarizar va a depender de la estrategia de gestión de conocimiento que se aplique. Una estrategia consiste en confiar en la transferencia de conocimientos personalmente entre los trabajadores, confiando en sus conocimientos y ayudando a que se enseñe bien al resto de los compañeros. Otra, se fundamenta en la codificación de los métodos y la creación de bases de datos que deben ser fácilmente consultables para poder acceder a la información estandarizada y aprenderla mediante una computadora o papel.

La conveniencia de una u otra estrategia depende de la cultura organizacional de la empresa y del tipo de producto y proceso que ejecute. Es responsabilidad de los directivos decidir cual se adecúa mejor a los objetivos particulares de la compañía. (Hansen et al., 1999)

2.6.4 Mantenimiento Preventivo

Para los sistemas esbeltos, los tiempos ociosos de las máquinas son inconcebibles ya que desajustan los flujos de trabajo establecidos y generan inventarios indeseados. Por lo tanto, al implementar mantenimiento preventivo, se pueden reducir los tiempos y las frecuencias de dichos tiempos ociosos causados por averías repentinas ya que se realizan tareas

programadas sobre las máquinas, como la sustitución de componentes de forma de prevenir descomposturas.

Además, se incluyen también actividades, que pueden realizar los mismos trabajadores usuarios de las máquinas, de cuidados básicos y mantenimientos habituales. Esto genera compromiso en los operarios que se hacen responsables de sus máquinas y se enorgullecen cuando las mismas están en óptimas condiciones. (Krajweski et al., 2006)

Una herramienta fundamental que incluye todas estas cuestiones mencionadas y más aún, es el Mantenimiento Productivo Total o TPM (por sus siglas en inglés, *Total Productive Maintenance*). Esta herramienta permite establecer una cultura productiva que prevenga las pérdidas y las reduzca a cero durante el ciclo de vida completo de los equipos de producción.

Se fundamenta en ocho pilares básicos: (1) formación y entrenamiento, (2) seguridad y medio ambiente, (3) concepción TPM, (4) eliminación de pérdidas, (5) mantenimiento autónomo, (6) mantenimiento planificado, (7) TPM en oficinas y, (8) mantenimiento de la calidad. De esta forma, se abarca a toda la organización y se ejerce mantenimiento por todo el personal de la compañía basándose en una buena formación del recurso humano y privilegiando su seguridad y la preservación del medio ambiente. El objetivo último es concebir los equipos de producción para obtener cero paro, cero defecto, cero accidente y esto con el mínimo costo durante todo su ciclo de vida.

CAPÍTULO 3. Presentación de la Organización

3.1 Descripción General

Prima Implantes S.A es una empresa nacional que se dedica a la fabricación, exportación y venta de prótesis e implantes traumatológicos. Cuenta con dos plantas en la República Argentina, una en Córdoba y otra en Santiago del Estero, así como también posee oficinas comerciales en distintas localidades del interior del país. Para este trabajo se estudiará sólo el funcionamiento de la planta de Córdoba, Argentina, la cual se encuentra localizada en la calle Hipólito Vieytes 1331, Barrio San Rafael. Al ser esta zona un área residencial aún en crecimiento, la empresa ya se encuentra involucrada en un proyecto de mudanza que implicaría el cambio de domicilio para fines del año 2014 a la zona industrial de “Los boulevares” camino al Aeropuerto Internacional de Córdoba.

Misión:

“Prima Implantes S.A. es la demostración como empresa de que nada es capaz de resistir la fuerza de la convergencia de un grupo limitado de inteligencias agrupadas y organizadas hacia un objetivo determinado.

De esta forma y con esta voluntad tenemos el firme propósito de producir y brindar cada vez mejores productos y mayores servicios, procurando una mejor calidad de vida a los pacientes”.

Compromiso:

“Uno de nuestros lineamientos estratégicos es utilizar un sistema de gestión de calidad integral. Esto se basa en un proceso sistemático, simple y efectivo de mejora continua, incorporado en todas nuestras actividades, el cual se acompaña de óptimas condiciones de higiene y seguridad en las instalaciones.

Sólo así logramos productos y procesos diseñados adecuadamente para cumplir con los requisitos necesarios de los pacientes, la comunidad, nuestra gente y las reglamentaciones vigentes”.

Autorización:

“Prima Implantes S.A. cuenta con la habilitación impuesta por la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT) cumpliendo con los requisitos y normativas vigentes referidas a la fabricación, envasado, esterilización, almacenamiento y distribución de productos implantables, según lo dispuesto en las disposiciones n° 255/94 y 2319/02 (t.o 2004) de autorización de funcionamiento de empresas fabricantes y / o importadoras de productos médicos.

Esto nos garantiza la permanente tecnovigilancia de los productos de uso médico en intervalos regulares y con frecuencia suficiente, con el objeto de controlar, fiscalizar, evaluar los efectos adversos y los riesgos del uso de los mismos”.

Mercosur:

“En el marco de las gestiones llevadas a cabo en el ámbito del MERCOSUR por el grupo “Productos para la Salud”, subgrupo “Reglamentos Técnicos” (sgt3) se consensuó el reglamento técnico denominado “Buenas Prácticas de Fabricación de Productos Médicos” (BPF), incorporado por disposición ANMAT N° 194/99.

Prima Implantes S.A. cuenta con certificación de las normas BPF impuestas por la ANMAT y está habilitada por ende para comercializar sus productos en territorio de la República Argentina como así también en los países miembros del MERCOSUR”.

Mercado:

La Subsecretaría de Políticas en Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MINCyT) informa en sus Lineamientos Estratégicos 2012-2015 del Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación que la demanda del sector de equipamiento médico, el cual incluye los implantes, se encuentra en continua expansión debido al creciente aumento del gasto en salud, a la ampliación en la cobertura de servicios de los sistemas de salud pública y al incremento en la esperanza de vida. Esto explica que para la empresa PRIMA IMPLANTES SA, la demanda está mayormente concentrada en el sector público siendo esta de un 90 %. Su mayor cliente es el PAMI al cual le provee 3 de las 5 zonas en las que están distribuidos sus socios y prestadores. Recientemente, ganaron la tercera zona en cuestión, luego de una licitación exitosa. Por otro lado, también se relacionan con entidades del sector público como ser la Municipalidad de Rosario, la Provincia de Salta y Tucumán a través de convenios exclusivos y no exclusivos. Además trabajan en Córdoba a través de licitaciones particulares.

La localización geográfica del sector está guiada por la demanda. En efecto, la actividad se concentra en las grandes ciudades, donde se sitúan los principales hospitales y centros de salud, como indica la imagen 3 (MINCyT, 2012). Esta información se condice con la distribución de los mayores clientes de Prima Implantes a lo largo del país, según la imagen 4, aunque la compañía ha conquistado mayormente el Norte Argentino convirtiéndose en el principal proveedor de la zona.

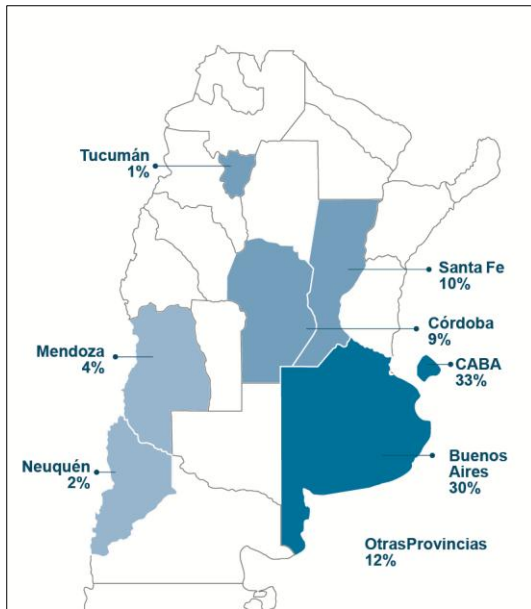


Imagen 3. Distribución geográfica de la demanda de productos médicos. Fuente: MINCyT.

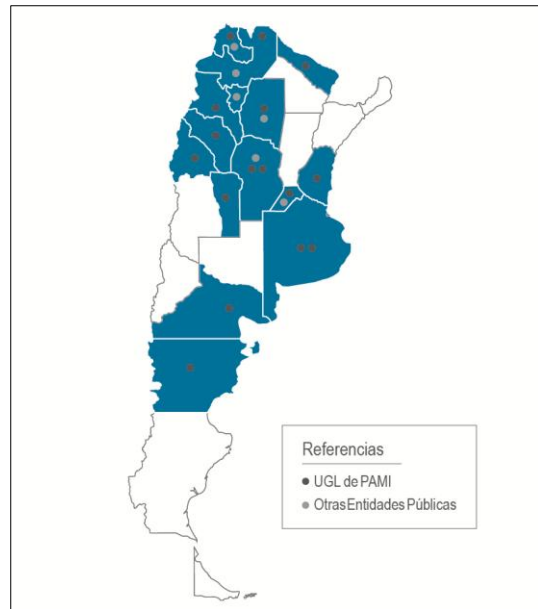


Imagen 4. Distribución de clientes Prima Implantes.

Es por esto que Prima Implantes posee sucursales comerciales a lo largo del territorio nacional, formando así distintos bancos de prótesis ubicados estratégicamente, de forma tal de garantizar la entrega oportuna, en tiempo y forma, de los pedidos realizados por las diversas instituciones que integran la red de clientes de Prima Implantes S.A, en concordancia con los datos suministrados por el MINCyT.

Los bancos de prótesis, se encuentran distribuidos de la siguiente manera:

- Sucursal Córdoba: Hipólito Vieytes al 1331 – Córdoba – (Prov. de Córdoba)
- Sucursal Santiago del Estero: Avenida Belgrano Sur N° 3931 – (Prov. de Santiago del Estero)
- Sucursal Buenos Aires: Av. Belgrano 2264 esquina Pichincha (Cap. Federal)
- Sucursal Salta: Sarmiento 82- PA - 4400 - Salta - (Prov. de Salta)
- Sucursal Tucumán: Salta 478 -5°B– S.M. de Tucumán – (Prov. de Tucumán)
- Sucursal Rosario: Alem 1139 – 5° piso - Rosario – (Prov. de Santa Fe)

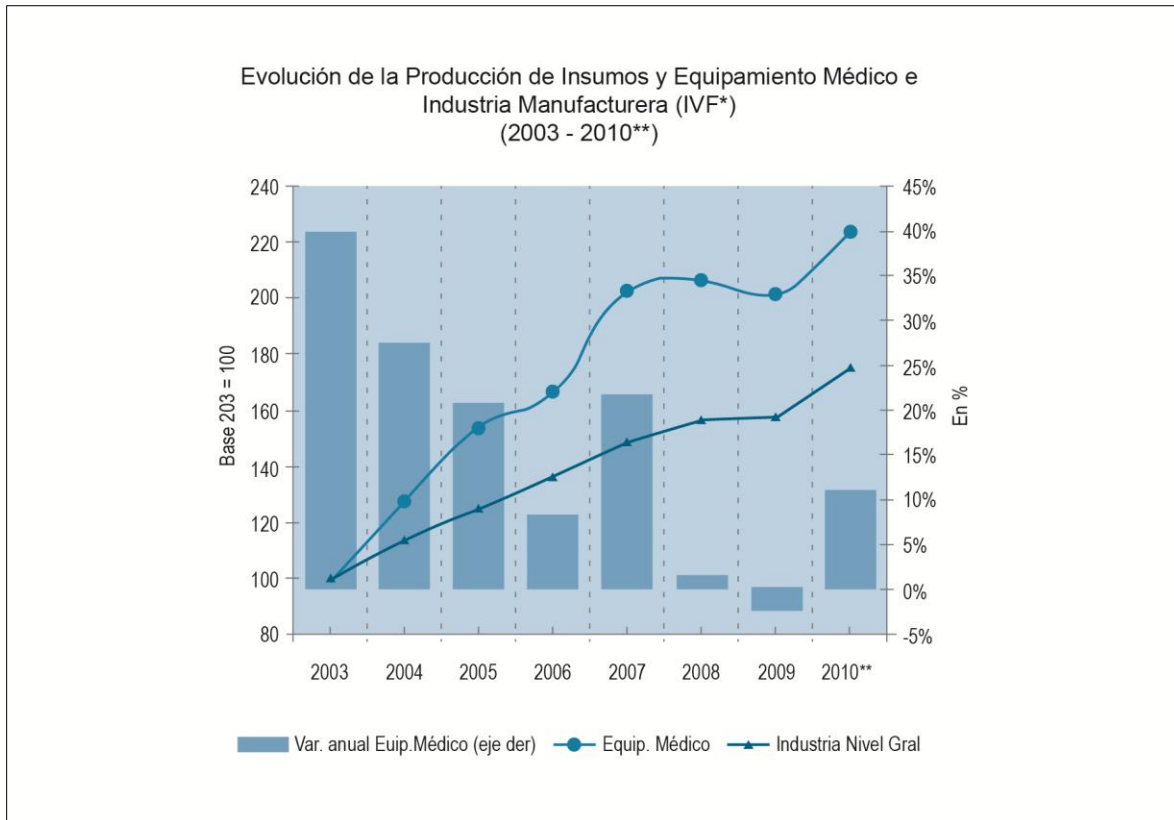


Gráfico 1. Evolución de la Prod. de Insumos y Eq. Médico e Ind. Manufacturera. Fuente: MINCYT

En el período 2003-2010, la producción creció a una tasa anual acumulativa del 12,2%, mientras que la industria en general lo hizo a una del 8,3%. En 2009, la actividad se vio resentida debido mayormente a los comportamientos precautorios producto de la crisis internacional y a la reducción del comercio internacional. Ya en 2010 empezó a recuperarse, evidenciando ese año un crecimiento anual del 11%, como indica el gráfico 1 (MINCYT, 2012).

Organización:

Siguiendo la metodología propuesta por Mintzberg (2004), se describe al diseño de la organización bajo estudio según los sectores y las interacciones entre los mismo, descriptos en la imagen 5 a continuación.



Imagen 5. Diseño de una organización. Fuente: Mintzberg (2004)

La cumbre estratégica de la empresa Prima Implantes, es decir, el nivel más alto de la organización, está formado por dos dueños que son hermanos entre ellos y por el hijo de uno de ellos que participa activamente en la evolución de la compañía. Prima Implantes nace como empresa familiar donde todas las decisiones pasaban por sus dueños. Sin embargo, ha crecido rápidamente en los últimos años, debiendo agregar a la estructura organizativa una importante línea media a la cual se delega algunas funciones. De todas formas, se sigue notando en el desenvolvimiento de la empresa una estructura familiar donde muchas de las decisiones que debe tomar la línea media siguen siendo consultadas primero a los dueños y una vez autorizados pueden operar.

La línea media de la compañía está formada por jefes en cada una de las áreas: Administración, Producción, Calidad, Ventas, Logística, Compras y Finanzas. Estas personas son las encargadas de dirigir al personal a su cargo para que se logren los objetivos planteados por la cumbre estratégica y también deben ser los que resuelven los problemas diarios que surgen por el funcionamiento de la empresa. Sin embargo, como ya mencionamos en el párrafo anterior, ante cualquier decisión importante o compra que implique gastos relevantes, se debe consultar y pedir autorización a la cumbre estratégica para proceder. Además, al contar con otra planta en Santiago del Estero y oficinas comerciales en el interior del país, existen también vendedores y encargados que se agregan a esta línea media mencionada.

El núcleo operativo de la empresa está formado por 22 operarios del sector productivo que se encargan de manejar las máquinas y los flujos de materiales a través de la planta. También existe personal en el laboratorio que forma parte del proceso productivo ya que deben lavar, controlar, ventilar, rotular y empacar el producto para que esté listo para comercializarse. Una vez listo se necesita también más personal para el armado de los pedidos, vendedores que formalicen las ventas y administrativos que registren la facturación.

Como staff de apoyo, fuera de la corriente de trabajo operacional, se puede ubicar a los contadores que se ocupan del pago de los sueldos y actividades relacionadas con finanzas y normativas. También, se suelen utilizar servicios de consultoras de recursos humanos a la hora de tomar nuevo personal y hacer entrevistas.

Por último, la tecnoestructura, que se refiere a la disponibilidad de analistas de control que estandaricen la organización es casi nula. Por el contrario, el funcionamiento de la compañía exige que las líneas medias estén constantemente solucionando problemas en vez de poder estudiar y controlar las actividades que tienen a cargo o estandarizar las propias. Existe poca estandarización de métodos y actividades, especialmente en el área netamente productiva.

En conclusión, la compañía cuenta con una configuración simple donde la mayoría de las decisiones pasa por la cumbre estratégica a pesar de que existen líneas medias pero con poca descentralización vertical. La falta de estandarización de los procesos, tanto productivos como de gestión, dificultan una transformación a burocracia maquinal. Esto se debe a que como la empresa nace como una empresa familiar, muchas veces se sigue comportando como tal a pesar de haber ya cambiado su tamaño y complejidad, habiendo crecido pero no desarrollándose a la par.

3.2 Descripción de Productos y Procesos

Productos:

La variedad de productos que fabrica la compañía es muy grande pero se puede clasificar en los siguientes grupos de prótesis, en donde en cada uno existen distintos modelos de implantes y a su vez en muchas distintas medidas para poder adecuarse a las variedades anatómicas humanas existentes (imagen 6):

- Cadera
- Reemplazo Total de Rodilla
- Hombro
- Clavos Placa
- Osteosíntesis
- Osteotomía
- Columna
- Artroscopía
- Arpon
- Tornillos Canulados
- Grapas
- Clavos endomedulares
- Tutores Externos



Imagen 6. Variedad de productos Prima Implantes

Para acotar el trabajo adecuándolo a la magnitud del proyecto en cuestión, se considerará que la empresa produce un solo producto ya que se deben relevar una gran variedad de datos que no se encuentran disponibles y sería imposible realizarlo para todos los productos de la empresa debido al tiempo disponible para finalizar el proyecto correspondiente.

El producto elegido es la Rodilla Combine Standard (imagen 7) que consta de tres componentes:

- El Componente Femoral Combine Standard que viene en tres medidas: N° 58, 65 y 72.
- El Componente Tibial Monoblock que viene en tres medidas principales que se corresponden al componente femoral (N° 58, 65 y 72) y a su vez 6 submedidas, para cada una de las anteriores, de 7,5 – 10 – 12,5 – 15 – 17,5 y 20 mm de longitud del tallo inferior.
- El Componente Patelar que viene en cinco medidas: N° 32, 34, 36, 38, 40.



Imagen 7. Prótesis de Reemplazo Total de Rodilla

Se eligió este producto para analizar ya que es un artículo altamente demandado, aproximadamente 1000 unidades anuales y que representa un alto volumen de ventas para la compañía. Esto está fundamentado en un análisis ABC hecho para los 265 artículos más importantes de la compañía, donde los tres componentes del producto elegido, en sus medidas más solicitadas, están dentro del 20% de productos que generan el 80% de las ventas. Por otro lado, presenta un caso muy representativo en la empresa donde el producto final está formado por componentes que requieren diversas secuencias de trabajo dentro del área productiva partiendo desde distintos estados de la materia prima y materiales.

La complejidad de la industria radica en que los componentes no se ensamblan previamente en fábrica según las distintas combinaciones de medidas sino que dichas combinaciones están dadas por las características de cada paciente de acuerdo a su sexo, contextura, altura, etc. Es por esto que se envían para la cirugía varias o todas las medidas de cada componente para que el médico decida cuál pondrá al momento de la operación dependiendo de las condiciones anatómicas del paciente al momento de la cirugía. Por esta razón, es que se estudia a cada componente por separado. Además, el componente femoral standard se puede combinar con otros componentes para formar otros modelos de rodilla que no se tendrán en cuenta en este trabajo. Es por esto que las cantidades demandadas de cada componente no son idénticas como deberían serlo si formaran parte de un producto que se vende ensamblado. Las medidas de cada componente que no se utilicen en la cirugía se devuelven a la empresa para ser reprocesadas y poder volver a salir al mercado.

Se tomará entonces, para el estudio de este trabajo, la medida que más se demanda para cada componente como representativa del resto. Éstas son: la N° 65 para el componente femoral, la N° 65 x 10 mm para el componente tibial monoblock y la N° 32 para el componente patelar. Con estas medidas se realizarán todos los estudios necesarios que se desarrollarán a

lo largo de este proyecto, para adquirir la información necesaria como input del modelo de simulación y se hará extensiva a las demás medidas.

Procesos:

La gran variedad de productos fabricados por Prima Implantes requieren diversas operaciones para lograr el producto final, partiendo de materias primas de distintas geometrías y materiales, y de múltiples proveedores. Por lo tanto, el proceso productivo varía para cada uno de ellos, necesitando todas o sólo algunas de las operaciones descritas en el siguiente diagrama de flujo (imagen 8).

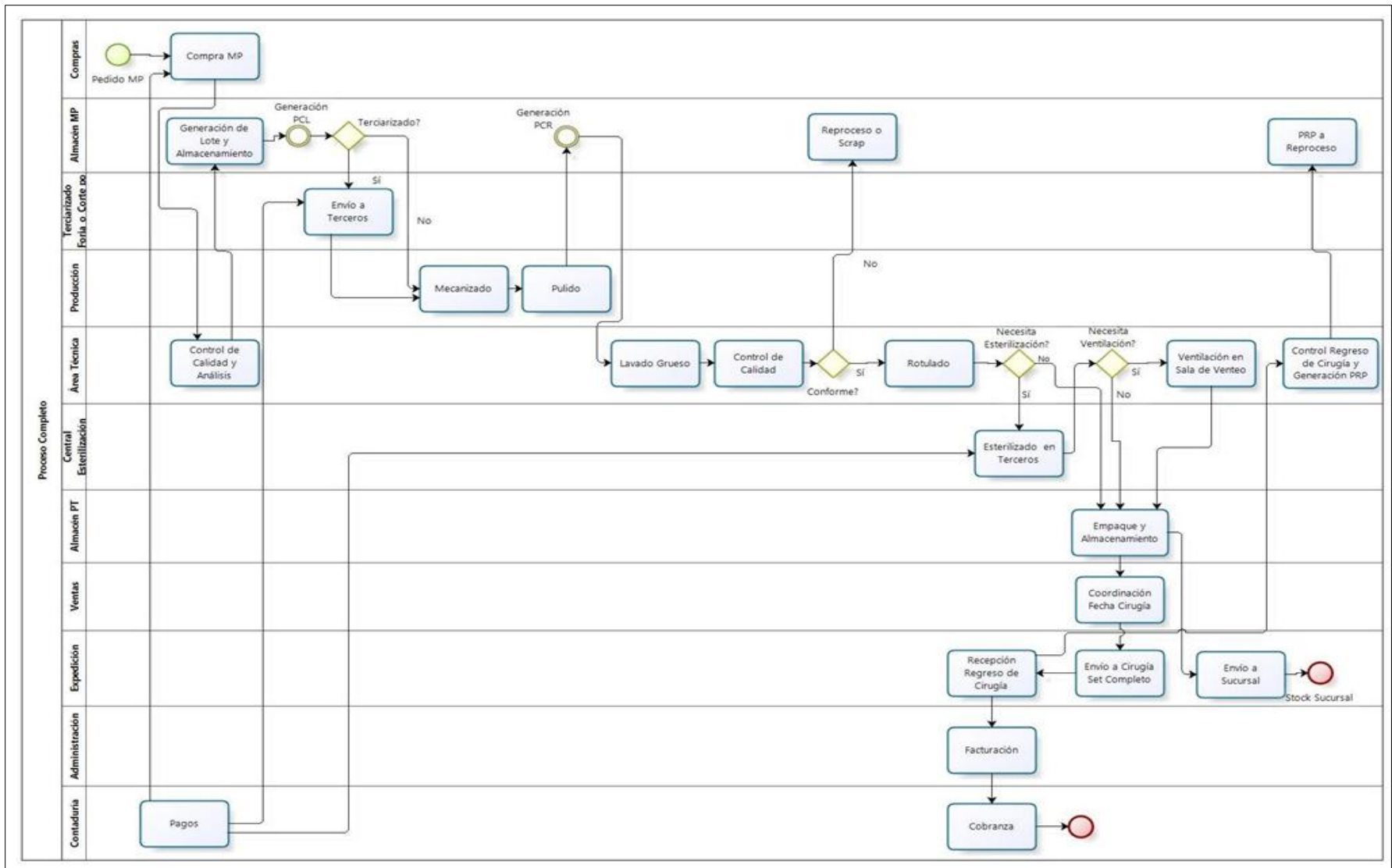


Imagen 8. Diagrama de flujo del proceso productivo completo Prima Implantes S.A

Para este trabajo, se estudiará en profundidad sólo el área de mecanizado que depende del departamento de producción. Tanto la logística anterior para el abastecimiento de materias primas como los procesos posteriores que dependen del Área Técnica de la empresa (Lavado, Control de Calidad, Esterilización, etc.) no se analizarán en este proyecto por cuestiones de tiempo y complejidad.

El sector de mecanizado de la empresa Prima Implantes S.A consta de tres centros de trabajo básicos:

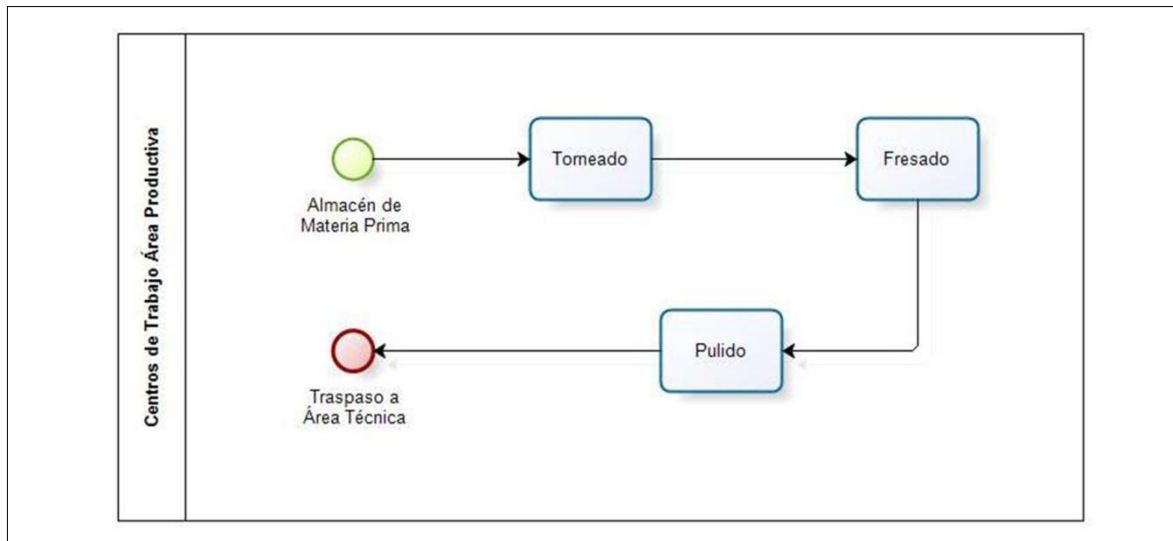


Imagen 9. Diagrama de flujo del proceso de planta

Sin embargo, no todos los productos pasan estrictamente por todos los centros de trabajo y en ese orden. Algunos pueden requerir también alguna otra operación extra, como ser punzonado, prensado, roscado manual, etc., dentro de la empresa y otros pueden requerir un servicio de terceros como forjado, corte por láser, etc. Por otro lado, el producto se puede procesar desde materia prima en bruto (barras de plástico, acero inoxidable, etc.), como semielaborados que ya vienen del proveedor con ciertos procesos que la empresa no puede realizar por diferentes razones ya sea falta de tecnología, de técnica, etc.

Se presentará, a continuación, un diagrama de flujo del proceso de mecanizado y una imagen del producto terminado de cada uno de los componentes analizados; junto con una explicación escrita acerca de las características específicas de cada uno y las consideraciones que se tomarán para su estudio.

Componente Femoral:

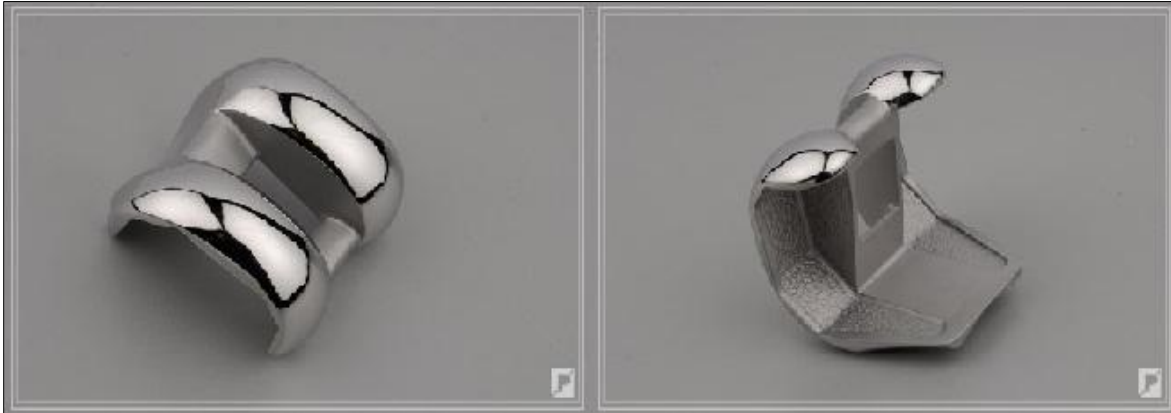


Imagen 10. Componente femoral

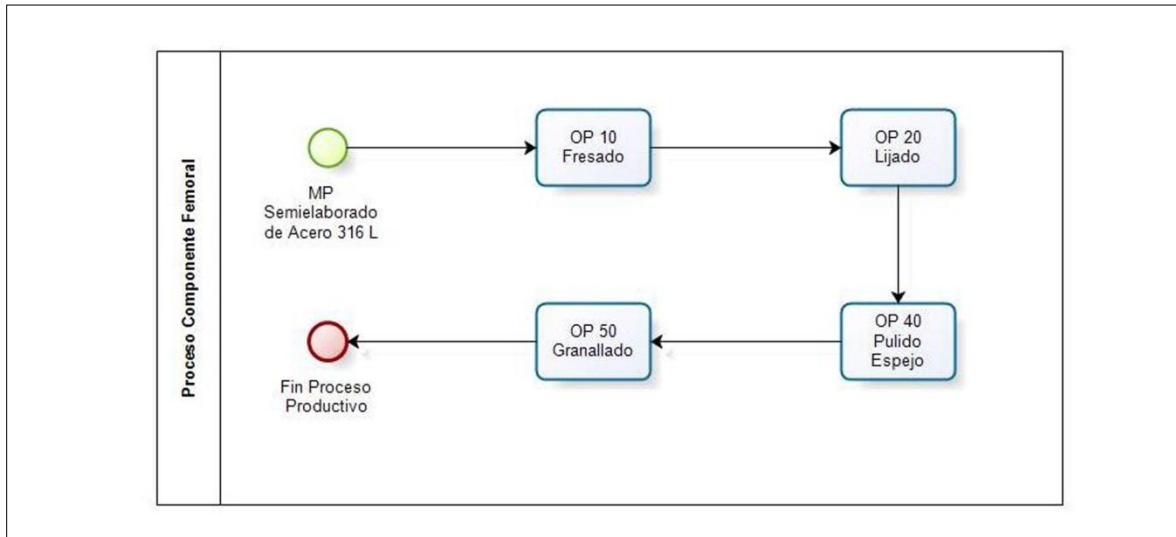


Imagen 11. Diagrama de flujo proceso componente femoral

Como se puede ver en las imágenes 10 y 11, el componente femoral se realiza a partir de un material de acero inoxidable implantable 316L semielaborado donde el producto ingresa a la fábrica con la forma base ya dada por el proveedor a través del microfundido. Entonces, en este caso, se realiza sólo una operación de fresado que consiste en desbastar un sector de la pieza que posee con excedente de material debido al procesado del proveedor. Luego, pasa al sector de pulido que comprende distintos lijados y pulidos donde se le da la terminación necesaria y deseada a la pieza y también se la embellece de manera de satisfacer al cliente con una buena presentación del producto.

Componente Tibial Monoblock:

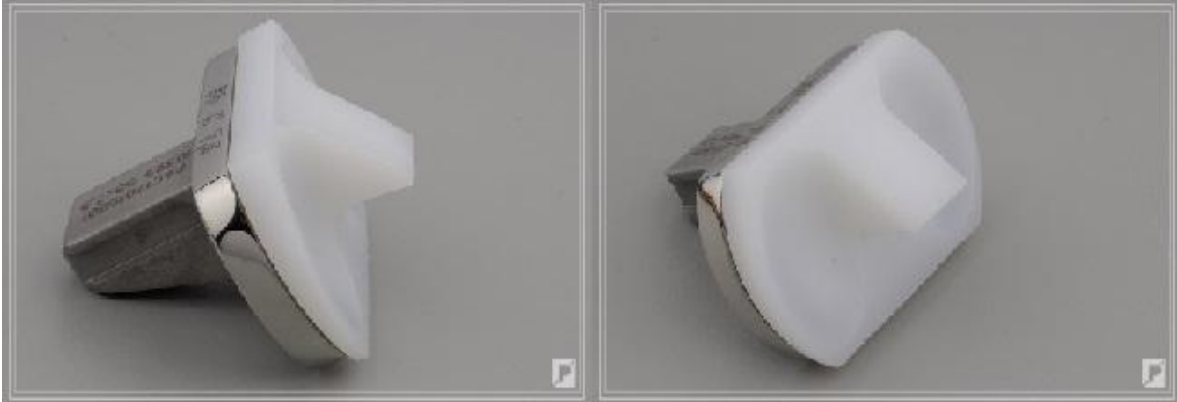


Imagen 12. Componente tibial monoblock

El producto de la imagen 12 no lleva parte productiva porque se compra terminado ya que este componente consta de dos partes unidas, una de plástico de alto peso molecular y otra de acero inoxidable. Prima Implantes no cuenta con la técnica de unión de estos dos tipos de materiales para obtener el componente final por lo cual decide comprarlo.

Componente Patelar:

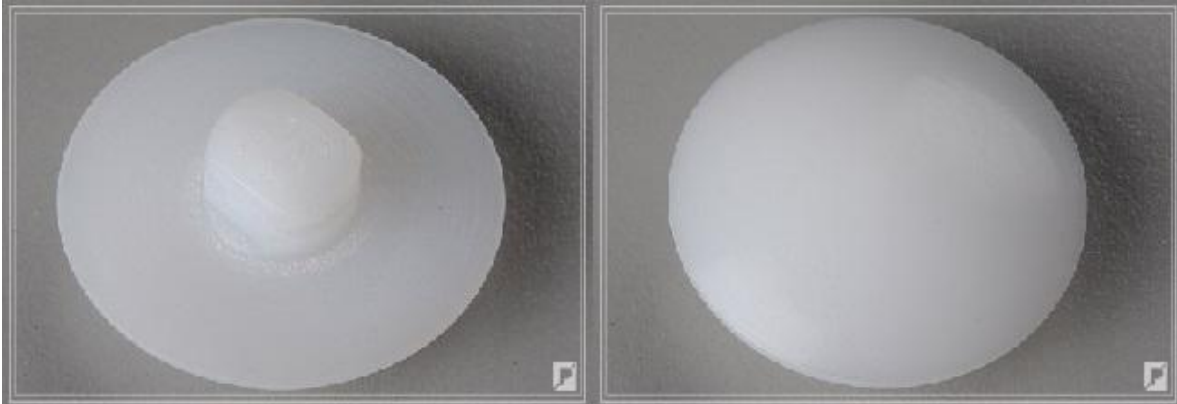


Imagen 13. Componente Patelar

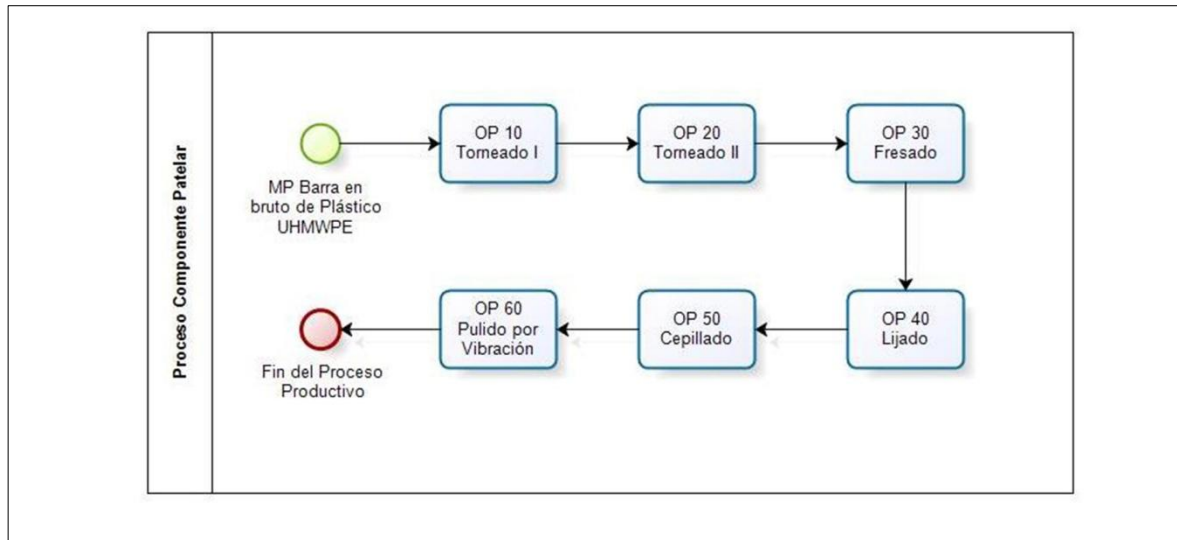


Imagen 14. Diagrama de flujo componente patelar

La materia prima para el proceso del componente patelar es una barra en bruto de polietileno de ultra alto peso molecular (UHMW-PE) que se caracteriza por su alta resistencia al desgaste. Este componente pasa por todos los centros de trabajo, comenzando con dos torneados consecutivos donde se le da la forma final a la pieza casi en su totalidad. Sigue un desbaste en la fresa que le otorga el último detalle para quedar terminada. Una vez lista, pasa a pulido donde se le quitan las rebabas de plástico generadas por los procesos anteriores a través del lijado y se embellecen con un cepillado. Por último, al ser de plástico, se procede a darles una última operación de pulido por vibración para mejorar aún más su terminación y belleza visual.

Maquinaria:

Se describirán sólo las máquinas que están involucradas en el proceso del producto elegido, el cual se realiza en su totalidad en las máquinas herramientas convencionales que posee la compañía ya que así es como sucede en la realidad. Estas máquinas se describen a continuación en las tablas 1, 2, 3, 4 y 5.

Línea de Tornos

Nº MAQUINA	CANT.	DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO
10, 11 Y 30	3	TORNO	WING	L-1640

Tabla 1. Máquinas: tornos

Línea de Fresas

Nº MAQUINA	CANT.	DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO
3	1	FRESA	45 MILL DRILL	RF-45N2F
7	1	FRESA	CHEVALIER	3C-1003
42	1	FRESA	BRIDGEPORT	EXPLORER X-26

Tabla 2. Máquinas: fresas

Línea de Amoladoras:

Nº MAQUINA	CANT.	DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO
S/N	6	AMOLADORA DE PIE DOS DISCOS	BARBERO	BAR 1265

Tabla 3. Máquinas: amoladoras

Línea de Pulidoras:

Nº MAQUINA	CANT.	DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO
18, 19	2	PULIDORA	YEZ HNOS	-

Tabla 4. Máquinas: pulidoras

Línea de Vibrado y Granallado:

Nº MAQUINA	CANT.	DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO
23	1	GRANALLADORA	BLASTING	C90-755
29	1	PULIDORA DE PLÁSTICO	VIBRO	-

Tabla 5. Máquinas para terminación

3.3 FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas)

Con toda la información presentada en los puntos anteriores de este capítulo, acerca de los valores de la empresa, el mercado y los lineamientos para el sector desde las autoridades públicas, se está en condiciones de presentar un FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) de la empresa en cuestión. Esto se realiza con el objetivo de mostrar un análisis resumen de las condiciones internas y externas de la empresa, tanto favorables como desfavorables, en el contexto en el que se encuentra.

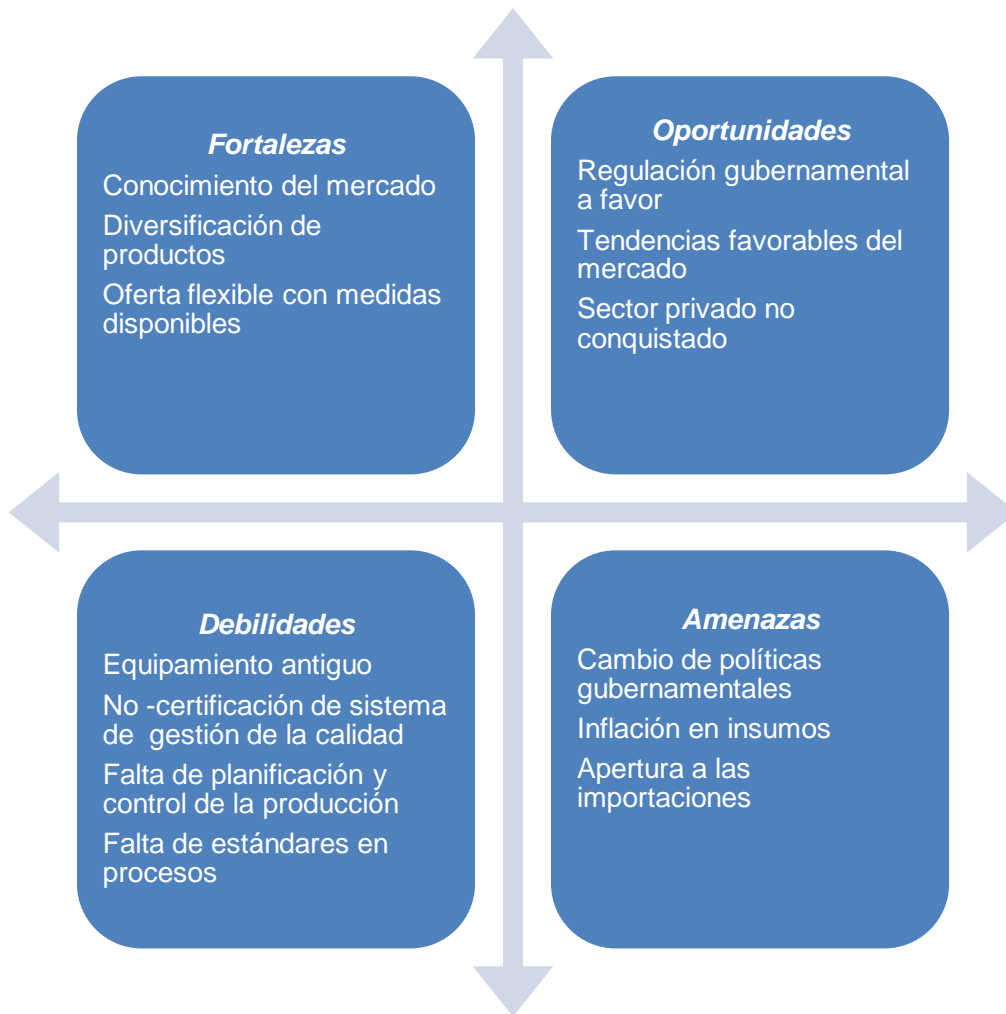


Imagen 15. FODA: Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas de la empresa.

A través de esta herramienta se pueden analizar estrategias que permitan potenciar las fortalezas, aprovechar oportunidades, superar las debilidades y prepararse para hacer frente a las amenazas. En este caso, Prima Implantes se encuentra ante la posibilidad de aprovechar las oportunidades planteadas para lograr un crecimiento del negocio y una mejora del mismo, a través de su conocimiento del mercado logrado gracias a años de participación en el mismo, superando sus debilidades a través de inversiones que renueven el equipamiento productivo, que aprueben contratar profesionales de la salud, la biomedicina y la gestión de manera de lograr una estandarización y organización de productos y procedimientos que permitan obtener procesos controlables y con calidad asegurada.

De esta forma, se optimizarían costos de mano de obra directa, se mejoraría la competitividad frente a una eventual apertura económica del país y permitiría aumentar el

volumen de producción para hacer frente al aumento actual de demanda interna causado por las prácticas proteccionistas del gobierno.

CAPÍTULO 4. Proyecto de Simulación

Como este proyecto integrador consiste en aplicar modelos de simulación discreta a una realidad industrial, se seguirán los pasos que se detallan a continuación, sugeridos por Banks et al. (2005), desarrollados para guiar a un diseñador de modelos mientras lleva a cabo un proyecto de simulación. Estos pasos serán desarrollados a lo largo de todo el proyecto integrador y se corresponden con los subtítulos de este capítulo.

4.1 Formulación del problema

La empresa no cuenta con un proceso controlado en el área productiva de mecanizado, lo que genera incertidumbre acerca de la capacidad de producción de la misma. Por esta razón, se hace imposible tener una planificación de la producción que permita tener un buen nivel de servicio al cliente. No se tiene información acerca de disponibilidades de las máquinas, tiempos de producción ni eficiencia de la mano de obra, etc. Todo esto se traduce en baja productividad y previsibilidad.

4.2 Objetivos y plan del proyecto

El objetivo del proyecto es obtener la información que no se encuentra disponible y procesar los datos que sí están disponibles para transformarlos en información con el objetivo de analizar la capacidad de producción con que la empresa cuenta en la actualidad a través de un modelo de simulación. Esto, teniendo en cuenta los factores de eficiencia y utilización que afectan a la capacidad teórica, de modo de encontrar las variables que deben ser controladas para lograr una optimización de la línea productiva.

4.3 Conceptualización del modelo: Teoría de Sistemas

4.3.1 Modelo Sistémico

Para lograr un buen diseño del modelo de simulación final que se utilizará para obtener conclusiones de la realidad que se está investigando, se debe entender bien y conocer con profundidad dicha realidad. Con el objetivo de lograr comprender las variables que inciden en el problema concreto planteado en el punto anterior se utilizará la “Teoría General de Sistemas” explicada anteriormente en el marco teórico de este trabajo.

Se comienza entonces a describir estáticamente el sistema bajo análisis con los siguientes conceptos:

Realidad:

La realidad a la que se refiere el siguiente trabajo corresponde al funcionamiento del área productiva de la empresa Prima Implantes que fabrica prótesis e implantes traumatológicos para la industria médica. Se reduce al sector de mecanizado y pulido de las piezas, que componen el implante para reemplazo total de rodilla, el cual depende del Departamento de Producción. No se tiene en cuenta el sector de laboratorio y calidad que depende del Departamento de Área técnica; ni tampoco se tendrá en cuenta el resto de los productos que fabrica la compañía.

Plano de Análisis:

La realidad anteriormente descrita se examinará a través de un plano de análisis operacional con el objetivo de mejorar el rendimiento de la empresa en estos aspectos donde se encuentran la mayoría de los problemas. La baja disponibilidad de las máquinas, la desorganización de los flujos de materiales e insumos, la falta de programación y la ausencia de estándares y registros de producción hacen necesario estudiar las distintas operaciones por las que debe atravesar el producto en cuestión para poder obtener la pieza terminada.

Objetivo general y objetivo secundario:

El objetivo general del sistema, observando la realidad desde un plano de análisis operacional, es lograr producir implantes para el reemplazo total de rodilla con una productividad que alcance a cubrir la demanda del sector.

Objetivos secundarios del sistema serían; lograr un alta utilización de las máquinas de manera de amortizar su uso sin que estas se conviertan en cuello de botellas para el proceso, lograr productos que alcancen la calidad deseada por el cliente sin necesidad de reprocesos los cuales ralentizan la producción quitando disponibilidad de las máquinas; desarrollar una planificación de la producción y logística interna de manera de lograr un flujo ordenado y controlado a través del área operativa.

Objetivo del diseñador:

El objetivo del diseñador de este proyecto es conseguir entender claramente el sistema a través de la simulación para encontrar qué variables son las que más afectan a la baja productividad de la línea de fabricación de implantes. Una vez detectado esto, se podrá controlar dichas variables y, eventualmente, optimizarlas para mejorar el rendimiento de la empresa.

Motivación del diseñador:

La motivación para el diseño de este sistema radica en el desafío que implica generar un modelo partiendo de una realidad donde no existe toda la información disponible y donde la aplicación de modelos de simulación ha sido escasa, haciendo de este sistema y proyecto algo

inédito en el ambiente donde será presentado. El diseñador también se siente motivado por el proceso de aprendizaje que implica el desarrollo y el cumplimiento de los objetivos del mismo. Todo esto genera una motivación positiva para lograr un buen diseño del sistema y eficacia en el logro de los objetivos.

Recursos del diseñador:

El diseñador cuenta con muchos recursos valiosos como son el conocimiento teórico acerca de la ingeniería industrial aplicable al sistema desde un punto de vista operacional; el tiempo constituido por 500 horas durante seis meses para el desarrollo del proyecto; la energía disponible para estudiar los emergentes y proponer soluciones a los mismos; la accesibilidad a los datos del sistema, necesaria para lograr un buen diseño del mismo; y, la disponibilidad de un software de simulación a través del cual se estudiará el sistema.

Sinergia y Recursividad del sistema:

Existe notoriamente la sinergia como propiedad de este sistema ya que está compuesto por distintos subsistemas como ser máquinas, mano de obra, reprocesos, piezas terminadas, piezas en proceso, etc. que si se suman por separado no logran generar nuevamente el sistema en cuestión. Esto se debe a que existen variables que generan versatilidades que otorgan la identidad al sistema. Se toma como ejemplo, el conocimiento y la experiencia en el manejo de las máquinas de los operarios, la relación entre ellos y con su jefe, la vida personal de la mano de obra que afecta su rendimiento laboral, la antigüedad de las máquinas, etc. Todas estas cuestiones hacen a la identidad del sistema aunque no se determinen en el diseño del mismo como un subsistema más. Se consideran, en cambio, como la sinergia que agregada a la sumatoria de las partes hacen al sistema propiamente dicho.

La sinergia está íntimamente relacionada con la recursividad ya que considerar los aspectos mencionados anteriormente sería entrar en un nivel de detalle excesivo que supera los objetivos del diseñador y del sistema mismo. Por otra parte, el sistema que se tiene en cuenta para el diseño (el área de mecanizado) está conformado por subsistemas (máquinas, mano de obra, materiales), pero a su vez también es parte de un metasistema de mayor jerarquía ya que la empresa cuenta también con otras áreas que involucran al proceso productivo explicadas anteriormente (lavado, control de calidad, rotulado, logística externa, compras, ventas, etc.). A su vez, este metasistema se relaciona con el medio el cual está conformado por los clientes, el estado, los entes reguladores como la ANMAT (Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica), etc.

Una representación recursiva del caso en estudio a grandes rasgos se puede observar en la imagen 16.

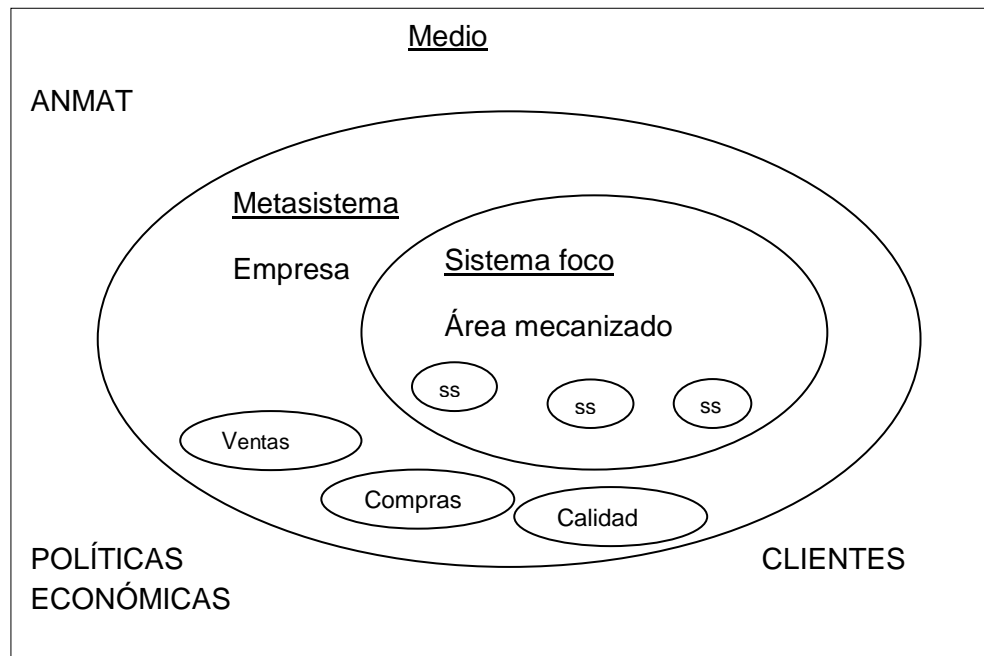


Imagen 16. Representación recursiva del sistema

Tiempo y su escala en el sistema:

El tiempo al que corresponde el diseño del sistema mencionado es al año dos mil catorce.

La escala de tiempo de este sistema será de minutos o fracciones de minuto, ya que la mayoría de las operaciones necesarias para la producción de la prótesis de rodilla pueden medirse en esta unidad. Esto permitirá analizar el rendimiento de dichas operaciones y decidir acerca de la necesidad de optimizar ciertos procedimientos. En las industrias se suele trabajar en turnos de 8 horas las cuales son fácilmente traducibles a 480 minutos de jornada laboral.

Se procede, a continuación, a describir el sistema desde una visión dinámica teniendo en cuenta su relación con el transcurso del tiempo, a través de los siguientes conceptos:

Subsistema de Control. Retroalimentación:

En el sistema en cuestión se contemplan varios subsistemas de control que generarán retroalimentación al sistema de manera de mejorar su rendimiento.

La cantidad de piezas terminadas por el área de mecanizado será el primer indicador que determinará la capacidad productiva de la zona. Ésta se considera una retroalimentación positiva ya que el estudio busca conocer esta capacidad para adaptar sus objetivos y programas de producción a dicha capacidad.

Otro indicador de control será la cantidad de piezas de scrap y reprocesos que genera la línea ya que esto retroalimentará al sistema negativamente para conocer las fallas de calidad y generar acciones correctivas que permitan afinar las especificaciones del producto y las operaciones para lograr una mejor terminación del producto.

También, se analizará la utilización de las máquinas para producción, de manera de utilizar estos datos como retroalimentación de las causas que generan indisponibilidad de las máquinas y poder tener estos factores en cuenta a la hora de programar los trabajos.

Medio Ambiente y Fronteras de un Sistema:

En el medio ambiente cercano se destacan los siguientes subsistemas

- Pañol de materias primas: donde se encuentra el stock inicial de materias primas para iniciar la producción dentro del área de mecanizado.
- Área Técnica: hacia donde se envían los productos una vez mecanizados que serán sometidos a control de calidad para verificar si cumplen con las especificaciones. De no cumplir, vuelven al área de mecanizado para reproceso.

En el medio ambiente lejano encontramos los siguientes sistemas:

- Área logística
- Área finanzas
- Almacén producto terminado
- Área administrativa
- Área ventas
- Área compras
- Directorio
- Proveedores
- Clientes: sucursales y Nosocomios.
- Profesionales médicos
- Gobierno
- ANMAT

Inputs y Outputs del sistema:

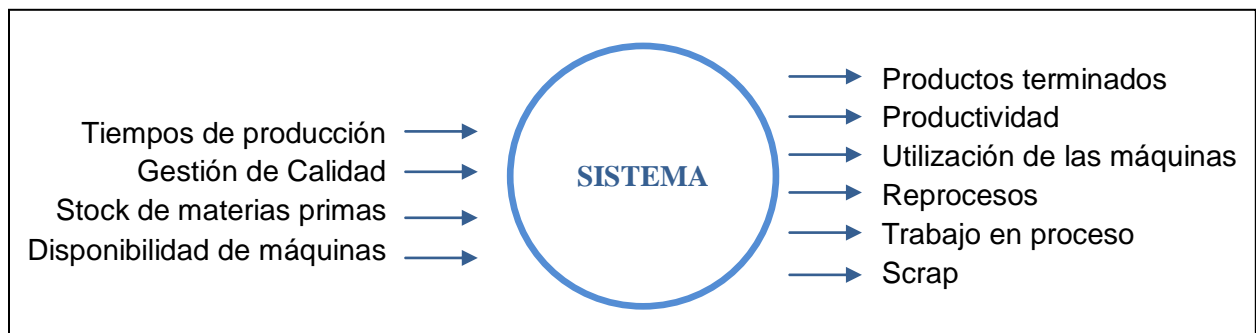


Imagen 17. Inputs y Outputs del sistema

Entropía del sistema, Ciclo de vida y Neguentropía:

La vejez y falta de mantenimiento de las máquinas, como forma de entropía, genera bajas disponibilidades de las mismas, lo cual origina un menor rendimiento global de la producción. Esto podría ser contrarrestado, en forma de neguentropía, con información a través de manuales de mantenimiento que generen sistemas de gestión del mismo para lograr mayor disponibilidad de las máquinas y certidumbre acerca de las posibilidades de falla, abastecimiento de repuestos, etc.

Por otra parte, existe mano de obra sin la suficiente capacitación para sus tareas lo que se ve agravado por la falta actualización y claridad de procedimientos y planos que genera a su vez dificultad de alcanzar altos niveles de calidad. Esta energía que provoca entropía en el sistema, puede ser compensada con energía de neguentropía a través de la obtención de información mediante capacitaciones, registros de procedimientos y generación de un sistema de gestión de la calidad con o sin certificación.

Otra causal de entropía en el sistema, es la falta de una planificación y control de la producción formal. La falta de información acerca de la capacidad real de las máquinas según su disponibilidad hace difícil la creación de un programa de producción que permita contrarrestar la entropía mencionada.

Como forma de neguentropía existente dentro del sistema en cuestión, se puede mencionar los registros de devoluciones por parte de control de calidad para reprocesos, los registros de las horas trabajadas por los operarios mediante el reloj marcador de entrada y salida, los registros que ofrece el software de sistema de gestión que utiliza la empresa para registrar las cantidades producidas diarias y sus respectivos rechazos por fallas de calidad.

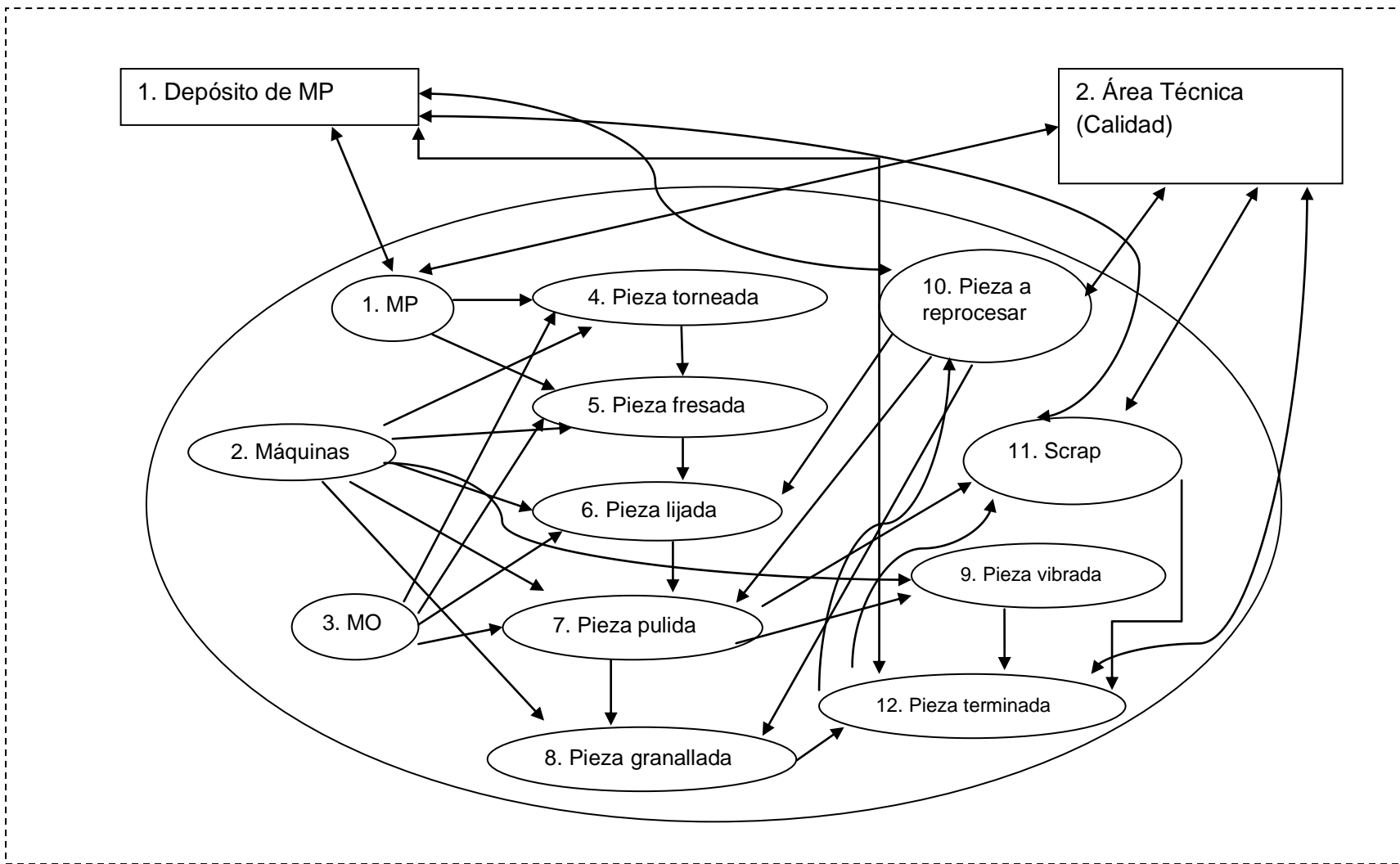


Imagen 18. Grafo del modelo sistémico

Matrices de relación:

Matriz de relaciones internas

RI ij	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Suma
1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2
2	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	6
3	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	5
4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2
7	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	3
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
10	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	3
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2
Suma	0	0	0	3	4	4	4	4	2	1	3	3	0

Tabla 6. Relaciones internas del sistema

Matriz de relaciones externas

RE kj	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Suma
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	4
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	4
Suma	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	

Tabla 7. Relaciones externas del sistema

Conclusiones:

- De los elementos internos, del que más flujos salen es el número 2, es decir, las máquinas que es uno de los recursos más utilizados para transformar la materia prima en producto terminado.
- Los elementos internos a los que más flujos llegan son los subsistemas 5, 6, 7 y 8, que se refieren a las piezas en proceso dentro de la compañía.
- Los elementos del medio cercano afectan al sistema en igual medida ya que tienen el mismo número de incidencia. El almacén de materias primas es el intermediario entre producción y el área de calidad además de ocuparse de la organización de la materia prima. Es por esto que todo lo que se envía de producción a calidad o viceversa pasa por las manos del personal del almacén de materias primas que se encarga de registrar todos estos movimientos.
- Ambos elementos del medio cercano se relacionan especialmente con la materia prima para inspeccionar su calidad y con las piezas terminadas que son controladas y devueltas a producción como reprocesos o calificadas como rechazos o scrap.

Explicación de las relaciones internas (RI ij):

Se describirán las relaciones existentes entre los distintos subsistemas internos mediante la conexión, a través de un guión y de los números que los identifican según el grafo del sistema de la imagen 18. Se omitirán las relaciones inexistentes o consideradas insignificantes para el objetivo del estudio. Estas relaciones mencionadas son representadas en el grafo de la imagen 18 por las flechas que unen en diferentes sentidos a los subsistemas.

1-4: La materia prima del componente patelar llega al torno como primer proceso de mecanizado.

1-5: La materia prima del componente femoral llega a la fresa como primer proceso de mecanizado.

2-4: Se necesita de la máquina torno para transformar la materia prima en una pieza torneada.

2-5: Se necesita de la máquina fresa para transformar la materia prima o la pieza torneada en una pieza fresada.

2-6: Se necesita una amoladora para transformar la pieza fresada en una pieza lijada.

2-7: Se necesita una amoladora de pie para transformar la pieza lijada en una pieza pulida.

2-8: Se necesita una granalladora para transformar la pieza pulida en una pieza granallada.

2-9: Se necesita una rotovibradora para transformar la pieza pulida en una pieza vibrada.

3-4: Se necesita mano de obra que maneje las máquinas para obtener la pieza torneada.

3-5: Se necesita mano de obra que maneje las máquinas para obtener la pieza fresada.

3-6: Se necesita mano de obra que maneje las máquinas para obtener la pieza lijada.

3-7: Se necesita mano de obra que maneje las máquinas para obtener la pieza pulida.

3-8: Se necesita mano de obra que maneje las máquinas para obtener la pieza granallada.

4-5: El componente patelar luego de ser torneado debe ser fresado.

5-6: La pieza luego de ser fresada debe ser lijada.

6-7: La pieza luego de ser lijada debe ser pulida.

7-8: El componente femoral luego de ser pulido debe ser granallado.

7-9: El componente patelar luego de ser pulido debe ser vibrado.

8-12: La pieza granallada luego de ser granallada se considera terminada y se traslada a laboratorio para su posterior proceso y control de calidad.

9-12: La pieza vibrada luego de ser granallada se considera terminada y se traslada a laboratorio para su posterior proceso y control de calidad.

10-6: Los reprocesos de calidad, según la realidad considerada, suelen volver al sector lijado.

10-7: Los reprocesos de calidad, según la realidad considerada, suelen volver al sector pulido.

10-8: Los reprocesos de calidad, según la realidad considerada, suelen volver al sector granallado.

11-12: Los rechazos o scrap afectan a la productividad de la pieza terminada ya que disminuye en cantidad a medida que aumentan los rechazos.

12-11: La pieza terminada puede convertirse en scrap o en reproceso luego del control de calidad si presentará algún tipo de no conformidad grave o solucionable respectivamente.

Explicación de las relaciones externas (RE kj):

Se describirán las relaciones existentes entre los distintos subsistemas externos e internos mediante la conexión, a través de un guión y de los números que los identifican según el grafo del sistema de la imagen 18. Se omitirán las relaciones inexistentes o consideradas insignificantes para el objetivo del estudio. Estas relaciones mencionadas son representadas en el grafo de la imagen 18 por las flechas que unen en diferentes sentidos a los subsistemas.

1-1: El área de almacén de materia prima recibe la materia prima, le hace control de calidad, le asigna lote y la almacena en el lugar correspondiente.

1-10: El área de almacén de materia prima también recibe las piezas a reprocesar devueltas por calidad para almacenarlas hasta que se solucione la no conformidad.

1-11: El área de almacén de materia prima también debe registrar los rechazos o scrap que emergen de las inspecciones propias del área de producción.

1-12: El área de almacén de materia prima también es el encargado de registrar las piezas terminadas por producción en el sistema y crear las nuevas planillas de proceso para el área de calidad cuando se entreguen dichas piezas.

2-1: El área de calidad realiza ensayos sobre muestras de la materia prima para inspeccionar su calidad y es la que recibe los registros de calidad de los proveedores.

2-10: El área de calidad determina cuando la pieza terminada tiene una no conformidad en cuanto a las especificaciones del producto y devuelve la pieza a producción para su reproceso.

2-11: El área de calidad también determina cuando una pieza terminada posee una no conformidad muy grave imposible de ser corregida por lo que decide catalogar a la pieza como rechazo y ese material debe ser destruido por normativa vigente.

2-12: El área de calidad revisa el 100% de las piezas terminadas recibidas de producción para decidir sobre su conformidad con las especificaciones de cada componente en particular.

Dinámica del sistema:

Si bien el sistema bajo análisis es un claro caso de eventos discretos, se considera necesario indicar su dinámica para entender mejor su funcionamiento.

La dinámica de sistemas busca identificar las variables de un sistema que se modifican en el tiempo debido a las interacciones que existen entre ellas. A través de las relaciones de influencia entre dichas variables, se encuentran bucles de realimentación negativos o positivos que permiten descubrir características autorreguladoras o inestabilizadoras del sistema. Se obtiene entonces el siguiente diagrama de influencias del sistema considerado en este proyecto en la imagen 19.

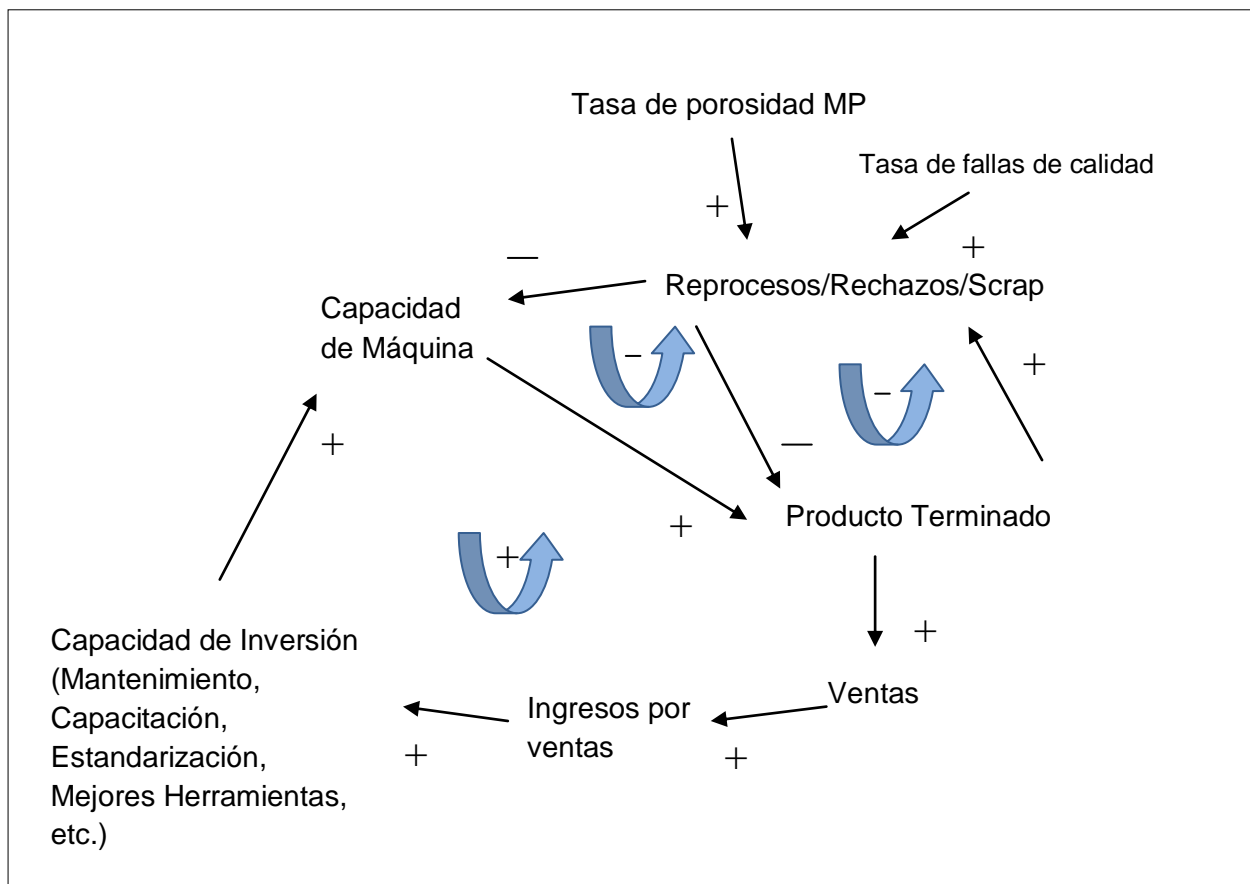


Imagen 19. Diagrama de influencias del sistema

Se pueden observar, a través de la imagen anterior, tres bucles: dos negativos y uno positivo.

El primer bucle negativo se refiere a que la cantidad de reprocesos y rechazos de la producción por calidad genera menor cantidad de producto terminado pero que, a su vez, si la cantidad de producto terminado aumentara por otro factor esto generaría aún más reprocesos si no se trabajara sobre la tasa de fallas por calidad.

El segundo bloque negativo, hace referencia al efecto que tienen los reprocesos, al mismo tiempo en que disminuyen la cantidad de producto terminado, también implican una disminución en la capacidad disponible para producción de la maquinaria ya que se debe utilizar tiempo en ellas para solucionar los problemas de calidad de las piezas a reprocesar. Se genera, entonces, aún menos producto terminado del que se debería si las tasas de fallas por calidad y porosidad fueran nulas.

El único bucle positivo, explica la posibilidad de que ante un aumento del producto terminado, se generan mayores ventas lo que implica mayores ingresos por ventas. Este dinero puede invertirse en cuestiones como mantenimiento, capacitación, estandarización, de manera de incrementar las capacidades de las máquinas y lograr así, una mayor producción de artículos terminados.

Estos bucles podrán verse y analizarse en la simulación para poder proponer soluciones a los mismos y evitar realimentaciones desfavorables para el sistema.

4.3.2. Transformación

Se realizará, como aconseja Ambrosini (2013), un modelo intermedio que servirá de referencia para el modelo de simulación ya que resulta muy difícil generarlo directamente desde el modelo sistémico. Esto se debe a faltantes de información y especificaciones las cuales llevarán a incongruencias entre los modelos. Entonces, se utiliza el modelo precursor que salva esas ausencias e ilustra el sistema a través del tiempo en forma de flujo.

Para la selección del modelo precursor adecuado se debe establecer primero si el modelo es de eventos discretos o de flujos continuos. En este caso, el sistema bajo análisis en el trabajo, es claramente de eventos discretos ya que se describen procesos que tiene un comienzo y un fin determinados y que, a su vez, están condicionados por recursos y condiciones lógicas.

Entonces, se decide utilizar un modelo de colas con el software Disco-Cyclone que permitirá crear una base conceptual más concreta y dinámica del modelo de simulación posterior.

4.3.3. Modelo Precursor (Cyclone)

Se presenta en la imagen 20 una impresión de pantalla del modelo precursor creado en el software "*Disco Cyclone*". Este software no se utiliza para simular si no como método a través del cual se genera una red de procesos y colas especificando al mismo tiempo las estadísticas del sistema de acuerdo a lo sugerido por Holpin y Riggs (1992).

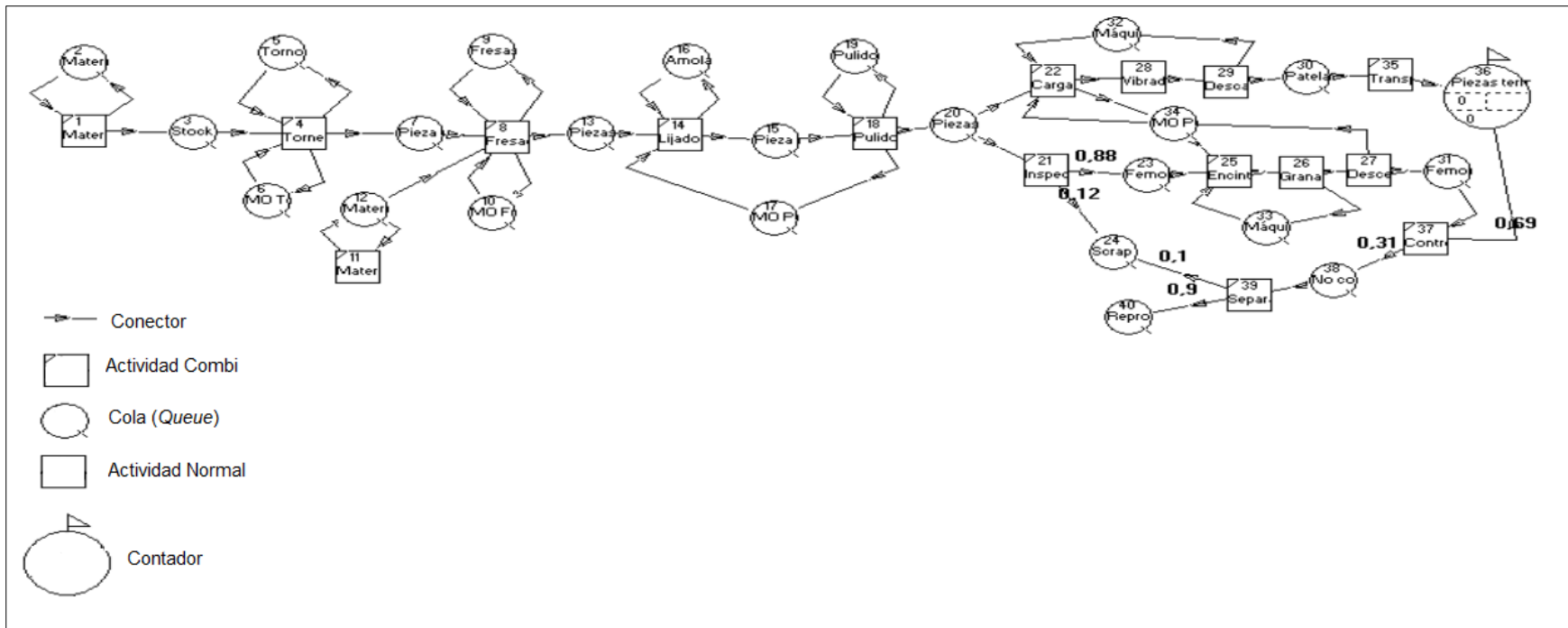


Imagen 20. Modelo precursor con software Disco Cyclone

4.4 Recolección de datos

4.4.1. Eficiencia General de los Equipos

La recolección de datos tiene que ver con los inputs que necesita el modelo de simulación para poder funcionar en coherencia con la realidad. Éstos son los tiempos de producción y la capacidad y disponibilidad de las máquinas. Para crear un hilo conductor se utiliza el concepto de *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) o Eficiencia General de los Equipos que sirve para medir la eficiencia productiva de la maquinaria industrial que es lo que va a afectar a la productividad de la compañía en el área de mecanizado y es nuestro objeto estudio.

4.4.1.1. Disponibilidad

La disponibilidad, se refiere al tiempo efectivo que tiene la maquinaria para producir, teniendo en cuenta las paradas de máquina programadas o planificadas por razones legales, por días festivos, almuerzos, refrigerios, mantenimiento preventivo, etc.

El turno de jornada laboral en la empresa Prima Implantes es de 6:00 am a 14:45 pm, es decir, de 8 horas y 45 minutos o bien, 525 minutos. Se trabaja 5 días a la semana, de lunes a viernes. Dentro de esta jornada, están estipulados **tiempos de parada programados** para:

- Almuerzo= 12:30 pm a 13:00 pm = 30 minutos de duración.
- Desayuno= 9:00 am a 9:15 am = 15 minutos de duración.

Tiempo de carga real = T. de trabajo total – T. de paradas programadas

Tiempo de carga real = 8 hs 45 min – 45 min.

Tiempo de carga real = 8 hs

Por otro lado, otra parada programada que afecta a la disponibilidad de las máquinas, es la necesidad de limpieza de las mismas para un mejor mantenimiento. La duración se detalla a continuación:

- Limpieza de lunes a viernes = 14:15 pm a 14:45 pm= 30 minutos de duración.

Esta limpieza es la única tarea que podría considerarse de mantenimiento preventivo ya que la empresa no cuenta con planes de este tipo para las máquinas si no que se trabaja con un mantenimiento a rotura. Esta actividad reactiva tiene por objetivo intervenir para poder restablecer la parada de la maquinaria de forma inmediata.

De esta forma, tendremos en cuenta para los **períodos de inactividad por averías** los indicadores de “MTBF” (Mean Time Between Failures, Tiempo Entre Fallas) y “MTTR” (Mean Time To Repair, Tiempo Para Reparar). Como la empresa no cuenta con registros de las fallas de las máquinas tanto en cantidades como en duraciones, se hace imposible obtener un dato

proveniente de la realidad. Sin embargo, se consultó a expertos pertenecientes a una firma que se dedica a realizar servicios de mantenimiento de máquinas a empresas de muchos rubros. A través de la información que tienen recolectada de distintas empresas pero que poseen el mismo tipo de maquinarias, se pudo estimar para las líneas de tornos y fresas, un MTBF de 856 minutos y un MTTR de 69 minutos. Este dato se hará extensivo a la máquina de granalla y vibrado ya que tampoco es posible estimar un valor de la realidad y no se conocen datos acerca de otras máquinas similares para valorar el mismo. Al mismo tiempo, sería demasiado idealista considerar que la máquina no falla ya que posee múltiples mecanismos que pueden averiarse.

El software de simulación permite introducir datos de distribuciones de probabilidad para los valores de MTBF y MTTR pero como se posee sólo un valor estimado, se considerará la distribución como constante. Al configurar todas las máquinas mencionadas con estos valores y al ser la distribución constante, se producirán todas las fallas al mismo tiempo y con la misma duración. Es por esto, que se tomarán distintos momentos de comienzo de las primer falla para generar una situación más realista. Para esto, se generarán valores aleatorios entre el inicio de la simulación y la primera semana (0 y 2400 minutos) para determinar comienzos aleatorios de las fallas a lo largo de este período dentro de la simulación.

- Torno 1: comienzo a los 695,147 minutos.
- Torno 2: comiendo a los 1735,063 minutos.
- Torno 3: comienzo a los 1712,289 minutos.
- Fresa 1: comienzo a los 100,459 minutos.
- Fresa 2: comienzo a los 392,930 minutos.
- Fresa 3: comienzo a los 803,681 minutos.
- Granalla: comienzo a los 1532,436 minutos.
- Vibrado: comienzo a los 362,00 minutos.

No se considerarán fallos en las amoladoras ni en la máquina de vibrado ya que son máquinas de menor tamaño y con mecanismos más simples que no implican paradas de producción importantes como para ser tenidas en cuenta. Se cuenta además con amoladoras extras para reemplazar si hubiera alguna rotura importante ya que este tipo de máquinas no tienen un elevado valor de compra.

Por otro lado, se tendrá en cuenta también, **los cambios y afilados de herramientas** que deben hacerse cada cierto número de piezas.

Para el torneado del plástico, las herramientas sólo suelen desafilarse y no romperse debido a que no es un material muy duro pero sí abrasivo. Las herramientas que se utilizan son de cobalto por lo que su duración hasta el desafilado es elevada. Se configurará la simulación de forma que, cada 5 barras de plástico, es decir, 255 piezas con ambos torneados realizados, se deje indisponible la máquina durante 30 minutos ya que el operario debe abandonar su puesto para dirigirse a la máquina afiladora, afilar las tres herramientas que usa para todos los subprocesos de torneado y volver a colocar las herramientas en el portaherramientas, poniéndolas a punto, nuevamente.

Para el fresado de ambas piezas, se generalizará un cambio de herramientas por pieza fresada sin discriminar por componente. Se considerará que cada 50 piezas fresadas, se debe hacer un cambio de herramienta o afilado de las mismas, ya que predomina la rotura de las fresas de acero durante la operación debido a la exigencia a la que se ven sometidas dichas herramientas. La herramienta que se usa para el fresado del plástico, sólo deberá afilarse cada vez que se llegue a la cantidad estipulada de piezas. Se tomará como duración de esta indisponibilidad de la máquina media hora al igual que en el torno ya que tanto el afilamiento o cambio de herramienta llevan tiempo y requieren de nueva puesta a punto.

De esta forma se tendrá en cuenta en la simulación tanto, a la limpieza preventiva, a las fallas de las máquinas casuales y a los cambios o afilados de herramientas, a través de un bloque que permite establecer tiempos de inactividad aleatorios y programados en las máquinas.

Se tienen en cuenta también, como factor que afecta a la disponibilidad, la **puesta a punto** de las máquinas cuyos tiempos fueron tomados a través de un estudio de tiempos que se puede ver en el Anexo 1. Se considera puesta a punto a la preparación de la máquina hasta conseguir la primera pieza bajo especificaciones.

Puesta a punto para los tornos:

- Tiempo de puesta a punto del componente patelar para el primer torneado= 10' 44"
= 10,73 min.
- Tiempo de puesta a punto del componente patelar para el segundo torneado= 6' 31"
= 6,52 min.

Puesta a punto para las fresas:

- Tiempo de puesta a punto del componente patelar= 5' 32" = 5,53 min.
- Tiempo de puesta a punto del componente femoral= 6' 32" = 6,53 min.

Puesta a punto para el granallado:

El granallado lleva una operación de preparación previa de las piezas para resguardar la zona pulida espejo de la pieza y granallar sólo el resto de la misma que lleva otra terminación. Se consideran como un tiempo fijo para el lote de 5 unidades estipulado para dicha operación. La actividad consiste en limpieza de los restos del pulido con alcohol y triple encintado de la zona que no se granalla para asegurar que no se despegue durante la operación de granallado, es por esto que lleva mucho tiempo. Se considera, también, el desencintado posterior más el envoltorio en papel para resguardar la pieza al pasarse a control de calidad.

- Tiempo de preparación anterior = 41' 24" = 41,40 min.
- Tiempo de preparación posterior = 2' 36" = 2,60 min.

Cabe aclarar que las operaciones de lijado y pulido no llevan puesta a punto ni preparación ya que el proceso implica simplemente el uso de amoladoras con discos de lijas y paños cuyo tiempo de cambio es despreciable por la cantidad de piezas que se puede hacer con uno de ellos y el poco tiempo que implica el cambio.

En la simulación, para que la puesta a punto signifique que la máquina no se encuentre disponible, se coloca una operación anterior a la máquina que, ante el cambio de componente o de trabajo, dispara una acción sobre la primera pieza, evitando que ésta entre a la máquina posterior hasta su finalización. De esta forma, durante la puesta a punto la máquina se encuentra inutilizada.

4.4.1.2 Eficiencia

Como la empresa no cuenta con un estudio de métodos y tiempos ya realizado que estime el tiempo estándar de producción, es difícil generar datos que indiquen pérdidas por velocidad reducida. Sin embargo, este factor se tendrá en cuenta al setear en la simulación el tiempo de proceso de las máquinas con una distribución de probabilidades que dará una media del tiempo, en minutos, pero también una desviación estándar, imitando variaciones en el ritmo normal de mecanizado de acuerdo a un estudio de tiempos realizado por el autor de este trabajo en la empresa, el cual se encuentra disponible en el Anexo 1. Las planillas utilizadas para el estudio de tiempos correspondiente, se obtuvieron del libro de la OIT (Organización Internacional del Trabajo) de Kanawaty (1996). Los tiempos, para todas las operaciones (ya que todas son realizadas en máquinas manuales), se tomaron desde que el operario toma la pieza sin procesar hasta que apoya la pieza ya procesada sobre la bandeja correspondiente a las piezas en proceso.

El análisis probabilístico (disponible en el Anexo 2) se realizó a través del software Infostat que permite efectuar sobre los datos estadística descriptiva y pruebas de hipótesis que confirmarán la posible modelación de la información a través de una distribución de probabilidad determinada. Estas distribuciones de probabilidad, para los distintos procesos, serán las siguientes:

- Proceso del componente patelar:
 - Para el primero torneado ~ Normal(1,664 , 0,060)
 - Para el segundo torneado ~ Normal(0,751 , 0,015)
 - Para el fresado ~ Gama(0,01328 , 109,98719)
 - Para el lijado ~ Gama(0,00456 , 124,83364)
 - Para el pulido ~ Beta(29,46 , 148,56)
 - Para el vibrado ~ Constante(720)

- Proceso del componente femoral:
 - Para el fresado ~ Gama(0,02960, 92,31234)

- Para el lijado ~ Constante(11,85)
- Para el pulido ~ Constante(15,67)
- Para el granallado ~ Constante(2,07)

4.4.1.3 Calidad

Para extraer los datos de calidad se obtuvo información del sistema de gestión propio de la empresa, el cual registra cada rechazo de producción desde el área de control de calidad con todos los datos necesarios de fecha, motivo, personal responsable, etc. Se obtuvieron datos del año 2013 completo y lo que va del 2014.

- Para el **componente patelar**, la tabla 8 resume los datos a continuación:

Año y Mes	Suma de C.PROD	Suma de APR.CC	Suma de RECHAZOS	% Conforme	% Rechazos
2013	848	794	54	94%	6%
Enero	152	126	26	83%	17%
Marzo	107	102	5	95%	5%
Mayo	50	33	17	66%	34%
Junio	147	144	3	98%	2%
Septiembre	78	76	2	97%	3%
Octubre	75	75	0	100%	0%
Noviembre	178	178	0	100%	0%
Diciembre	61	60	1	98%	2%
2014	281	281	0	100%	0%
Febrero	4	4	0	100%	0%
Marzo	158	158	0	100%	0%
Mayo	4	4	0	100%	0%
Junio	6	6	0	100%	0%
Agosto	109	109	0	100%	0%
Total general	1129	1075	54	95%	5%
			Promedios	95%	5%

Tabla 8. Datos de rechazos de calidad para componente patelar.

Como conclusión, se decide despreciar los reprocesos del componente patelar ya que se puede apreciar que el proceso de fabricación de este componente ha ido perfeccionándose en el tiempo hasta llegar a lograr, durante todo el año 2014, una tasa del 0% mensual de

rechazos por parte del área de calidad. A pesar de que el promedio, calculado sobre los datos de 2013 y 2014, den como resultado un 5% de rechazos, esto sería falso al no tener en cuenta la influencia de la historia y del desarrollo de este porcentaje en el tiempo. Si se tuviera que decidir una proporción de rechazos desde que el proceso de fabricación entra en régimen (Junio de 2013), el porcentaje de rechazos estaría entre el cero y el dos por ciento. Sin embargo, este valor es muy pequeño para influenciar el normal comportamiento de la línea productiva por lo que, como se dijo anteriormente, se despreciará.

- Para el **componente femoral**, los resultados mensuales de rechazos de producción se muestran en la tabla 9:

Año y Mes	Suma de C.PROD	Suma de APR.CC	Suma de RECHAZOS	% Conforme	% Rechazos
2013	1717	1207	510	70%	30%
Enero	80	65	15	81%	19%
Febrero	143	119	24	83%	17%
Marzo	62	33	29	53%	47%
Abril	151	100	51	66%	34%
Mayo	188	115	73	61%	39%
Junio	166	112	54	67%	33%
Julio	160	91	69	57%	43%
Agosto	161	131	30	81%	19%
Septiembre	224	157	67	70%	30%
Octubre	84	72	12	86%	14%
Noviembre	143	114	29	80%	20%
Diciembre	155	98	57	63%	37%
2014	724	484	240		
Enero	65	44	21	68%	32%
Febrero	54	30	24	56%	44%
Marzo	108	73	35	68%	32%
Abril	161	91	70	57%	43%
Mayo	96	66	30	69%	31%
Junio	82	58	24	71%	29%
Julio	79	57	22	72%	28%
Agosto	79	65	14	82%	18%
Total general	2441	1691	750		
			Promedios	70%	30%

Tabla 9. Datos de calidad para componente femoral

En conclusión, podemos ver que, en promedio, se rechaza mensualmente el 31% de la producción ya sea por reproceso o por desperdicio. Este sí es un valor elevado, que no se puede despreciar como el anterior ya que afecta en gran medida a la productividad de la línea. Por este motivo, se necesitará, no sólo producir más para cubrir este faltante de producto terminado sino también dejar tiempo disponible de las máquinas para retrabajar las piezas rechazadas. A continuación, en la tabla 10 podemos observar cuáles fueron los motivos de rechazos para saber a qué área deben dirigirse los mismos.

Motivos de Rechazo	Cant. Rechazos	Sector Reproceso
RAYAS	247	PULIDO
GRANALLA EN PULIDO	143	PULIDO
FALTA PULIDO	92	PULIDO
FALTA GRANALLA	67	GRANALLADO
POROS	48	SCRAP
MANCHAS DE OXIDO	45	LIJADO
FALTA TERMINACION	41	LIJADO
GRIETAS	24	SCRAP
GOLPES	20	LIJADO
MANCHAS DE ACIDO	8	LIJADO
REBARBA	5	LIJADO
BORRAR GRABADO	4	LIJADO
NO CONFORME	3	SCRAP
FUERA DE MEDIDA	2	SCRAP
ERROR ADMINISTRATIVO	1	-
QUEMADOS	1	SCRAP
Total general	751	Porcentajes
Cant. a Lijado	123	16%
Cant. a Pulido	482	64%
Cant. a Granallado	67	9%
Cant. a Scrap	78	10%

Tabla 10. Motivos de rechazo componente femoral

Con esta última tabla, se evidencia que son cuatro los motivos más frecuentes de rechazo, de los cuales tres deben ser reprocesados en la etapa de pulido y uno, en granallado. El componente femoral es muy delicado ya que debe tener en toda la superficie superior un

pulido espejo perfecto por motivos estéticos y funcionales de la pieza pero por debajo la terminación se la da el granallado que deja una terminación más opaca.

Como se destaca en la tabla, la mayoría de los problemas se da por falta de terminación de alguno de estos dos procesos o por errores en el encintado de la pieza previo al granallado de forma que no se protege bien el pulido previo y se introduce granalla en esta zona. Sin embargo, el resto de los motivos se solucionan con el lijado que repasa la pieza evitando la falta de terminación, los golpes, las manchas de óxido, las rebabas, etc. Todas estas piezas sumadas, hacen un número importante de reprocesos que deben pasar por lijado y consecuentemente luego por pulido y granallado también para lograr las terminaciones correctas.

Como conclusión, del 31% de rechazos por parte del área de control de calidad, se enviarán:

- 16% a lijado, que también deberá pasar por pulido y granallado posteriormente,
- 64% a pulido, que deberá pasar por granallado luego,
- 9% sólo a granallado y,
- 10% a scrap que en este caso significa devolución a proveedor por grieta y poros en la materia prima.

Por otro lado, existen problemas de calidad para el componente femoral durante la producción ya que se generan rechazos en el proceso de lijado y/o pulido por detección de poros y/o grietas imposibles de evitar. Esto es lo que genera alta variabilidad en las últimas operaciones del proceso de fabricación del femoral, ya que dependiendo de la porosidad de la materia prima es que se demorará más en una pieza que en otra ya que se intenta mediante el lijado quitar el poro o grieta superficial. Si no se pudiera quitar, se rechaza la pieza ya desde producción para devolución a proveedor. Estos rechazos se registran en una planilla de Excel (tabla 11) de donde se obtiene el siguiente porcentaje de rechazo:

Año/Mes	Cant. Producida	Cant. Rechazos en Prod.	Cant. Total Femorales (C.P + CRP)	% Rechazos según Total
2013	1717	327		
Enero	80	11	91	12%
Febrero	143	16	159	10%
Marzo	62	5	67	7%
Abril	151	6	157	4%
Mayo	188	29	217	13%
Junio	166	54	220	25%
Julio	160	110	270	41%
Agosto	161	25	186	13%
Septiembre	224	24	248	10%
Octubre	84	12	96	13%
Noviembre	143	22	165	13%
Diciembre	155	13	168	8%
2014	724	96		
Enero	65	3	68	4%
Febrero	54	6	60	10%
Marzo	108	15	123	12%
Abril	161	9	170	5%
Mayo	96	4	100	4%
Junio	82	13	95	14%
Julio	79	9	88	10%
Agosto	79	17	96	18%
Total general	2441	403	Promedio	12%

Tabla 11. Datos de rechazos en producción para femorales

4.5. Traducción del modelo

4.5.1. Elección software de simulación

Para la realización de esta tesis, se contaba con el conocimiento de dos software de simulación: uno, Tecnomatix Plant Simulation desarrollado por Siemens y otro, FACTS Analyzer desarrollado por la Universidad de Skövde, Suecia donde la autora de este proyecto tuvo la oportunidad de cursar un semestre gracias a una beca de intercambio de grado. Una tercera opción, propuesta por la Universidad Nacional de Córdoba, era el software ExtendSim desarrollado por Imagine That Inc.

A continuación se detallarán las características de estos softwares y el motivo de la elección final del software que efectivamente se usó para desarrollar este proyecto integrador.

- **Plant Simulation:** es una herramienta de simulación de eventos discretos que permite crear modelos digitales de sistemas logísticos para poder, a través de éstos, estudiar las características de los sistemas y optimizar su rendimiento. Posee herramientas muy completas de análisis tales como análisis de cuellos de botella, estadísticas y diagramas que permiten evaluar distintos escenarios dentro de las plantas industriales para tomar decisiones fiables y con rapidez. Permite también visualización y animación 3D de las líneas productivas diseñadas. La potencialidad de este software puede fundamentarse en que existen muchos casos de estudio donde se ha implementado, sin importar la magnitud de la problemática o la entidad que requiere de su uso. Se ha utilizado para mejorar el servicio de consulta externa de un centro de rehabilitación, en la ciudad de Orizaba, México, mediante el uso de herramientas de calidad y productividad con el objetivo de mejorar la operación y eficiencia del sistema (Palacios Ariza et al, 2012). Pero, también se ha utilizado para la simulación de una planta química con el objetivo de estudiar y mejorar las actividades logísticas de la misma (Chen et al, 2002). Por otro lado, es usado por múltiples universidades a lo largo del globo como en el Tecnológico de Monterrey, México (Luna Aramburo, 2008) y en la Universidad de Skövde, Suecia como fue mencionado anteriormente.

- **FACTS (Factory Analyses in Conceptual phase using Simulation) Analyzer:** es un software de simulación de eventos discretos específicamente diseñado para brindar soporte en el diseño, análisis y optimización de fábricas en la fase de diseño conceptual, es decir, en las primeras etapas del diseño de sistemas productivos. Se caracteriza por ser un software de simulación de eventos discretos y optimización basada en simulación que se ejecuta con base en Internet; además, es fácil de modelar y sin necesidad de programación, que permite probar de manera simple distintos escenarios por ejemplo sobre cómo conviene configurar un sistema de producción al iniciarlo. (Amos et al, 2011) (Urenda Moris et al, 2008).

- **ExtendSim:** este último software de simulación permite desarrollar modelos dinámicos de nuevos o ya existente procesos en una infinita variedad de rubros. El objetivo es crear modelos a partir de bloques, explorar los procesos involucrados y ver cómo estos se relacionan para poder llegar a soluciones óptimas sobre dichos modelos. Ayuda a entender sistemas complejos y producir mejores resultados rápidamente. Básicamente, este software permite simular cualquier sistema o proceso creando una representación lógica del mismo a través de

un formato fácil de manejar y usar. Se ha utilizado para modelar cadenas de suministro de dos niveles (productor, distribuidor y cliente) para obtener resultados y buscar soluciones óptimas en niveles de stock (Kopytov & Muravjovs, 2011). También, existen aplicaciones del software para un flujo de servicio de un bar tratando de optimizar los recursos del mismo de manera de optimizar el sistema (Hu & Linwei, 2009).

Como conclusión, se pueden apreciar distintas potencialidades en los softwares que los diferencian notablemente.

Plan Simulation está muy orientado a la simulación de líneas productivas ofertando potentes herramientas de análisis como el del cuello de botella lo cual sería muy ventajoso para este trabajo que tiene como uno de sus principales objetivos dicha cuestión. Sin embargo, al ser un software desarrollado por una empresa multinacional de gran envergadura no fue posible conseguir la licencia del mismo, imposibilitando su uso para este proyecto aunque hubiera sido de gran potencialidad para resolver la problemática planteada.

FACTS Analyzer, por su parte, se encuentra accesible ya que se posee contactos con los desarrolladores gracias a la experiencia en la Universidad que permiten conseguir la contraseña de acceso vía internet. Sin embargo, como se describe anteriormente, este software es muy específico en sus usos potenciales, creado para dar soporte en las primeras etapas de diseño de un sistema productivo. Por lo tanto, no sirve para simular el sistema en cuestión que es muy complejo y está afectado por años de funcionamiento. Además, como es un software recientemente lanzado al mercado, no existen tutoriales ni casos de estudio que permitan salvar dudas durante la modelación o asegurar que se podrá realizar un modelo válido y funcional. Es por estas razones que se decide no utilizar la herramienta en cuestión.

Por último, ExtendSim es, entonces, un software de gran escalabilidad creado para solucionar todo tipo de sistemas. Esto lo hace menos potente que el resto para el caso de estudio de este proyecto que requiere especificidades de la industria como posee Plant Simulation. Además, la autora del proyecto no estaba familiarizada con la forma de modelización de este software. Sin embargo, resulta ser el más factible de usar ya que se posee licencia a través de la Universidad Nacional de Córdoba y al abarcar tanta complejidad de sistemas, supera con creces la necesidad de programación que requiere este trabajo. Además, se encuentran disponibles muchos manuales y tutoriales que hacen que aprender su uso sea rápido y fácil.

Es por esto que, finalmente, luego analizar las ventajas y desventajas, posibilidades e imposibilidades de los softwares que se conocían y se tenían disponibles, se elige desarrollar este trabajo con ExtendSim de Imagine That Inc. por su escalabilidad, accesibilidad y disponibilidad de material para su aprendizaje.

4.5.2. Descripción modelo de simulación

A continuación, se detallará mediante imágenes obtenidas de impresiones de pantalla del software de simulación, la configuración del modelo de simulación que permitirá entender cómo se fue agregando cada parte de la información descripta anteriormente.

Primero, se presentará en la imagen 21 el **modelo general** con los tres centros de trabajo que se verán como “cajas negras” con ciertos inputs y outputs. Dentro de cada uno de esos bloques que representan los centros de trabajo, están las configuraciones de las líneas de maquinaria respectivamente, las cuales se detallarán más adelante para explicar su funcionamiento.

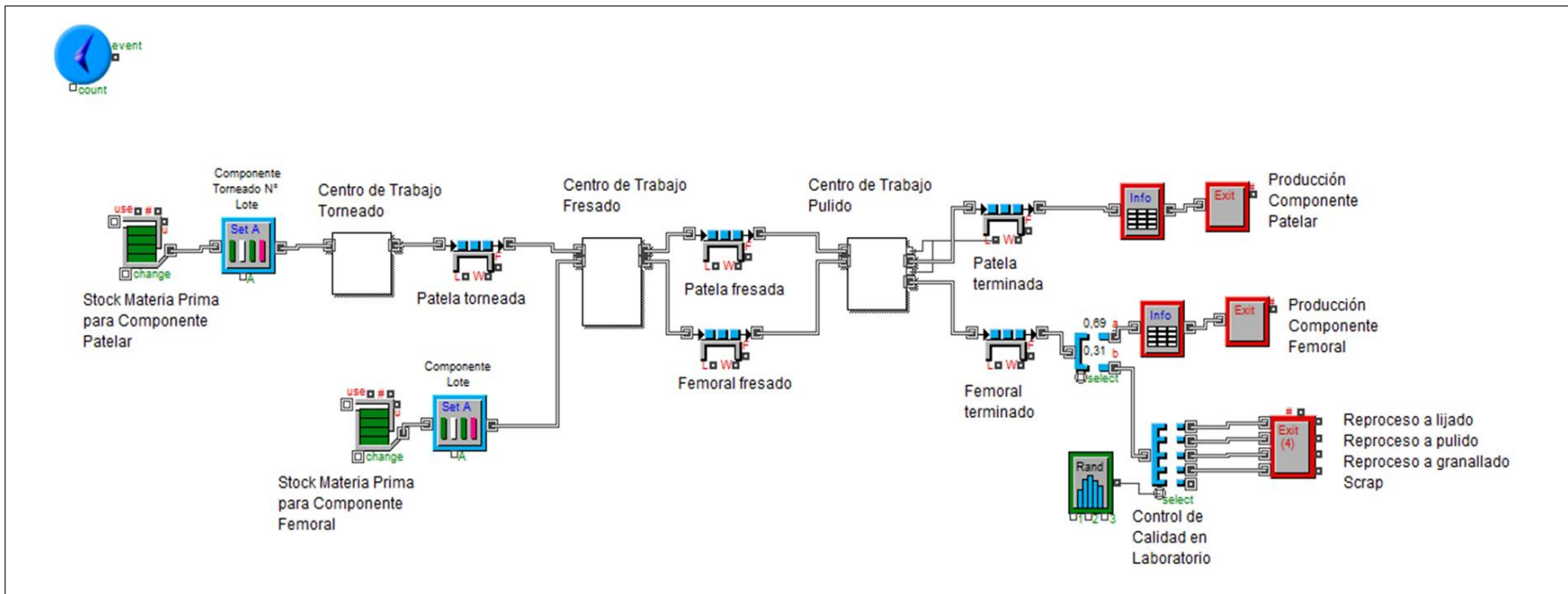


Imagen 21. Modelo de simulación: proceso completo. Software ExtendSim.

Como se puede observar en la imagen anterior, se tienen dos stocks de materia prima considerados de capacidad infinita ya que no simularemos la disponibilidad de materia prima proveniente del proceso de compra sino que supondremos que siempre hay materiales disponibles para fabricar. Luego se asignan atributos a las piezas:

1. Primero, el número de componente: 1 para componente patelar y 2 para componente femoral, de forma de poder identificarlos a lo largo del modelo.
2. Segundo, la cantidad de piezas que lleva un lote: 51 para componente patelar y 10 para componente femoral. Para setear los lotes de producción y determinar puestas a punto. Sin embargo, el lote cambia en la última etapa del sector pulido para vibrado y granallado y se genera un nuevo atributo llamada "Lote Pulido".
3. Tercero, el número de torneado sólo para el componente patelar, de manera de poder identificar en que etapa del proceso está la limpieza y asignar los tiempos de producción requeridos para los distintos torneados que lleva la pieza.

Luego, se tienen tres bloques en forma de cajas blancas que pertenecen a cada uno de los centros de trabajo que posee la empresa. Cada uno tiene mucha complejidad de programación adentro por lo que se explicarán de forma separada y detallada más adelante. Entre cada uno de estos bloques, existen espacios de almacenamiento (también considerados infinitos para que no frenen la producción y ver cuánto es el máximo que puede producir la empresa y qué cantidades se acumulan entre centros de trabajo) para las piezas en proceso según las distintas etapas del mismo.

Por último, luego del almacenamiento de piezas terminadas, se procede a enviar las piezas al área técnica o laboratorio para su control de calidad y posterior procesamiento el cual no será estudiado en este trabajo. Es por esto que, se plantea para el componente femoral (único componente considerado con porcentajes de rechazos y reprocesos), un control de calidad sin demora ya que no estudiamos los tiempos de duración de esta actividad. A través de un primer selector, se determinan los porcentajes de producto conforme y no conforme. El producto no conforme pasa por un segundo selector donde, a través de una tabla empírica con porcentajes para las distintas conexiones de salida, se determina el destino de reproceso ya sea lijado, pulido o granallado o si el defecto es irreparable y debe considerarse como desecho o scrap (según los porcentajes obtenidos de la recolección de datos de la realidad).

Subsiguientemente, se mostrará las configuraciones internas de cada centro de trabajo.

Primero, se describirá el **centro de trabajo torneado** mediante la imagen 22.

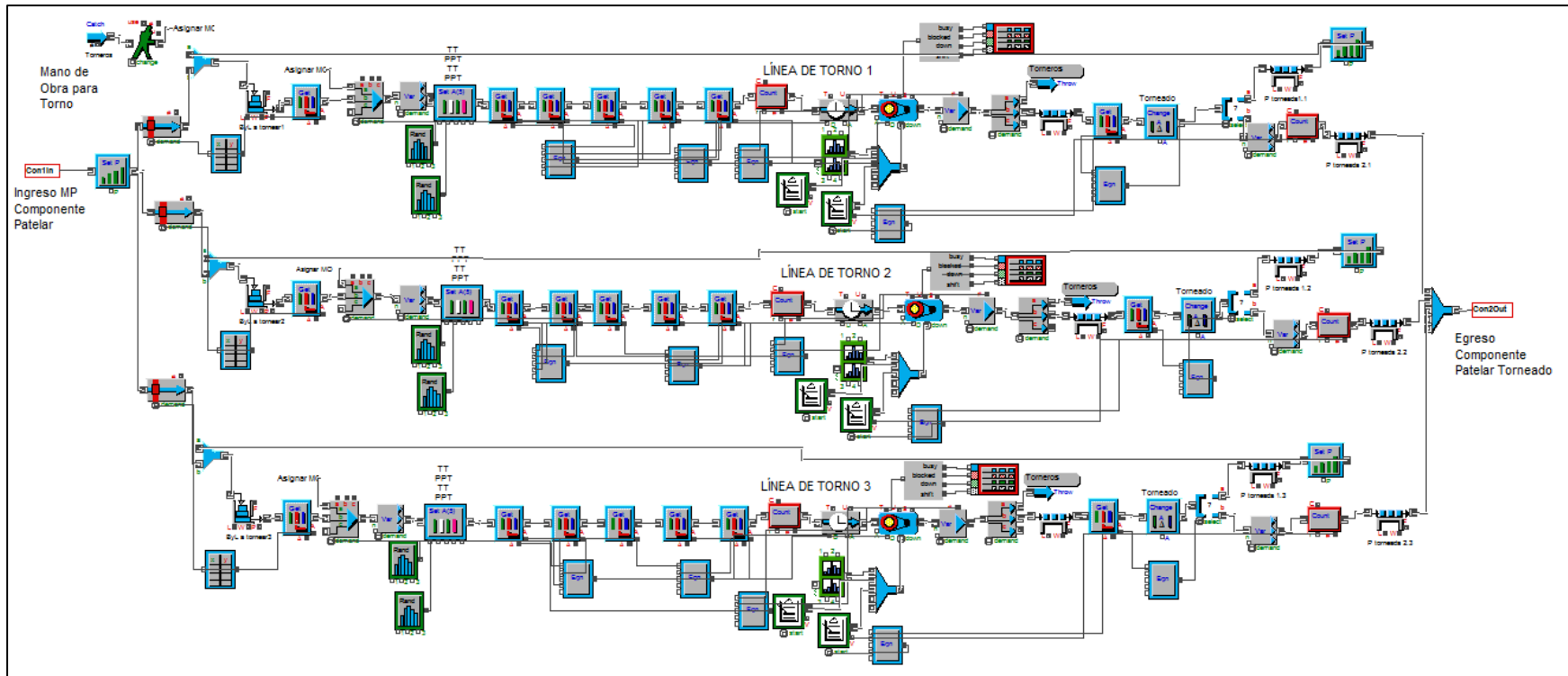


Imagen 22. Modelo de simulación: centro de trabajo torneado. Software ExtendSim.

A través de la imagen anterior se puede observar que existe, en rasgos generales: un ingreso de materia prima de componente femoral desde el modelo general mostrado antes, una fuente de mano de obra de operario torneros, tres líneas de torneado que implican muchos bloques para lograr configurar tiempos y comportamientos de la misma y por último, todas las piezas terminadas de cada línea se combinan en un mismo flujo para determinar un egreso de componente patelar ya torneado, listo para dirigirse al centro de trabajo de fresado en el proceso general.

Las tres líneas de torno son idénticas, es decir, tienen la misma cantidad de bloques y se comportan de la misma manera, a excepción de algunos valores de configuración interna que pueden variar. Es por esto que se describirá a continuación con una sola línea el comportamiento de las tres de manera que se entienda mejor la imagen.

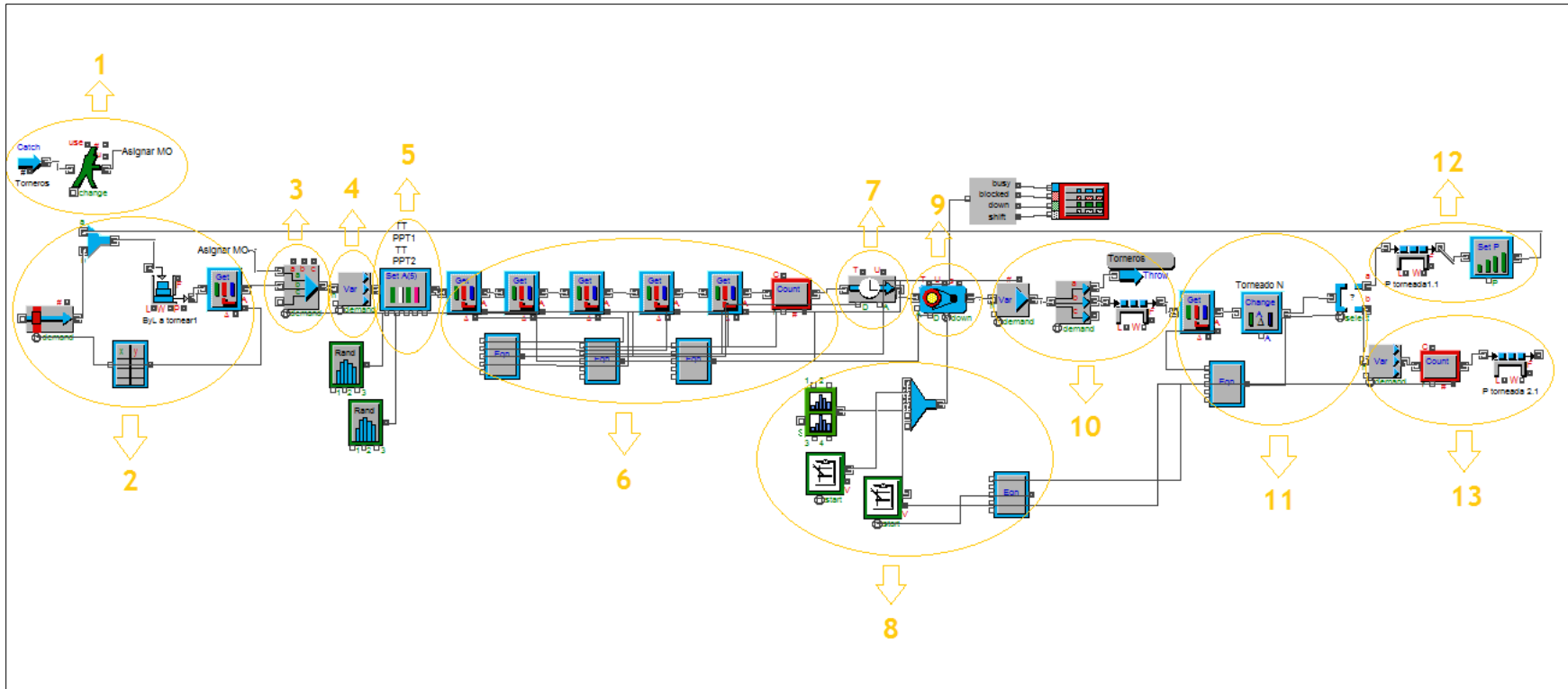


Imagen 23. Modelo de simulación: Línea de Torneo. Software ExtendSim.

Se dividió el proceso de torneado en 13 conjuntos de bloques que determinan una configuración importante del comportamiento del sistema. No se mostrará la configuración interna de cada uno de los bloques ya que sería demasiado engorroso y eso puede consultarse en el manual del software utilizado. Además, la información de las configuraciones fueron todas descritas en la recolección de datos. Se explicará a continuación el funcionamiento de cada conjunto de bloques de acuerdo a la numeración de la imagen 23.

1) Estos bloques representan la mano de obra disponible para los tornos. En sus configuraciones figura que la cantidad inicial disponible es de 3 ya que así sucede en la realidad, uno para cada torno en el único turno laboral. La mano de obra se distribuye a los tres tornos mediante la conexión a una variable llamada "Asignar MO" la cual se vuelve a llamar más adelante para generar la vinculación y evitar flechas de conexión que luego se mezclan y confunden con otras. A su vez, cada vez que se termina una operación a la cual fue asignado el operario, la misma devuelve el operario a la fuente a través de un bloque "Throw" y es recibido por el bloque "Catch" que figura a la izquierda en la zona 1 descrita.

2) Este conjunto de bloques permite que mediante prioridades asignadas a las piezas en distintas etapas del proceso y datos que permiten activar la demanda de una nueva barra de materia prima, se torne siempre primero el torneado correspondiente al corte de la barra en 51 piezas y luego el segundo torneado que da la forma esférica a la parte superior de la pieza ya que siempre deben darse en este orden.

3) Este único bloque "Batch" describe la necesidad tanto de la materia prima como del operario para poder comenzar a procesar, obligando a que estén ambas disponibles para continuar; de lo contrario, el proceso no podría comenzar.

4) El bloque "Unbatch Variable" permite dividir la barra en 51 piezas que serán las que supuestamente se obtienen luego de la operación, sólo que los tiempos de operación están tomados por pieza por lo cual deben ser consideradas una por una desde antes de la máquina en la simulación.

5) Este bloque llamado "Set Attribute" define atributos para las piezas para identificar el tiempo de proceso de cada una. Se encuentra conectado en la parte inferior a otros dos bloques más que configuran las distribuciones de probabilidad con que los datos de tiempos irán variando para cada pieza en particular. En este bloque se establecen los atributos PPT1 (Puesta a Punto Torneo 1), TT1 (Tiempo Torneo 1), PPT2 (Puesta a Punto Torneo 2) y TT2 (Tiempo Torneo 2). De manera que cada pieza lleve un tiempo variable de acuerdo a la distribución de probabilidad que corresponda.

6) Estos bloques superiores en fila permiten leer los atributos respecto al número de torneado asignado al principio de la simulación y los cuatro atributos definidos en el punto 5. De esta forma, se envían los datos leídos, como entrada para los bloques debajo llamados "Equation" que permiten crear códigos "if" que resuelven de acuerdo al número de torneado el tiempo de producción correspondiente y de acuerdo a la detección de un cambio en el número de torneado, dispara la puesta a punto correspondiente también. Estos resultados son enviados a variables de entrada de la máquina para definir la duración de las operaciones y de la actividad

anterior para definir la realización de la puesta a punto y duración de la misma. El tercer bloque "Equation" define también la demanda de materia prima y operario nuevamente una vez terminado el procesamiento de todas las piezas en cuestión para que no haya un operario y una barra de materia prima esperando en ese bloque para poder entrar a la máquina ya que no sería la realidad.

7) Esta actividad representa la puesta a punto de la máquina. Con esta configuración, cuando cambia el número de torneado, se dispara una operación que de lo contrario tiene una duración cero. De esta forma, la máquina no está disponible para procesar y se puede apreciar en los gráficos de utilización dicho momento que de lo contrario se tomaría como tiempo utilizado por la máquina pero que, en realidad, es un tiempo no productivo que hay que minimizar.

8) Este conjunto lo que hace es activar indisponibilidades de la máquina. El primer bloque del conjunto genera paradas de máquina aleatorias de acuerdo a los indicadores MTTR y MTBF descritos anteriormente. Los otros dos bloques son programas de paradas. Uno, determina que cada 480 minutos de simulación, es decir, una jornada laboral, se active una parada de máquina al minuto 450 de 30 minutos de duración representando la limpieza diaria de las máquinas. Otro, está asociado a un contador de piezas ubicado al final de la línea de forma que, mediante una secuencia de código identifique que una vez alcanzadas las 255 piezas torneadas, active una indisponibilidad de la máquina de 30 minutos por afilado de herramientas.

9) Este bloque es el torno propiamente dicho al cual le llegan por sus conectores de entrada los tiempos de proceso y los tiempos en que la máquina no está disponible de manera que desde sus outputs de salida se puede graficar la utilización de la misma a lo largo de la simulación.

10) Estos bloques juntan las piezas formando un lote nuevamente para cuyo proceso se había asignado un operario que se devuelve a través de un bloque "Throw" a la fuente de torneros.

11) Una vez torneado el lote, se lee el atributo número de torneado para identificar qué camino debe seguir el mismo. Si el número de torneado es 1 se envía el lote por la salida superior para que se dirija nuevamente al torno. En cambio, si el número de torneado es 2, se envía el lote por la salida inferior dirigiéndose hacia el almacenamiento de todas las piezas ya torneadas provenientes de los 3 tornos. Este bloque lector del atributo se coloca antes de cambiar el atributo aumentando en uno su valor de forma que se lea que se le hizo el primer torneado para dirigir correctamente la pieza pero luego al instante se aumenta en uno su valor en el bloque siguiente para que cuando la pieza vuelva a ser torneada se identifique que es el segundo torneado y puedan determinarse bien los tiempos de producción.

12) A través de estos bloques y conectores se envía el lote torneado por primera vez a tornearse nuevamente. Se le atribuye mayor prioridad para que apenas llegue al almacenamiento de lotes antes de la máquina, se procese de inmediato, logrando la consecución de los torneados de forma instantánea.

13) Como último conjunto, se separa el lote en piezas individuales para contar la cantidad torneada mediante un contador el cual está conectado a la ecuación que genera el disparo de indisponibilidad de la máquina por afilado de herramientas. Así, se tienen las piezas listas para enviar al centro de trabajo de fresado.

Ahora, se presenta a continuación la configuración del **centro de trabajo de fresado** en la imagen 24.

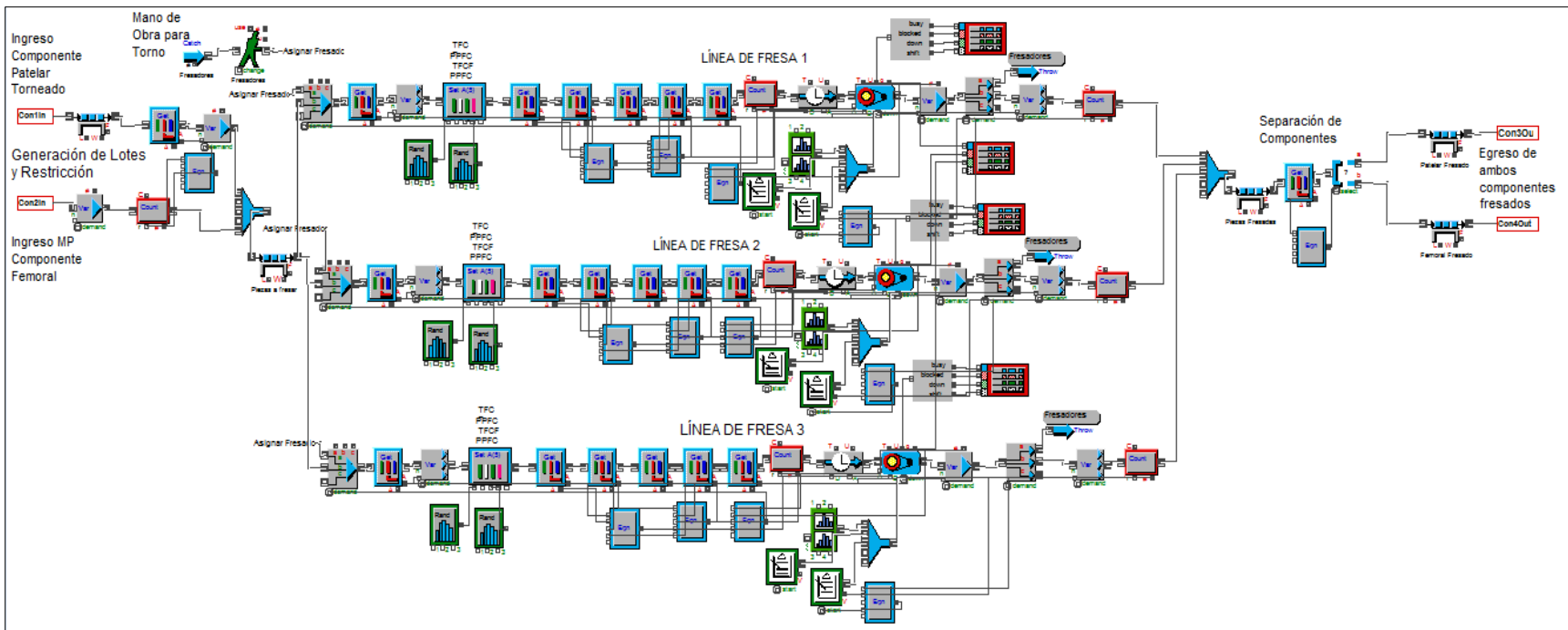


Imagen 24. Modelo de simulación: centro de trabajo fresado. Software ExtendSim.

De la imagen anterior se puede destacar que el centro de trabajo de fresado también posee tres líneas de trabajo ya que se poseen tres máquinas fresadoras. El proceso general consiste en dos ingresos de piezas a fresar; uno, proveniente de la etapa de proceso anterior de torneado (el componente patelar) y otro, procedente de un stock de materia prima considerado infinito (el componente femoral).

Como esta última materia prima ingresa del proveedor como unidades semielaboradas, tanto los componentes patelares torneados como los componentes femorales en bruto deben ser agrupados en lotes de producción, designados en 51 para las patelas y 10 para los femorales.

Asociada a la generación de lotes, se configura un bloque "Equation" que permite nivelar la producción de ambos componentes. Esto se debe a que, como el componente femoral tiene muchos rechazos de calidad a lo largo del proceso y su proceso de fabricación es más lento debe restringirse el paso de patelares, que no posee rechazos de calidad, para igualar la cantidad producida final.

La empresa desea obtener cantidades niveladas de ambos componentes ya que uno de cada uno de estos formará parte en conjunto de una prótesis de reemplazo de rodilla por lo que no es razonable producir más de un tipo de componente que de otro. En la realidad esta metodología se realiza bajo criterio personal del jefe de planta, en base al stock de producto terminado o urgencias por faltantes. De esta manera, se prioriza en la simulación, la producción de femorales para que cada 15 lotes (150 piezas) enviados a fresar se demande un lote de componente patelar (51 piezas) y así se logra nivelar los ritmos de producción al final de la línea.

Para explicar esta situación, se asocia el concepto de Lista de Materiales o BOM (por sus siglas en inglés de "Bill of Materials"). La empresa no cuenta con este tipo de documentación para los productos pero se desarrollará a continuación la misma para el producto bajo estudio, de manera de entender la cantidad de componentes requeridos para hacer un producto.

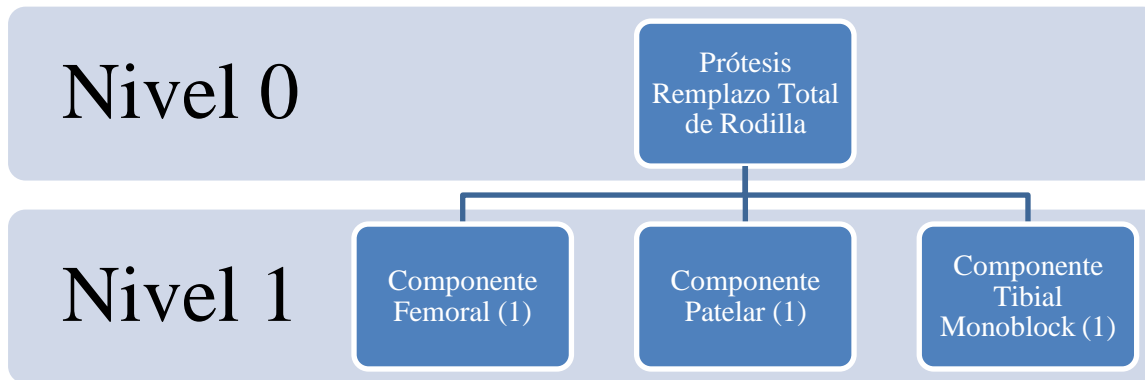


Imagen 25. Lista de materiales para componente femoral

Sin la restricción, el gráfico de aumento de las cantidades producidas para cada material en función del tiempo es el que se observa en la gráfico 2, en celeste se ve la producción de componente patelar (30855 piezas al finalizar la simulación) y en rojo la de componente femoral (6146 piezas para el horizonte de simulación determinado).

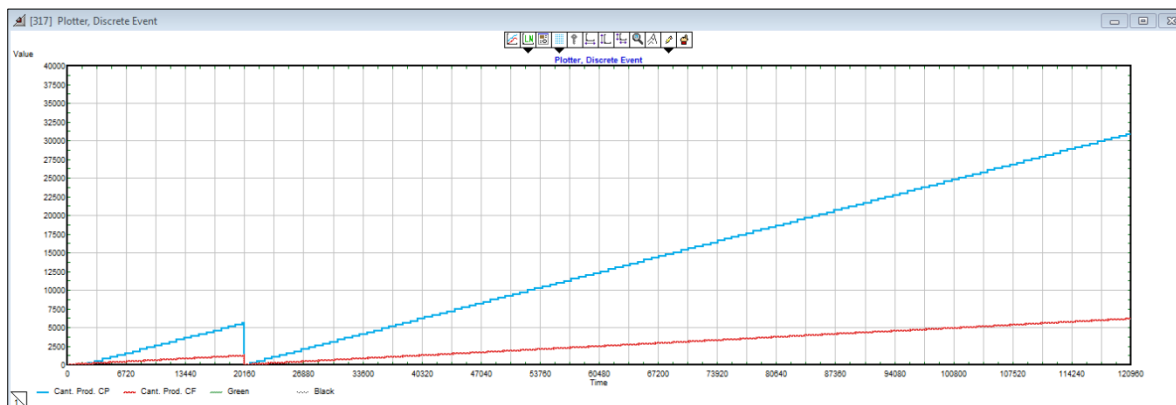


Gráfico 2. Evolución de las cantidades producidas en función del tiempo sin restricción

Con la restricción, se observa cómo en la gráfico 3 se nivelan más las cantidades producidas para conseguir una cantidad de producto terminado similar de ambos productos (5355 piezas de patelar y 6197 piezas de femoral). Como en las distintas corridas de simulación varían algunos datos, no se puede saber con anticipación la brecha en la diferencia de

cantidades de productos terminados de cada componente pero sí se logra llevar esa diferencia a un número razonable.

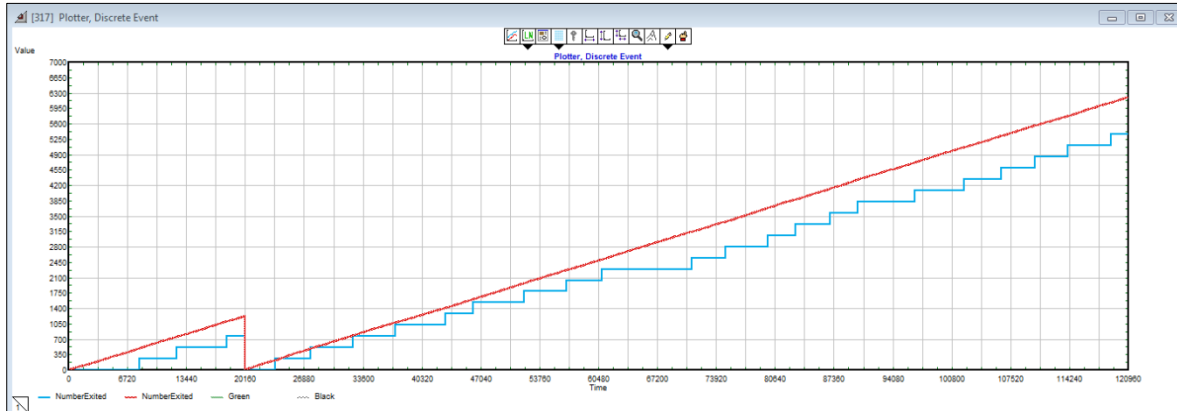


Gráfico 3. Evolución de las cantidades producidas en función del tiempo con restricción.

Por último, estos lotes ingresan a una de las tres líneas de fresado donde serán procesadas y al finalizar dicha operación serán separados según tipo o número de componente en almacenes para ser enviados al próximo centro de trabajo.

Al igual que en el centro de trabajo de torneado, las líneas se comportan de manera casi idéntica por lo que se ampliará una de ellas y se explicará su funcionamiento, el cual es también similar al de las líneas de torno. Esto podrá verse en la imagen 26.

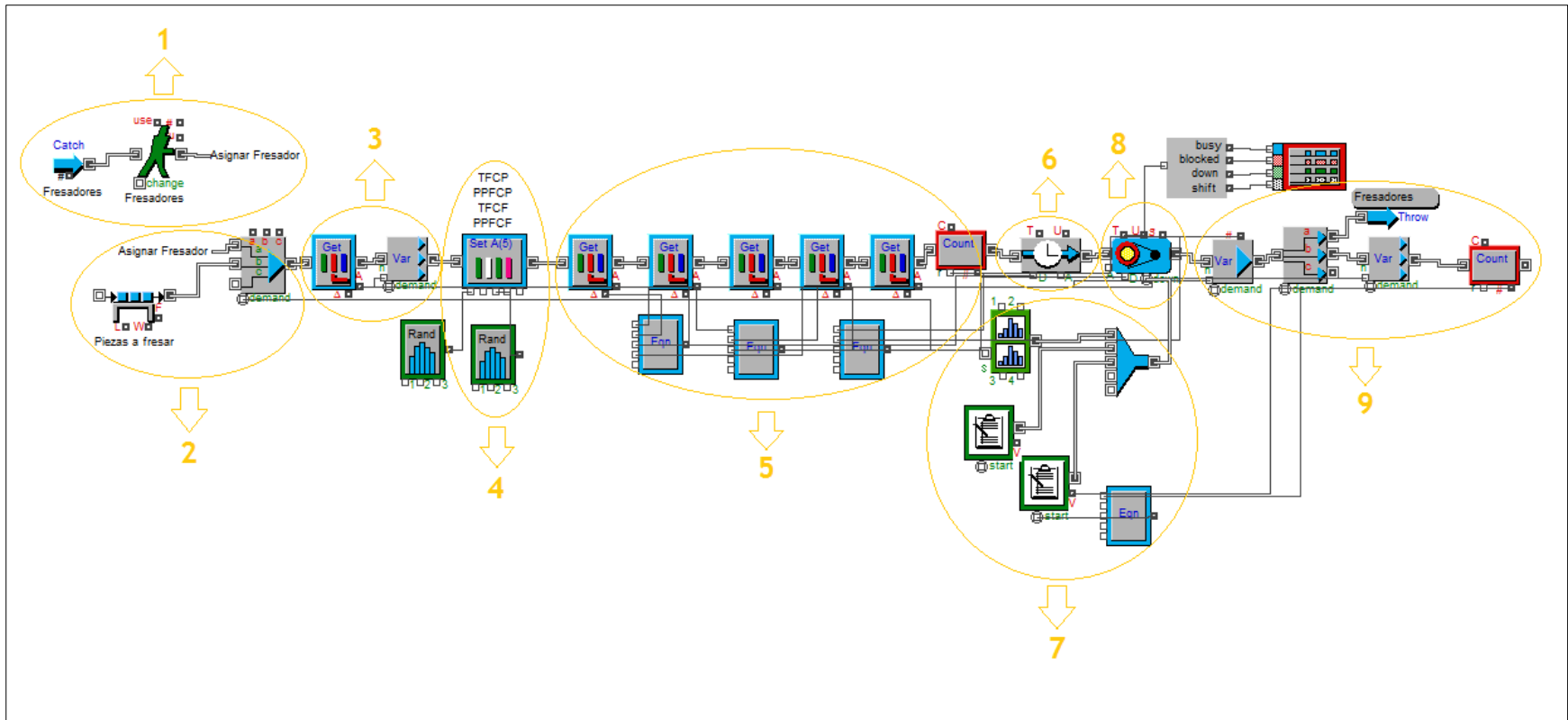


Imagen 26. Modelo de simulación: línea de fresado. Software ExtendSim.

La imagen 26 muestra el funcionamiento de la línea de fresado el cual es muy similar a la de torneado aunque más simple debido a que se puede describir en menos conjuntos de bloques. Se describirán los nueve bloques enumerados en la imagen anterior.

1) Al igual que en la línea de torneado, se posee un bloque que indica la cantidad inicial de operarios, en este caso 3 también ya que hay el mismo número de líneas productivas. Se muestran también los objetos para asignar la mano de obra y para recibirla de vuelta, luego de finalizar la operación.

2) El primer bloque aloja los lotes de piezas a fresar, ya sea de patelares o femorales. A continuación, al igual que se explicó antes, se crea la necesidad de solicitar material y mano de obra para comenzar a producir, el cual será demandado siempre y cuando se haya terminado de procesar el lote anterior.

3) Se lee el atributo "Lote" para conectarlo al bloque que se encargará de definir si debe separar el lote de 10 o 51 unidades de acuerdo al componente que se esté por procesar, para ser procesadas individualmente.

4) Se asigna a cada pieza atributos denominados TFCP (Tiempo Fresa Componente Patelar), PPFCP (Puesta a Punto Fresa Componente Patelar), TFCF (Tiempo Fresa Componente Femoral) y PPFCF (Puesta a Punto Fresa Componente Femoral). Los tiempos de puesta a punto son constantes con lo cual se asignan dentro del objeto y los tiempos de procesos van a estar asignados de acuerdo a las distribuciones de probabilidad configuradas según la recolección de datos en los objetos inferiores del bloque 4.

5) Este conjunto de objetos cumple la misma función en la línea de torneado, lee los atributos para definir tiempos de puesta a punto, tiempos de proceso y demanda de más piezas según el componente que se esté por mecanizar y según la finalización del proceso.

6) Esta actividad representa la puesta a punto la cual implica una indisponibilidad de la máquina posterior para producir.

7) Al igual que en la línea de torneado se configuran faltas de disponibilidad por averías aleatorias, programas de limpieza de máquinas y cambio de herramienta según cantidades de pieza procesadas.

8) Este bloque representa la fresa que permitirá conocer de acuerdo a todas las configuraciones anteriores, el porcentaje de utilización de la misma.

9) El último conjunto de objetos consiste en juntar el lote de piezas fresadas para devolver el operario que se solicitó para procesar todas esas piezas juntas y luego de esto, se vuelve a separar el lote en piezas individuales para poder generar datos que permitan activar los cambios de herramientas correspondientes.

El siguiente **centro de trabajo** es el de **pulido**, que consiste en tres subprocesos: lijado, pulido y terminado (vibrado para el componente patelar y granallado para el componente femoral).

En la imagen 27 a continuación, se podrán observar estos 3 subprocesos:

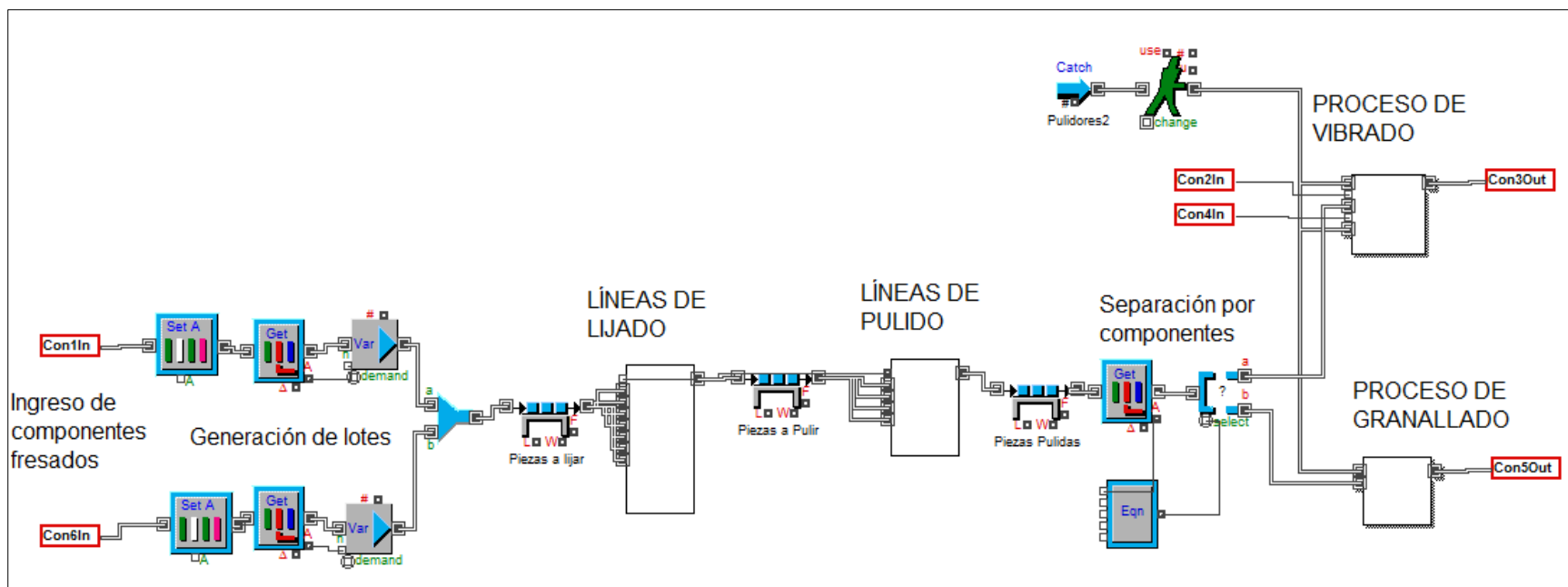


Imagen 27. Modelo de Simulación: Centro de Trabajo Pulido. Software ExtendSim.

El centro de trabajo de pulido consiste en el ingreso de los dos componentes por unidades desde el centro de trabajo de fresado. Se forman lotes a la entrada de acuerdo a nuevas cantidades ya que el trabajo cambia en este centro de trabajo siendo el proceso más manual y lento. El lote del componente femoral baja a 5 unidades y el de componente patelar se mantiene en 51 para los procesos de lijado y pulido pero aumenta a 255 unidades equivalente a 5 lotes para el proceso final de vibrado.

Luego de esta generación de lotes, las piezas proceden a lijarse y pulirse consecutivamente. Para finalizar el modelo se separan los componentes de acuerdo a si son patelares o femorales porque cada uno lleva una terminación final distinta. Los componentes patelares se dirigen al proceso de vibrado y los femorales, al proceso de granallado. Con esto, se finaliza la producción y se obtienen las piezas terminadas que se explicaron en el modelo general de la imagen 21.

Ahora, se detallará a continuación la programación de la línea de lijado en la imagen 28 a continuación.

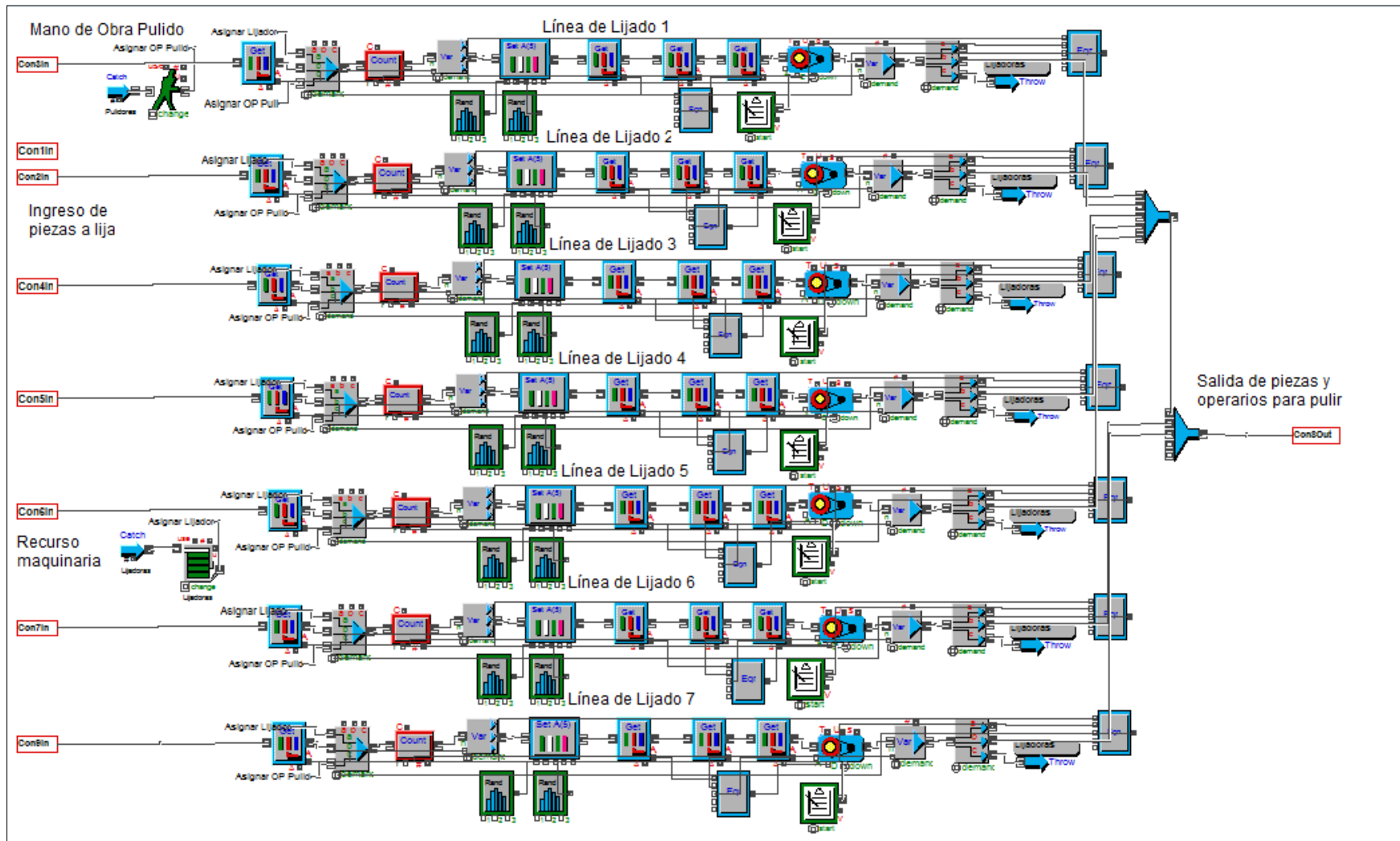


Imagen 28. Modelo de simulación: Líneas paralelas de lijado. Software ExtendSim.

Las líneas de lijado consisten en 6 ingresos para las piezas fresadas lista para lijar de manera que ingrese cada flujo a cada una de las máquinas. En esta programación se crearon bloques tanto para la mano de obra de pulido como para el recurso de maquinaria ya que la empresa cuenta con 6 amoladoras de dos discos cada una, por lo tanto se posee 12 lugares de trabajo para lijar los componentes. Sin embargo, se cuenta con 7 operarios de pulido. Es por esto que se detallaron solo 7 líneas de lijado ya que el resto quedarían inutilizadas por falta de mano de obra.

Luego de ser lijadas, las piezas salen a través de un conector para ser enviadas a las líneas de pulido. En la imagen 29, a continuación, se detallará el funcionamiento de una de las líneas de lijado que puede hacerse extensivo al resto de las mismas ya que su funcionamiento es el mismo.

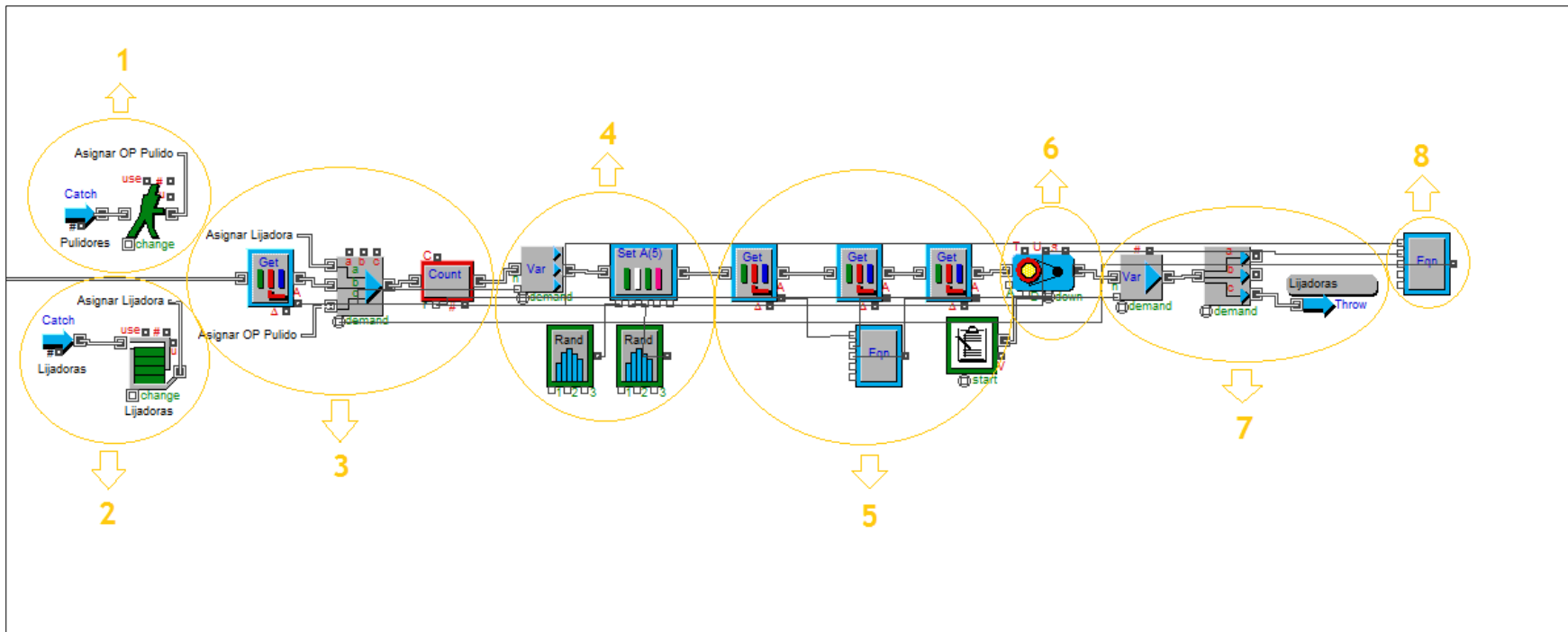


Imagen 29. Modelo de simulación: línea de lijado. Software ExtendSim.

La línea de lijado, según la numeración de la imagen 29, consiste en:

- 1) Una fuente de recursos de operarios con cantidad inicial 7 que asigna mano de obra cada vez que entra un lote a ser lijado.
- 2) Una fuente de recursos de discos de lijado, habiendo dos para cada amoladora, hacen un total de 12 discos de lijado disponibles.
- 3) Estos bloques permiten, primero, leer el atributo de tamaño de lote para cada componente de manera de separar correctamente en cantidades de piezas por lote a ser procesado. El segundo bloque, impone la necesidad de que haya disponible un operario, un disco de lijado y un lote de piezas para comenzar el proceso de lijado. El tercer bloque es utilizado como dato de entrada para el bloque explicado en el punto 8.
- 4) Este conjunto de bloques separa primer el lote en piezas individuales asignándole consecutivamente un tiempo de producción de lijado, según el componente, acorde a la distribución configurada en el bloque inferior de acuerdo a la recolección de datos explicada anteriormente.
- 5) Los tres bloques inferiores leen los atributos de número de componente y tiempos de producción para definir mediante el código que se encuentra en el bloque inferior llamado "Equation", el tiempo de proceso correspondiente a la pieza que está en curso. El cuarto bloque, de color verde, es el que define el programa de limpieza de la máquina como media hora todos los días antes de finalizar el turno.
- 6) Este bloque representa la máquina, es decir, el disco de lijado donde se realiza la operación.
- 7) Luego de procesar todas las piezas del lote se reúnen nuevamente formando una misma partición para devolver la máquina lijadora que fue solicitada para cada lote en particular.
- 8) Por último, este bloque tiene configurado un código mediante el cual se detecta gracias a la información enviada por el bloque del punto 3 y un bloque del punto 7, los momentos en que la pieza entra a ser procesada y cuando termina de serlo de forma de generar un pulso que hace que se demande nuevamente un lote, un operario y un disco de lijado para comenzar otra vez el proceso.

Ya explicado el funcionamiento del sector lijado, se presenta a continuación en la imagen 30, el sector de pulido.

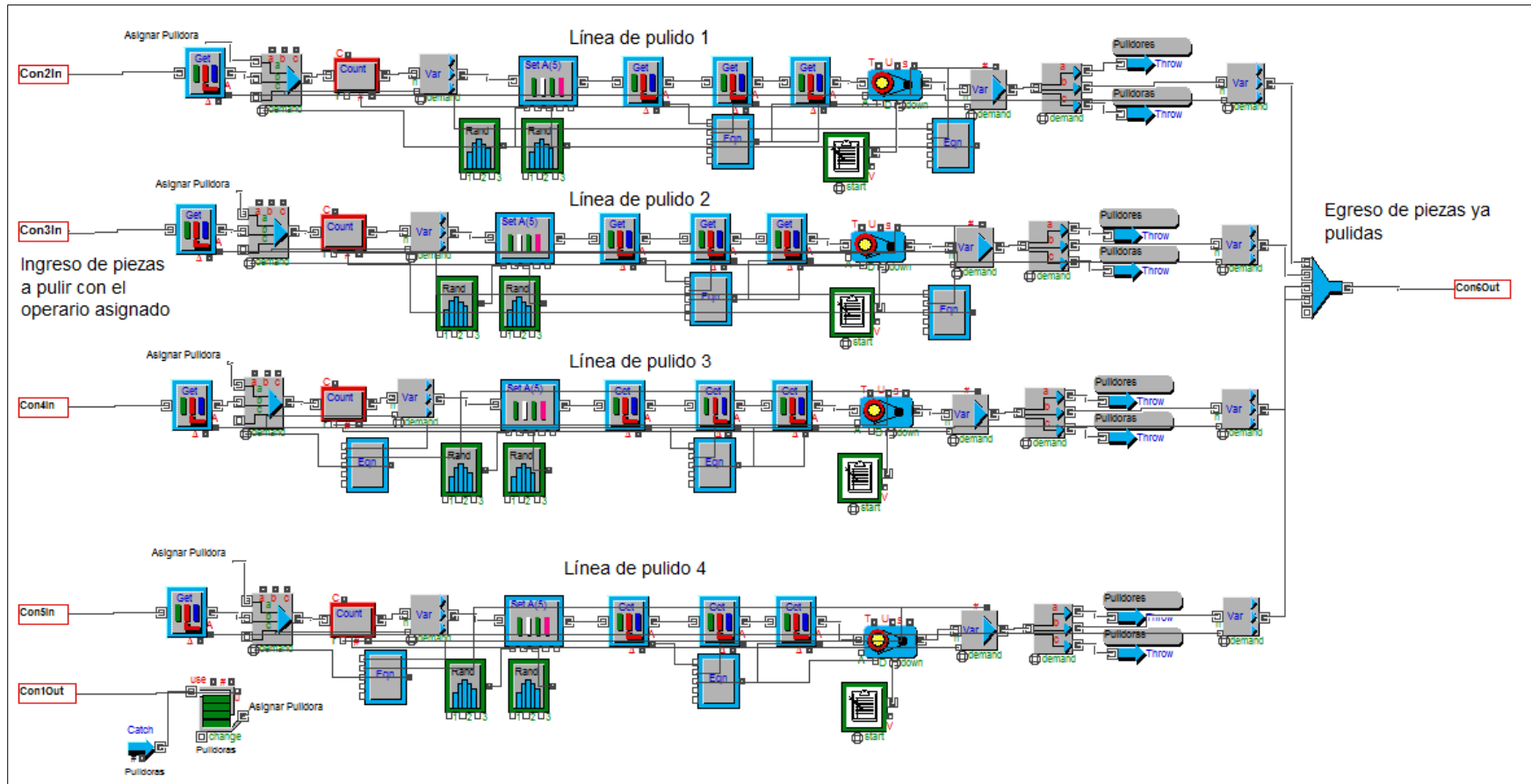


Imagen 30. Modelo de simulación: Líneas paralelas de pulido. Software ExtendSim.

Al sector de pulido, ingresan tanto el lote de piezas lijadas como el operario de pulido ya que, en la realidad, cuando un operario de este sector es asignado a una orden de producción, éste debe lijar y pulir las piezas en forma consecutiva. Es por eso, que se observa sólo un bloque de recurso en el extremo inferior izquierdo, que es el que asigna los discos de las pulidoras de pie para realizar la operación.

Una vez pulidas, las piezas son enviadas al selector que divide las piezas por componente como se explicó en la imagen 27.

Se detalla a continuación, al igual que se hizo con los otros sectores, el funcionamiento particular de una de las líneas de pulido para poder tener una imagen de mayor definición y entender paso a paso la programación.

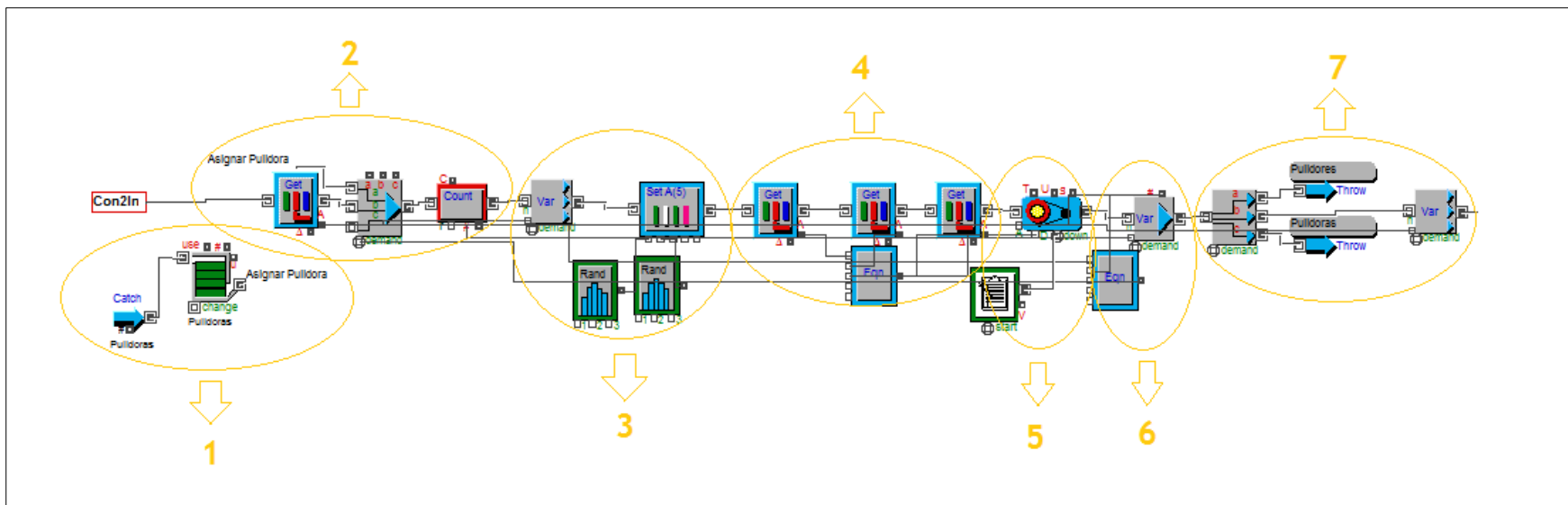


Imagen 31. Modelo de simulación: Línea de pulido. Software ExtendSim.

La línea de pulido configurada, funciona de la siguiente manera:

- 1) Se configura un bloque de recursos que representa los 4 discos donde se colocan los paños para pulir. Dichos discos se asignan y se devuelven por cada trabajo realizado.
- 2) Esos tres bloques tienen las siguientes funciones. El primero, lee el número de tamaño de lote de la pieza que está siendo procesada de forma de enviar dicha información a los bloques que desarmarán y volverán a armar los lotes. El segundo, configura la necesidad de tener disponible una máquina y un lote de piezas para procesar ya que el operario viene considerado junto con la pieza porque nunca se devolvió todavía desde que se asignó en pulido. El tercero permite la detección de que un lote ha entrado a ser procesado.
- 3) Se desarma el lote en la cantidad designada por la lectura del atributo en el punto anterior y se procede a asignar un tiempo de producción a cada pieza de acuerdo a la distribución estadística correspondiente según el componente que sea.
- 4) Estos tres bloques superiores leen los atributos de tiempos generados en el punto anterior y leen también el número de componente para poder identificar qué tiempo de proceso deben asignar a la máquina a través del código existente en el bloque inferior.
- 5) Estos bloques representan la máquina y su respectivo programa de limpieza que genera una indisponibilidad programada de la misma.
- 6) El bloque superior reúne a todas las piezas nuevamente en un lote e identifica el momento en que el lote ha terminado de pulirse. Con este dato y el generado por el bloque del punto 2, se genera un código a través del bloque "Equation" que emite una señal para volver a demandar un nuevo lote a pulir.
- 7) Una vez finalizado el pulido, se devuelve tanto la máquina como el operario que vuelven a estar disponibles para una nueva orden de producción. El último bloque desarma el lote para enviar pieza por pieza a la siguiente etapa de la línea.

Esta siguiente etapa, mencionada en el punto 7, es distinta para cada componente ya que al ser de distintos materiales requieren distintas terminaciones. Se explicará primero el proceso de vibrado del componente patelar en la imagen 32.

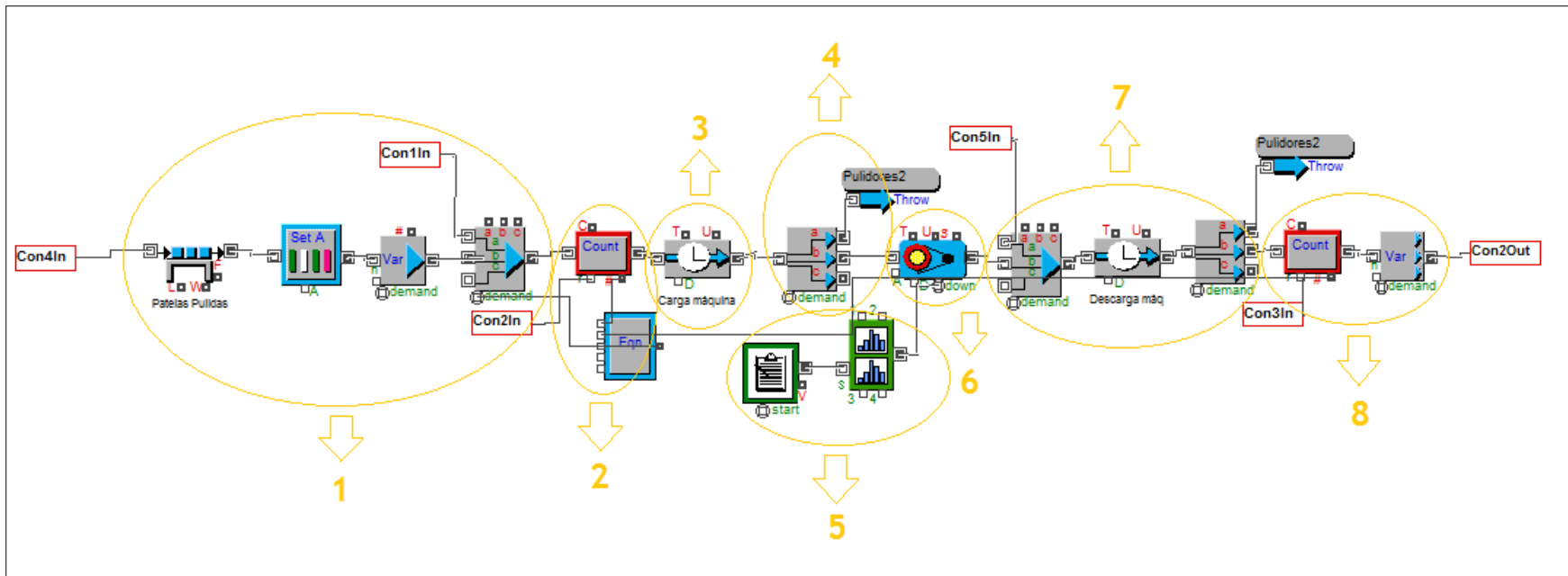


Imagen 32. Modelo de simulación: Línea de vibrado. Software ExtendSim.

El funcionamiento de la línea de vibrado consiste en:

- 1) El ingreso de las patelas pulidas a un stock intermedio del cual se trasladarán al siguiente bloque que les asigna el tiempo de producción constante definido en la recolección de datos del proyecto. Luego, se acumulan las piezas hasta formar un lote, ahora formado por 255 piezas ya que la máquina funciona sin la necesidad de mano de obra y puede contener una importante cantidad de producto. Una vez alcanzado este número, se solicita a través del cuarto bloque, un operario de pulido para que cargue la máquina. El operario coloca las piezas en la máquina, la enciende y deja las piezas procesándose.
- 2) Estos bloques definen el ingreso de un lote a procesar y, al igual que en el resto de los procesos, a través del bloque inferior se define un pulso que activa una nueva demanda de producto una vez finalizado el proceso.
- 3) Este bloque representa la actividad “Carga de máquina” que debe realizar el operario.
- 4) Este bloque devuelve el operario una vez finalizada la carga, dejándolo disponible para otro trabajo.
- 5) La conexión consecutiva de los dos bloques de color verde en la zona numerada 5, configura las averías que pudiera tener la máquina y los programas de limpieza de la misma.
- 6) Este bloque representa la máquina donde se deja a las patelas para su terminación.
- 7) Una vez finalizado el vibrado, al igual que en el proceso de carga, se solicita un operario para descargar la máquina, se configura una actividad representativa de esta acción y una vez terminada se devuelve el operario.
- 8) El primer bloque da el aviso a la ecuación del punto 2 de que el lote se terminó de procesar para demandar un nuevo lote y finalmente, el lote se desarma en 255 piezas que ya se consideran terminadas y se envían a la salida del sistema.

Por último, se presenta el funcionamiento de la línea de granallado a continuación en la imagen 33.

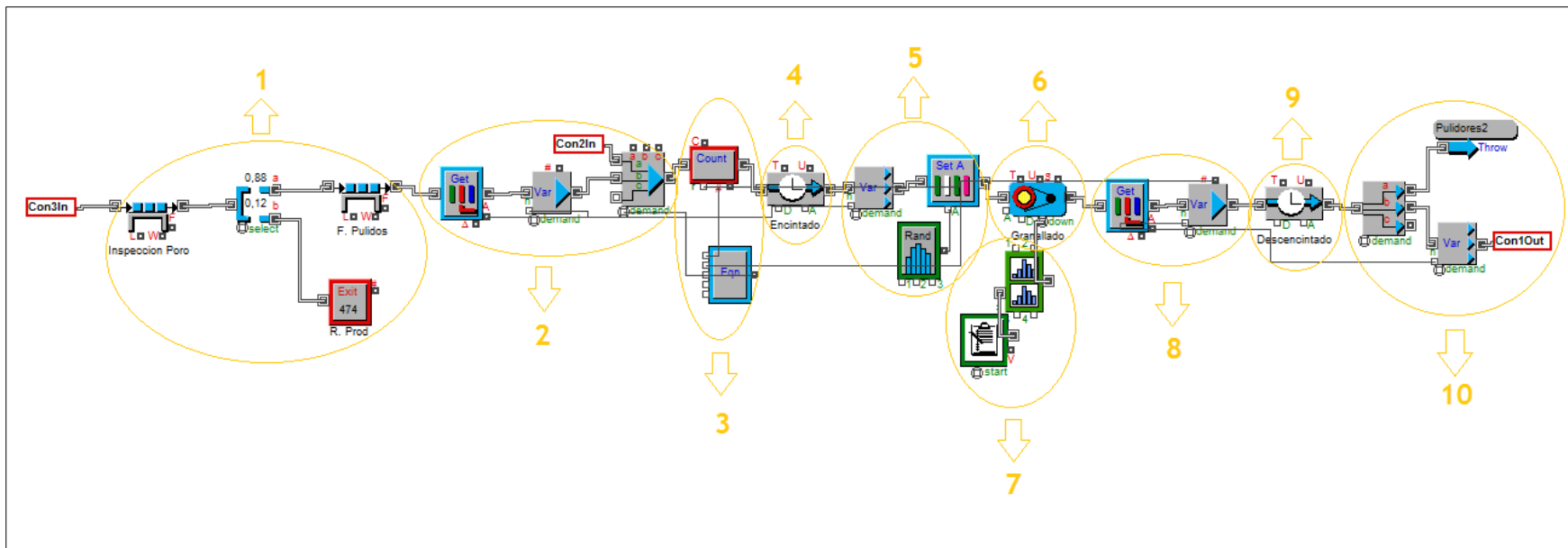


Imagen 33. Modelo de simulación: Línea de granallado. Software ExtendSim.

El funcionamiento de la programación de la línea de granallado responde a las siguientes etapas:

1) El primer bloque es un almacenamiento de los femorales a inspeccionar. El segundo bloque representa la inspección que se realiza acerca de la existencia de porosidad o grietas durante lijado y pulido. Si no se puede resolver la falla del material, se rechaza el producto para ser devuelto al proveedor, por eso se envía el 12% por el conector inferior dirigiéndose a una salida que cuenta la cantidad de producto rechazado. Las piezas no rechazadas se envían a un almacenamiento intermedio a través del conector superior.

2) Este conjunto de bloques se encarga primero, de leer el atributo del objeto en proceso para definir el tamaño de lote que ingresará a granallarse. Luego, una vez armado el lote en el segundo bloque, se solicita en el tercero, la mano de obra de pulido necesaria para realizar la operación.

3) Estos bloques, al igual que en el resto de los procesos, permiten demandar nuevos lotes una vez finalizado el proceso.

4) Este bloque es una actividad con una duración determinada para realizar el encintado de la parte pulida especular de la pieza de forma que este acabado no se vea afectado por la granalla.

5) Luego de esta actividad de preparación calculada para todo el lote en su conjunto, se desarma el mismo en piezas individuales y se le asigna, posteriormente el tiempo de proceso a cada una de ellas.

6) Este bloque representa la máquina granalladora.

7) Los dos bloques que se encuentran por debajo de la máquina son los que configuran las indisponibilidades de la misma ya sea por averías aleatorias o por programas de limpieza programados.

8) Una vez finalizado el granallado, se une nuevamente a las piezas en un lote.

9) Se realiza mediante este bloque la actividad de desencintado de todas las piezas del bloque y se las cubre en papel para proteger las terminaciones y quedar listas para ser enviadas al sector de calidad y laboratorio.

De esta forma, se da por terminada la explicación del armado y programación del modelo de simulación. Cabe destacar que es un proceso lento y arduo ya que se debió ir aprendiendo la lógica usada por Extend para configurar los bloques y sus funciones. Además, el modelo se fue armando gradualmente, línea por línea y corriendo simulaciones y animaciones que permitían ver que cada código y paso de la simulación funcionara como corresponde, asignando correctamente los tiempos de procesos según el componente, armando los lotes con las cantidades correspondiente, etc.

Una vez que se verificaba el correcto funcionamiento de una línea, se configuraba la siguiente y así sucesivamente para cada centro de trabajo. Se debieron agregar, a lo largo del

proceso, nuevos códigos que resolvieran problemas que iban surgiendo o para asemejar lo más posible la programación al funcionamiento de la línea en la realidad.

No se mostró la configuración interna de cada bloque por cuestiones de espacio y tiempo pero, mediante la explicación paso a paso de las impresiones de pantalla del modelo creado en el software, se permite entender la lógica utilizada para generar todas las configuraciones necesarias de manera de reflejar la realidad de la línea teniendo en cuentas las suposiciones hechas sobre la misma. Además, para la obtención de resultados de cada etapa del proceso se agregaron gráficos a cada uno de los conectores de interés que emitían información acerca del comportamiento de las máquinas, los almacenes, las actividades y los recursos. Esta información será luego procesada en Excel para conseguir gráficos más amigables de forma que lo pueda entender cualquier lector del proyecto.

Para un mayor entendimiento, se puede acudir al CD adjunto a este proyecto integrador donde se encuentra guardado el archivo .mox legible por el software ExtendSim. Este archivo contiene el modelo utilizado para obtener los resultados que se analizarán posteriormente donde se puede analizar con detenimiento el funcionamiento y la complejidad que implicó su construcción.

4.6. Verificación y Validación

Verificación

Verificar un modelo de simulación significa determinar si el modelo conceptual ha sido traducido correctamente en el software computacional. Se debe responder a la pregunta de si el modelo de simulación representa de forma precisa el modelo conceptual teniendo en cuenta los supuestos acerca de los componentes y la estructura del sistema considerados, los valores de los parámetros, las abstracciones y las simplificaciones (Banks et al., 2005).

Esta verificación, puede observarse en la coherencia existente entre los distintos sistemas planteados durante la conceptualización del modelo donde, a través de cada transformación, se logró un modelo de simulación que refleja inmediatamente los objetivos y las simplificaciones consideradas a lo largo de todo el proyecto. En el capítulo anterior donde se describe el modelo de simulación paso por paso, puede notarse como cada etapa del proceso simulado tiene su significado y coherencia con lo conceptual anteriormente planteado.

Se hicieron, además, múltiples animaciones donde se verificó el funcionamiento de cada uno de los objetos, códigos y procesos que posee el modelo observando en pantalla las variaciones y cambios en los valores que determinaban una correcta performance del mismo. Se fueron agregando además objetos específicos de la librería de Extend que otorgan información acerca de las piezas en proceso y sus atributos permitiendo verificar que los tiempos de producción varíen de acuerdo a las distribuciones como se puede observar en el Anexo 2, que las derivaciones de los distintos componentes a lo largo del modelo se correspondan al número de componente asignado a cada uno de ellos.

También, con la ayuda de los tutores de este trabajo y otras personas interiorizadas en la simulación, que estudiaron el modelo y su funcionamiento, se pudieron resolver fallas en el mismo y terminó por comprobar que el modelo funciona como debe según todas las restricciones y suposiciones planteadas.

Validación

El modelo posee grandes simplificaciones con respecto a la realidad lo cual hace difícil la validación mediante comparaciones con información histórica por ejemplo o mediante el test de Turing que consiste en que personal perteneciente al sistema real compare reportes de la realidad con reportes del sistema modelado y determine si puede diferenciar el origen de los reportes o no.

Sin embargo, para los objetivos y bajo las simplificaciones consideradas puede validarse el modelo mediante, justamente, la validación de estos supuestos en cuanto a la estructura y los datos recolectados para el diseño del mismo.

En cuanto a los datos de tiempos de procesos, tiempos de puesta a punto, tiempos de cambio de herramientas, en el Anexo 1, se encuentra toda la información acerca de la validación de los mismos. Se describe el método que se utilizó para recolectar la información,

se muestran las planillas con los datos recolectados de la realidad, se identifican distribuciones de probabilidad apropiadas mediante medidas y gráficos, se estiman sus parámetros y se realizan pruebas de bondad de ajuste para verificar que la distribución sugerida es la que modela el comportamiento de los datos obtenidos.

El resto de la información, como por ejemplo, los indicadores de averías de las máquinas pueden validarse ya que fueron obtenidos por medio de consulta a expertos pertenecientes a una compañía que se dedica exclusivamente a prestar servicios de mantenimiento y tiene datos de máquinas similares.

Otros datos, como el tiempo de afilado de herramientas, la cantidad de piezas a las cuales se debe hacer cambio de herramienta o afilado de las mismas, tiempos de limpieza, etc. fue consultado con personal de la fábrica mismo, especialmente con los operarios que son los que lidian todos los días con estos productos, máquinas y herramientas lo cual le da alta validez a los datos estimados.

En cuanto a los datos de calidad, fueron todos extraídos de bases de datos del sistema informático propio de la empresa y de planillas de Excel que se utilizan como registro diariamente obteniendo porcentajes de rechazos y reprocesos precisos y sumamente válidos en cuanto a la representación de la realidad.

En cuanto a la estructura del diseño del modelo se consideraron varias simplificaciones y abstracciones de la realidad.

Primero y la más importante es que la empresa produce un solo producto, el mencionado al inicio del proyecto. Esto se hizo debido a que la empresa en realidad produce casi 3000 variedades de producto teniendo en cuenta modelos y medidas de cada uno de ellos lo cual hacía imposible recolectar información para cada uno de ellos de forma de lograr un modelo válido en base al tiempo y dinero que se tenía disponible. Se debió reducir entonces a un producto pero no cualquier producto, se tomó un producto de alta demanda y alta significancia en volumen anual de ventas en dinero, es un producto cuyos componentes son representativos en cuanto al proceso que implican ya que pasan por todos los centros de trabajo, es también un producto con alto porcentaje de rechazos de calidad debido a la porosidad con que llega la materia prima. Es por todas estas razones que se decidió simular la producción de este sólo producto y establecer los objetivos del proyecto para entender el funcionamiento del proceso del mismo y saber cuántas unidades se podrían producir del mismo teniendo en cuenta las indisponibilidades de la máquina, identificando cuellos de botella en el sistema.

A raíz de esta simplificación surgen otras, como la consideración de la cantidad y tipo de máquinas que se tendrán en cuenta. A causa de que el producto considerado se procesa siempre en las máquinas convencionales, se tendrán en cuenta sólo las mismas, dejando afuera las máquinas a control numérico ya que para considerarlas habría que crear programas que permitan su mecanizado de manera de poder estimar tiempos de producción y no es algo que entre en el alcance de este trabajo.

Por otro lado, los tres tornos son iguales de la misma marca y modelo por lo que se consideran igual en cuanto a funcionamiento. Las fresadoras, en cambio, difieren en sus marcas modelos siendo distintas en cuanto a automatismos y antigüedad, pero se consideraron iguales ya que no era viable tomar tiempos en cada una durante la producción por problemas de fechas límite en los trabajos de manera que se tomaron tiempos en la fresadora en la que regularmente se fabrican y se hizo extensivo a las demás.

En el punto 4.5.2 de este trabajo, se explica paso por paso el funcionamiento de las líneas de producción en el modelo de simulación las cuales respetan todos los procesos de la realidad y fueron creadas en base a relevamientos diarios hechos en planta.

Otra simplificación para fundamentar es la consideración de los stocks de materia prima como infinitos, esto se debe a que en la empresa no existe ningún método de pedido o de programación de compras en base al inventario por lo que se hacía imposible juntar información certera acerca de la disponibilidad de materia prima que, por lo general, se caracteriza por la realización de nuevos pedidos una vez acabada la materia prima en cuestión. Es por esto, que el manejo de compras se deja fuera del alcance de este proyecto generando una abstracción de la realidad fundamentada en este aspecto.

Por último, el modelo fue mostrado al jefe de planta y gerente de logística de la empresa que observaron el funcionamiento del mismo y quedaron conformes con el modelo interesándose por la herramienta y considerando que el modelo reflejaba los principales problemas que ellos viven en la compañía día a día.

De esta manera, se puede concluir que el modelo es válido para los objetivos del mismo y las simplificaciones consideradas y argumentadas anteriormente permitiendo entender el funcionamiento del sector productivo de la empresa en cuestión y llegar a conclusiones que pueden llegar a hacerse extensibles al resto de los productos si se tuviera más tiempo y dinero disponible para una mejor recolección de datos y una ampliación del espectro de productos considerados.

4.7. Análisis de la configuración de la simulación: diseño de experimentos.

Para la determinación de la duración de las corridas de simulación se debe identificar si el objetivo de la simulación es a corto o largo plazo.

Es decir, si se quiere simular un proceso con un inicio y un final determinados teniendo en cuenta las condiciones iniciales en las que se inicia dicho proceso por lo tanto se considera una simulación transitoria.

O, por el contrario se puede querer simular durante un largo período de tiempo un sistema que corre continuamente y que el analista va a decidir cuándo terminar dicha simulación según los objetivos a largo plazo que persiga.

El caso de este trabajo, es el segundo ya que se quiere estudiar los niveles de producción y eficiencias de la misma a lo largo del tiempo. Para este tipo de simulaciones debe, entonces, determinarse la longitud del tiempo de calentamiento o preparación del sistema que se realiza mediante un análisis de estado estacionario.

Se debe determinar además, la longitud completa de la corrida de simulación como así también el número de replicaciones que debe hacerse del sistema para obtener promedios fiables de los resultados (Banks et al., 2005).

Antes de realizar los análisis, se muestra la configuración utilizada para la definición de las unidades de medida de la simulación, la cual se define en minutos considerando jornadas laborales de 8 horas de trabajo por día, 5 días a la semana por lo que el mes tiene aproximadamente 20 días y el año 240 días en total. Esto puede verse en la imagen 34.

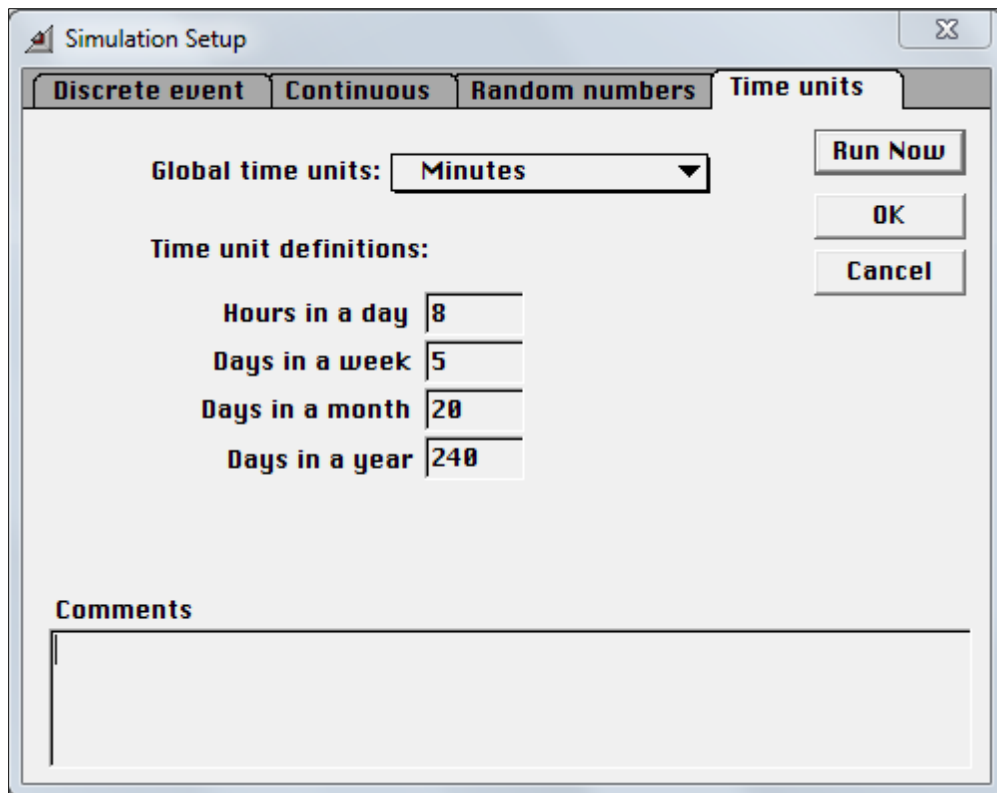


Imagen 34. Configuración de las corridas de simulación.

4.7.1. Análisis de estado estacionario y duración de la simulación

Con este análisis, se busca quitar del tiempo de corrida de simulación el período transitorio del sistema donde el mismo depende de las condiciones iniciales, de manera de tener en cuenta solo el estado estacionario que es cuando el sistema, luego de un período largo, logra independizarse de estas condiciones iniciales.

Se estudiará la variable producción por minuto, es decir, la productividad de la empresa la cual es nuestro primer objetivo de conocer e intentar aumentar. Cuando esta variable entre en estado estacionario, allí se considerará que el sistema está en estado estacionario y se tomarán los resultados a partir de esta configuración.

Para calcular el estado estacionario de la producción por minuto se correrán 10 replicaciones de una simulación de 6 meses (57600 minutos) de longitud para hacerlo lo suficientemente largo de forma de dar más confianza a los datos obtenidos. Se tomará el promedio de estas replicaciones y se utilizará un método gráfico para deducir el tiempo estacionario.

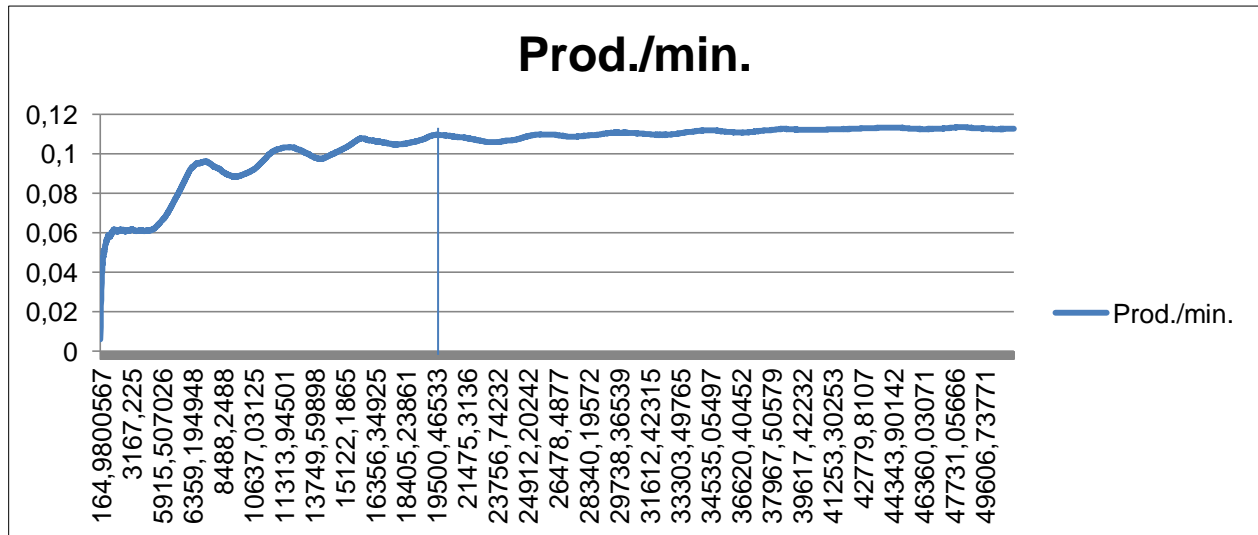


Gráfico 4. Productividad en función del tiempo

De esta forma gráfica (gráfico 4) se puede ver que el estado estacionario se alcanza a los 20049 minutos equivalente teniendo en cuenta que se trabaja 8 horas por día a 41,77 días, entonces redondeando a 42 días, se establecerá el estado estacionario a los 20160 minutos.

Por lo tanto, todas las estadísticas hasta este punto serán eliminadas por depender de las condiciones iniciales del sistema y como se está considerando una producción continua, interesa conocer la productividad una vez alcanzado dicho estado estacionario. Para eliminar estos datos iniciales sesgados de las estadísticas se utiliza el bloque "Clear Statistics" que limpia las estadísticas hasta el tiempo 20160, utilizando el tiempo restante de la simulación para obtener las estadísticas de la misma.

La duración de la corrida debe ser lo suficientemente larga con respecto al tiempo de calentamiento mencionado en el párrafo anterior, de por lo menos 6 veces más que este

período inicial por lo que se prolongará el largo de la simulación a 120960 minutos, quedando bajo estudio aproximadamente 210 días o 10,5 meses de fabricación habiendo descontado el tiempo de precalentamiento del sistema mencionado anteriormente. Esto permite también que los datos sesgados iniciales sean insignificantes para las estadísticas ya que se tienen muchos datos posteriores cuando el sistema ya entró en estado estacionario.

4.7.2. Número de corridas

Cada corrida de simulación, al generar datos aleatorios, puede cambiar los resultados de una simulación a otra. Por esta razón, se deben hacer varias corridas de la simulación y obtener los resultados finales del promedio de los resultados de cada corrida de simulación.

Pero, ¿cuántas simulaciones son suficientes para confiar en que el promedio obtenido es un dato representativo del sistema? Esto se puede calcular en base a las variaciones de los resultados que encontramos para cada corrida. Obviamente, a mayor variación, mayor cantidad de corridas de simulación serán necesarias.

Para calcular el número de corridas que deben hacerse se realizan 5 replicaciones con la duración y la configuración de tiempo de precalentamiento del sistema determinadas en el paso anterior. Con los datos obtenidos de esta simulación, se calcula la media y desviación estándar del parámetro de interés, producción por minuto. En base a dichas variaciones y con cierto intervalo de confianza y error de precisión, se determinará si son suficientes 10 corridas de simulación o se necesitan aún más para generar datos confiables.

Output /Resultado	Intervalo de confianza	Nº de corridas usado	MEDIA	DESVIACIÓN STD	Error Std	Precisión Absoluta	Nº de corridas necesarias
Prod/min	0,95	5	0,076515	0,0032956	0,00	0,007	1,70869

Tabla 12. Cálculo del número de corridas necesarias de simulación.

Con los resultados obtenidos de la simulación, un intervalo elevado de confianza del 95% y una gran precisión absoluta de 0,007 se obtiene que, redondeando para arriba por seguridad, con dos corridas de simulación alcanza para obtener resultados confiables según los parámetros de confianza establecidos. En conclusión, se realizarán para obtener los resultados de la simulación 2 corridas de la misma.

4.8. Corrida de Simulación y análisis de resultados

A continuación se presentarán los resultados obtenidos de la simulación (disponible en un CD adjunto al proyecto) configurada como se especificó en el punto anterior de manera de lograr resultados confiables. Se extraerán datos de la simulación mediante reportes generados por Extend de manera de poder obtener promedios de los datos de las dos corridas de simulación y así poder realizar gráficos en Excel que permitan observar la utilización de las máquinas y las colas de espera situadas anteriores a cada una de las mismas para lograr obtener conclusiones acerca del cuello de botella de la compañía.

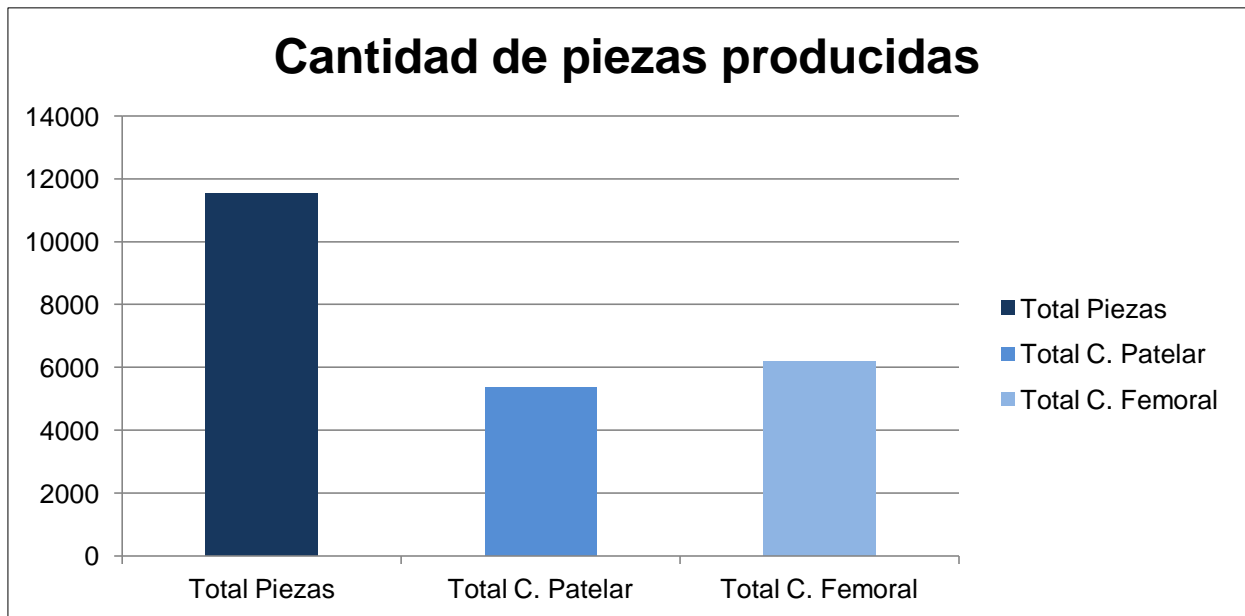


Gráfico 5. Cantidad de piezas producidas total y por componente.

En el gráfico 5 anterior se puede observar la cantidad total y por componente producida por el sistema. Se intentó balancear la cantidad de piezas producidas por cada componente ya que ambos son utilizados para formar la prótesis de reemplazo total de rodilla. Sin embargo, el componente femoral es el más importante de la estructura y se puede utilizar, también, combinado con otros productos por lo que se priorizó una mayor producción del mismo.

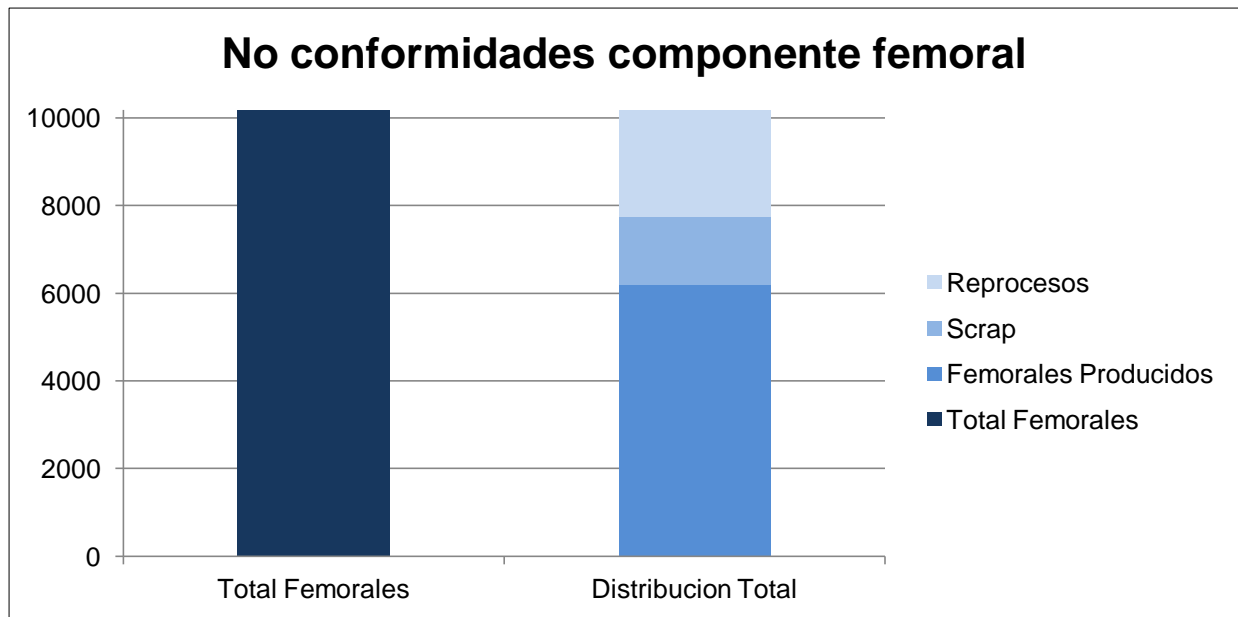


Gráfico 6. Proporción de los problemas de calidad en el componente femoral.

El componente femoral mencionado tiene, además, grandes problemas de calidad debido a la porosidad proveniente de la microfundición de la materia prima que ingresa a la empresa como semielaborada. En el siguiente gráfico 6 se puede apreciar la influencia en la poca productividad de este componente debido a la alta tasas de rechazos tanto desde la inspección en producción durante el proceso como desde el área de calidad por porosidad a grietas y por el resto de las causas de rechazo

Mediante el siguiente gráfico 7 podemos observar los porcentajes de utilización y no utilización de las máquinas de acuerdo a los datos en función del tiempo generados por la simulación.

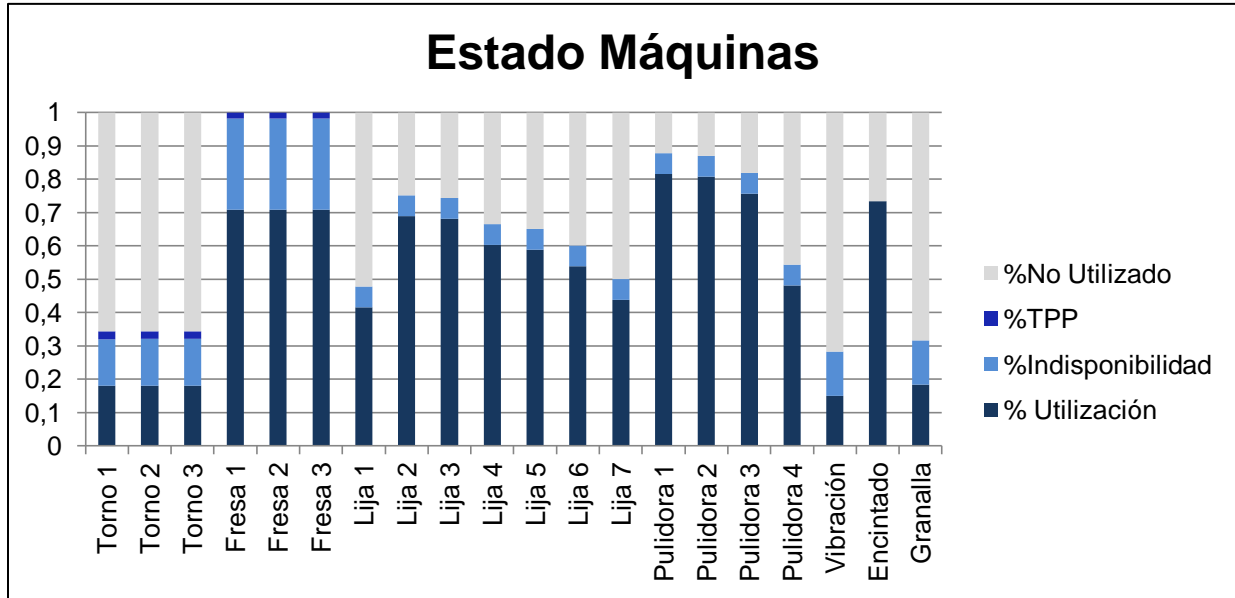


Gráfico 7. Porcentajes de estado de las máquinas (%TPP: Porcentaje de tiempo de puesta a punto).

Según el gráfico anterior se puede intentar deducir cual es el cuello de botella de la empresa de acuerdo a los métodos mencionados por Roser et al. (2003).

Según el método de utilización, el cuello de botella sería el sector de pulido ya que se encuentra en mayor porcentaje utilizado alcanzando valores superiores a 80 % en dos de sus máquinas. Sin embargo, la última pulidora baja a un 48% su utilización. La actividad previa al granallado, donde se encinta a la pieza para resguardar el pulido especular de la granalla, también presenta altas tasas de utilización, superior al 70%.

Según el método de tiempo activo, el cual incluye tiempos de utilización, puesta a punto y fallas, el mayor cuello de botella sería el centro de fresado ya que sus tres máquinas se encuentran al 100% de tiempo activo, debido a la cantidad de indisponibilidad de la máquina causadas por la suma de la limpieza, las fallas y los frecuentes cambios de herramientas. Sin embargo, casi en las mismas proporciones, el sector pulido también se observa como un notable cuello de botella con casi un 90% de tiempo activo para las pulidoras 1 y 2, coincidiendo con el método anterior.

El quinto método de detección mencionado por Roser et al. (2002) no se pudo aplicar debido a la falta de una herramienta computacional que realice los cálculos para obtener el cuello de botella cambiante. Esta es una de las falencias del software utilizado ya que al no ser de especificidad industrial, no posee este bloque mientras que en los otros softwares si estaba disponible.

Ahora, para poder estudiar el sistema a través de los métodos que analizan los almacenamientos anteriores a las máquinas, se presentan las estadísticas de todas las colas existentes en el modelo.

Nombre Almacén	Cant. Prom	Cant. Max.	Espera Prom.	Espera Max
P. torneada 1.1	0	1	0	0
P. torneada 1.2	1000	1000	13430,5	13733,45
ByL a tornear1	0,07458	1	25,48315	127,5635
ByL a tornear2	0,078235	1	26,7354	127,5745
P. torneada 1.2	0	1	0	0
P. torneada 2.2	1000	1000	13430,3	13733,45
P. torneada 1.3	0	1	0	0
P. torneada 2.3	1000	1000	13430,65	13733,45
ByL a tornear3	0,082045	1	28,1297	113,9415
Patela torneada	1000	1000	4473,84	4818,85
Lotes a fresar	1	1	14,2417	128,687
Lotes a lijar	6736,575	10000	47000,75	80578,85
Patela fresada	0,33491	51	2,070415	67,02825
Femoral fresado	868,042	9240	437,7855	12966,85
Piezas Pulidas	0	51	0	0
Patelas terminadas	0	255	0	0
Femorales terminados	0	5	0	0
F. a inspección	8638,185	15674,5	35813,1	64963,5
F. Pulidos	1000	1000	11286,4	11382,2
Patelas a fresar	1000	1000	4473,84	4818,85
Piezas fresadas	0	51	0	0
Patelares Fresados	0	51	0	0
Patelares Pulidos	0	51	0	0
Femorales fresados	0	10	0	0
Lotes a pulir	0,156475	3	3,17425	75,15

Tabla 13. Estado de los almacenes durante la simulación

A través la tabla 13 se puede analizar los cuellos de botella observando antes de cuál proceso se acumulan más piezas evidenciando un retraso en el ritmo de producción. Cabe destacar que se asumieron los almacenamientos de capacidad entre operaciones infinito para simplificar el análisis a excepción de los almacenes que reciben al componente femoral luego del torneado, ya que debido a la restricción para nivelar la producción final no tenía sentido seguir acumulando más de mil piezas lo cual se considera ya como infinito.

En rojo se encuentran marcados los almacenes con mayor cantidad de piezas acumuladas y mayor espera en los mismos. Se puede concluir entonces que el mayor cuello de botella sería el lijado ya que se acumulan antes de dicha actividad aproximadamente 6700 lotes de productos que multiplicados por la cantidad de piezas por lote se eleva a un número muy alto. Esta conclusión, se contradice con las obtenidas por el método de utilización ya que las lijadoras se encuentran con intermedios y bajos porcentajes de utilización y el método anterior detecta al pulido como y al fresado como cuellos de botella. Sin embargo, se puede detectar la causa de esta situación que se detallará más adelante.

Otro posible cuello de botella, es la etapa del granallado ya que los femorales a inspección y pulidos, listos para granallar, se acumulan en dos almacenes consecutivos que sumados superan las 9000 piezas. Sin embargo, el cuello de botella no se debe al proceso que incluye la máquina granalladora si no a la actividad anterior que requiere el granallado. La actividad de encintado previa es una actividad tediosa que ralentiza este último proceso del femoral afectando en su productividad y convirtiendo a esta etapa en un cuello de botella significativo.

Por último, vemos que el componente patelar se acumula en el almacén “Patelas a fresar” hasta llegar al máximo permitido en dicho almacén haciendo que se acumulen también muchas piezas en los almacenes anteriores, apenas salidas las piezas de torneado. Esto evidencia un cuello de botella en fresado ya que en dicha actividad se suma otro componente a ser mecanizado a diferencia del torneado. Además, debido a la restricción impuesta para nivelar la producción final, se le da mayor flujo a los femorales provocando una demora en el procesamiento del componente patelar que evidentemente se acumula antes.

En conclusión, habiendo desarrollado todos los métodos disponibles (menos el quinto método del cuello de botella cambiante por no disponer de la herramienta necesaria en el software) se puede deducir que el cuello de botella más importante es el sector de fresado, el cual se encuentra al límite de su capacidad debido a que es la etapa del proceso donde se une la producción de ambos componentes.

Además, uno de esos componentes proviene de un stock considerado como infinito y, por otro lado, el componente patelar se encuentra restringido para lograr una nivelación del nivel de stock de producto terminado. En la realidad, esta restricción se realiza bajo criterio personal del jefe de planta, dando más prioridad al fresado de femoral y enviando nuevos pedidos de fresado de patelas ya torneadas cuando el stock de producto terminado requiere realimentarse por faltantes o urgencias.

Sin embargo, la causa raíz de esta problemática emerge debido a la diferencia en cuanto a los problemas de calidad de los productos. El componente patelar, al ser un producto más pequeño en dimensiones y de un material más fácil de manejar, permite confiar en que toda o la mayoría de la orden de producción llegará al stock de producto terminado. Por el contrario, el componente femoral, posee un 50% de no conformidades que surgen tanto en inspecciones de producción como de calidad final.

CAPÍTULO 5. Propuestas de mejora

5.1 Gestión de Calidad Total (TQM: Total Quality Management)

Como se observa en el gráfico 6, las piezas terminadas con necesidad de reproceso son, aproximadamente, un 25% de los femorales que pasan por la línea productiva. Este porcentaje es muy elevado y se sugiere, entonces, aplicar las herramientas de TQM para investigar las causas y proponer una mejora continua e incentivar la calidad en el origen.

Si se observa el siguiente gráfico de Pareto 8 realizado en base a la tabla de frecuencias número 10 se obtendrá el 20% de las causas de calidad que generan el 80% de los problemas de calidad del componente femoral en cuestión.

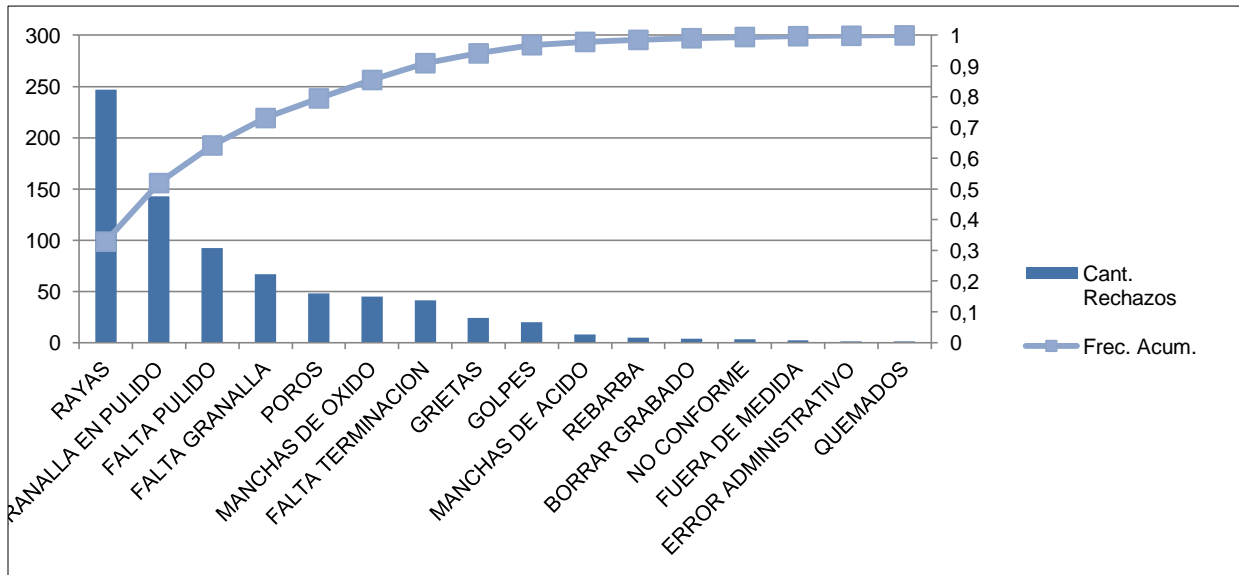


Gráfico 8. Diagrama de Pareto: Motivos de rechazo componente femoral.

Como se puede ver, las principales causas que generan el 80% de no conformidades son “Rayas”, “Granalla en Pulido”, “Falta Pulido”, “Falta Granalla” y “Poros”. Esto evidencia una falta de capacitación y entrenamiento grave en un solo sector de producción: el sector de pulido.

Las rayas, evidencian poca delicadeza en el trato de la pieza luego de haberle realizado el pulido especular ya sea cuando se encinta para luego ser granallada o luego de esta última operación, cuando se traslada al almacén de materia primas cuyo personal se encarga de transportarlas al laboratorio para su lavado, control de calidad y demás actividades. Sin embargo, como podemos observar, el personal del almacén de materias primas y de laboratorio también está involucrado en esta causa de rechazo, debiéndose instruir también para evitar las rayas que afectan estética y funcionalmente la pieza.

La causa “Granalla en Pulido” implica un mal encintado de la zona pulida especular, haciendo que se granalle la zona espejada debiendo repasar la pieza. Esto implica una situación aún más grave, ya que la operación de encintado genera un cuello de botella al final de la línea observable en la acumulación de piezas justo antes de dicha operación. Esto se debe a que el encintado no se encuentra estandarizado en absoluto, cada operario lo realiza según un método propio. Se observó, en el funcionamiento diario, que algunos operarios encintan con varias capas de cinta aisladora para fortalecer el encintado de manera que no se filtre granalla por los costados pero otros no. A este proceso, además, lo pueden realizar varios operarios a la vez ya que no requiere de una máquina si no que la mano de obra se ubica en una mesada común y comienza el encintado, Esta forma de trabajo genera que se ralentice el proceso ya que al estar sentados todos cercanos en una mesada, se generan charlas y distracciones constantes que deberían ser evitadas.

Las dos causas, “Falta Granalla” y “Falta Pulido”, se deben netamente a falta de capacitación y entrenamiento del personal que no sabe definir cuando el pulido o el granallado son suficientes para la terminación superficial requerida por la pieza. Se debe, entonces, definir parámetros más estandarizados de manera que se pueda identificar un correcto granallado y pulido, además de concientizar al personal de la importancia que esto tiene funcional y estéticamente para el implante.

La última causa, denominada “Poros”, se debe a discontinuidades en la materia prima que salen a la superficie luego del lijado y pulido por lo que debe rechazarse la pieza una vez que llega a calidad.

A modo de resumen, se presenta otra herramienta TQM: el diagrama de causa-efecto o diagrama de Ishikawa. Esta herramienta permite analizar las causas anteriormente comentadas desde 4 categorías principales: material, maquinaria, mano de obra y métodos. Se presentará un diagrama analizando estas cuatro causas principales de no conformidades.

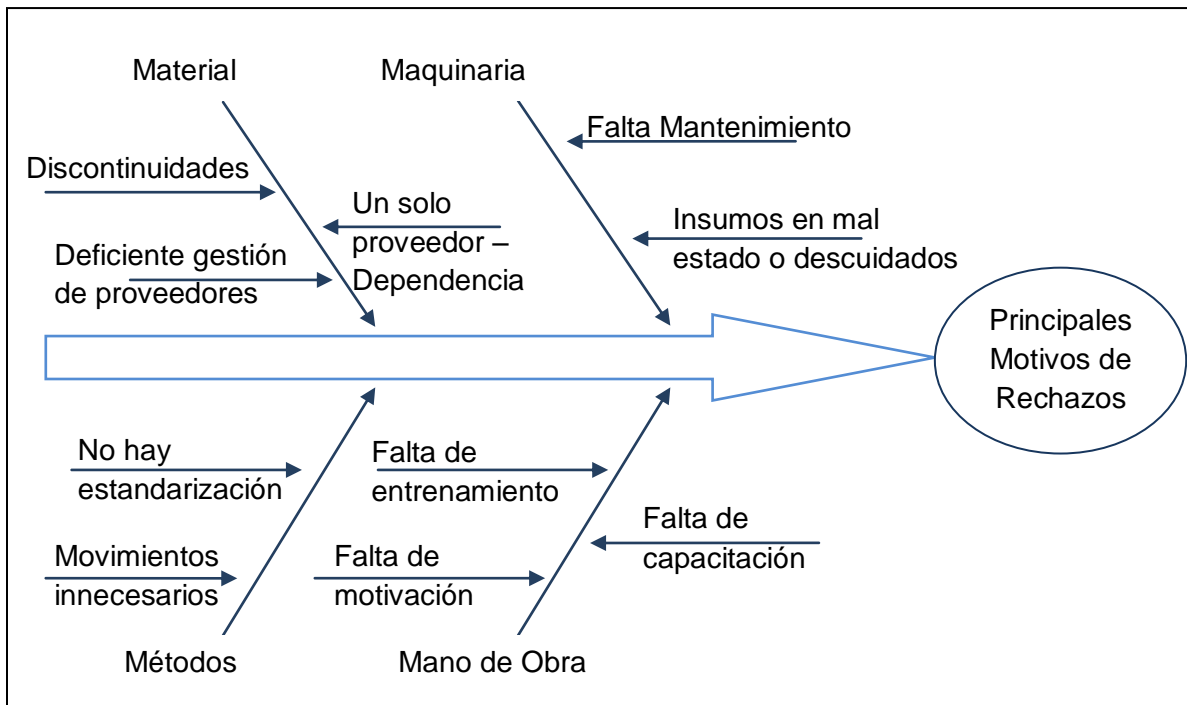


Imagen 35. Diagrama de Ishikawa para los 4 motivos principales de rechazos obtenidos del Diagrama de Pareto.

Se puede observar que, a través del diagrama presentado en la imagen 35, se logra llegar a las raíces de las causas que generan las fallas de calidad.

Se propone, siguiendo los conceptos de TQM de “Mejora Continua” y “Potenciación de los Empleados” realizar reuniones semanales entre los jefes de producción y calidad y reuniones mensuales entre los mismos jefes pero esta vez incluyendo a los operarios.

En la primera reunión mencionada, se deben presentar informes utilizando las herramientas previas para descubrir los principales motivos de rechazos de manera frecuente, poder establecer las causas raíces de dichos problemas y plantear planes de acción para superarlos. De esta forma, se logra un proceso incesante de mejora sin fin donde en cada reunión se identifica una mejora, se hace un plan para solucionarla, se lleva a cabo la prueba del plan y en reuniones posteriores se puede comprobar con los datos de calidad si el plan está funcionando para poder, luego, implementarlo definitivamente.

En la segunda reunión mencionada, se involucra a los operarios para transmitir lo analizado en las reuniones semanales de manera que ellos también conozcan las fallas de calidad que se cometen mes a mes y puedan involucrarse en las mismas. De nada sirve que sólo se examinen los problemas de calidad entre los jefes si los responsables de lograr dicha calidad no están enterados de los inconvenientes. A través de esta reunión, se logra la participación de aquellos que mejor conocen el sistema y sus puntos débiles. Además, se crea un sentimiento de compromiso y motivación en el personal que está siendo tenido en cuenta, puede opinar y hasta influenciar en sus tareas. Es importante escuchar los problemas que plantea los operarios de planta ya que, de dicha conversación, pueden surgir nuevas causas raíces al diagrama de Ishikawa que permitan mejorar los métodos de fabricación.

Mediante la evolución de estas reuniones, pueden crearse círculos de calidad donde grupos de trabajadores se reúnan, con la ayuda de un facilitador, para solucionar problemas de su trabajo, generando así un aumento de la productividad y calidad.

A continuación, se presentarán distintas herramientas específicas para solucionar algunas de las cuestiones planteadas en el diagrama de Ishikawa, que no sólo afectan a los problemas de calidad mencionados sino también al funcionamiento de otros centros de trabajo.

5.2 “Kata” y Gestión del conocimiento

Como solución a los problemas, de falta de capacitación de la mano de obra y falta de estandarización de los métodos, encontrados mediante el diagrama de Ishikawa de la imagen 35, se presenta el concepto de “Kata”. Dicha metodología consiste en crear rutinas estandarizadas pero no como procedimientos escritos que definan en la teoría la forma de realizar las tareas, si no mediante la práctica constante. De esta forma, dicha actividad se transforma en un hábito requiriendo poca atención consciente. Requiere fijar un estado actual de situación, plantear un nuevo objetivo e iterar mediante la práctica y el acompañamiento de un superior hasta lograr la meta deseada, superando los obstáculos que puedan surgir con creatividad.

En la empresa, esto sería posible de ser llevado a cabo estableciendo la forma correcta y estandarizada con que se debe lijar, pulir, encintar y granallar la pieza para establecerla como el nuevo objetivo y acompañar a los operarios de pulido durante la práctica de esa metodología hasta que se transforme en lo habitual. Se lograría así, reducir mucho las fallas de terminación de las piezas que debieron ser reprocesadas y se bajarían los tiempos de operaciones como el encintado del femoral que causa una importante acumulación de piezas previas a la operación y una subutilización de la máquina granalladora.

Esta solución de capacitación a través de la metodología “Kata” debe ser llevada a cabo a través de una estrategia de gestión del conocimiento. Es decir, ¿cómo se transmitirá el *know how* (saber hacer) dentro de la empresa? Según Hansen et al. (1999) existen dos estrategias marcadas que una empresa puede seguir para gestionar el conocimiento dentro de la misma. Una, es la estrategia de codificación donde se generan importantes bases de datos a la cual todo el personal puede acceder libremente para consultar la información codificada. Otra, es la estrategia de personalización, que considera más importante la comunicación directa y compartida persona a persona ya que ellas son las que desarrollan el conocimiento y las bases de datos deben ayudar a comunicar dicho *know how* y no sólo guardarlo.

Para elegir la estrategia que más se adapte a la empresa, se debe considerar principalmente qué valor espera el cliente de los productos fabricados por la empresa y cómo puede, entonces, el conocimiento que existe en la compañía ayudar a generar más valor para satisfacer mejor al cliente. Secundariamente, debe considerarse el tipo de producto que se

ofrece, si es estandarizado o personalizado; la etapa de desarrollo del producto, si está en estado de madurez o es una innovación; y, por último, si el personal de la empresa suele confiar en conocimientos explícitos o tácitos para resolver problemas. Todo esto, como sugiere Hansen et al (1999), ayuda a determinar la estrategia más conveniente.

Prima Implantes, entonces, apunta a una estrategia de mercado basado en la relación precio/calidad ya que, como su mayor cliente es el sector público, debe ganar licitaciones ofertando la mejor relación precio/calidad posible. Entonces, la mejor forma de gestionar el conocimiento sería la estrategia de personalización ya que permite enfocarse en un método que no implica alta inversión en tecnología de información para generar poderosas bases de datos. Al contrario, sólo necesita facilitar vías de comunicación entre el personal de la compañía y entre éste y el cliente y proveedores para generar intercambio de información tácita. Además, se justifica porque el producto adquiere cambios constantemente ya que las técnicas de cirugía y la biomedicina avanzan a pasos agigantados debiendo acomodar el producto a los nuevos requerimientos de los médicos. La información tácita es, además, el tipo de datos que más se valora en la empresa porque la mayoría de los empleados tiene una gran antigüedad en la empresa y conoce bien el funcionamiento del mercado y la producción.

Sin embargo, el producto que fabrica la empresa es estandarizado en comparación con los que producen otras empresas que fabrican prótesis a medida para cada cuerpo humano. Prima Implantes, en cambio, ofrece distintas medidas ya establecidas para que el médico pueda elegir en base a las condiciones anatómicas del paciente. Esto genera que la estrategia de personalización deba tener como soporte la estrategia de codificación. Esto implica registrar y crear pequeñas bases de datos con la información que se pueda obtener de las personas implicadas para lograr tener procedimientos claros y definidos para el futuro.

En conclusión, se propone implementar en Prima Implantes grupos de mejora que involucren al jefe de planta, a operarios del sector de pulido y a personal del área de calidad. Este grupo deberá estudiar los distintos métodos que utilizan los operarios de pulido para analizar en cuanto a demoras de procesamiento y calidad del producto obtenido, cual es el más eficiente. Además, se debe nutrir dicho proceso de las sugerencias del jefe de planta que, aunque no es profesional, tiene vasta experiencia en planta y es por eso que llegó al puesto que tiene ahora. También, al involucrar a los operarios, se debe escuchar y tener en cuenta las sugerencias de los mismos y los inconvenientes con que se enfrentan al desarrollar las tareas para optimizar aún más el proceso.

De esta forma, se define el método más eficiente y que de una mejor calidad del producto en base a la consideraciones del personal de calidad involucrado. Este método será el nuevo objetivo de la metodología "Kata" que deberá ser entrenado y supervisado por el jefe de planta para interiorizarlo en todos y en cada uno de los operarios del sector de pulido. Una vez definido y establecido, se podrá generar fácilmente un procedimiento escrito de dicha tarea que permita su consulta y registro de cambios futuros.

5.3 Gestión de la cadena de suministro

En el gráfico 6, se observa que aproximadamente un 15% de los femorales producidos, se califican como rechazos o scrap debido a la existencia de poros o grietas en la materia prima semielaborada. Estos defectos se detectan durante producción o en control de calidad ya que como se ve en el punto 5.1 el motivo de rechazo “Poros” es uno de los principales que generan el 80% de las devoluciones para reproceso o devoluciones al proveedor. Esto también responde a las causas referidas al material que se analizaron en el diagrama de Ishikawa en la imagen 35.

Ludovic Hernandez (2001) explica en su tesis de postgrado la influencia de los defectos del acero inoxidable microfundido en implantes traumatológicos. El componente femoral debe rechazarse si posee poros o grietas superficiales ya que la rugosidad superficial de esta pieza tiene grave incidencia en el desgaste del implante debido a la fricción que realizará contra el componente tibial monoblock de material plástico. Como el problema de porosidad es casi inevitable al cien por ciento en piezas provenientes del microfundido, se deberá llevar un registro del porcentaje de rechazos de forma de poder programar el tamaño de pedido de materia prima al proveedor considerando dicho porcentaje. Es decir, que el tamaño del pedido de materia prima deberá ser igual a la necesidad neta de materia prima dividida el porcentaje de aceptación de la misma que es menor a la unidad. De esta forma, al pedir más de lo necesario, la empresa se asegura obtener la cantidad demandada por sus clientes sin peligrar su satisfacción por falta de materia prima debido al rechazo de la misma.

Sin embargo, esta es una solución a corto plazo ya que Ludovic Hernandez (2001) también explica la incidencia que tienen las distintas etapas del proceso de microfundido en la porosidad final de la pieza por lo que se puede controlar y/o ayudar al proveedor para lograr una materia prima de calidad.

Según Hezier & Render (2009), existen distintas estrategias de la cadena de suministro: muchos proveedores, pocos proveedores, integración vertical, redes *keiretsu* y compañías virtuales. La empresa Prima Implantes no cuenta con una estrategia determinada en esta cuestión; es más, para el componente femoral depende de un único proveedor. Es por esto que se terminan aceptando este porcentaje de fallas por grietas y porosidad que se devuelven al proveedor pero que generan una baja productividad. Se recomienda entonces, una estrategia de pocos proveedores para poder resolver este problema de calidad, teniendo que buscar alternativas al único proveedor actual.

De esta manera, la empresa no depende sólo de la calidad de un único proveedor si no que genera relaciones de largo plazo con pocos de ellos, generando compromiso y al mismo tiempo permitiendo economías de escala. Se invita también a intentar crear con los mismos las llamadas redes *keiretsu* a través de la cual se busca dar apoyo financiero a los proveedores con lo que se podría investigar para mejorar el proceso de microfundido de forma de llevar al mínimo la porosidad del producto. Se genera así, no sólo una relación a largo plazo, si no también transferencia de experiencia técnica y calidad de producción estable.

También, mediante la exigencia a los proveedores de ensayos como por ejemplo, radiografías industriales que realiza el INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial) o microscopía electrónica de barrido realizadas sobre el material provisto, se pueden llevar estadísticas de los porcentajes de porosidad y discontinuidades del material para establecer parámetros mínimos de aceptación de la materia prima. Si se lograra todo esto, se podrían reducir ampliamente los problemas de calidad mencionados logrando disminuir los porcentajes de falla y aumentando la productividad.

Otra incidencia del control y reducción de las discontinuidades de la materia prima microfundida, es la reducción de la variabilidad en los tiempos de lijado y pulido. Como se observa en los estudios de tiempo del Anexo 1, durante el lijado y pulido se dan los rechazos por poros y grietas en producción generando pérdidas de tiempo cuando se trabaja sobre un material que será rechazado. Esto se debe, como explica también Ludovic Hernandez, a fragilidades superficiales en el material que al ser sometido a la fricción de la alúmina en lijado o pulido genera el desprendimiento de partículas de material dejando a la vista el hueco del mismo y aumentando la rugosidad de la superficie.

Entonces, si se disminuyera el porcentaje de área de porosidad gracias al desarrollo de proveedores mencionado anteriormente o a la mayor exigencia de ensayos, se reduciría también el tiempo de proceso de lijado y pulido y su variabilidad.

Los tiempos tomados a través del estudio del Anexo 1 mostraban tal variabilidad que el número de observaciones que se hubiera requerido para llegar a datos válidos hubiera excedido el tiempo disponible para tomarlos por lo que se decidió, para la simulación, calcular el promedio de los mismos como forma de simplificación. Esta variabilidad era causada, principalmente, por la porosidad del material ya que se consideraba un ciclo de proceso desde que el operario tomaba la pieza hasta que la consideraba terminada y la apoyaba en la mesada ya procesada.

Sin embargo, dentro de este proceso se identifican distintas situaciones: si el material no tenía poros, el operario sólo lijaba o pulía la superficie uniformemente hasta lograr la terminación deseada con inspecciones y sumergimientos de la pieza en agua esporádicamente. Por el contrario, si la pieza poseía algún poro o a través del lijado emergía algún poro interno a la superficie, el operario debía cambiar de disco a una lija más gruesa para intentar evadir el poro, inspeccionar más detalladamente para corroborar que el poro hubiera desaparecido y hasta a veces consultar con algún compañero o superior si la ubicación o profundidad del poro era permisible o no.

En conclusión, estableciendo estrategias definidas para la cadena de suministro, se pueden disminuir los porcentajes de rechazos del componente femoral y aumentar su productividad. Al aumentar la productividad de éste, se aumenta consecutivamente la productividad del componente patelar también. Esto es porque, como observamos en los resultados de la simulación, se genera un alto stock intermedio de patelas ya torneadas esperando a ser fresadas pero que se encuentran restringidas para lograr la nivelación de producto terminado. Si ahora se elimina las pérdidas de productividad de femoral, se obtendrán

más piezas terminadas del mismo por lo que se podrá disminuir la restricción de manera que se nivele la producción nuevamente.

5.4 Mantenimiento Productivo Total (TPM: *Total Productive Maintenance*)

Como se puede observar en el gráfico 7, en uno de los principales cuellos de botella que es el centro de trabajo de fresado, existe un 30% del tiempo de las máquina en las que las mismas se encuentra indisponibles. La simulación incluye como indisponibilidad: la limpieza diaria de las máquinas, las averías aleatorias y los cambios de herramientas. Por lo tanto, se deberían analizar dichas indisponibilidades para llevarlas al mínimo y así liberar el cuello de botella que es el que me determinará la capacidad total de la planta. Además, como se vio en el punto 5.1 la falta de mantenimiento de equipos y los insumos en mal estado provocan también fallas de calidad que generan pérdidas de productividad para la empresa.

Analizando cada una de las indisponibilidades se puede lograr obtener la mejor solución a las mismas.

En cuanto a la limpieza diaria de las máquinas, esta actividad es fundamental para un cuidado de las mismas y prolongar su vida útil, por lo tanto no se debe disminuir el tiempo afectado para su realización.

Evaluando las averías aleatorias, las cuales son determinadas por valores estimados de coeficientes de MTTR y MTBF ya explicados, se puede disminuir dichos valores ampliamente. Esto se debe a que, en la actualidad, la empresa cuenta con un mantenimiento a rotura que se caracteriza por ser intempestivo y desorganizado con el objetivo trivial de restablecer el funcionamiento de la máquina lo más rápido posible. Sin embargo, existen otras formas de mantenimiento que permiten una mayor organización y programación de las tareas que puede bajar los tiempos entre fallas y de duración de las mismas.

Considerando los cambios de herramienta, se nota que éstos son muy frecuentes y prolongados (especialmente en el área de fresado). Es por esto que se consultó al operario los inconvenientes que tenía con las herramientas y su necesidad de cambio para averiguar desde la fuente la causa raíz del problema. Se utilizó la técnica de los “5 por qué?” logrando deducir que la elevada frecuencia del cambio de las herramientas se debía, fundamentalmente, a una falta de mantenimiento de la máquina. Los mecanismos que permiten el movimiento transversal y longitudinal de la mesada se encuentran desgastados provocando juego en la posición de la misma. Esto genera vibraciones al entrar en contacto la herramienta con la pieza apoyada en dicha mesada, entonces, la herramienta sufre mayor fricción y tensiones que provocan la rotura y en consecuencia, la necesidad de cambio o afilamiento.

En conclusión, la causa raíz de la mayoría de las indisponibilidades de las máquinas se deben a la falta de una gestión del mantenimiento. Esto hace que, el operario usuario de la máquina haga las reparaciones o, de no poder resolverlo, se terciariza la reparación. De esta forma, cada operario armaba y desarmaba su máquina buscando solucionar el problema sin

tener conocimientos profundos acerca de su funcionamiento y muchas veces, al rearmar la máquina surgían nuevos problemas por errores en el proceso anterior. En consecuencia, es muy difícil ejercer un control sobre las reparaciones realizadas y mucho más, llevar registros de las mismas.

Para solucionar esto, se implementarán los pilares de TPM que se consideren adecuados para el presupuesto y objetivos particulares de la empresa Prima Implantes.

Como primera medida, se debió asignar un encargado de mantenimiento dentro de la planta ya que no existía esta figura anteriormente. Para su selección se tuvieron en cuenta aptitudes, conocimientos y méritos de los operarios que contribuyen con sus actividades a generar mejoras en la empresa continuamente. Se decidió, nombrar como encargado del mantenimiento al operario de uno de los tornos que demuestra compromiso y proactividad frecuentemente en la fábrica y que, además, es uno de los operarios más capacitados y experimentados de la empresa. De esta manera, al definir una persona como encargada del mantenimiento, se unificarán las tareas de reparaciones y actividades preventivas en un solo operario que posee conocimientos y criterios acertados acerca del funcionamiento de las máquinas para tomar decisiones precisas y lograr una mejora continua en el estado de las máquinas.

Una vez elegido el encargado de mantenimiento, considerando el pilar de formación y entrenamiento del TPM, se envió a un dicho encargado, un supervisor de planta y al jefe de planta a realizar un curso de “Instalaciones y mantenimiento eléctrico/electrónico” en el Instituto Renault de Córdoba. De esta forma, se capacitó a todos los niveles jerárquicos de planta para un mayor conocimiento técnico a la hora de tomar decisiones e intervenir en la maquinaria. El programa del curso incluye además un módulo de gestión y elaboración de informes de mantenimiento que ayudarán a la realización de registros posteriores. Estos conocimientos técnicos adquiridos podrán luego ser transmitidos al resto de los operarios para que colaboren en el mantenimiento de todas las máquinas.

Luego, se creó un procedimiento de mantenimiento que incluye los pilares de mantenimiento autónomo, mantenimiento preventivo y mantenimiento planificado con el objetivo de disminuir la cantidad de paros de las máquinas y asegurar la calidad de los productos mediante el buen estado de los equipos utilizados para producir los mismos.

Este procedimiento (disponible en el Anexo 3) se creó en conjunto con el área de calidad que se encarga, entre otras cosas, de mantener y mejorar un sistema de gestión de calidad dentro de la empresa acorde a la norma ISO 13485:2003 específica para productos sanitarios. De esta forma, se logra cumplimentar el punto 6.3 de la misma, referido a la infraestructura necesaria para lograr la conformidad de los requerimientos de los productos y su respectivo mantenimiento.

El procedimiento consiste en aplicar el siguiente proceso de gestión de mantenimiento, disponible en la imagen 36 que al sugerir un método simple facilita su aplicación y control en una empresa con las características de Prima Implantes y con el presupuesto disponible para realizarlo.

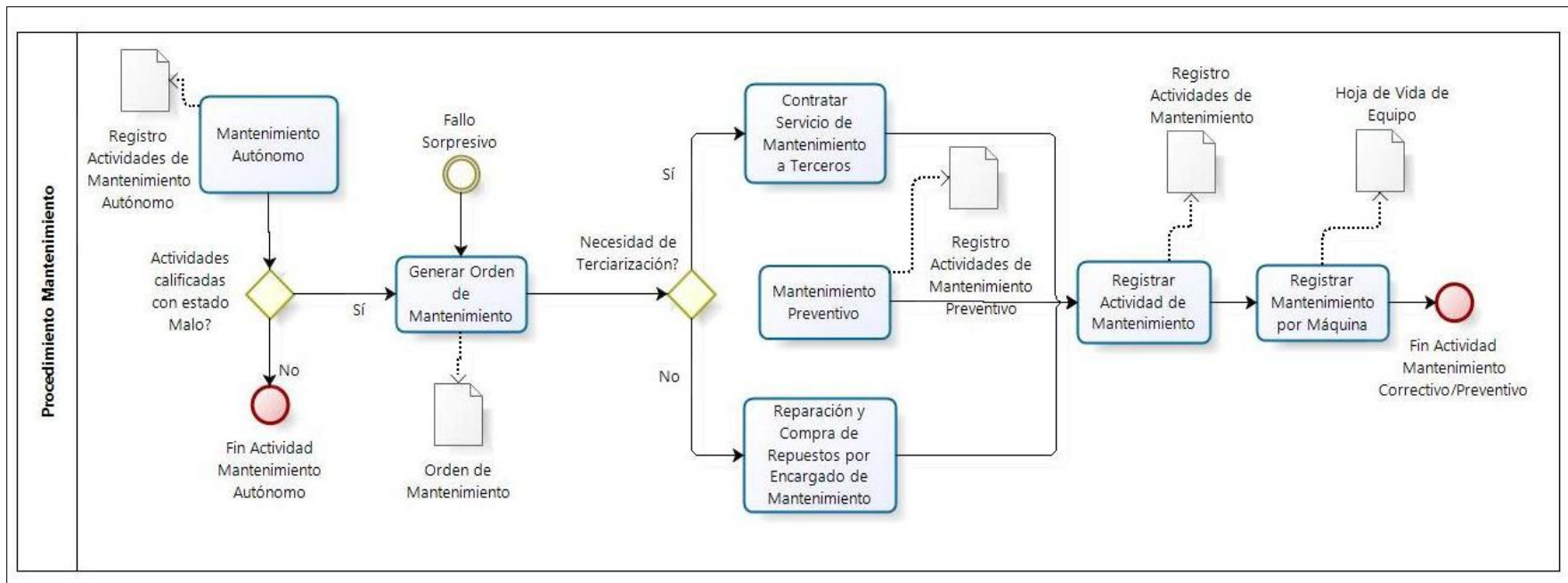


Imagen 36. Diagrama de flujo del proceso de gestión del mantenimiento.

Como se observa en la imagen 36, el proceso de gestión del mantenimiento, consiste en una serie de actividades y registros que completan un método simple y eficaz.

Este método comienza con un registro de “Mantenimiento Autónomo” el cual enumera inspecciones, lubricaciones y su frecuencia que permiten evitar el deterioro y mantener el equipo en estado óptimo mediante una operación correcta y chequeos diarios.

Si en estos chequeos se encontraran mecanismos o componentes en mal estado, el operario usuario de la máquina debe generar un registro llamado “Orden de Mantenimiento” al encargado del mismo donde se solicita la revisión de la máquina.

Del mismo modo, ante un fallo sorpresivo de la máquina por una avería también se debe generar una orden de mantenimiento para que el que intervenga y tome la decisión de cómo se solucionará dicha avería sea el encargado de mantenimiento que posee los conocimientos adecuados para hacerlo. A través de estas órdenes de mantenimiento, se les asigna prioridades a las actividades necesarias para solucionar los distintos tipos de problemas y, de esta forma, se permite programar en cierto modo las intervenciones en las máquinas. Al dejar registros de las solicitudes de mantenimiento, el encargado del mismo puede, según el tiempo y presupuesto disponible, demorar ciertas actividades dejando las órdenes abiertas hasta tanto poder atenderla pero sin dejar de hacerlo y que el mantenimiento no se termine realizando como suele suceder en la actualidad.

Una vez generada la orden de mantenimiento, el encargado decidirá según su criterio y habilidades si puede resolver el inconveniente el mismo o necesita de servicios externos para hacerlo. De resolverlo el mismo, es su responsabilidad la compra de materiales y repuestos necesarios o, si tuviera que terciarizar el servicio, el encargado de contactar y asesorar a los técnicos correspondientes.

Otra forma de mantenimiento prevista es el mantenimiento preventivo del cual será responsable el encargado de mantenimiento ya que requiere de actividades más complejas a realizarse periódicamente que deben ser efectuadas con conocimientos técnicos más profundos. Estas actividades están descritas en un registro de “Mantenimiento Preventivo” que indica la descripción de las acciones y la frecuencia con que debe llevarse a cabo la misma.

Al realizarse la actividad de mantenimiento correctivo o preventivo necesaria, tanto por el encargado como por terceros, se deberá completar el registro de “Actividades de Mantenimiento” donde se detalla el tipo de mantenimiento realizado, si la actividad implicó una interrupción de la producción y su duración, la naturaleza y descripción de la falla, la acción correctiva generada para solucionar el problema y el costo que implicó dicha actividad.

Por último, a modo de resumen, se detallará en un registro llamado “Hoja de Vida de Equipo”, el cual pertenece a cada una de las máquinas, los componentes y/o mecanismos reparados, su fecha de intervención y el costo. De esta forma, se puede llevar un registro de cambio de componentes que permita obtener conclusiones acerca de sistemas críticos dentro de cada máquina y plazos estimados de cambio preventivo de dichos componentes.

Todos estos documentos, tanto procedimientos como registros, se encuentran disponibles en el Anexo 3 en blanco, a excepción de los registros de “Mantenimiento Autónomo y “Mantenimiento Preventivo” que presentan un ejemplo de las actividades que deberían realizarse y su frecuencia para una de las fresas que simbolizan el mayor cuello de botella de la compañía.

Además de la generación de estos documentos de calidad, también se generaron fichas técnicas para las máquinas donde se detallan sus características principales y se organizaron en una carpeta donde se ordenaron por número de código de máquina y se anexaron todos los manuales y certificados respectivos de cada máquina. Esto facilita el acceso del encargado de mantenimiento a la información técnica necesaria para la reparación de las máquinas y también, ayuda a armar los planes de mantenimiento autónomo y preventivo con las sugerencias del fabricante respecto a dichas actividades.

5.5 Alternativas para adecuar la capacidad disponible y necesaria a corto y mediano plazo

Los procesos de lijado y pulido para el componente femoral son los que tienen mayor duración comparado con todo el resto de los procesos por eso se acumulan muchas piezas antes del área que se ve restringida también por la mano de obra. Hay, en realidad 12 lijadoras disponibles pero 7 operarios para manejarlas que durante la simulación se encontraban al 100% de utilización ya que se encargan de lijar y a continuación, pulir el mismo lote de producción.

Como se observa en el gráfico 7, las lijadoras y pulidoras tienen porcentajes de no utilización de las máquinas pero, al mismo tiempo, se da que las piezas se acumulan antes del lijado sin poder entrar al área a ser procesadas. ¿Por qué puede pasar esto? La incógnita se resuelve al observar que el bloque que representa al recurso mano de obra de lijado y pulido tiene un 100% de utilización durante toda la corrida de simulación. Esto se debe a que el operario se encuentra indisponible durante el lijado, más la posible espera hasta que se desocupe una pulidora más el proceso de pulido mismo y recién ahí se libera para procesar un nuevo lote.

Además, las operaciones en cuestión son muy manuales y requieren de reiteradas inspecciones hasta lograr la terminación deseada. Entonces, aunque se mejore la calidad de la materia prima y en consecuencia, se mejoren los tiempos de producción como se mencionó anteriormente, éstos últimos seguirán siendo elevados en comparación con el resto de los procesos estimándose que se seguirán acumulando piezas en el almacén previo a lijado.

Para solucionar esto, se utilizan los conceptos desarrollados por Domínguez Machuca et al. (2005) donde habla de las colas de espera de un centro de trabajo, su significado, su tamaño y su posible control. Estas colas surgen por diferencias en las capacidades de producción del centro de trabajo anterior y posterior. En este trabajo no se tuvo consideración por los tamaños

que deberían tener dichas colas si no que se supusieron infinitas para evidenciar en qué magnitud existen esas diferencias de capacidad.

Machuca et al. sugiere alternativas para adecuar la capacidad disponible y necesaria a corto y mediano plazo: contrataciones o despidos, programación de vacaciones, realización de horas extras o mantenimiento de tiempos ociosos en determinados períodos, movilidad del personal, utilización de rutas alternativas, subcontratación, variaciones del volumen de inventario y reajuste del tamaño de los lotes de pedidos.

Para este caso en particular, donde se quiere aumentar la capacidad de producción del sector de lijado y pulido, se sugiere la opción de que la mano de obra respectiva realice horas extras o hasta se trabaje en doble turno para poder mejorar la productividad total de la compañía y que no se acumulen tantas piezas en el stock intermedio. De esta forma, se evitan los contratos que requieren nuevas obligaciones por parte de la empresa, capacitaciones y adaptaciones del personal que disminuirían la productividad temporalmente mientras se integran a la organización.

Por otro lado, la realización de mantenimiento en tiempo ocioso en determinados períodos puede ser útil para la situación que se genera entre los centros de trabajo de torneado y fresado. Como en el centro de torneado se realiza sólo uno de los componentes y en el fresado se une la producción de ambos, se nota en los resultados de la simulación que los tornos tienen mucha capacidad ociosa. Se puede inferir que aún sacando una línea de torno, la capacidad se vería más nivelada entre ambos centros. De esta forma, se puede utilizar el operario que se libera para realizar mantenimiento en las máquinas, principalmente en las de fresado donde se destaca, en el gráfico 7, un alto porcentaje de indisponibilidad por averías y cambios de herramienta frecuente. Dicho cambio de herramienta frecuente puede deberse también a vibraciones o juegos de ciertos mecanismos de las máquinas a causa de la falta de programas de mantenimiento preventivo en la empresa. Se concluye que así se mejoraría ampliamente el desempeño del principal cuello de botella encontrado que es el centro de fresado.

CAPÍTULO 6. Conclusiones

Este proyecto presenta una herramienta poco utilizada para detectar cuellos de botella y proponer optimizaciones para los mismos: el modelado y simulación de eventos discretos. De esta forma, muestra una metodología novedosa y potencial para el estudio de procesos productivos complejos que son imposibles de ser resueltos mediante métodos analíticos tradicionales.

Además, la simulación permite programar un modelo que puede ser modificado de manera simple y rápida ante cualquier cambio de la realidad simulada de manera de obtener nuevas soluciones frente a distintos escenarios. Esta posibilidad es difícil y lenta en otros métodos como los analíticos, de observación o muestreo.

En síntesis, la simulación demuestra ser una herramienta factible de ser utilizada en diversos procesos productivos para su optimización, generando información importante y permitiendo una gran flexibilidad para adaptarse a los cambios frecuentes presentes en cualquier empresa.

No obstante las simplificaciones tenidas en cuenta, este trabajo permitió también, desarrollar conocimiento y comprensión acerca del proceso productivo bajo estudio tanto para el autor del proyecto como para la empresa misma.

Se pudieron plantear, también, posibles cuellos de botella a través de los resultados obtenidos de las corridas de simulación y además; se consiguió establecer las variables más importantes que afectarían positivamente a la productividad del sistema. Ejemplos de esto fueron: los problemas de calidad por necesidad de reprocesos, los problemas de calidad de la materia prima, las diferencias de capacidad de los distintos centros de trabajo y las indisponibilidades de las máquinas.

Por último, se logró proponer mejoras a través de la investigación acerca del proceso de fabricación de la materia prima con problemas de calidad, el uso de herramientas novedosas de entrenamiento obtenidas del Sistema de Producción Toyota, los conocimientos teóricos acerca de la planificación de la capacidad y las estrategias de la cadena de suministros.

La aplicación de herramientas de simulación de eventos discretos suele aplicarse en empresas a través de un grupo de personas trabajando para ello ya que se necesitan especialistas en recolección de datos (sobre todo de métodos y tiempos), programadores que verifiquen el modelo diseñado y analistas que puedan estudiar los resultados de la simulación de forma crítica para identificar los principales problemas y proponer optimizaciones para los mismos. Es por esto que la autora de este proyecto se vio obligada a tener en cuenta una versión simplificada del proceso bajo estudio y con abstracciones de la realidad para adecuarse a los objetivos de su trabajo individual. Esto, también, refleja la complejidad del sistema productivo estudiado.

La complicación del desarrollo y la programación del sistema productivo en el software es algo que consume mucho tiempo ya que, como no se conocía con anterioridad la lógica y

funcionamiento de los bloques de este software específico, se debió ir aprendiendo mediante lectura de manuales, prueba de ejemplos de simulaciones provistas por el software y ejercicios de prueba y error. De esta forma, se pudo ir armando la compleja línea productiva con diferentes centros de trabajo y, a su vez, varias máquinas en paralelo en cada uno de ellos.

A su vez, para lograr un buen funcionamiento de la programación y asemejar la simulación a la realidad, se debió correr una importante cantidad de veces la simulación observando los valores que tomaban cada uno de los parámetros para corroborar que estuviera leyendo correctamente los datos y ejecutando correctamente las fórmulas y códigos establecidos mediante los bloques correspondientes.

Esta complejidad e importante requerimiento de tiempo disponible para realizar el desarrollo del modelo de simulación, se presenta con el fin de evaluar el esfuerzo de futuros trabajos relacionados ya que constituye la mayor parte del trabajo.

Por otro lado, existen otros softwares y versiones más recientes especialmente diseñadas para simulaciones de procesos productivos industriales que incluyen herramientas de gran utilidad y de fácil uso, para obtener resultados más completos. Esto evitaría la tediosa tarea que se hizo de trasladar todos los datos a Excel, generar fórmulas que permitan obtener la información deseada a partir de los datos generados y graficar dicha información de una forma amigable para presentar en la documentación del proyecto.

A pesar de todas las limitaciones y simplificaciones tenidas en cuenta para desarrollar este proyecto de simulación, se logra el objetivo de mostrar la potencialidad de la herramienta para resolver casos complejos y se deja abierta la posibilidad de utilizar este modelo como base para un estudio más profundo. Se puede ampliar el estudio de las capacidades incluyendo el resto de los productos que fabrica la compañía para así determinar si los resultados obtenidos a través del análisis de este único producto son efectivamente representativos de la realidad o no.

Bibliografía:

AMBROSINI Alejandro. 2013. *Modelos de simulación como herramienta para la generación de acuerdos urbanos entre desarrollistas y municipio*. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Córdoba.

AMOS H.C Ng; BERNEDIXEN Jacob; URENDA MORIS Matías; JÄGSTAM Mats. 2011. En *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*. Páginas 2181-2193.

ARNOLD Marcelo; OSORIO Francisco. 1998. Introducción a los conceptos básicos de la teoría de sistemas. *Cinta de Moebio. Revista de Epistemología de Ciencias Sociales*. Volumen (3). Páginas 40-49.

BANKS Jerry; CARSON John; NELSON Barry; NICOL David. 2005. *Discrete event system simulation*. Cuarta Edición. Editorial: Prentice Hall.

CHEN, E. Jack.; LEE, Young M.; SELIKSON, Paul. L. 2002. A simulation study of logistics activities in a chemical plant. En *Simulation Modelling Practice and Theory*. Volumen 10: páginas 235-245.

DOMINGUEZ MACHUCA José Antonio et al. 1995. *Dirección de operaciones: aspectos tácticos y operativos en la producción y servicios*. Madrid: McGraw-Hill.

GALARA Ivan y PONTELLI Daniel. 2011. *Mantenimiento Industrial*. Segunda edición. Córdoba: Universitas.

GOLDRATT Eliyahu M. 2004. *La Meta: un proceso de mejora continua*. Tercera edición. Buenos Aires: Granica.

HANSEN Morten T.; NOHRIA Nitin; TIERNEY Thomas. 1999. What's your strategy for managing knowledge?. *The Knowledge Management Yearbook 2000-2001*.

HEIZER Jay y RENDER Barry. 2009. *Principios de administración de operaciones*. Séptima edición. México: Pearson Educación.

HOLPIN Daniel W y RIGGS Leland S. 1992. *Planning and analysis of construction operations*. Estados Unidos: John Wiley & Sons.

HU, Sun; & LINWEI, Xu. 2009. Simulation and optimization for noshery service system. En *2009 International Symposium on Information Engineering and Electronic Commerce*. Páginas 721-723.

JOHANSEN BERTOGLIO Oscar. 1982. *Introducción a la teoría general de sistemas*. Editorial: Limusa.

KANAWATY George. 1996. *Introducción al estudio del trabajo*. Cuarta edición. OIT.

KOPYTOV Eugene y MURAVJOVS Aivars. Simulation of inventory control system for supply chain “producer – wholesaler – client” in Extendsim environment”. 2011. En *ECMS*. Páginas 580-586.

KRAJEWSKI Lee J.; RITZMAN Larry P. y MALHOTRA Manoj K. 2008. *Administración de operaciones: procesos y cadenas de valor*. Octava edición. México DF: Pearson Educación.

LAW Averill. 2006. *Simulation Modeling and Analysis*. Cuarta edición. Editorial: McGraw-Hill.

LIMA Eliseu; CHWIF Leonardo y BARRETO Marcos 2008. Methodology for selecting the best suitable bottleneck detection method. En *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*. Páginas 1764-1751.

LUDOVIC HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ Marco Antonio. 2001. *Fases intermetálicas en aleación ASTM F75 para prótesis*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León.

LUNA ARAMBURU Arturo. 2008. PLM Siemens Herramienta de Ingeniería y Negocios. En *Journal de Investigación de la Escuela de Graduados e Innovación Tecnológico de Monterrey Campus Puebla*. Edición: Septiembre 2008. Páginas 6-9.

MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN PRODUCTIVA. Subsecretaría de Políticas en Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. 2012. *Plan Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación. Lineamientos estratégicos 2012-2015. Mesa de Implementación del NSPE Equipamiento Médico*. Disponible en: www.mincyt.gov.ar/_post/descargar.php?idAdjuntoArchivo=18120

MINTZBERG Henry; CAMPANY DE FRASCH Roxana M. 2004. *Diseño de organizaciones eficientes*. Segunda Edición. Buenos Aires: El Ateneo.

PALACIOS ARIZA Karina; MORAS SÁNCHEZ Constantino; SÁNCHEZ OLIVOS Juan Pablo; ZACAHULA DOMÍNGUEZ René; AGUILAR LASSERRE Alberto. 2012. Diseño y evaluación de alternativas para mejorar la atención a los paciente de consulta externa en el centro de rehabilitación integral de Orizaba. En *Revista de la Ingeniería Industrial*. Volumen (6): páginas 67-80.

PEÑA Daniel. 2005. *Fundamentos de Estadística*. Primera edición. Madrid: Alianza.

ROSER Christoph; NAKANO Masaru; TANAKA Minoru. 2002. Shifting bottleneck detection. En *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*. Volumen (2): páginas 1079-1086.

ROSER Christoph; NAKANO Masaru; TANAKA Minoru. 2003. Comparison of bottleneck detection methods for AGV systems. En *Proceedings of the 2033 Winter Simulation Conference*. Volumen (2): páginas 1192-1198.

ROTHER Mike. 2009. *Toyota Kata: managing people for improvement, adaptiveness and superior results*. Editorial: McGraw-Hill Professional.

URENDA MORIS Matías; AMOS H.C Ng; SVENSSON Jacob. 2008. Simplification and aggregation strategies applied for factory analysis in conceptual phase using simulation. En *Proceedings of the 40th Winter Simulation Conference*. Páginas 1913-1921.

ANEXO 1: Estudios de Tiempos

Estudio de Tiempos									
Departamento: Producción						Estudio Nº: 0001 Hoja Nº: 1			
Operación: Torneado 1						Término: 10:25:00			
Máquina: Torno Nº 10						Comienzo: 12:17:00			
Herramientas:						Tiempo Trans: 1:54:00			
Producto: Componente Patelar ø 32						Operario: Sosa G.			
Plano Nº: -						Observado por: C.S.C			
Calidad: -						Fecha: 18/09/2014			
Código:						Comprobado: -			
Material: Plástico UHMWPE									
Descripción del elemento	V.	C.	T.R.	T.B.	Descripción del elemento	V.	C.	T.R.	T.B.
Puesta a punto + 1° pieza	1	-	0:10:44		22° pieza	1	-	0:01:29	
2° pieza	1	-	0:01:34		Adelanta barra y corre viruta	1	-	0:00:31	
3° pieza	1	-	0:02:48		23° pieza	1	-	0:01:13	
4° pieza	1	-	0:02:43		24° pieza	1	-	0:01:16	
Adelanta barra y corre viruta	1	-	0:00:35		25° pieza	1	-	0:01:49	
5° pieza	1	-	0:01:15		Operario se retira al baño	1	-	0:10:37	
6° pieza	1	-	0:01:01		Adelanta barra y corre viruta	1	-	0:00:24	
7° pieza	1	-	0:01:55		26° pieza	1	-	0:01:23	
Adelanta barra y corre viruta	1	-	0:00:28		27° pieza	1	-	0:01:53	
8° pieza	1	-	0:01:18		28° pieza	1	-	0:01:24	
9° pieza	1	-	0:01:36		Adelanta barra y corre viruta	1	-	0:00:40	
10° pieza	1	-	0:01:28		29° pieza	1	-	0:01:31	
Adelanta barra y corre viruta	1	-	0:00:50		30° pieza	1	-	0:01:34	
11° pieza	1	-	0:01:18		31° pieza	1	-	0:01:31	
12° pieza	1	-	0:01:23		Adelanta barra y corre viruta	1	-	0:00:32	
13° pieza	1	-	0:02:05		32° pieza	1	-	0:01:28	
Adelanta barra y corre viruta	1	-	0:00:32		33° pieza	1	-	0:01:28	
14° pieza	1	-	0:01:20		34° pieza	1	-	0:01:23	
15° pieza	1	-	0:01:39		Adelanta barra y corre viruta	1	-	0:00:33	
16° pieza	1	-	0:01:46		35° pieza	1	-	0:01:59	
Adelanta barra y corre viruta	1	-	0:00:41		36° pieza	1	-	0:01:29	
17° pieza	1	-	0:01:20		37° pieza	1	-	0:01:36	
18° pieza	1	-	0:01:30		Adelanta barra y corre viruta	1	-	0:00:38	
19° pieza	1	-	0:01:35		38° pieza	1	-	0:01:26	
Adelanta barra y corre viruta y toma agua	1	-	0:01:45		39° pieza (habla con jefe)	1	-	0:02:14	
20° pieza	1	-	0:01:14		40° pieza (habla con comp.)	1	-	0:02:06	
21° pieza	1	-	0:01:27		Adelanta barra y corre viruta y afila hta	1	-	0:01:36	

Estudio Nº: 0001		Estudio de Tiempos: Continuación				Hoja Nº: 2			
Descripción del elemento	V.	C.	T.R.	T.B.	Descripción del elemento	V.	C.	T.R.	T.B.
41° pieza	1	-	0:01:12						
42° pieza	1	-	0:01:34						
43° pieza	1	-	0:01:44						
Adelanta barra y corre viruta	1	-	0:00:53						
44° pieza	1	-	0:01:02						
45° pieza Anulada por error de mecanizado	1	-	0:01:09						
46° pieza	1	-	0:01:05						
47° pieza	1	-	0:01:15						
48° pieza	1	-	0:01:42						
Adelanta barra y corre viruta	1	-	0:00:35						
49° pieza	1	-	0:01:09						
50° pieza	1	-	0:01:22						
51° pieza	1	-	0:01:28						
Adelanta barra y corre viruta	1	-	0:00:42						
52° pieza	1	-	0:01:37						

Tabla 14. Planilla de toma tiempos: primer torneado componente patelar.

Estudio de Tiempos										
Departamento: Producción							Estudio Nº: 0002			Hoja Nº: 1
Operación: Torneado 2							Término: 15:15:00			Comienzo: 14:26:00
Máquina: Torno Nº 10							Tiempo Transcurrido:			Operario: Sosa G.
Herramientas:							Observado por: C.S.C			Fecha: 18/09/2014
Producto: Componente Patelar ø 32				Código:			Comprobado: -			
Plano Nº: -				Material: Plástico UHMWPE						
Calidad: -										
Descripción del elemento	V.	C.	T.R.	T.B.	Descripción del elemento	V.	C.	T.R.	T.B.	
Puesta a punto + 1° pieza	1	-	0:06:31		27° pieza	1	-	0:00:43		
2° pieza	1	-	0:00:59		28° pieza	1	-	0:00:49		
3° pieza	1	-	0:00:41		29° pieza	1	-	0:00:53		
PP extra	1	-	0:04:23		30° pieza	1	-	0:00:55		
4° pieza	1	-	0:00:25		31° pieza	1	-	0:00:47		
5° pieza	1	-	0:00:48		32° pieza	1	-	0:00:53		
6° pieza	1	-	0:00:31		33° pieza	1	-	0:00:47		
7° pieza	1	-	0:00:44		34° pieza	1	-	0:00:39		
8° pieza	1	-	0:00:33		35° pieza	1	-	0:00:48		
9° pieza	1	-	0:00:52		36° pieza	1	-	0:00:34		
10° pieza	1	-	0:00:50		37° pieza	1	-	0:00:41		
11° pieza (habla con comp.)	1	-	0:01:04		38° pieza	1	-	0:00:49		
12° pieza	1	-	0:00:46		39° pieza	1	-	0:00:36		
13° pieza	1	-	0:00:37		40° pieza	1	-	0:00:43		
14° pieza	1	-	0:00:49		41° pieza	1	-	0:00:45		
15° pieza	1	-	0:00:49		42° pieza	1	-	0:00:52		
16° pieza	1	-	0:00:59		43° pieza	1	-	0:00:41		
17° pieza	1	-	0:00:44		44° pieza	1	-	0:00:58		
18° pieza	1	-	0:00:42		45° pieza	1	-	0:00:41		
19° pieza	1	-	0:00:39		46° pieza	1	-	0:00:41		
20° pieza	1	-	0:00:42		47° pieza	1	-	0:00:53		
21° pieza	1	-	0:00:45		48° pieza	1	-	0:00:42		
22° pieza	1	-	0:00:41		49° pieza	1	-	0:00:37		
23° pieza	1	-	0:00:47		50° pieza	1	-	0:00:40		
24° pieza	1	-	0:00:49		51° pieza	1	-	0:00:56		
25° pieza	1	-	0:00:41							
26° pieza	1	-	0:00:51							

Tabla 15. Planilla de toma tiempos: segundo torneado componente patelar.

Estudio de Tiempos									
Departamento: Producción							Estudio N°: 0003 Hoja N°: 1		
Operación: Fresado							Término: 13:07:00		
Máquina: Fresa N° 03							Comienzo: 11:29:00		
Herramientas:							Tiempo Trans: 2:08:00		
Producto: Componente Patelar ø 32							Operario: Nieto A.		
Código:							Observado por: C.S.C		
Plano N°: -				Material: Plástico UHMWPE			Fecha: 22/09/2014		
Calidad: -							Comprobado: -		
Descripción del elemento	V.	C.	T.R.	T.B.	Descripción del elemento	V.	C.	T.R.	T.B.
Puesta a punto + 1° pieza	1	-	0:05:32		28° pieza	1	-	0:01:16	
2° pieza	1	-	0:01:50		29° pieza	1	-	0:01:20	
3° pieza	1	-	0:01:50		30° pieza	1	-	0:01:14	
4° pieza	1	-	0:01:30		Almuerzo	1	-	0:49:00	
5° pieza	1	-	0:01:24		31° pieza	1	-	0:01:38	
6° pieza	1	-	0:01:20		32° pieza (habla con obs.)	1	-	0:01:53	
7° pieza	1	-	0:01:34		33° pieza	1	-	0:01:32	
8° pieza	1	-	0:01:22		34° pieza	1	-	0:01:21	
9° pieza	1	-	0:01:39		35° pieza	1	-	0:01:17	
10° pieza	1	-	0:01:44		36° pieza	1	-	0:01:28	
11° pieza	1	-	0:01:24		37° pieza	1	-	0:01:26	
12° pieza	1	-	0:01:25		38° pieza	1	-	0:01:25	
13° pieza	1	-	0:01:24		39° pieza	1	-	0:01:34	
14° pieza	1	-	0:01:31		40° pieza	1	-	0:01:27	
15° pieza	1	-	0:01:29		41° pieza	1	-	0:01:23	
16° pieza	1	-	0:01:36		42° pieza	1	-	0:01:20	
17° pieza	1	-	0:01:40		43° pieza	1	-	0:01:18	
18° pieza	1	-	0:01:34		44° pieza	1	-	0:01:26	
19° pieza	1	-	0:01:23		45° pieza	1	-	0:01:17	
20° pieza	1	-	0:01:24		46° pieza	1	-	0:01:17	
21° pieza	1	-	0:01:29		47° pieza	1	-	0:01:29	
22° pieza	1	-	0:01:37		48° pieza	1	-	0:01:19	
23° pieza	1	-	0:01:41		49° pieza	1	-	0:01:24	
24° pieza	1	-	0:01:22		50° pieza	1	-	0:01:21	
25° pieza	1	-	0:01:38		51° pieza	1	-	0:01:27	
26° pieza	1	-	0:01:25						
27° pieza	1	-	0:01:24						

Tabla 16. Planilla de toma tiempos: fresado componente patelar.

Estudio de Tiempos									
Departamento: Producción						Estudio N°: 0004 Hoja N°: 1			
Operación: Lijado						Término: 10:49:00			
Máquina: Amoladora S/N						Comienzo: 10:19:00			
Herramientas:						Tiempo Trans: 0:30:00			
Producto: Componente Patelar ø 32						Operario: Maldonado A.			
Plano N°: -						Código:			
Calidad: -						Material: Plástico UHMWPE			
Observado por: C.S.C						Fecha: 23/09/2014			
Comprobado: -									
Descripción del elemento	V.	C.	T.R.	T. B.	Descripción del elemento	V.	C.	T.R.	T. B.
1° pieza (tardanza en cortar	1	-	0:00:49		28° pieza	1	-	0:00:32	
2° pieza (afectado por anterior)	1	-	0:00:41		29° pieza	1	-	0:00:34	
3° pieza	1	-	0:00:44		30° pieza	1	-	0:00:35	
4° pieza	1	-	0:00:40		31° pieza	1	-	0:00:32	
5° pieza	1	-	0:00:42		32° pieza	1	-	0:00:35	
6° pieza	1	-	0:00:36		33° pieza	1	-	0:00:30	
7° pieza	1	-	0:00:37		34° pieza	1	-	0:00:32	
8° pieza	1	-	0:00:37		35° pieza	1	-	0:00:36	
9° pieza	1	-	0:00:37		36° pieza	1	-	0:00:33	
10° pieza	1	-	0:00:33		37° pieza	1	-	0:00:31	
11° pieza	1	-	0:00:39		38° pieza	1	-	0:00:36	
12° pieza	1	-	0:00:33		39° pieza	1	-	0:00:31	
13° pieza	1	-	0:00:35		40° pieza	1	-	0:00:33	
14° pieza	1	-	0:00:36		41° pieza	1	-	0:00:30	
15° pieza	1	-	0:00:34		42° pieza	1	-	0:00:31	
16° pieza	1	-	0:00:35		43° pieza	1	-	0:00:30	
17° pieza	1	-	0:00:34		44° pieza	1	-	0:00:32	
18° pieza	1	-	0:00:34		45° pieza	1	-	0:00:33	
19° pieza	1	-	0:00:34		46° pieza	1	-	0:00:32	
20° pieza	1	-	0:00:35		47° pieza	1	-	0:00:30	
21° pieza	1	-	0:00:35		48° pieza	1	-	0:00:30	
22° pieza (se escapa pieza de las	1	-	0:00:43		49° pieza	1	-	0:00:36	
23° pieza	1	-	0:00:36		50° pieza	1	-	0:00:31	
24° pieza	1	-	0:00:34		51° pieza	1	-	0:00:32	
25° pieza	1	-	0:00:33						
26° pieza	1	-	0:00:39					0:00:49	
27° pieza	1	-	0:00:30						

Tabla 17. Planilla de toma tiempos: lijado componente patelar.

Estudio de Tiempos										
Departamento: Producción							Estudio N°: 0005			Hoja N°: 1
Operación: Pulido							Término: 11:00:00			Comienzo: 10:51:00
Máquina: Pulidora S/N							Tiempo Trans: 0:09:00			Operario: Maldonado A.
Herramientas:							Observado por: C.S.C			Fecha: 23/09/2014
Producto: Componente Patelar ø 32				Código:			Comprobado: -			
Plano N°: -				Material: Plástico UHMWPE						
Calidad: -										
Descripción del elemento	V.	C.	T.R.	T.B.	Descripción del elemento	V.	C.	T.R.	T.B.	
1° pieza	1	-	0:00:13		28° pieza	1	-	0:00:13		
2° pieza	1	-	0:00:12		29° pieza	1	-	0:00:07		
3° pieza	1	-	0:00:11		30° pieza	1	-	0:00:09		
4° pieza	1	-	0:00:09		31° pieza	1	-	0:00:08		
5° pieza	1	-	0:00:09		32° pieza	1	-	0:00:06		
6° pieza	1	-	0:00:10		33° pieza	1	-	0:00:09		
7° pieza	1	-	0:00:08		34° pieza	1	-	0:00:07		
8° pieza	1	-	0:00:11		35° pieza	1	-	0:00:07		
9° pieza	1	-	0:00:12		36° pieza	1	-	0:00:07		
10° pieza	1	-	0:00:10		37° pieza (se cae pieza al piso)	1	-	0:00:24		
11° pieza	1	-	0:00:10		38° pieza	1	-	0:00:11		
12° pieza	1	-	0:00:09		39° pieza	1	-	0:00:08		
13° pieza	1	-	0:00:10		40° pieza	1	-	0:00:10		
14° pieza	1	-	0:00:09		41° pieza	1	-	0:00:09		
15° pieza	1	-	0:00:12		42° pieza	1	-	0:00:11		
16° pieza	1	-	0:00:08		43° pieza	1	-	0:00:12		
17° pieza	1	-	0:00:11		44° pieza	1	-	0:00:11		
18° pieza	1	-	0:00:12		45° pieza	1	-	0:00:13		
19° pieza	1	-	0:00:09		46° pieza	1	-	0:00:08		
20° pieza	1	-	0:00:08		47° pieza	1	-	0:00:10		
21° pieza	1	-	0:00:09		48° pieza	1	-	0:00:10		
22° pieza	1	-	0:00:11		49° pieza	1	-	0:00:12		
23° pieza	1	-	0:00:12		50° pieza	1	-	0:00:10		
24° pieza	1	-	0:00:10		51° pieza	1	-	0:00:11		
25° pieza	1	-	0:00:10							
26° pieza	1	-	0:00:09							
27° pieza	1	-	0:00:09							

Tabla 18. Planilla de toma tiempos: pulido componente patelar.

Estudio de Tiempos									
Departamento: Producción						Estudio Nº: 0006 Hoja Nº: 1			
Operación: Fresado Máquina: Fresa Nº 03 Herramientas:						Término: 14:44:00 Comienzo: 13:54:00 Tiempo Trans: 0:50:00 Operario: Nieto A.			
Producto: Componente Femoral Nº 65					Código:				
Plano Nº: -			Material: Semielaborad Acero 316L			Observado por: C.S.C			
Calidad: -						Fecha: 22/09/2014			
Comprobado: -									
Descripción del elemento	V.	C.	T.R.	T.B.	Descripción del elemento	V.	C.	T.R.	T.B.
Puesta a punto + 1° pieza	1	-	0:06:32						
2° pieza	1	-	0:02:15						
3° pieza parte 1	1	-	0:00:40						
Se rompe hta. = cambio	1	-	0:02:21						
3° pieza parte 2	1	-	0:01:08						
4° pieza	1	-	0:02:48						
5° pieza	1	-	0:02:20						
6° pieza	1	-	0:02:50						
7° pieza	1	-	0:02:48						
8° pieza	1	-	0:03:17						
9° pieza	1	-	0:02:48						
10° pieza	1	-	0:02:38						
11° pieza	1	-	0:02:45						
12° pieza	1	-	0:02:45						
13° pieza	1	-	0:02:16						
14° pieza	1	-	0:02:27						
15° pieza	1	-	0:02:13						
16° pieza	1	-	0:02:52						
17° pieza	1	-	0:02:12						

Tabla 19. Planilla de toma tiempos: fresado componente femoral.

Estudio de Tiempos									
Departamento: Producción						Estudio N°: 0008 Hoja N°: 1			
Operación: Fresado Máquina: Fresa N° 03 Herramientas:						Término: 15:42:00 Comienzo: 14:59:00 Tiempo Transcurrido: Operario: Nieto A.			
Producto: Componente Femoral N° 65			Código:			Observado por: C.S.C			
Plano N°: -			Material: Semielaborad Acero 316L			Fecha: 24/09/2014			
Calidad: -						Comprobado: -			
Descripción del elemento	V.	C.	T.R.	T.B.	Descripción del elemento	V.	C.	T.R.	T.B.
Puesta a punto + 1° pieza	1	-	0:05:27						
Se rompe fresa = cambio	1	-	0:01:50						
2° pieza	1	-	0:02:45						
3° pieza	1	-	0:02:39						
4° pieza	1	-	0:02:51						
5° pieza	1	-	0:02:41						
6° pieza	1	-	0:02:47						
7° pieza	1	-	0:02:38						
8° pieza	1	-	0:02:44						
9° pieza	1	-	0:02:41						
10° pieza	1	-	0:03:05						
11° pieza	1	-	0:02:29						
12° pieza	1	-	0:02:59						
13° pieza	1	-	0:02:51						
14° pieza	1	-	0:03:01						
15° pieza	2	-	0:03:17						
16° pieza	3	-	0:03:04						
17° pieza	4	-	0:02:59						

Tabla 20. Planilla de toma tiempos: fresado componente femoral.

Estudio de Tiempos										
Departamento: Producción							Estudio N°: 0004			Hoja N°: 1
Operación: Lijado							Término: 09:06:00			Comienzo: 07:05:00
Máquina: Amoladora S/N							Tiempo Trans: 2:01:00			Operario: Maldonado A.
Herramientas:										
Producto: Componente Femoral N° 65				Código:			Observado por: C.S.C			
Plano N°: -				Material: Semielaborado Acero 316L			Fecha: 23/09/2014			
Calidad: -							Comprobado: -			
Descripción del elemento	V.	C.	T.R.	T.B.	Descripción del elemento	V.	C.	T.R.	T.B.	
1° pieza (rechazada por grieta)			0:05:59							
2° pieza (rechazada por poro)			0:09:24							
3° pieza			0:13:01							
Pausa operario			0:00:56							
4° pieza (rechazada por poro)			0:11:12							
5° pieza			0:12:15							
6° pieza			0:18:42							
7° pieza (rechazada por poro)			0:10:08							
Pausa por baño y agua			0:03:52							
8° pieza			0:14:14							
Pausa operario			0:01:00							
9° pieza			0:20:08							

Tabla 21. Planilla de toma tiempos: lijado componente femoral.

Estudio de Tiempos										
Departamento: Producción							Estudio N°: 0004			Hoja N°: 1
Operación: Pulido							Término: 11:07:00			Comienzo: 10:06:00
Máquina: Amoladora S/N							Tiempo Trans: 1:01:00			Operario: Ludueña E.
Herramientas:							Observado por: C.S.C			Fecha: 24/09/2014
Producto: Componente Femoral N° 65				Código:			Comprobado: -			
Plano N°: -				Material: Semielaborado Acero 316L						
Calidad: -										
Descripción del elemento	V.	C.	T.R.	T.B.	Descripción del elemento	V.	C.	T.R.	T.B.	
1° pieza			0:09:51							
2° pieza			0:12:15							
Pausa operario			0:00:27							
3° pieza			0:12:08							
4° pieza			0:08:48							
5° pieza			0:16:14							

Tabla 22. Planilla de toma tiempos: pulido componente femoral.

Estudio de Tiempos										
Departamento: Producción							Estudio N°: 0004			Hoja N°: 1
Operación: Granallado							Término: 07:59:00			Comienzo: 07:05:00
Máquina: Amoladora S/N							Tiempo Trans: 0:54:00			Operario: Iudueña E.
Herramientas:							Observado por: C.S.C			Fecha: 23/09/2014
Producto: Componente Femoral N° 65				Código:			Comprobado: -			
Plano N°: -				Material: Semielaborado Acero 316L						
Calidad: -										
Descripción del elemento	V.	C.	T.R.	T.B.	Descripción del elemento	V.	C.	T.R.	T.B.	
Preparación			0:41:24							
1° pieza			0:02:23							
2° pieza			0:02:03							
3° pieza			0:01:52							
4° pieza			0:02:16							
5° pieza			0:01:48							
Desencintado			0:02:36							

Tabla 23. Planilla de toma tiempos: granallado componente femoral.

ANEXO 2: Tratamiento estadístico de los tiempos de producción

De manera general, se realizará para los datos recolectados de la realidad, los siguientes tratamientos estadísticos:

- Se mostrará una tabla, de la cual se extraerán los datos del estudio de tiempo que se consideren excepciones a las actividades propias del proceso, dejando sólo los datos usados para los cálculos. Se muestran, también, la media y la desviación estándar calculada sobre dicha muestra.
- Se calcularán el número de observaciones necesarias en base a los parámetros de la muestra en base a la siguiente fórmula:

$$n = \left(\frac{Z * s}{e} \right)^2$$

Donde Z: nivel de confianza deseado según la distribución normal (se considera 95% nivel de confianza: Z=1,65) y e: error máximo (se considera 0,09 minutos). Entonces, si “n” calculado es menor o igual número de muestras tomado, quiere decir que son suficientes los datos registrados.

- Se analizarán los datos mediante estadística descriptiva, gráfica y pruebas de bondad de ajuste para determinar una distribución que describa su comportamiento.
- Se le realizará pruebas de bondad de ajuste a los datos generados por la simulación una vez configuradas las distribuciones para verificar que se generen los datos correctos.

Para el **componente patelar** se tomó el tiempo a 51 piezas que se obtuvieron de una barra de plástico de aproximadamente un metro de largo.

- Proceso de torneado 1: De estas 51 piezas la primera se utiliza para poner a punto la máquina y las 3 piezas siguientes tardan más de lo normal ya que se utilizan para setear los nonios manuales de la máquina convencional según las medidas especificadas para poder mecanizar 3 piezas seguidas sin frenar el torno. Por esta razón es que se excluirán del análisis para obtener la distribución pero sí se tendrán en cuenta para el cálculo de la puesta a punto ya que se añadirá el tiempo que resulta de restarle a estas piezas consideradas la media de las demás piezas. Esto se debe a que forman parte de la puesta a punto pero se obtienen de estas operaciones piezas bajo especificaciones.

Por otro lado, cada tres piezas, se realiza un adelantamiento de la barra que consiste en aflojar la morsa, sacar más barra hasta un tope prefijado, ajustar la morsa y también limpiar la zona de mecanizado de viruta de la operación anterior. Se sacará un promedio de las veces que se tomó este tiempo cada tres piezas y se dividirá en tres asignando ese extra a cada pieza. Con este dato se hará la evaluación de la distribución de probabilidad.

Por último, se eliminan dos datos de tiempos que superan el tiempo normal por causas ajenas al proceso como por ejemplo contestar consulta de un compañero o hablar con el jefe de planta por determinadas cuestiones, referidos al tiempo de las piezas número 39 y 40.

Con los datos de la tabla se calcula “n” y se obtiene un valor de 20 con lo cual, los 46 datos tomados son suficientes.

De esta forma se evaluará la distribución de probabilidad con el software Infostat, de la siguiente tabla de datos de tiempo de proceso con su respectiva estadística descriptiva:

Tiempo N°	Tiempo Cronometrado	Tiempo (min. Decimal)	Suplemento	Total
1	0:01:15	1,25	0,20	1,45
2	0:01:01	1,02	0,20	1,22
3	0:01:55	1,92	0,20	2,12
4	0:01:18	1,30	0,20	1,50
5	0:01:36	1,60	0,20	1,80
6	0:01:28	1,47	0,20	1,67
7	0:01:18	1,30	0,20	1,50
8	0:01:23	1,38	0,20	1,58
9	0:02:05	2,08	0,20	2,28
10	0:01:20	1,33	0,20	1,53
11	0:01:39	1,65	0,20	1,85
12	0:01:46	1,77	0,20	1,97
13	0:01:20	1,33	0,20	1,53
14	0:01:30	1,50	0,20	1,70
15	0:01:35	1,58	0,20	1,78
16	0:01:14	1,23	0,20	1,43
17	0:01:27	1,45	0,20	1,65
18	0:01:29	1,48	0,20	1,68
19	0:01:13	1,22	0,20	1,42
20	0:01:16	1,27	0,20	1,47
21	0:01:49	1,82	0,20	2,02
22	0:01:23	1,38	0,20	1,58
23	0:01:53	1,88	0,20	2,08
24	0:01:24	1,40	0,20	1,60
25	0:01:31	1,52	0,20	1,72
26	0:01:34	1,57	0,20	1,77
27	0:01:31	1,52	0,20	1,72
28	0:01:28	1,47	0,20	1,67
29	0:01:28	1,47	0,20	1,67
30	0:01:23	1,38	0,20	1,58
31	0:01:59	1,98	0,20	2,18
32	0:01:29	1,48	0,20	1,68
33	0:01:36	1,60	0,20	1,80
34	0:01:26	1,43	0,20	1,63
35	0:01:12	1,20	0,20	1,40
36	0:01:34	1,57	0,20	1,77
37	0:01:44	1,73	0,20	1,93
38	0:01:02	1,03	0,20	1,23
39	0:01:09	1,15	0,20	1,35
40	0:01:05	1,08	0,20	1,28
41	0:01:15	1,25	0,20	1,45
42	0:01:42	1,70	0,20	1,90
43	0:01:09	1,15	0,20	1,35
44	0:01:22	1,37	0,20	1,57
45	0:01:28	1,47	0,20	1,67
46	0:01:37	1,62	0,20	1,82
			Media	1,66
			Desviación Estandar	0,24

Tabla 24. Resumen de tiempos de proceso I.

Medidas resumen

Resumen	Total
n	46,00
Media	1,66
D.E.	0,24
Var(n-1)	0,06
CV	14,67
Mín	1,22
Máx	2,28
Mediana	1,67
Asimetría	0,46

Tabla 25. Estadística descriptiva I

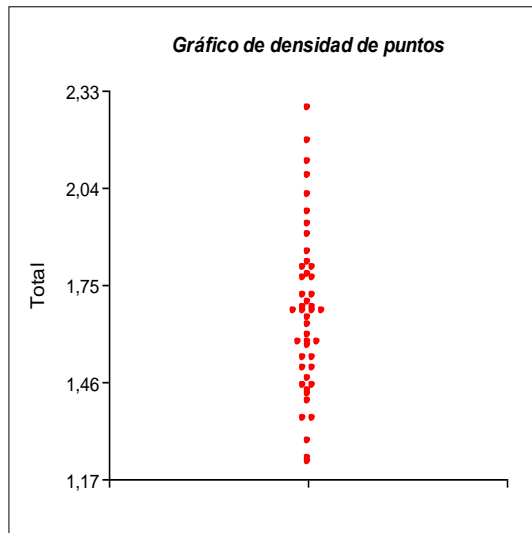


Gráfico 10. Densidad de puntos I

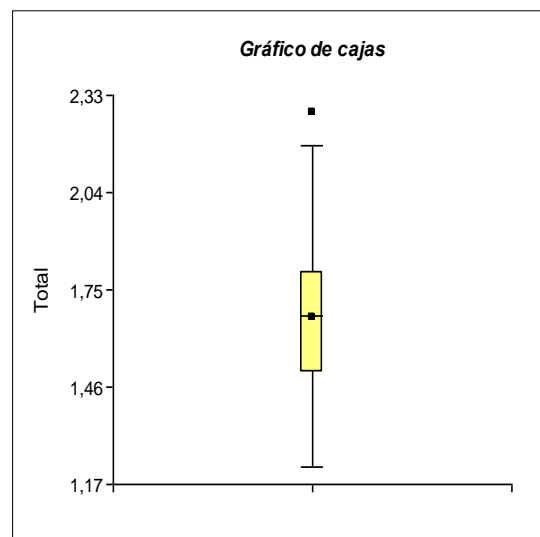


Gráfico 9. Gráfico de cajas I

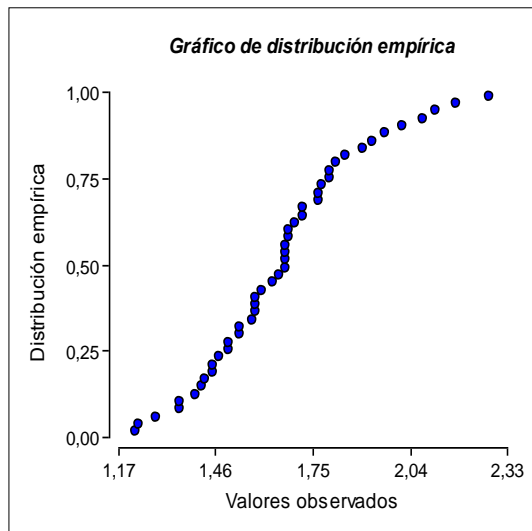


Gráfico 12. Distribución empírica I

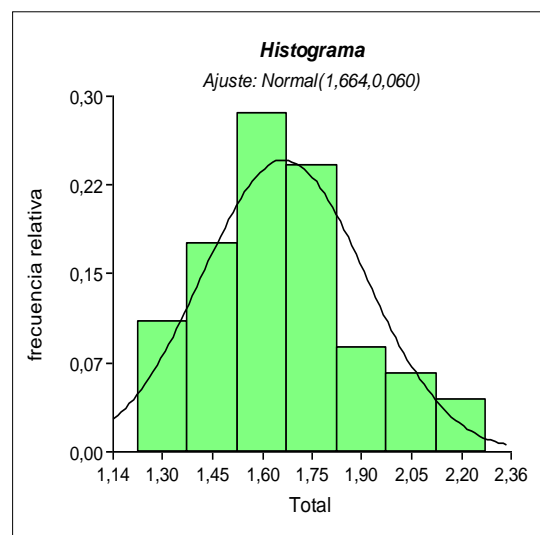


Gráfico 11. Histograma I

Con todos estos datos, podemos inferir que la distribución que persigue el tiempo del primer torneado del componente patelar es de tipo normal. Esto se debe a que la media y la mediana tienen valores muy parecidos lo que se confirma gráficamente en la tabla 25. Tanto el coeficiente de asimetría como el de variación son valores bajos aunque en el límite de lo que se considera aceptable para significar poca variación de datos y simetría en la misma; el signo positivo del coeficiente de asimetría indica la posible existencia de un sesgo a la derecha detectable también en los gráficos. Sin embargo, en el gráfico 9 se observa que la mayor concentración de datos se da cercana a la media y en el gráfico de cajas los brazos del diagrama tienen longitudes similares en ambos extremos lo que indica simetría de la distribución. Se observa también, un dato atípico en el extremo superior el cual puede haberse generado por un error del observador de no haber anotado la causa de dicho retraso como se hizo con los datos anulados. Por otro lado, la gráfica de distribución empírica dibuja una ojiva en forma de “S” característica de la distribución normal. Por último, el histograma muestra que el ajuste normal copia la distribución de frecuencias de manera simétrica fortaleciendo las inferencias del autor.

Para corroborar esta hipótesis de normalidad, se realizará sobre la muestra la prueba denominada Shapiro Wilks. Se tiene como hipótesis nula que la distribución en cuestión es normal.

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Total	46	1,66	0,24	0,96	0,4819

Tabla 26. Prueba de normalidad I

Los resultados de la prueba de normalidad de la tabla X indican que no se rechaza la hipótesis nula debido a que el valor “p” es alto, es decir, que no cae en la zona de rechazo. Se puede concluir, entonces, que el tiempo de proceso del primer torneado para el componente patelar sigue una distribución normal con media 1,66 minutos y desviación estándar de 0,24 minutos.

$$X \sim Normal(\mu, \sigma^2) = Normal(1,664, 0,060)$$

El software de simulación utiliza los mismos parámetros que Infostat para describir la distribución Normal por lo que se traduce en forma directa al mismo.

Se obtiene, a continuación, una prueba de normalidad sobre 50 datos generados por la simulación para corroborar que se esté cumpliendo la distribución asignada.

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Ttorneado1	50	1,68	0,26	0,99	0,9860

Tabla 27. Prueba de normalidad sobre datos simulados I

Se confirma con un “p” valor muy alto y los mismos parámetros obtenidos de la recolección de datos, que los valores simulados responden a la distribución asignada.

- Proceso de torneado 2: De las 51 piezas cuyos tiempos fueron registrados, la primer pieza se toma dentro de la nueva puesta a punto del torno para este segundo proceso y se anula un dato que excede de tiempo debido a que le operario se distrae respondiendo una pregunta de un compañero correspondiente a la pieza N° 11.

Se calcula “n” obteniendo un valor de 5 observaciones por lo que las 49 observaciones son suficientes.

Habiendo hecho estas aclaraciones, se presenta a continuación la tabla con los tiempos de proceso y la respectiva estadística descriptiva realizada con el soft:

Tiempo N°	Tiempo Cronometrado	Tiempo Decimal
1	0:00:59	0,98
2	0:00:41	0,68
3	0:00:25	0,42
4	0:00:48	0,80
5	0:00:31	0,52
6	0:00:44	0,73
7	0:00:33	0,55
8	0:00:52	0,87
9	0:00:50	0,83
10	0:00:46	0,77
11	0:00:37	0,62
12	0:00:49	0,82
13	0:00:49	0,82
14	0:00:59	0,98
15	0:00:44	0,73
16	0:00:42	0,70
17	0:00:39	0,65
18	0:00:42	0,70
19	0:00:45	0,75
20	0:00:41	0,68
21	0:00:47	0,78
22	0:00:49	0,82
23	0:00:41	0,68
24	0:00:51	0,85
25	0:00:43	0,72
26	0:00:49	0,82
27	0:00:53	0,88
28	0:00:55	0,92
29	0:00:47	0,78
30	0:00:53	0,88
31	0:00:47	0,78
32	0:00:39	0,65
33	0:00:48	0,80
34	0:00:34	0,57
35	0:00:41	0,68
36	0:00:49	0,82
37	0:00:36	0,60
38	0:00:43	0,72
39	0:00:45	0,75
40	0:00:52	0,87
41	0:00:41	0,68
42	0:00:58	0,97
43	0:00:41	0,68
44	0:00:41	0,68
45	0:00:53	0,88
46	0:00:42	0,70
47	0:00:37	0,62
48	0:00:40	0,67
49	0:00:56	0,93
	Media	0,75
	Desviación Estandar	0,12

Tabla 28. Resumen de tiempos de proceso II

Medidas resumen

Resumen	Tiempo Decimal
n	49,00
Media	0,75
D.E.	0,12
Var(n-1)	0,01
CV	16,15
Mín	0,42
Máx	0,98
Mediana	0,75
Asimetría	-0,21

Tabla 29. Estadística descriptiva II

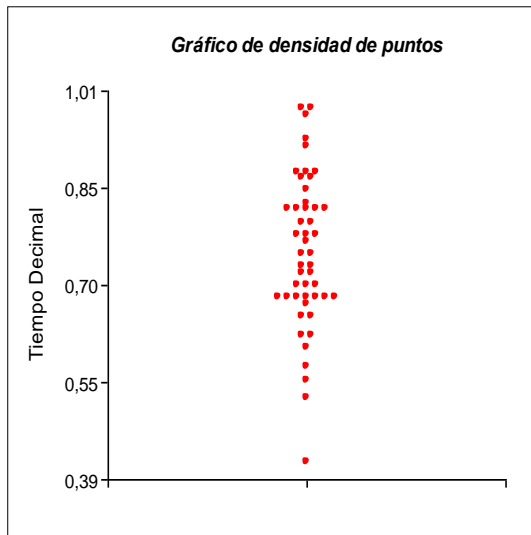


Gráfico 13. Densidad de puntos II

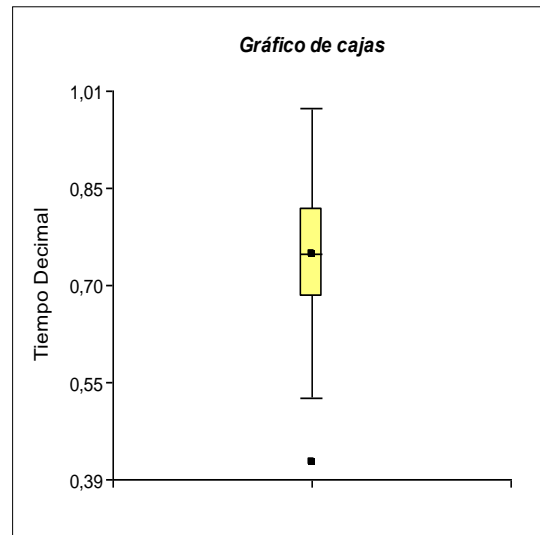


Gráfico 14. Gráfico de cajas II

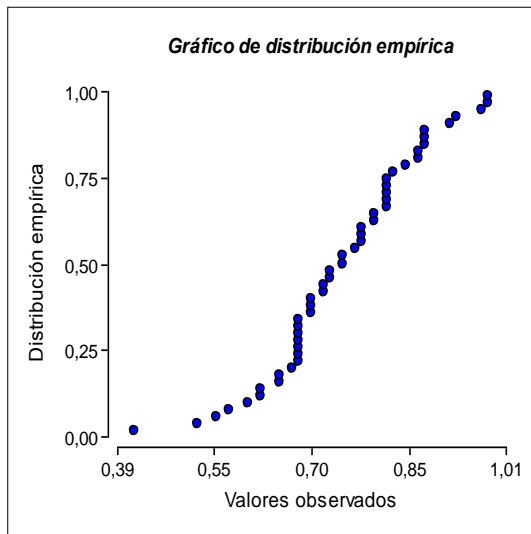


Gráfico 16. Histograma II

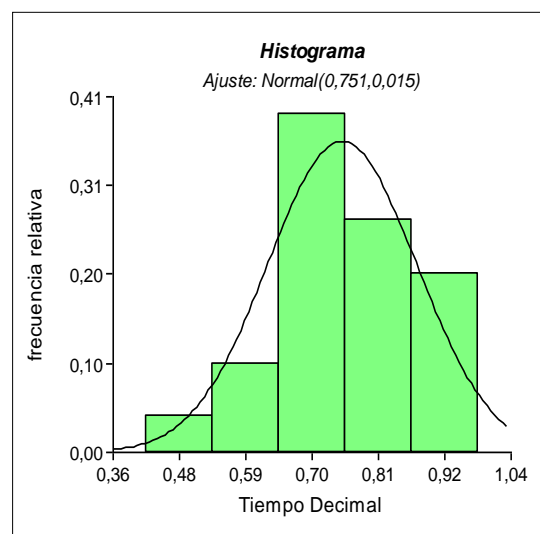


Gráfico 15. Distribución empírica II

Siguiendo el mismo procedimiento anterior, al observar todas estas tablas y gráficos, se puede deducir normalidad en la distribución. Nuevamente, la media y la mediana tienen valores cercanos; los coeficientes de variación y asimetría son bajos, aunque este último tiene ahora signo negativo indicando un sesgo hacia la izquierda el cual es notable en todos los gráficos; existe, también, un dato atípico por debajo de la media correspondiente a la cuarta pieza justo después de que el operario realizara una operación que debería haber realizado como puesta a punto, esto puede haber afectado en una detención temprana del cronómetro; en este análisis, la gráfica de distribución empírica no copia la forma de “S” del todo bien y en el histograma se observa un sesgo notable hacia la izquierda que deja dudas acerca de la normalidad de la distribución. Es por esto que se realiza la prueba de normalidad de Shapiro Wilks para confirmar la hipótesis nula que confirma dicha distribución sugerida.

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Tiempo Decimal	49	0,75	0,12	0,97	0,6928

Tabla 30. Prueba de normalidad II

Los resultados de la prueba confirman la normalidad ya que al ser alto el valor de “p” no se rechaza la hipótesis nula y se reafirma la siguiente distribución de probabilidad:

$$X \sim Normal(\mu, \sigma^2) = Normal \sim (0,751, 0,015)$$

Al igual que en la etapa de proceso anterior, la distribución se traduce en forma directa al software de simulación, utilizando los mismos parámetros.

Se procede a realizar la prueba de normalidad sobre los datos obtenidos de la simulación.

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Torneado2	50	0,75	0,14	0,96	0,3451

Tabla 31. Prueba de normalidad sobre datos simulados II

Se confirma a través del “p” valor y de los parámetros estimados que la distribución simulada se corresponde a la determinada por la recolección de datos.

- Proceso de fresado: Nuevamente de las 51 piezas registradas, la primera pieza se tiene en cuenta junto con el tiempo de puesta a punto y se anula el dato de la pieza número 32 del estudio de tiempos porque el operario se distrae haciéndole una pregunta al observador.

Se calcula “n” obteniendo un valor de 7 para los parámetros de confianza y error fijados, por lo que 49 datos son suficientes para estimar una distribución.

Quedan, entonces, 49 datos sobre los que se hará estadística descriptiva a continuación:

Tiempo N°	Tiempo Cronometrado	Tiempo Decimal
1	0:01:50	1,83
2	0:01:50	1,83
3	0:01:30	1,50
4	0:01:24	1,40
5	0:01:20	1,33
6	0:01:34	1,57
7	0:01:22	1,37
8	0:01:39	1,65
9	0:01:44	1,73
10	0:01:24	1,40
11	0:01:25	1,42
12	0:01:24	1,40
13	0:01:31	1,52
14	0:01:29	1,48
15	0:01:36	1,60
16	0:01:40	1,67
17	0:01:34	1,57
18	0:01:23	1,38
19	0:01:24	1,40
20	0:01:29	1,48
21	0:01:37	1,62
22	0:01:41	1,68
23	0:01:22	1,37
24	0:01:38	1,63
25	0:01:25	1,42
26	0:01:24	1,40
27	0:01:16	1,27
28	0:01:20	1,33
29	0:01:14	1,23
30	0:01:38	1,63
31	0:01:32	1,53
32	0:01:21	1,35
33	0:01:17	1,28
34	0:01:28	1,47
35	0:01:26	1,43
36	0:01:25	1,42
37	0:01:34	1,57
38	0:01:27	1,45
39	0:01:23	1,38
40	0:01:20	1,33
41	0:01:18	1,30
42	0:01:26	1,43
43	0:01:17	1,28
44	0:01:17	1,28
45	0:01:29	1,48
46	0:01:19	1,32
47	0:01:24	1,40
48	0:01:21	1,35
49	0:01:27	1,45
	Media	1,46
	Desviación Estandar	0,14

Tabla 32. Resumen tiempos de proceso III

Medidas resumen

Resumen	Total
n	49,00
Media	1,46
D.E.	0,14
Var(n-1)	0,02
CV	9,82
Mín	1,23
Máx	1,83
Mediana	1,42
Asimetría	0,79

Tabla 33. Estadística descriptiva III

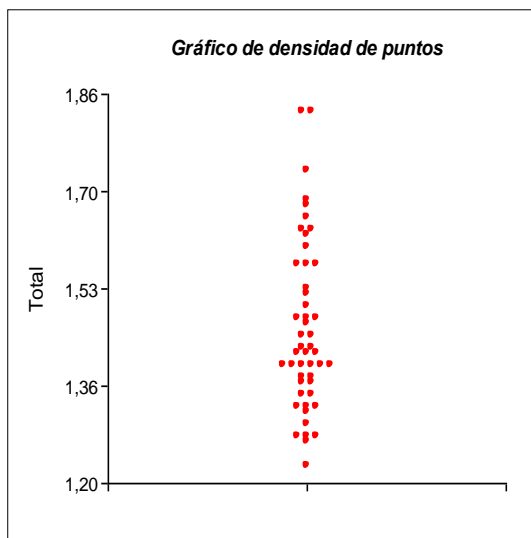


Gráfico 17. Densidad de puntos III

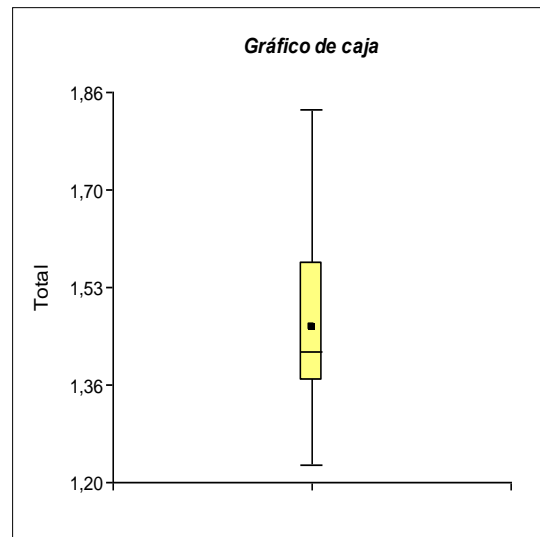


Gráfico 18. Gráfico de cajas III

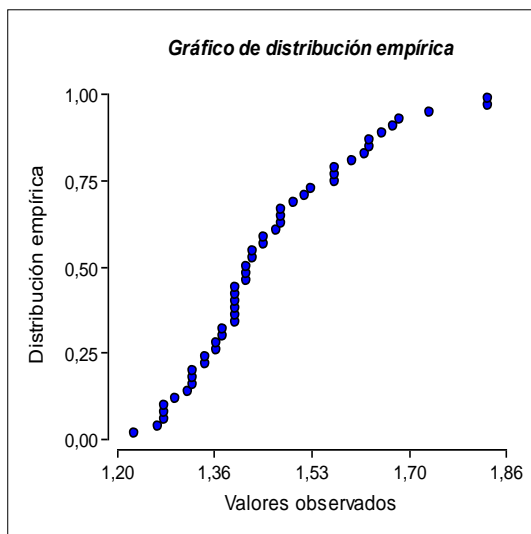


Gráfico 20. Histograma III

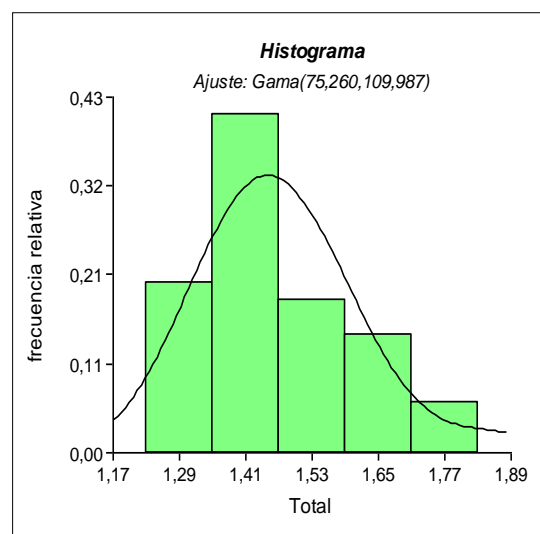


Gráfico 19. Distribución empírica III

Según las medidas resumen, la distribución que persigue esta serie de datos, no es del todo simétrica ya que en el coeficiente de asimetría existe un valor positivo que indica un sesgo positivo. Este sesgo se confirma en el gráfico de caja donde la media es mayor a la mediana y el extremo superior es más largo que el inferior. En el diagrama de puntos también se observa el sesgo hacia la derecha mencionado. A través de los dos últimos gráficos 19 y 20, podemos inferir que la distribución puede llegar a ser de tipo Gamma ya que la gráfica de distribución empírica coincide con su curva característica y en el histograma vemos que el ajuste Gamma es el que mejor describe la distribución.

Para corroborar esta hipótesis nula que afirma que la distribución es Gamma haremos una prueba de hipótesis Chi Cuadrado, con la que se obtienen los siguientes datos:

Ajuste: Gama con estimación de parámetros: Lambda= 75,26005 y r= 109,98719

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR	E(FA)	E(FR)	Chi-Cuadrado	p
Total	1	[1,23	1,35]	1,29	12	0,24	10,54	0,22	0,20	
Total	2	(1,35	1,47]	1,41	18	0,37	15,78	0,32	0,51	
Total	3	(1,47	1,59]	1,53	9	0,18	14,06	0,29	2,33	
Total	4	(1,59	1,71]	1,65	7	0,14	6,39	0,13	2,39	
Total	5	(1,71	1,83]	1,77	3	0,06	2,23	0,05	2,66	0,26

Tabla 34. Prueba de bondad de ajuste III

Se destaca que el “p” valor no cae en zona de rechazo por lo que, se confirma la distribución Gama de la variable bajo análisis, siendo:

$$X \sim \text{Gamma}(\lambda, r) = \text{Gamma}(75,26005, 109,98719)$$

El software Infostat, describe la distribución Gama con parámetros lambda y erre. Sin embargo, el software de simulación Extend, describe a la misma distribución con parámetros “Scale” y “Shape”. Como para la distribución Gama responde a las siguientes fórmulas:

$$E(X) = r/\lambda$$

$$V(X) = r/\lambda^2$$

Y a su vez, según las siguientes fórmulas, la esperanza y la varianza se relacionan con “Scale” (β) y con “Shape” (k) de la siguiente manera:

$$E(X) = k \times \beta$$

$$V(X) = k \times \beta^2$$

Entonces despejando y reemplazando en las fórmulas anteriores, se obtienen las siguientes correspondencias para poder introducir los datos en el software de simulación.

$$\beta = Scale = 1/\lambda$$

$$k = Shape = r$$

De esta forma, se obtienen los parámetros de la distribución para ingresar a Extend:

$$X \sim Gamma(\beta, k) = Gamma(0,01328, 109,98719)$$

Para corroborar que esta distribución genera los datos que precisamos, se correrá una simulación en el software para obtener 50 datos modelados con la distribución descripta recientemente. Estos 50 datos se estudian con Infostat realizándoles una prueba de bondad de ajuste con estimación Gama y se obtienen los siguientes datos:

Ajuste: Gama con estimación de parámetros: Lambda= 76,73660 y r= 110,69996

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR	E(FA)	E(FR)	Chi-Cuadrado	p
Columna1	1	[1,18	1,31]	1,24	7	0,14	7,94	0,16	0,11	
Columna1	2	(1,31	1,43]	1,37	16	0,32	15,78	0,32	0,11	
Columna1	3	(1,43	1,55]	1,49	16	0,32	15,99	0,32	0,11	
Columna1	4	(1,55	1,68]	1,62	9	0,18	7,71	0,15	0,33	
Columna1	5	(1,68	1,80]	1,74	2	0,04	2,58	0,05	0,46	0,7950

Tabla 35. Prueba de bondad de ajuste sobre datos simulados III

Así es, como se verifica que los datos generados responden a una distribución Gama ya que el p valor es muy alto, no rechazando la hipótesis nula. Además, vemos que los valores estimados por el software para los datos analizados, son estrechamente cercanos a los valores estimados para los datos observados originales. De esta forma, concluimos que el software de simulación está estimando valores conforme a lo establecido por el análisis estadístico hecho al muestreo de tiempos de proceso original.

- Proceso de lijado: Este proceso no tiene puesta a punto por lo que todas las piezas se tienen en cuenta para el análisis de la distribución a excepción de la primera y segunda pieza por error del observador en el cronometraje y la pieza número 22 porque se le escapa la pieza de la manos al operario por la presión del disco girando de la amoladora.

Se calcula “n”, obteniendo 1 observación necesaria. Entonces, 48 son más que suficientes para realizar el análisis estadístico.

De esta forma, se obtienen los siguientes 48 datos para el análisis:

Tiempo N°	Tiempo Cronometrado	Tiempo Decimal
1	0:00:44	0,73
2	0:00:40	0,67
3	0:00:42	0,70
4	0:00:36	0,60
5	0:00:37	0,62
6	0:00:37	0,62
7	0:00:37	0,62
8	0:00:33	0,55
9	0:00:39	0,65
10	0:00:33	0,55
11	0:00:35	0,58
12	0:00:36	0,60
13	0:00:34	0,57
14	0:00:35	0,58
15	0:00:34	0,57
16	0:00:34	0,57
17	0:00:34	0,57
18	0:00:35	0,58
19	0:00:35	0,58
20	0:00:36	0,60
21	0:00:34	0,57
22	0:00:33	0,55
23	0:00:39	0,65
24	0:00:30	0,50
25	0:00:32	0,53
26	0:00:34	0,57
27	0:00:35	0,58
28	0:00:32	0,53
29	0:00:35	0,58
30	0:00:30	0,50
31	0:00:32	0,53
32	0:00:36	0,60
33	0:00:33	0,55
34	0:00:31	0,52
35	0:00:36	0,60
36	0:00:31	0,52
37	0:00:33	0,55
38	0:00:30	0,50
39	0:00:31	0,52
40	0:00:30	0,50
41	0:00:32	0,53
42	0:00:33	0,55
43	0:00:32	0,53
44	0:00:30	0,50
45	0:00:30	0,50
46	0:00:36	0,60
47	0:00:31	0,52
48	0:00:32	0,53
	Promedio	0,57
	Desv. Est.	0,05

Tabla 36. Resumen tiempos de proceso IV

Medidas resumen

Resumen	Tiempo Decimal
n	48,00
Media	0,57
D.E.	0,05
Var(n-1)	2,8E-03
CV	9,25
Mín	0,50
Máx	0,73
Mediana	0,57
Asimetría	0,94

Tabla 37. Estadística descriptiva IV

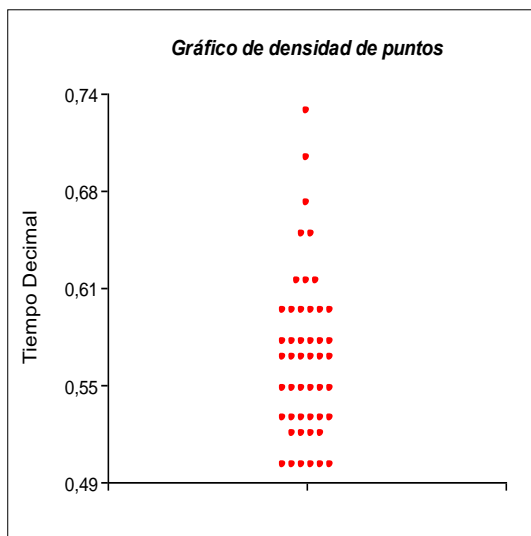


Gráfico 21. Densidad de puntos IV

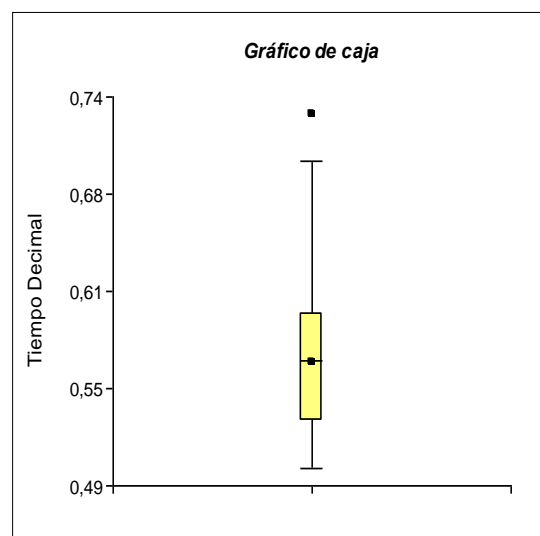


Gráfico 22. Gráfico de cajas IV

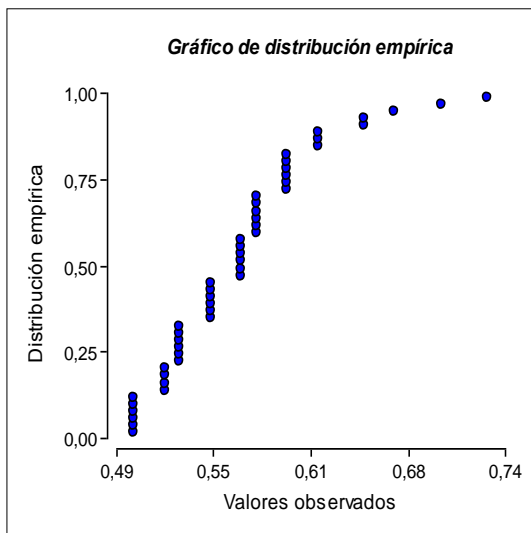


Gráfico 24. Distribución empírica IV

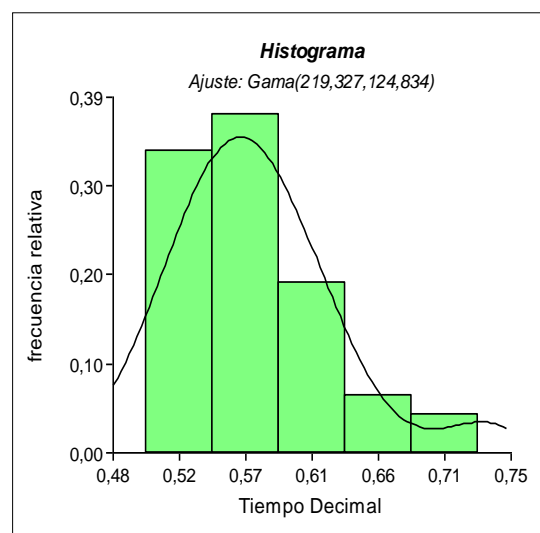


Gráfico 23. Histograma IV

En este proceso, según describe la estadística, la media y la mediana coinciden haciendo inferir simetría pero que se afectada por un valor de asimetría notable igual a la unidad positiva, esto quiere decir que existe un destacado sesgo a la derecha. Esto se ve confirmado en el diagrama de caja donde la longitud del extremo superior es mayor al inferior, notando también un dato atípico en ese mismo sector. El diagrama de puntos marca una densidad de puntos acumulada en los valores inferiores indicando también el sesgo a la derecha. En los últimos dos gráficos podemos ver que un ajuste con distribución Gama es considerado factible, ya que la gráfica de distribución empírica es característica de esta distribución y el ajuste en el histograma parece copiar su forma de manera eficaz.

Se verá, a través de una prueba de bondad de ajuste (Tabla 38), si la variable tiempo de proceso de lijado del componente patelar se puede modelar con una distribución Gama efectivamente.

Ajuste: Gama con estimación de parámetros: Lambda= 219,32704 y r= 124,83364

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR	E(FA)	E(FR)	Chi-Cuadrado	p
Tiempo Decimal	1	[0,50	0,55]	0,52	16	0,33	15,99	0,33	1,0E-05	
Tiempo Decimal	2	(0,55	0,59]	0,57	18	0,38	16,75	0,35	0,09	
Tiempo Decimal	3	(0,59	0,64]	0,62	9	0,19	10,90	0,23	0,43	
Tiempo Decimal	4	(0,64	0,68]	0,66	3	0,06	3,25	0,07	0,45	
Tiempo Decimal	5	(0,68	0,73]	0,71	2	0,04	1,11	0,02	1,16	0,5607

Tabla 38. Prueba de bondad de ajuste IV

De esta forma, el valor de “p” confirma que la distribución Gama, con esos parámetros estimados, es una buena aproximación al comportamiento de la variable.

$$X \sim \text{Gamma}(\lambda, r) = \text{Gamma}(219,32704, 124,83364)$$

Al igual que en la etapa de proceso anterior, se cambian los parámetros de la distribución para poder traducirla al modelo de simulación, quedando de la siguiente manera:

$$X \sim \text{Gamma}(\beta, k) = \text{Gamma}(0,00456, 124,83364)$$

Por último, se presenta una nueva prueba de bondad de ajuste con ajuste Gamma para corroborar que los datos simulados se correspondan a la distribución recién obtenida.

Ajuste: Gama con estimación de parámetros: Lambda= 208,77308 y r= 118,98488

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR	E(FA)	E(FR)	Chi-Cuadrado	p
Tlijado CP	1	[0,46	0,50]	0,48	11	0,11	9,26	0,09	0,33	
Tlijado CP	2	(0,50	0,54]	0,52	21	0,21	22,05	0,22	0,38	
Tlijado CP	3	(0,54	0,58]	0,56	30	0,30	30,87	0,31	0,40	
Tlijado CP	4	(0,58	0,63]	0,61	25	0,25	23,69	0,24	0,48	
Tlijado CP	5	(0,63	0,67]	0,65	10	0,10	10,15	0,10	0,48	
Tlijado CP	6	(0,67	0,71]	0,69	3	0,03	3,99	0,04	0,72	0,8677

Tabla 39. Prueba de bondad de ajuste sobre datos simulados IV

Se corrobora con un “p” valor alto y parámetros similares que los valores simulados responden a la distribución planteada.

- Proceso de pulido: Este proceso tampoco lleva puesta a punto por lo que se consideran todas las piezas como dato excepto la pieza número 37 que se le cae al piso al operario y debe agacharse a buscarla para retomar el pulido y la pieza número 32 donde hubo un error del observador. Se presenta a continuación en la tabla 40 los datos a procesar en el software estadístico.

Pieza N°	Tiempo Cronometrado	Tiempo Decimal
1	0:00:13	0,22
2	0:00:12	0,20
3	0:00:11	0,18
4	0:00:09	0,15
5	0:00:09	0,15
6	0:00:10	0,17
7	0:00:08	0,13
8	0:00:11	0,18
9	0:00:12	0,20
10	0:00:10	0,17
11	0:00:10	0,17
12	0:00:09	0,15
13	0:00:10	0,17
14	0:00:09	0,15
15	0:00:12	0,20
16	0:00:08	0,13
17	0:00:11	0,18
18	0:00:12	0,20
19	0:00:09	0,15
20	0:00:08	0,13
21	0:00:09	0,15
22	0:00:11	0,18
23	0:00:12	0,20
24	0:00:10	0,17
25	0:00:10	0,17
26	0:00:09	0,15
27	0:00:09	0,15
28	0:00:13	0,22
29	0:00:07	0,12
30	0:00:09	0,15
31	0:00:08	0,13
32	0:00:09	0,15
33	0:00:07	0,12
34	0:00:07	0,12
35	0:00:07	0,12
36	0:00:11	0,18
37	0:00:08	0,13
38	0:00:10	0,17
39	0:00:09	0,15
40	0:00:11	0,18
41	0:00:12	0,20
42	0:00:11	0,18
43	0:00:13	0,22
44	0:00:08	0,13
45	0:00:10	0,17
46	0:00:10	0,17
47	0:00:12	0,20
48	0:00:10	0,17
49	0:00:11	0,18
	Promedio	0,17
	Desviación Estandar	0,03

Tabla 40. Resumen tiempos de proceso V

Medidas resumen

Resumen	Tiempo Decimal
n	49,00
Media	0,17
D.E.	0,03
Var(n-1)	7,8E-04
CV	16,91
Mín	0,12
Máx	0,22
Mediana	0,17
Asimetría	0,11

Tabla 41. Estadística descriptiva V

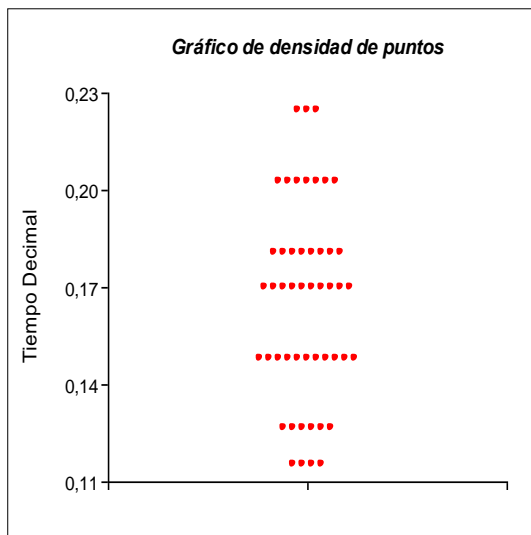


Gráfico 25. Densidad de puntos V

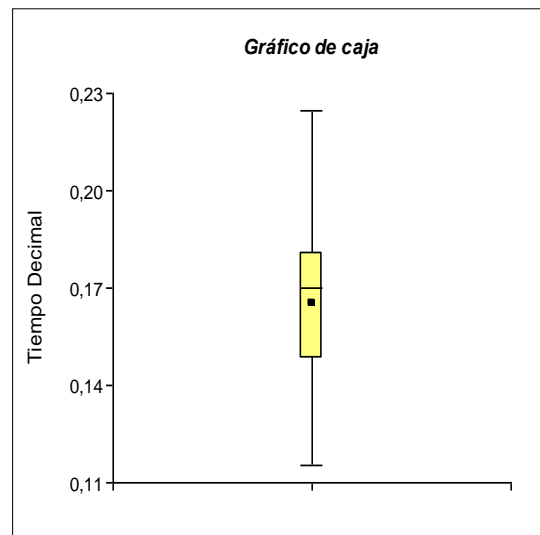


Gráfico 26. Gráfico de cajas V

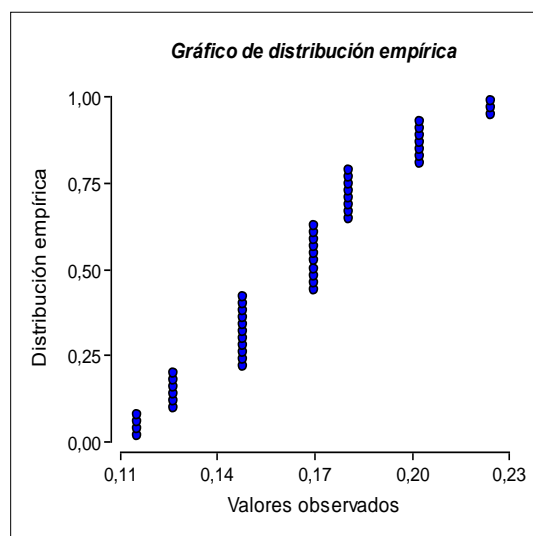


Gráfico 28. Distribución empírica V

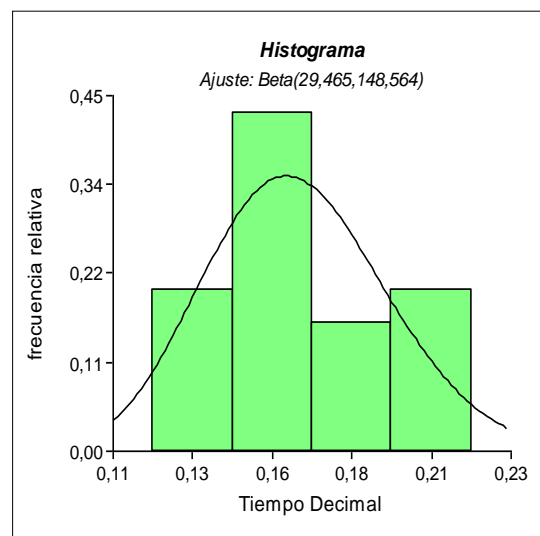


Gráfico 27. Histograma V

A través de la estadística descriptiva podemos notar que la gráfica de la distribución es simétrica ya que tanto media como mediana tienen un valor de 0,17. Además, el coeficiente de asimetría tiene un valor bajo, levemente positivo que indica un sesgo a la derecha menor. Esta simetría también se observa en el gráfico de cajas, donde los extremos tienen longitudes similares y la densidad de puntos está aparentemente simétrica. Es difícil, para esta variable, estimar con seguridad una distribución probable ya que ningún ajuste sobre el histograma copia la distribución de frecuencias relativas. Sin embargo, podemos notar que un ajuste de distribución Beta podría describir el comportamiento de la variable bajo estudio. Se realiza para esto una prueba de bondad de ajuste.

Ajuste: Beta con estimación de parámetros: alfa= 29,46475 y beta= 148,56357

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR	E(FA)	E(FR)	Chi-Cuadrado	p
Tiempo Decimal	1	[0,12	0,14	0,13	10	0,20	8,88	0,18	0,14	
Tiempo Decimal	2	(0,14	0,16	0,15	11	0,22	12,62	0,26	0,35	
Tiempo Decimal	3	(0,16	0,18	0,17	18	0,37	13,28	0,27	2,03	
Tiempo Decimal	4	(0,18	0,20	0,19	7	0,14	8,77	0,18	2,38	
Tiempo Decimal	5	(0,20	0,22	0,21	3	0,06	5,45	0,11	3,48	0,1753

Tabla 42. Prueba de bondad de ajuste V

El “p” valor no es lo suficientemente elevado para dar seguridad absoluta del no rechazo de la hipótesis nula aunque en conjunto con la estadística descriptiva se puede decidir que dicha distribución sí describe el comportamiento de la variable. Además, como dijimos anteriormente no es factible describir dicho comportamiento con otra distribución ya que no concuerda según la estadística descriptiva así que se tomará como suficiente el valor de “p” de 0,17 para no rechazar la hipótesis nula.

$$X \sim \text{Beta}(\alpha, \beta) = \text{Beta}(29,46, 148,56)$$

Se evaluará mediante una prueba de bondad de ajuste, sobre los datos simulados, que la simulación genere los datos correctos.

Ajuste: Beta con estimación de parámetros: alfa= 34,95512 y beta= 174,49617

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR	E(FA)	E(FR)	Chi-Cuadrado	p
Tpulido CP	1	[0,10	0,13	0,12	4	0,04	4,96	0,05	0,19	
Tpulido CP	2	(0,13	0,15	0,14	25	0,25	18,85	0,19	2,20	
Tpulido CP	3	(0,15	0,17	0,16	26	0,26	32,14	0,32	3,37	
Tpulido CP	4	(0,17	0,19	0,18	29	0,29	27,08	0,27	3,50	
Tpulido CP	5	(0,19	0,21	0,20	13	0,13	12,67	0,13	3,51	
Tpulido CP	6	(0,21	0,23	0,22	3	0,03	4,31	0,04	3,91	0,2713

Tabla 43. Prueba de bondad de ajuste sobre datos simulados V

Se confirma que los datos generados por la simulación son correctos gracias a un “p” valor significativo y valores de parámetros cercanos a los determinados mediante las pruebas sobre la recolección de información.

En cuanto al **componente femoral**, el manejo de los lotes es distinto ya que se fabrica desde una pieza microfundida que ingresa a la empresa semielaborada, por lo tanto, se distribuyen los lotes por unidades. Para el proceso de fresado, los lotes serán mayores y de cantidades dependiendo de lo que el proveedor envíe. Por ello, se tomó en cuenta dos estudios de tiempos con dos lotes de distintas cantidades que serán detallados más adelante. Para el proceso de lijado, pulido y granallado, los lotes son mucho menores porque el trabajo es mucho más lento y fino.

- Proceso de fresado: Se tomaron dos estudios de tiempos realizados sobre un lote de 17 piezas y otro de 14 piezas. En ambos, la primera pieza se considera dentro de la puesta a punto de la máquina. En el primer estudio, se anula el valor de tiempo de la tercera pieza ya que se rompe la herramienta y el operario debe cambiarla cortando el proceso de la misma. En el segundo estudio, no se anula ningún valor ya que no se registró ninguna anomalía en el desempeño de la operación. Quedan así, 30 datos con los que se averiguará mediante el software Infostat, la distribución que modela su comportamiento.

Se calcula “n” obteniendo un valor de 27 con lo cual, 30 datos son suficientes para estimar una distribución de probabilidad según los parámetros de confianza y error establecidos.

Tiempo N°	Tiempo Cronometrado	Tiempo Decimal
1	0:02:15	2,25
2	0:02:48	2,80
3	0:02:20	2,33
4	0:02:50	2,83
5	0:02:48	2,80
6	0:03:17	3,28
7	0:02:48	2,80
8	0:02:38	2,63
9	0:02:45	2,75
10	0:02:45	2,75
11	0:02:16	2,27
12	0:02:27	2,45
13	0:02:13	2,22
14	0:02:52	2,87
15	0:02:12	2,20
16	0:02:45	2,75
17	0:02:39	2,65
18	0:02:51	2,85
19	0:02:41	2,68
20	0:02:47	2,78
21	0:02:38	2,63
22	0:02:44	2,73
23	0:02:41	2,68
24	0:03:05	3,08
25	0:02:29	2,48
26	0:02:59	2,98
27	0:02:51	2,85
28	0:03:01	3,02
29	0:03:17	3,28
30	0:03:04	3,07
31	0:02:59	2,98
	Promedio	2,68
	Desviación Estandar	0,29

Tabla 44. Resumen tiempos de proceso VI

Medidas resumen

Resumen	Columna1
n	31,00
Media	2,73
D.E.	0,29
Var(n-1)	0,08
CV	10,44
Mín	2,20
Máx	3,28
Mediana	2,75
Asimetría	-0,21

Tabla 45. Estadística descriptiva VI

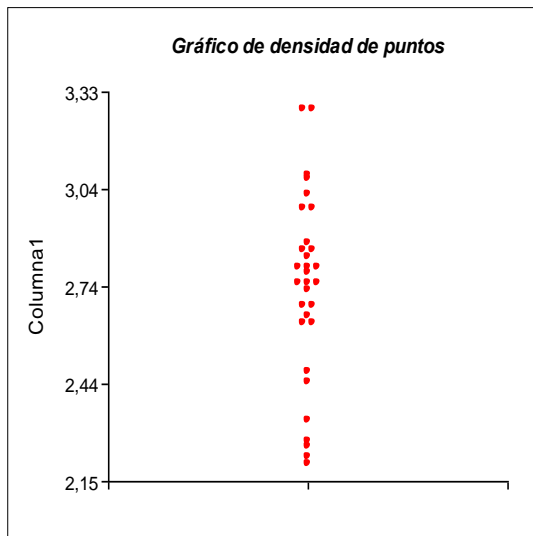


Gráfico 29. Densidad de puntos VI

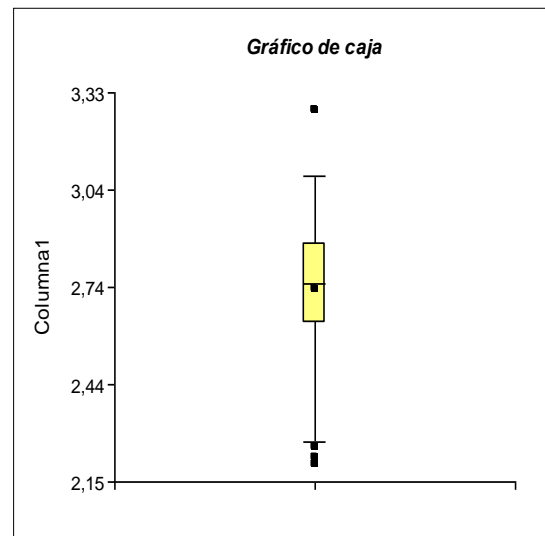


Gráfico 30. Gráfico de cajas VI

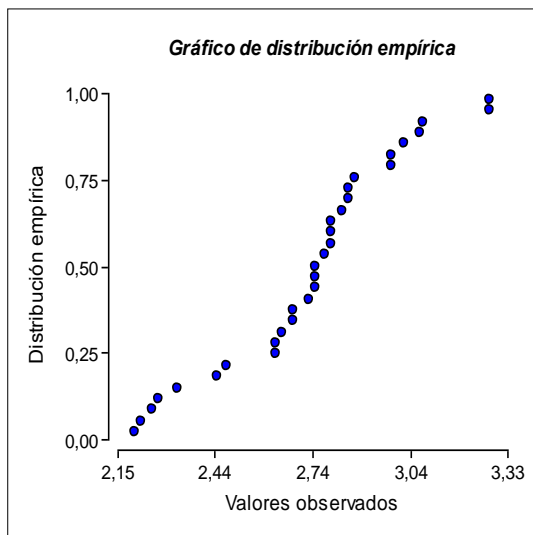


Gráfico 32. Distribución empírica VI

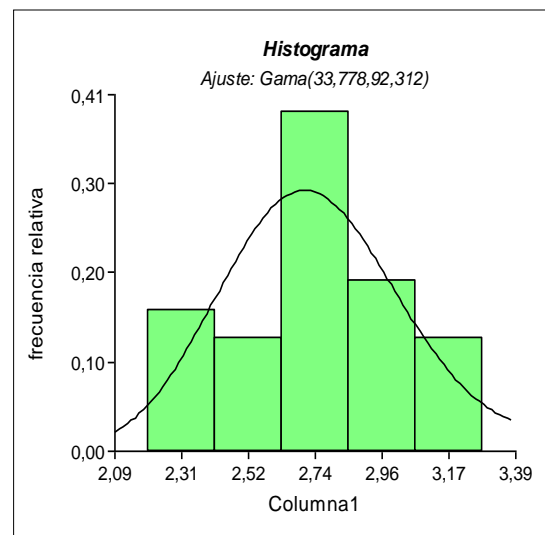


Gráfico 31. Histograma VI

A través de la estadística descriptiva, se puede observar que la gráfica tiene un muy bajo coeficiente de variación y de asimetría, indicando simetría en la distribución, aunque con un signo negativo que se refiere a un sesgo negativo menor. Sin embargo, la mediana es levemente mayor que la media, lo cual genera dudas acerca de la simetría. En el gráfico de caja, esto se nota a simple vista sin embargo los extremos tienen longitudes similares y el gráfico de densidad de puntos también demuestra cierta simetría en la distribución. Por su parte, el gráfico de distribución empírica no define una distribución en particular pero en el histograma, se puede observar que un ajuste gama podría describir el comportamiento de la variable bajo estudio. Es por esto, que se realiza una prueba de bondad de ajuste Chi Cuadrado para comprobar la inferencia realizada.

Ajuste: Gama con estimación de parámetros: Lambda= 33,77812 y r= 92,31234

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR	E(FA)	E(FR)	Chi-Cuadrado	p
Columna1	1	[2,20	2,42]	2,31	5	0,16	4,04	0,13	0,23	
Columna1	2	(2,42	2,63]	2,52	4	0,13	7,52	0,24	1,88	
Columna1	3	(2,63	2,85]	2,74	12	0,39	9,15	0,30	2,77	
Columna1	4	(2,85	3,06]	2,96	6	0,19	6,42	0,21	2,79	
Columna1	5	(3,06	3,28]	3,17	4	0,13	3,87	0,12	2,80	0,2468

Tabla 46. Prueba de bondad de ajuste VI

El “p” valor obtenido es lo suficientemente alto para decidir no rechazar la hipótesis nula y definir que el comportamiento de la variable sigue una distribución Gama con los siguientes parámetros.

$$X \sim \text{Gamma}(\lambda, r) = \text{Gamma}(33,77812, 92,31234)$$

Al igual que antes, se cambian los parámetros de la distribución para poder traducirla al modelo de simulación, quedando de la siguiente manera:

$$X \sim \text{Gamma}(\beta, k) = \text{Gamma}(0,02960, 92,31234)$$

Se realiza una prueba de bondad de ajuste con ajuste Gamma sobre los tiempos simulados para corroborar sobre la distribución a la que responden.

Ajuste: Gama con estimación de parámetros: Lambda= 43,74607 y r= 120,54077

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR	E(FA)	E(FR)	Chi-Cuadrado	p
Tfresado CF	1	[2,19	2,41]	2,30	4	0,08	4,13	0,08	4,2E-03	
Tfresado CF	2	(2,41	2,64]	2,53	12	0,24	12,42	0,25	0,02	
Tfresado CF	3	(2,64	2,87]	2,75	18	0,36	17,35	0,35	0,04	
Tfresado CF	4	(2,87	3,09]	2,98	11	0,22	11,39	0,23	0,06	
Tfresado CF	5	(3,09	3,32]	3,20	5	0,10	4,70	0,09	0,08	0,9630

Tabla 47. Prueba de bondad de ajuste sobre datos simulados VI

Se confirma entonces que la simulación genera datos de acuerdo a la distribución planteada ya que el “p” valor es alto y los parámetros estimados similares a los originales.

- Proceso de lijado, pulido y granallado:

En esta etapa del procesamiento de los femorales, la obtención de datos se tornó más difícil, ya que el lijado, pulido y granallado de este componente requiere de un turno de trabajo completo para lograr sólo 5 piezas terminadas. Esto se debe a que, siendo el proceso puramente manual, las duraciones del mismo se hacen muy prolongadas y con mucha variabilidad entre ellas.

El lijado consiste en mejorar la terminación de la pieza quitando imperfecciones que pudieran afectar el funcionamiento de la prótesis o la estética de la misma, por esta razón es que variará mucho el tiempo que lleva lijar un femoral debido a que depende de la condición de la materia prima, la habilidad y capacidad de inspección del operario, las veces que frena la operación el operario para inspeccionar cuidadosamente la pieza, la cantidad de veces que sumerge la pieza en agua debido al calentamiento de la misma por la fricción que sufre al lijarse, etc.

El pulido, por su parte, implica dejar una superficie espejada en toda la parte superior de la pieza por lo que también lleva su tiempo e implica grandes variabilidades porque depende mucho de las mismas cuestiones mencionadas anteriormente para el lijado. En especial, la capacidad de inspección de la pieza entre pulida y pulida para determinar que la superficie no tiene ninguna raya visible y que la terminación es la deseada de manera uniforme.

El granallado es más simple ya que se realiza con la ayuda de una máquina, haciendo la operación menos manual a comparación con las dos anteriores. Sin

embargo, requiere mucho tiempo ya que se debe encintar la pieza en toda la superficie espejada para que la misma no se vea afectada por el granallado durante la operación. La pieza debe encintarse con varias capas debido a que la granalla consiste en disparar contra la pieza un chorro de microesferas de vidrio a alta presión que le dará una mejor terminación a la parte inferior de la pieza. Esta presión puede levantar la cinta y generar granalla en pulido, lo que implicaría un repaso de dicha superficie para lograr volver a la superficie espejada deseada.

Debido a la imposibilidad de tomar muchos datos por cuestiones de tiempo y disponibilidad, se considerarán sólo cinco datos para cada uno de estos procesos. Se tomará un promedio de los mismos y se supondrá una distribución constante a ese valor promedio ya que los datos no son suficientes para realizar una prueba de bondad de ajuste y debido a su variabilidad deberían tomarse inmensas cantidades de datos ($n= 4193$ para lijado; $n=2752$ para pulido y $n= 21$ para granallado) para lograr una cantidad que permita tomar una decisión fiable respecto de su comportamiento como distribución probabilística.

Pieza N°	Tiempo Cr.	Total
1	0:13:01	13,02
2	0:12:15	12,25
3	0:18:42	18,70
4	0:14:14	14,23
5	0:20:08	20,13
	Promedio	15,67

Tabla 48. Resumen tiempos de proceso VII

$$X_{lijado} \sim Cte(C) = Cte(15,67)$$

Pieza N°	Tiempo Cr.	Total
1	0:09:51	9,85
2	0:12:15	12,25
3	0:12:08	12,13
4	0:08:48	8,80
5	0:16:14	16,23
	Promedio	11,85

Tabla 49. Resumen tiempos de proceso VIII

$$X_{pulido} \sim Cte(C) = Cte(11,85)$$

Pieza N°	Tiempo Cr.	Total
1	0:02:23	2,38
2	0:02:03	2,05
3	0:01:52	1,87
4	0:02:16	2,27
5	0:01:48	1,80
	Promedio	2,07

Tabla 50. Resumen tiempos de proceso IX

$$X_{granallado} \sim Cte(C) = Cte(2,07)$$

ANEXO 3: Procedimiento y Registros de Mantenimiento.

	MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS	<u>Documento:</u> PRO-6.3.0-01 <u>Versión:</u> 1.0 <u>Vigencia:</u>
	PROCEDIMIENTO OPERATIVO	Página 155 de 174

1- OBJETIVO

Establecer los procedimientos y acciones de mantenimiento preventivo y correctivo para todas las máquinas del sector productivo como así también, brindar los lineamientos necesarios para el seguimiento y la evaluación del desempeño de los mismos.

2- ALCANCE

Este procedimiento se aplica a todas las máquinas del sector productivo y al personal responsable de las mismas de la empresa *PRIMA IMPLANTES S.A.*

3- RESPONSABILIDADES

La responsabilidad de ejecutar y registrar las tareas de mantenimiento preventivo autónomo son los operarios que trabajan asignados a cada máquina.

La responsabilidad de registrar las órdenes de mantenimiento es conjunta, tanto del operario solicitante como del encargado de mantenimiento.

El responsable de ejecutar las actividades de mantenimiento correctivo es el encargado de mantenimiento o, en su defecto, el jefe de planta que deben decidir la forma en que se reparará el daño y la necesidad de terciarizar dicha actividad.

4- DOCUMENTOS DE REFERENCIA

ISO 9000:2005. Sistemas de gestión de calidad. Fundamentos y vocabulario.

ISO 9001:2000. Sistema de Gestión de la Calidad. Requisitos.

Elaborado:	Revisado:	Aprobado:
Cargo:	Cargo:	Cargo:
Fecha:	Fecha:	Fecha:
Firma	Firma	Firma

El presente documento contiene información propiedad de **PRIMA IMPLANTES S.A.**

Su uso es exclusivo de la persona o entidad a la que se encuentra dirigido, no debiendo divulgarse su contenido.

	MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS	<u>Documento:</u> PRO-6.3.0-01 <u>Versión:</u> 1.0 <u>Vigencia:</u>
	PROCEDIMIENTO OPERATIVO	Página 2 de 174

5- DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

Mantenimiento Preventivo (MP): Actividades que permiten la planificación, construcción de estándares y revisiones sistemáticas con el fin de detectar señales de mal funcionamiento en las máquinas.

Mantenimiento Correctivo (MC): Actividades que permiten la intervención inmediata en la máquina para restablecer a la brevedad una parada de la misma debido a una falla en su funcionamiento o avería de uno de sus componentes.

Mantenimiento Autónomo (MA): Actividades simples realizadas por los mismos operarios usuarios de las máquinas que permiten detectar señales fuera de lo común con anticipación y así poder analizarlas con detenimiento para evitar una falla futura.

Orden de Mantenimiento (OM): Solicitud de mantenimiento por parte de un operario al encargado de mantenimiento ante la detección de una anomalía o falla.

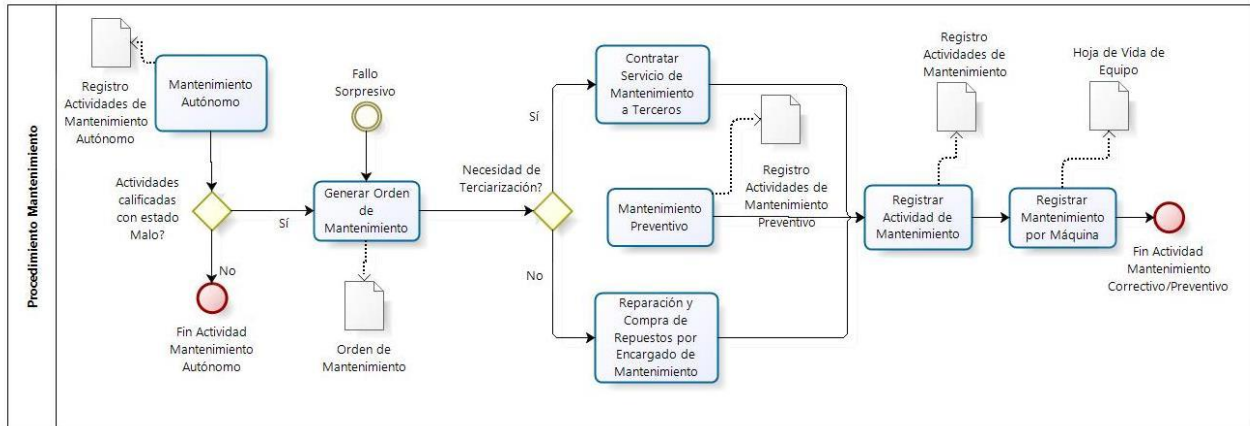
Acción Correctiva (AC): acción tomada para eliminar las causas de una no conformidad detectada u otra situación indeseable

6- DESARROLLO

Elaborado:	Revisado:	Aprobado:
Cargo:	Cargo:	Cargo:
Fecha:	Fecha:	Fecha:
Firma	Firma	Firma

El presente documento contiene información propiedad de **PRIMA IMPLANTES S.A.**
 Su uso es exclusivo de la persona o entidad a la que se encuentra dirigido, no debiendo divulgarse su contenido.

6.1 DIAGRAMA DE FLUJO SERVICIO DE MANTENIMIENTO



6.1.1 Todo operario de la empresa *PRIMA IMPLANTES S.A.* participa del MA registrando la actividad en el *REG-6.3.0-01-01* donde se debe asentar el estado del componente o mecanismo revisado calificándolo con B: Bueno, R: Regular, M: Malo de acuerdo a la frecuencia establecida para cada actividad y con X: No Corresponde de acuerdo a la existencia de fines de semana no laborales o feriados para las frecuencias diarias.

6.2.1 Todo operario de la empresa *PRIMA IMPLANTES S.A.* debe generar una OM (*REG-6.3.0-01-02*) ante la detección de mal estado de los componentes o mecanismos revisados a través del MA o ante la aparición de una falla sorpresiva en cualquiera de las máquinas. Esta OM debe ser solicitada al encargado de mantenimiento explicando el problema hallado y, firmada tanto por el operario solicitante como por el encargado de mantenimiento que queda notificado de la avería y asume la responsabilidad de dar solución a la misma de acuerdo a la prioridad asignada a dicha orden.

Elaborado:	Revisado:	Aprobado:
Cargo:	Cargo:	Cargo:
Fecha:	Fecha:	Fecha:
Firma	Firma	Firma

El presente documento contiene información propiedad de **PRIMA IMPLANTES S.A.**
 Su uso es exclusivo de la persona o entidad a la que se encuentra dirigido, no debiendo divulgarse su contenido.

- 6.3.1** De acuerdo a la gravedad de la falla y los conocimientos del encargado de mantenimiento se decidirá la necesidad de terciarizar la actividad llamando al proveedor de service oficial de la marca de la máquina con problemas, si existiera, o una empresa proveedora de servicios de mantenimiento que pueda resolver el caso. De no necesitar terciarizar la actividad, el encargado de mantenimiento será el responsable de determinar las necesidades de repuestos y horas hombre para solucionar la falla, debiendo comprar los mismos y llevar a cabo la acción correctiva de manera que la máquina quede nuevamente en funcionamiento. Si la acción correctiva implicara una solución temporaria, se debe dejar abierta la orden de mantenimiento hasta tanto se lleve a cabo una acción correctiva permanente.
- 6.4.1** El encargado de mantenimiento es el responsable de llevar a cabo las actividades del plan de mantenimiento preventivo (*REG-6.3.0-01-03*) donde se detallan las acciones esporádicas que deben realizarse sobre las máquinas para prevenir futuras averías que pudieran generar un paro total en la producción. Estas actividades son más complejas en comparación de las necesarias por el plan de mantenimiento autónomo por lo que debe realizarlas alguien con los conocimientos suficientes y esta persona es el encargado de mantenimiento.
- 6.5.1** Para cada OM y actividades de mantenimiento preventivo se debe completar como mínimo un *REG-6.3.0-01-03 (Registro de Actividades de Mantenimiento)* donde se detallan las causas y naturaleza de la avería, la acción correctiva asociada y el responsable de llevar a cabo la misma. Puede haber adjuntos más de un registro de actividades de mantenimiento cuando es necesario llevar a cabo a una acción correctiva temporaria para reanudar el funcionamiento de la máquina a la brevedad y luego, se realiza la acción correctiva permanente que dará por terminada la OM.
- 6.6.1** Por último, se registrarán todas las actividades de mantenimiento realizadas sobre una misma máquina en la “Hoja de Vida de Equipo” (*REG-6.3.0-01-04*) que permite llevar un seguimiento de los repuestos cambiados de manera de generar información útil para determinar plazos fijos de cambio de piezas y zonas críticas por máquina.

Elaborado:	Revisado:	Aprobado:
Cargo:	Cargo:	Cargo:
Fecha:	Fecha:	Fecha:
Firma	Firma	Firma

El presente documento contiene información propiedad de **PRIMA IMPLANTES S.A.**
 Su uso es exclusivo de la persona o entidad a la que se encuentra dirigido, no debiendo divulgarse su contenido.



MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS

Documento: PRO-6.3.0-01
Versión: 1.0
Vigencia:

PROCEDIMIENTO OPERATIVO

Página 5 de 174

7- DOCUMENTOS ASOCIADOS

REG-6.3.0-01-01 REGISTRO PLAN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO
REG-6.3.0-01-02 ORDEN DE MANTENIMIENTO
REG-6.3.0-01-03 REGISTRO PLAN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
REG-6.3.0-01-04 REGISTRO ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO
REG-6.3.0-01-05 HOJA DE VIDA DE EQUIPO

8- CONTROL DE CAMBIO

FECHA	VERSION	MODIFICACIONES

9- ANEXOS

NO CORRESPONDE

Elaborado:	Revisado:	Aprobado:
Cargo:	Cargo:	Cargo:
Fecha:	Fecha:	Fecha:
Firma	Firma	Firma

El presente documento contiene información propiedad de **PRIMA IMPLANTES S.A.**
Su uso es exclusivo de la persona o entidad a la que se encuentra dirigido, no debiendo divulgarse su contenido.



PLAN DE MANTENIMIENTO AUTONÓMO

Documento:
Versión:
Vigencia:

REGISTRO

Nº Máquina: 03		Colocar para las inspecciones, B: Bueno , R: Regular, M: Malo																								Nº Orden de Mantenimiento							
Descripción Máq: Fresadora		MES:																															
Actividad	Frecuencia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Inspecciones																																	
Revisar vibraciones excesivas	Diaria																																
Revisar ruidos extraños durante la operación	Diaria																																
Revisar temperatura excesiva durante operación	Diaria																																
Revisar nivel de lubricante y aplicar si faltase	Diaria																																
Revisar limpieza del área de trabajo	Diaria																																
Revisar juego de la mesada	Semanal																																
Revisar lubricación de superficies deslizantes y partes giratorias	Semanal																																
Revisar estado de cables, enchufes, interruptores	Anual																																



PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Documento:
Versión:
Vigencia:

REGISTRO

Nº Máquina: 03		Colocar para las inspecciones, B: Bueno , R: Regular, M: Malo																								Nº Orden de Mantenimiento							
Descripción Máq: Fresadora		MES:																															
Actividad	Frecuencia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Inspecciones																																	
Limpiar y lubricar el tornillo de avance transversal	Semanal																																
Lubricar pínola y columna	Mensual																																
Lubricar piñon de la pínola	Mensual																																
Ajustar la distancia precisa del deslizamiento tanto para el avance transversal como longitudinal	Mensual																																
Lubricar rodamientos, engranajes y ejes	Mensual																																
Ajustar mesada en posición horizontal	Anual																																
Lubricar resorte de retorno de la pínola	Anual																																
Cambiar aceite de la caja de cambios	Anual																																



SOLICITUD DE MANTENIMIENTO

Documento:
Versión:
Vigencia:

REGISTRO

Fecha: Día Mes Año N° Orden:

N° Máq.: Descripción Máq.:

N° Operario Solicitante: Nombre:

Reporte del Daño o Anomalía:

Prioridad: Alta Media Baja

Adjunto Registro Actividades de Mantenimiento?

Firma Solicitante

Firma Encargado Mantenimiento



REGISTRO ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

Documento:
Versión:
Vigencia:

REGISTRO

Página 163 de 174

Nº Máq. Afectada: Fecha:
Nombre y Apellido Operario: Nº Operario:

Producción Interrumpida?

<input type="checkbox"/>	SÍ
<input type="checkbox"/>	NO

 Inicio Interrupción: Duración:
Fin Interrupción: (hh:mm)

Tipo de Mantenimiento:

<input type="checkbox"/>	Correctivo	<input type="checkbox"/>	Preventivo
--------------------------	------------	--------------------------	------------

Fecha y Hora Inicio Trabajo de Mantenimiento:
Fecha y Hora Fin Trabajo de Mantenimiento:

En caso de M. Preventivo

Descripción Actividad Preventiva:
 Costo:

En caso de M. Correctivo

Componente Afectado: Naturaleza/Síntoma:
Producto en Proceso:
Material en Proceso: Proveedor:

Descripción Avería:
Clasificación:

<input type="checkbox"/>	Crítica
<input type="checkbox"/>	Intermedia
<input type="checkbox"/>	Reducida

Descripción Acción Correctiva (AC):
Clasificación:

<input type="checkbox"/>	Temporaria	Costo: <input type="text"/>
<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	Permanente	

Observaciones:

Realizado por:

<input type="checkbox"/>	Terceros	<input type="checkbox"/>	Personal
--------------------------	----------	--------------------------	----------

 Nombre Responsable:

Firma Responsable AC

Firma Jefe de Producción



HOJA DE VIDA DE EQUIPO

Documento:
Versión:
Vigencia:

REGISTRO

Nº MÁQUINA: _____ **DESCRIPCIÓN MÁQUINA:** _____

MARCA: _____ **MODELO:** _____

¹OM: Orden de Mantenimiento, ²MO: Mano de Obra, ³Rep. Y Mat.: Repuestos y Materiales, ⁴H/H: Horas Hombre

Valor de la Reparación

Fecha	Nº OM ¹	Falla	Descripción del Trabajo	Componentes Reemplazados	Tiempo MO ² empleado	Costo Rep. Y Mat. ³	Costo H/H ⁴ utilizadas	Costo Total

Observaciones: