



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERA INDUSTRIAL

TEMA:

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE MEDIAS

CORTA LOGO EN LA FÁBRICA “GARDENIA”

Autor: Daira Dalila Hermoso Ayala

Director: MSc. Ing. Erik Orozco Crespo

Ibarra – Ecuador

2016



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD	040166448-7
DIRECCIÓN	IBARRA, EL OLIVO ALTO
E-MAIL	dalila_dayra1992@yahoo.es
TELÉFONO FIJO	
TELÉFONO MÓVIL	0991641589
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO	“Optimización del proceso de producción de medias CORTA LOGO en la Fábrica “Gardenia””
AUTOR	DAIRA DALILA HERMOSO AYALA
FECHA	01 de Diciembre del 2016
PROGRAMA	PRE-GRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA	INGENIERÍA INDUSTRIAL
ASESOR /DIRECTOR	ING. ERIK OROZCO

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Daira Dalila Hermoso Ayala, con cédula de identidad Nro. 040166448-7 , en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

La autora manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

EL AUTOR:



.....

Firma

Nombre: Daira Dalila Hermoso Ayala

Cédula: 040166448-7

Ibarra, Diciembre del 2016



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Daira Dalila Hermoso Ayala, con cédula de identidad Nro. 040166448-7, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: “Optimización del proceso de producción de medias CORTA LOGO en la Fábrica “Gardenia”.” Ubicada en la ciudad de Atuntaqui”, que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Industrial en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

.....
Firma

Nombre: Daira Dalila Hermoso Ayala

Cédula: 040166448-7

Ibarra, Diciembre del 2016



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DECLARACIÓN

Yo, Daira Dalila Hermoso Ayala declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica del Norte puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de la Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

.....

Firma

Nombre: Daira Dalila Hermoso Ayala

Cédula: 040166448-7

Ibarra, Diciembre del 2016



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

Ing. MSc. Erik Orozco Crespo Director de Trabajo de Grado desarrollado por la señorita Estudiante DAIRA DALILA HERMOSO AYALA.

CERTIFICA

Que, el Proyecto de Trabajo de grado titulado “Optimización del proceso de producción de medias CORTA LOGO en la Fábrica “Gardenia” Ubicada en la ciudad de Atuntaqui.”, ha sido elaborado en su totalidad por la señorita estudiante Daira Dalila Hermoso Ayala bajo mi dirección para la obtención del título de Ingeniero Industrial. Luego de ser revisada, considerando que se encuentra concluido y cumple con las exigencias y requisitos académicos de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Carrera de Ingeniería Industrial, autorizo su presentación y defensa para que pueda ser juzgado por el tribunal correspondiente.

ING. MSc. ERIK OROZCO CRESPO

DIRECTOR DE TESIS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DEDICATORIA

El presente trabajo de tesis va dedicado especialmente a mis queridos padres, pues sin ellos no fuesen posibles mis logros, han sido más que mis padres, mis amigos, en los que he podido confiar siempre y han sabido guiar mi camino con amor responsabilidad y confianza. De igual manera a mi hermano, pues espero ser un ejemplo a seguir y un motivo de felicidad y orgullo para él.

También dedico mi trabajo a todas las personas que han confiado en mí y me han brindado su apoyo como impulso para alcanzar mi meta.

Daira Dalila Hermoso Ayala



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento va dirigido primordialmente a Dios, pues él es quien ha llenado mi vida de grandes momentos, grandes emociones y de grandiosas personas, que han aportado en mi crecimiento personal y profesional.

De igual manera dirijo mi más grande agradecimiento a mi familia, especialmente a mis padres, pues sin su apoyo, confianza y amor, nada de esto fuese posible. Papitos, gracias por haberme hecho la persona que soy, por haberme criado con humildad y sencillez, por haberme enseñado a valorar todo lo que tengo y sobre todo por enseñarme a luchar y no darme por vencida en lo que quiero. Todo lo que hago ha sido y siempre será por y para ustedes.

A mis amigos, ya que ellos han llenado mi vida de alegrías y risas hasta en mis momentos más tristes, han sido mis confidentes y mi apoyo mientras estoy lejos de mi familia. A la familia Valenzuela Paredes, en especial a Edison Valenzuela. Gracias por haberme recibido con gran afecto, aconsejarme y apoyarme como si fuesen mi segunda familia. A la Universidad Técnica del Norte, a la facultad en Ciencias Aplicadas y en especial a mi querida carrera “Ingeniería Industrial”, a mi tutor el ingeniero Erik Orozco que me ha compartido sus conocimientos y ha sido el pilar para el desarrollo de mi tesis y a todos los docentes que aportaron en mi formación durante estos cinco años. También agradezco a la Fábrica Gardenia que me abrió sus puertas y me permitió realizar este trabajo.

RESUMEN

La presente investigación fue realizada en la Fábrica Gardenia y persiguió como principal objetivo, el de detectar posibilidades de mejoras en el proceso de producción de medias a partir del diseño de un modelo de simulación. Lo anterior se viabilizó a partir de la aplicación de metodologías existentes en la literatura, tanto para el diagnóstico del sistema productivo como para el diseño del modelo en sí. Para ello se emplearon como principales herramientas informáticas: FlexSim, versión 7.7.4, en conjunto con sus herramientas ExperFit y Experimenter; SPSS, versión 21.0 y Microsoft Excel, versión 2013, las cuales facilitaron el diseño y procesamiento estadístico y matemático de la información.

FlexSim permitió obtener de una manera sencilla y concreta, datos que la fábrica no conocía y son de fundamental importancia en la planificación de sus actividades, tales como: capacidades de producción locales y globales, porcentajes de utilización de sus recursos, porcentajes de la incidencia que tienen los paros en el objeto y medios de trabajo, entre otros. Por otra parte, la culminación de este trabajo demostró la factibilidad de aplicación de la simulación, en aras de facilitar la toma de decisiones con respecto a la optimización de recursos y su incidencia favorable en el nivel de productividad actual.

Palabras clave

Administración de Operaciones, diagnóstico, simulación de eventos discretos, FlexSim.

SUMMARY

The present research was carried out in the Gardenia Factory and pursued as main objective, to detect possibilities of improvements in the production process of means from the design of a simulation model. This was made possible by the application of existing methodologies in the literature, both for the diagnosis of the production system and for the design of the model itself. To this end, the main software tools were used: FlexSim, version 7.7.4, in conjunction with its ExperFit and Experimenter tools; SPSS, version 21.0 and Microsoft Excel, version 2013, which facilitated the design and statistical and mathematical processing of the information.

FlexSim allowed us to obtain, in a simple and concrete way, data that the factory did not know and are of fundamental importance in the planning of its activities, such as: local and global production capacities, percentages of utilization of its resources, percentages of the incidence have the stops in the performance of the machinery, among others. On the other hand, the culmination of this work demonstrated the feasibility of applying the simulation, in order to facilitate the decision making regarding the optimization of resources and its favorable incidence in the current level of productivity.

Keywords

FlexSim, Simulation, Processes, diagnosis.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	I
CONSTANCIAS	II
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	III
DECLARACIÓN	IV
CERTIFICACIÓN	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
RESUMEN	VIII
SUMMARY	IX
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
INTRODUCCIÓN	1
Problema	1
Objetivos.....	2
Alcance	2
Justificación	2
CAPÍTULO I	4
1 Fundamentación teórica.....	4
1.1 Introducción.....	4
1.2 Administración de operaciones	5

X

1.3	Función operaciones y el subsistema de producción	7
1.3.1	Subsistema de operaciones	8
1.4	La toma de decisiones en operaciones	10
1.5	Herramienta de diagnóstico para la gestión productiva.....	11
1.5.1	Primera etapa: Caracterización general de la entidad analizada.....	12
1.5.2	Segunda Etapa: Análisis de las exigencias técnico-organizativas.....	12
1.5.3	Tercera Etapa: Principios de la organización de la producción	16
1.5.4	Cuarta etapa: Dimensión económica.....	18
1.5.5	Quinta Etapa: Precisión y enriquecimiento de los problemas que afectan la gestión de la producción.....	20
1.6	Simulación de eventos discretos	22
1.6.1	El enfoque sistémico en la simulación de eventos discretos	25
1.6.2	Elementos de un sistema	27
1.7	Pasos para realizar un estudio de simulación	29
1.7.1	Definir objetivos, alcance y requerimientos	30
1.7.2	Recolectar y analizar los datos del sistema.....	31
1.7.3	Construir el modelo.....	31
1.7.4	Validar el modelo	32
1.7.5	Conducir el experimento de optimización	32
1.8	Paquetes comerciales para la simulación de eventos discretos	33
1.8.1	<i>Flexsim</i>	35
1.9	Aplicación de la simulación	38
1.9.1	Aplicaciones de <i>FlexSim</i>	39
CAPÍTULO II		42
2	Caracterización y diagnóstico de la gestión productiva de la Fábrica Gardenia	42

2.1	Introducción.....	42
2.2	Caracterización general de la empresa.....	43
2.2.1	Factores internos	43
2.2.2	Factores externos	44
2.2.3	Descripción del proceso productivo	46
2.2.4	Clasificación del sistema	49
2.3	Análisis de las exigencias técnico – organizativas	50
2.4	Principios de la organización de la producción	56
2.5	Precisión y enriquecimiento de los problemas que afectan la gestión de la producción	57
2.6	Informe técnico.....	60
CAPÍTULO III		64
3	Diseño del modelo de simulación y optimización del sistema.....	64
3.1	Introducción.....	64
3.2	Definición de los objetivos, alcance y requerimientos	64
3.3	Recolectar y analizar los datos del sistema	67
3.4	Construcción del modelo de simulación	72
3.5	Validación del modelo	76
3.6	Conducir el experimento de optimización.....	78
3.7	Análisis y comparación de resultados	82
3.7.1	Desempeño del Escenario Actual.....	82
3.7.2	Resultados obtenidos en el proceso de optimización y comparacion con el escenario actual.	89
3.7.3	Resumen de las medidas propuestas.....	91
CONCLUSIONES.....		92

RECOMENDACIONES	93
BIBLIOGRAFÍA	94
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Captura de un modelo simulado en <i>ProModel</i>	34
Figura 1.2: Captura de un modelo simulado en <i>AutoMod</i>	35
Figura 1.3: Captura de un modelo simulado en <i>FlexSim</i>	36
Figura 3.1: Modelo en el área de formado	74
Figura 3.2: Modelo en el área de cosido y remallado	74
Figura 3.3: Escenario Actual	80
Figura 3.4: Diseño del modelo de optimización.....	81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1: Hilo conductor para la fundamentación teórica	5
Ilustración 1.2: Subsistemas de operación	8
Ilustración 1.3: Formas de estudiar un sistema	26
Ilustración 1.4: Proceso iterativo de la simulación.....	30
Ilustración 2.1: Productividad del trabajador para el periodo enero- diciembre, 201553	
Ilustración 2.2: Valor de la producción para el periodo enero-diciembre, 2015.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Resumen de medias que pueden ser elaboradas con el mismo material	51
Tabla 3.1: Objetivos específicos de la simulación	65
Tabla 3.2: Objetivos para la optimización.....	67
Tabla 3.3: Comparación de medias para la variable producción.....	77
Tabla 3.4: Cálculo de la cantidad de réplicas	79
Tabla 3.5: Producción semanal por sección de trabajo en la operación de formado	89

INTRODUCCIÓN

PROBLEMA

Fábrica Gardenia es una empresa textil que se introdujo en el mercado hace más de 20 años, cuenta con 135 trabajadores, y es considerada como la segunda mejor empresa en la elaboración de calcetines a nivel nacional; debido a su gran tamaño y a su alta capacidad de producción. A pesar del crecimiento a pasos agigantados que ha dado la fábrica, esta conserva una forma de planificación de la producción empírica, lo que ha ocasionado problemas en su producción debido al deficiente trabajo que ejecuta y a la mala utilización de sus recursos

De los 60000 pares de medias que se producen en maquinaria al día, aproximadamente sólo 45000 pares ingresan a bodega de producto terminado, lo que significa que el 25% del producto está como inventario en proceso (Fábrica Gardenia, 2014). Además, la aparición de nuevas empresas dedicadas a la misma actividad productiva ha provocado que la Fábrica Gardenia caiga en una gran inestabilidad económica.

A los problemas anteriores se pueden añadir los siguientes:

- Se desconocen las capacidades productivas de los eslabones del proceso de producción, y con esto, la delimitación del cuello de botella y el punto fundamental.
- Aparece la operación de formado como la más compleja del proceso y la que mayor valor agregado le aporta al producto. En ella existen problemas de asignación de recursos por cada una de las secciones y subsecciones de trabajo.
- Existencia de un alto número de interrupciones de las primeras operaciones del proceso que afectan la continuidad del trabajo, y a su vez, las métricas del rendimiento de las mismas. Estas interrupciones no se encuentran identificadas; y por ende, tampoco están caracterizadas.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Optimizar el proceso de producción de medias en la Fábrica Gardenia mediante un modelo de simulación, que permita detectar posibilidades de mejora en el uso de los recursos disponibles.

Objetivos Específicos

1. Realizar un estudio bibliográfico que permita establecer las bases teóricas y prácticas en el tema a investigar con el presente trabajo de grado.
2. Aplicar el procedimiento general para el diagnóstico de la gestión productiva de forma tal que permita detectar los principales problemas de la fábrica.
3. Diseñar un modelo de simulación en FlexSim que refleje el comportamiento real del proceso de producción de medias.
4. Optimizar el funcionamiento del sistema actual a partir de posibles escenarios que conlleven a un mejor uso de los recursos disponibles.

ALCANCE

El presente trabajo de investigación incluye el análisis del proceso productivo de medias en la Fábrica Gardenia, en las operaciones de formado y cosido, representado en un modelo de simulación usando el software *FlexSim*, versión 7.7.4, hasta el análisis de optimización de recursos con ayuda de la herramienta *Experimenter*.

Cabe mencionar, que el anteproyecto propuesto tenía como alcance la simulación de todo el proceso productivo para el producto estrella (medias corta logo), de ahí, el título del presente trabajo. En vista de que el diagnóstico arrojó que los mayores problemas se encontraban en la operación de formado, se decidió realizar el estudio para este punto fundamental del proceso y su incidencia en la siguiente operación.

JUSTIFICACIÓN

La realización del presente trabajo se justifica en el objetivo 9 y 10 establecido por el Plan Nacional del Buen Vivir, en los cuales se menciona que se debe articular la

educación y la investigación a la generación de capacidades técnicas y de gestión, para dinamizar la transformación productiva; y, articular la investigación científica, tecnológica y la educación superior con el sector productivo, para una mejora constante de la productividad y competitividad sistémica, en el marco de las necesidades actuales y futuras del sector productivo y el desarrollo de nuevos conocimientos, respectivamente. Por otra parte la industria textil es uno de los catorce sectores productivos que dinamizan la producción de nuestra zona.

El aporte que ofrece esta investigación es social y económico puesto que al fortalecer y mejorar la productividad de la empresa se generará estabilidad de empleo para sus trabajadores, oportunidad de trabajo para los pobladores del sector y una mayor participación monetaria para el país.

Los beneficiarios directos son: primero la empresa, puesto que esta investigación busca equilibrar el trabajo realizado en la misma y a la vez brindar un insumo que permita realizar a futuro otras mejoras con el fin de hacer a la empresa más productiva y por ende más rentable; segundo los trabajadores, porque podrán acceder a beneficios económicos por dicho incremento, estabilidad en su trabajo y la reducción de esfuerzos en el desempeño de sus actividades laborales. Mientras que los beneficiarios indirectos son la sociedad en general por el aporte que tendrá la fábrica al país.

El tema a tratarse en esta investigación, en la actualidad es de mucho interés puesto que muchas empresas han optado por hacer uso de la simulación como una herramienta estratégica en la toma de decisiones. La factibilidad y posibilidad de desarrollo que tiene este trabajo es alta puesto que se tiene la predisposición total de la empresa y el conocimiento para la realización del mismo, no implica la utilización de muchos materiales o talento humano, pero si la utilización de tecnología como es la aplicación de un software de simulación.

CAPÍTULO I

1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 INTRODUCCIÓN

Para la confección de la Fundamentación Teórica del presente Trabajo de Grado y con el objetivo de sustentar bibliográficamente la solución del problema a resolver y planteado en la introducción de esta tesis, la autora sigue como orden metodológico el hilo conductor que se muestra en la ilustración 1.1. Para ello, se toma como inicio la conceptualización de la administración de operaciones, el subsistema de operaciones y la toma de decisiones dentro de este, referenciando un aproximado del diagnóstico de dicho subsistema mediante un procedimiento y la descripción de sus pasos correspondientes.

Posteriormente, se pasa a conceptualizar y analizar la simulación de eventos discretos de conjunto con los elementos que intervienen en un modelo de simulación, haciendo énfasis en los principales procedimientos para estos fines. Esta etapa termina profundizando en los paquetes comerciales que existen en la actualidad para estas aplicaciones.

La justificación del arte culmina ejemplificando las principales prácticas de FlexSim en la toma de decisiones dentro del subsistema de operaciones.

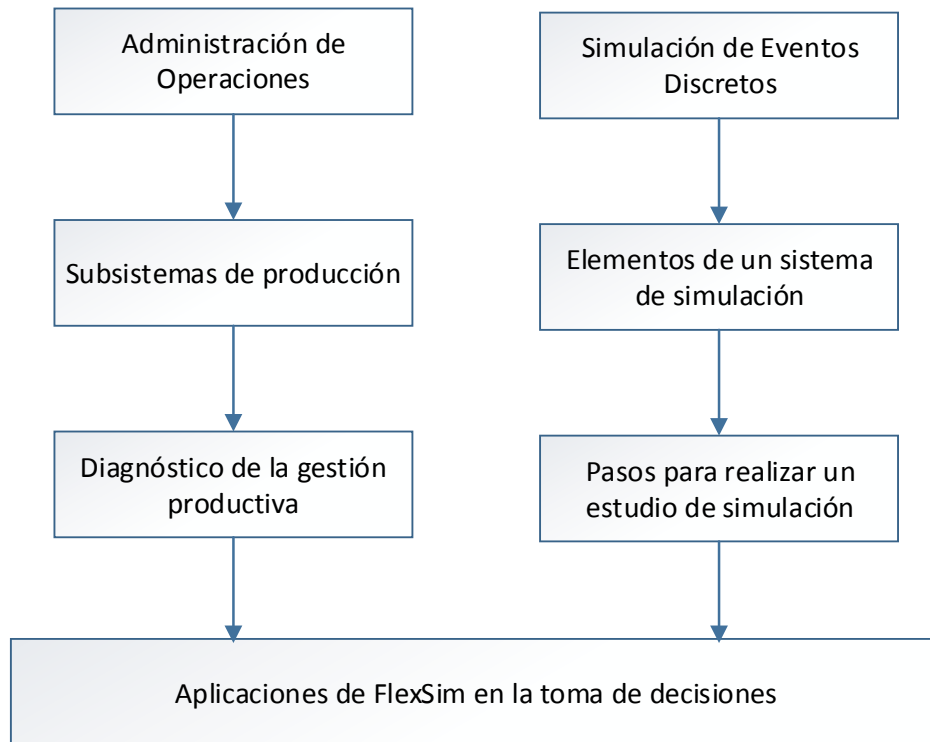


Ilustración 1.1: Hilo conductor para la fundamentación teórica

Fuente: Elaboración propia.

1.2 ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES

El estudio de la administración de operaciones viene dándose desde hace varios años atrás y son muchos los autores que han tomado este tema como fuente de estudio, puesto que sus raíces vienen desde que el hombre inició con la producción de bienes y servicios.

Si hay algo en que un administrador de una empresa debe preocuparse, es en desarrollar planes e investigaciones para ejecutar acciones que conlleven a la mejora continua tanto de la productividad como de la calidad, para ello el planteamiento de objetivos estratégicos en busca de una ventaja competitiva deben establecerse, medirse y controlarse permanentemente.

“El término administración de operaciones se refiere al diseño, dirección y control sistemáticos de los procesos que transforman los insumos en servicios y productos para los clientes internos y externos” (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008, pág. 4).

Para Schroeder (2011) los administradores de operaciones se encargan de la toma de decisiones para administrar el proceso de la manera más eficaz y eficiente posible, dichas decisiones se basan fundamentalmente en los procesos, la calidad, la capacidad y el inventario. Por lo tanto, la administración de operaciones es considerada como una de las tres funciones principales junto con la mercadotecnia y las finanzas en donde cada una de ellas forman los puntos fundamentales de funcionamiento de una organización, así: mercadotecnia generando la demanda, administraciones de operaciones en la generación de la oferta y finanzas en busca del capital.

Para Render & Heizer (2009) es importante estudiar la administración de operaciones por cuatro razones: la primera es por lo que ya se había mencionado anteriormente: es una de las tres funciones principales en la creación de bienes o servicios; la segunda, por el deseo de conocer cómo funciona la actividad productiva, es decir, cómo se organizan las personas para producir; la tercera, para conocer las funciones de un administrador de operaciones y las oportunidades que ofrece esta área. Por último, la cuarta razón se basa en el costo elevado que generalmente se genera en una empresa, cabe recordar que la administración de operaciones busca el incremento de la productividad mediante la reducción de costos.

La administración de operaciones tiene una fuerte relación con la productividad, esto se debe a como ya se definió anteriormente la administración de operaciones se centra básicamente en analizar las formas de mejorar la productividad, es decir, mejorar la eficiencia.

Si bien es cierto, hablar de producción se refiere a la transformación de entradas en salidas mediante un conjunto de actividades lógicas e interrelacionadas entre sí, conocidas también como proceso. Pero nace la pregunta, ¿Cuándo se dice ser productivo? La productividad es la relación entre lo que entra a un proceso y lo que

sale del mismo, y la mejora de ésta puede darse de dos formas: reduciendo las entradas y manteniendo la cantidad producida o manteniendo las entradas para incrementar las salidas (Render & Heizer, 2009). Cabe recalcar que una producción alta no siempre significa un aumento de la productividad, puesto que para lograr esto quizá fue necesario incrementar los recursos también.

1.3 FUNCIÓN OPERACIONES Y EL SUBSISTEMA DE PRODUCCIÓN

Existe una diversidad de enfoques y escuelas a través de los cuales se ha emprendido el estudio empresarial, algunos mencionan dar solución mediante la automatización del proceso, la clasificación del área de trabajo de acuerdo a la formación y al grado de conocimiento del trabajador y mediante la implementación de planes de incentivos económicos; otros buscan dar soluciones a través de la legislación, es decir rigiéndose a normativas que permitan regular el trabajo empresarial o superar la complejidad de los sistemas a través de la investigación operativa generando modelos matemáticos o simulaciones que permitan dar una solución cuantitativa. El estudio de estos enfoques produjo que se diera mayor atención a la importancia de la toma de decisiones como punto clave para mejorar la actividad organizativa, este criterio se basa principalmente en pensar no solo en maximizar, sino en satisfacer necesidades, ni tampoco en trabajar con todas las alternativas posibles sino más bien trabajar con las más importantes. Todos estos estudios e hipótesis antes mencionados fueron apartados cuando se afirmó que la solución radicaba en designar funciones al personal y que esto permitiría un mejor control organizacional dando así cumplimiento a las hipótesis antes mencionadas.

Se puede afirmar que la mayoría de ellos se centran en uno o varios aspectos de la problemática, pero ninguno abarca en su totalidad la complejidad que tiene la realidad empresarial. Es por eso que se opta por adoptar un enfoque con el cual la realidad empresarial se sienta plenamente identificada, éste es el enfoque sistémico el cual refiere que no se puede establecer un método de control si no se toma en cuenta las interdependencias de los elementos que componen la empresa, por lo que es necesario concebir a las empresas como grandes sistemas dinámicos en los que las

funciones principales (Marketing, Finanzas y Operaciones) no se trabajan por separado, sino que se interrelacionan y trabajan en conjunto como un sistema (Machuca, Gil, García, Machuca, & Jimenez, 1995).

Machuca et al. (1995) opta por un enfoque funcional como tendencia a la concepción sistémica de la empresa y agrupa los elementos intervinientes en subsistemas homogéneos de acuerdo a la función desarrollada tal como se muestra en la ilustración 1.2.

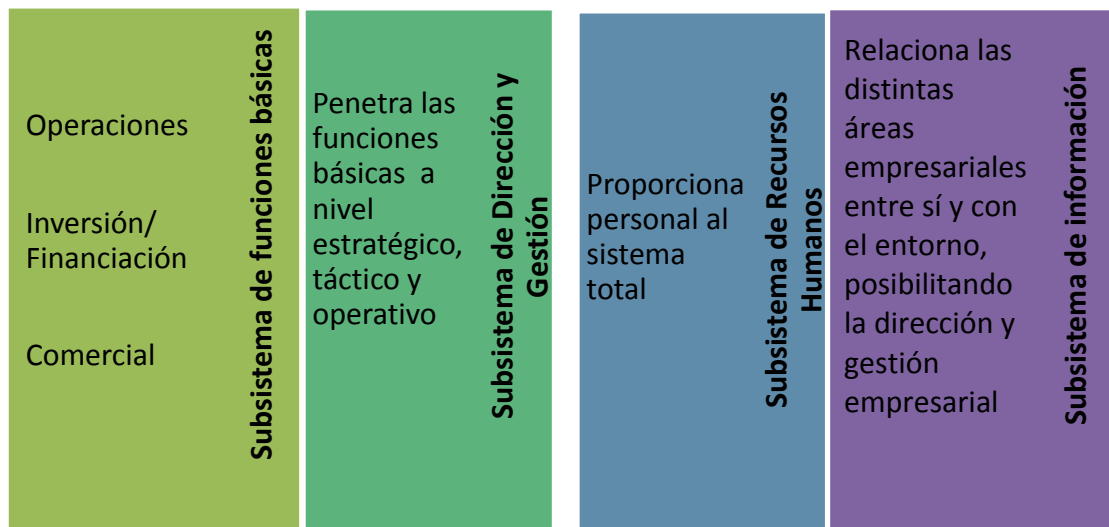


Ilustración 1.2: Subsistemas de operación

Fuente: Machuca et al., 1995, pág.13.

Es evidente que el enfoque sistémico proporciona una forma clara de control y solución a los problemas, pues si bien es cierto esta agrupación permite que cada subsistema se encargue de actividades específicas, las cuales van a ser comprendidas y desarrolladas con claridad para lograr un mejor efecto en la realidad empresarial.

1.3.1 SUBSISTEMA DE OPERACIONES

Puesto que el tema de estudio se centra en la producción, se ha optado por analizar detalladamente sólo el subsistema de operaciones, el cual según Machuca et al.

(1995) “Tiene como misión la creación de bienes o servicios con el fin de satisfacer las necesidades detectadas por el subsistema comercial y/o las generadas por el departamento de investigación y desarrollo” (pág. 17).

El trabajo de un gerente de producción guarda su esencia en actuar de una forma tan inteligente capaz de no tomar decisiones en acciones pasadas, sino más bien, en ser innovador en su forma de pensar y en las nuevas tecnologías y herramientas que utilice para administrar de la mejor manera los recursos disponibles. Por lo tanto, la administración de producción comprende las siguientes actividades:

La planeación de la producción, que es una actividad centrada en programar la producción en base a la demanda, el control de materiales y suministros, la cual es realizada por el subsistema de suministros pero es controlada por producción para garantizar su eficiencia y efectividad, la determinación de los sistemas de producción que comprende el desarrollo de métodos y estrategias de producción y el control de calidad que es una actividad desarrollada con el fin de ofrecer un producto o servicio que satisfaga las necesidades del cliente (Tejada, 2007).

El proceso de este subsistema comienza con la definición de objetivos a largo plazo y el diseño de estrategias que conlleven al cumplimiento de los mismos. Tanto los objetivos como las estrategias deben presidir del diseño del subsistema, que consiste en la decisión de inversiones en estructura, criterios tecnológicos, económicos-financieros, entre otros.

Este planteamiento forma parte de un fundamental instrumento como guía de las metas a conseguir, cómo y con qué medios. Las definiciones a mediano y corto plazos parten de aquí (Machuca et al., 1995). Las administraciones de operaciones básicamente se refieren a la elaboración del plan estratégico para un horizonte largo y luego el desarrollo de planes operativos que generalmente son de un año, la ejecución y debido control que permita la detección y corrección de posibles desviaciones de los objetivos planteados.

1.4 LA TOMA DE DECISIONES EN OPERACIONES

La toma de decisiones es el punto clave que un administrador de operaciones debe considerar para su desempeño en una organización, puesto que de la decisión que tome ante cualquier suceso depende el éxito o fracaso de la misma.

“La toma de decisiones es altamente interactiva y de naturaleza sistémica” (Schroeder, Meyer Goldstein, & Rungtusanatham, 2011, pág. 11). Es por ello que los administradores deben tomar varias decisiones en diferentes áreas y a pesar de que las decisiones varían en cada área, los pasos que se llevan a cabo son los mismos según lo menciona Krajewski & Ritzman (2000): “Reconocer y definir claramente el problema, reunir la información necesaria para analizar posibles alternativas y elegir e implementar la alternativa más factible” (pág. 67).

Cuando se trata de decisiones sumamente importantes es necesario recurrir a procedimientos formales tales como: el análisis del punto de equilibrio, el cual ayuda al gerente a determinar la magnitud del cambio en parámetros tales como volumen o demanda, los cuales permiten considerar que una segunda alternativa es mejor que la primera; la matriz de preferencias que ayudan a manejar múltiples criterios que son esenciales en la toma de una decisión, a pesar de que esta surge cierta ambigüedad al momento de las ponderaciones; la teoría de decisiones que ayuda al gerente a tomar la mejor decisión cuando existe cierta incertidumbre en los resultados y; un árbol de decisiones que es necesario cuando las decisiones se toman secuencialmente, es decir, cuando de la decisión tomada hoy dependen las decisiones futuras (Krajewsk & Ritzman, 2000).

Según Schroeder et al., (2011), la toma de decisiones en operaciones interrelaciona al área de operaciones con las demás áreas.

Mercadotecnia con las decisiones de operaciones: Estas dos áreas se relacionan para la toma de decisiones de diseño y administración de la calidad, el tipo de proceso a seleccionarse y la capacidad requerida, los niveles de inventario y sitios de almacenamiento, la calidad, capacidad e inventario.

Compras con las decisiones de operaciones: Para la amplitud del proceso, calidad de los insumos, niveles de capacidad y niveles de insumos.

Logística con las decisiones de operaciones: Para el modo de transporte es necesario conocer el diseño del proceso, niveles de inventarios y sitios de almacenamiento. Para el empaqueo de los materiales es necesario conocer de operaciones la calidad del diseño, los insumos y los productos, mientras que para el almacenamiento se requiere de información como: amplitud del proceso, capacidad y niveles de inventario y localidades de almacenamiento.

Finanzas y contabilidad con las decisiones de operaciones: Disponibilidad de capitales se requiere conocer los niveles de almacenamiento, el grado de automatización, el tipo del proceso seleccionado y la capacidad del mismo.

Recursos humanos con las decisiones de operaciones: La información de recursos humanos tales como: la habilidad de los empleados, el número de trabajadores a tiempo completo o parcial, capacitación de trabajadores, diseños de puestos y formación de equipos de trabajo, son fundamentales para el área de operaciones cuando requiere tomar decisiones como: el tipo de proceso seleccionado y automatización, decisiones de capacidad y programación, mejoramiento de calidad y habilidades, selección del proceso y de la tecnología y otras más.

Sistemas de información con las decisiones de operaciones: El diseño de los sistemas de información y el desarrollo de programas de cómputo deben ser decisiones sustentadas en dar apoyo a todas las decisiones de operaciones, tales como: capacidad, calidad, inventarios y de programación.

1.5 HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO PARA LA GESTIÓN PRODUCTIVA

El diagnóstico de la gestión productiva de una empresa se realiza a través del seguimiento de una serie de etapas que permitan evaluar cuál es el comportamiento actual de la empresa ante su entorno.

Arjona Siria, citado por (Medina, Nogueira, & Pérez, 2001) en la monografía Clasificación y Caracterización de Sistemas Productivos, propone la metodología mostrada en el anexo 1, la cual indica las etapas por las cuales está compuesto el diagnóstico. Las mismas se describen detalladamente a continuación.

1.5.1 PRIMERA ETAPA: CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA ENTIDAD ANALIZADA

Esta etapa consiste en describir tanto los factores internos como los externos con el fin de contar con una información integrada que permita conocer de forma general a la empresa. Aquí se describen: la parte filosófica de la empresa, estructura organizativa, proceso productivo, número de trabajadores, cartera de productos y otros más como factores internos; mientras que en los externos se detallan; principales clientes, principales proveedores, posición de la organización ante la competencia, entre otros.

Finalmente, la etapa culmina con la clasificación del sistema productivo, el cual según Schroeder (2011) lo clasifica en cinco tipos de acuerdo a las características del flujo del producto: procesos continuos, línea de ensamble, lote, taller de trabajo y proyectos. Las características que tiene cada uno de ellos se muestran en el anexo 2.

1.5.2 SEGUNDA ETAPA: ANÁLISIS DE LAS EXIGENCIAS TÉCNICO-ORGANIZATIVAS

Dentro de esta etapa se encuentran exigencias como la capacidad de reacción, la flexibilidad, la fiabilidad y la estabilidad.

La Capacidad de reacción es una expresión vinculada a los plazos de entrega de los pedidos, haciendo un análisis de la rapidez con la cual es capaz de reaccionar eficientemente la entidad ante los cambios de cantidad, surtidos y recursos. Su cumplimiento se puede valorar por el tiempo que media entre el momento que surge la necesidad de un nuevo pedido hasta que está satisfecha, incluyendo el grado de plenitud en que se satisface. La expresión matemática utilizada para este cálculo es la que se muestra a continuación:

$$Crp = \frac{\sum_{i=1}^N (FE_{conv} - FE_{recep})}{N} [\text{días}] \quad (1.1)$$

$$Crr = \frac{\sum_{i=1}^N (FE_{real} - FE_{recep})}{N} [\text{días}] \quad (1.2)$$

Donde:

- Crp: Capacidad de reacción proyectada.
- Crr: Capacidad de reacción real.
- N: Número de pedidos.
- FE conv.: Fecha de entrega convenida.
- FE recepc. : Fecha de recepción del pedido.
- FE real: Fecha de entrega real del pedido.

La Flexibilidad en cambio es el grado en que la organización y la tecnología permiten llevar a cabo el proceso de producción ante las diversas afectaciones que se presentan sin necesidad de reorganizaciones o reestructuraciones del proceso productivo.

Básicamente se trata de que cualquier cambio en la producción y en los recursos, tome poco tiempo y bajo costo. Pero muchas veces resulta fácil enfocarla a partir de los medios de trabajo, el objeto de trabajo y la fuerza de trabajo empleando las expresiones siguientes:

Para la flexibilidad de la fuerza de trabajo (operarios y trabajadores en general) se tiene:

$$Fft = \sum_{i=1}^N \frac{\left(1 - \frac{1}{Ft_{fi}}\right) \times Wi}{N \times W_{máx}} [\%] \quad (1.3)$$

Dónde:

- Ft_{fi}: Cantidad de obreros que pueden atender el puesto i o cantidad de puestos que pueden ser atendidos por el obrero i.

- W_i : Índice de importancia del puesto o el obrero i , fijado por el especialista.
- N : Cantidad de puestos u obreros.
- W_{max} : Máximo índice de importancia.

Esta expresión permite analizar qué tan flexible es la mano de obra que dispone una empresa para el desempeño de diferentes funciones, lo que contribuye al desarrollo de un nuevo producto o a la vez enfrentar un posible ausentismo.

La Flexibilidad de los medios de trabajo (equipos y/o puestos de trabajo) se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$F_{mt} = \sum_{i=1}^N \frac{\left(1 - \frac{1}{O_{Pti}}\right) \times W_i}{N \times W_{m\acute{a}x}} [\%] \quad (1.4)$$

Dónde:

- O_{Pti} : Número de operaciones diferentes que puede realizar el puesto i .
- W_i : Índice de importancia del puesto i , fijado por el especialista.
- N : Cantidad de puestos.
- W_{max} : Máximo índice de importancia.

Mientras que la flexibilidad del objeto de trabajo (materiales) viene representada de la siguiente manera:

$$F_{ot} = \sum_{i=1}^N \frac{\left(1 - \frac{1}{P_{Doi}}\right) \times W_i}{N \times W_{m\acute{a}x}} [\%] \quad (1.5)$$

Dónde:

- P_{Doi} : Cantidad de piezas diferentes que pueden realizarse con el mismo material i o cantidad de materiales que pueden ser utilizados en la pieza i .
- W_i : Índice de importancia de la pieza i fijado por el especialista.

- N: Cantidad de materiales o piezas.

Por último, es necesario determinar la flexibilidad integral del proceso de producción, la cual se obtiene con la siguiente expresión:

$$F_{pp} = F_{ft} \times F_{mt} \times F_{ot} \quad (1.6)$$

Los resultados obtenidos a través de esta ecuación indican que tan flexible es la empresa en su conjunto, y aporta hacia dónde deben enfocarse las propuestas de mejoras.

La fiabilidad se refiere a la posibilidad de funcionamiento del proceso durante un tiempo determinado sin interrupciones o afectaciones en los surtidos, volumen, costos, calidad, plazos de entrega y otros. Esta exigencia puede determinarse con la aplicación de la siguiente fórmula:

$$F = \left(\frac{P_{ef}}{T_p} \times \left(1 - \frac{P_r}{T_p} \right) \right) [\%] \quad (1.7)$$

Dónde:

- P_{ef}: pedidos entregados a la fecha
- T_p: total de pedidos
- P_r: pedidos rechazados

La estabilidad es la capacidad del sistema de compensar y/o eliminar las perturbaciones en su funcionamiento. Se valora en base al comportamiento de los principales indicadores de eficiencia, aplicándose la expresión:

$$E_s = 1 - \frac{s}{\bar{x}} \quad (1.8)$$

Donde:

- E_s: Coeficiente de Estabilidad.
- s: Desviación Típica del indicador que se analiza.
- X: Valor medio del indicador que se analiza.

La Dinámica del Rendimiento plantea que la organización sea tal que promueva una mejora continua en los indicadores de rendimiento de la entidad. Debe permitir, por un lado, garantizar una elevación sistemática de la eficiencia de la producción y la competitividad, y por otro, permitir la elevación del contenido de la labor de los trabajadores, el máximo despliegue de sus iniciativas y lograr una activa participación de los mismos en la gestión de la producción. Para su análisis pueden ser utilizados los denominados gráficos de control, aplicados a los diferentes indicadores de eficiencia, de manera que se pueda apreciar la dinámica que sigue el sistema.

1.5.3 TERCERA ETAPA: PRINCIPIOS DE LA ORGANIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

El cumplimiento de los objetivos planteados se alcanza cuando la organización de la producción cumple determinados requisitos, sobre cuya base se elaboran los principios básicos y derivados de la Organización de la Producción. Generalmente, a los efectos de un diagnóstico, resulta suficiente el análisis de los principios básicos.

Los Principios Básicos de la Organización de la Producción son: Proporcionalidad de la Producción, Continuidad de la Producción y Ritmicidad de la Producción.

La proporcionalidad de la producción caracteriza la tendencia hacia un equilibrio entre las capacidades productivas de todas las áreas productivas que forman el proceso. En consecuencia, este principio plantea la necesidad de evitar desproporciones o cuellos de botella entre los diferentes eslabones de un proceso productivo.

Puede ser cuantificado a través de la siguiente expresión:

$$Kp = 100 - \sum \frac{(X_{max} - X_i)}{n \times X_{max}} \quad (1.9)$$

Donde:

- X_i : Porcentaje de utilización del puesto i .
- $X_{m\acute{a}x}$: Porcentaje de utilización del puesto más utilizado.
- n : Cantidad de puestos de trabajo.

La continuidad de la producción se analiza a partir de los tres elementos fundamentales que intervienen en el proceso productivo: Objeto, Medios y Fuerza de trabajo, planteando la necesidad de minimizar al máximo los tiempos de interrupción de los mismos en dependencia de las características del sistema de producción analizado.

Este principio refleja básicamente el flujo continuo del objeto de trabajo al transcurrir por todo el proceso productivo, el cual debe realizarse con la utilización adecuada de los medios y la fuerza de trabajo.

Para su cuantificación se utilizan las expresiones siguientes:

Para el objeto de trabajo

$$K_{co} = \frac{\sum_i^n Tc_i}{\sum_i^n Tt_i} \quad (1.10)$$

Donde:

- Tti: Duración del ciclo tecnológico para el producto i.
- Tci: Duración del ciclo de producción para el producto i.
- Kco: Coeficiente de continuidad para el objeto de trabajo.

Para la fuerza de trabajo

$$K_{cf} = \frac{\sum_i^n Trl}{\sum_i^n Fl} \quad (1.11)$$

Donde:

- Trl: Tiempo de trabajo realmente necesario para la categoría ocupacional I.
- Fl: Fondo de tiempo para la categoría ocupacional I.
- Kcf: Coeficiente de continuidad para la fuerza de trabajo

Para los medios de trabajo

$$K_{ce} = \frac{\sum_j^n Tr_j}{\sum_j^n F_j} \quad (1.12)$$

Donde:

- Trj: Tiempo realmente necesario para el equipo j.
- Tci: Fondo de tiempo para el equipo o puesto j.
- Kce: Coeficiente de continuidad para los medios de trabajo.

El análisis para la fuerza de trabajo y los medios se realiza en base al porcentaje de utilización, el cual indica que tan sobrecargado o subutilizado está dicho recurso.

La ritmicidad de la producción expresa la necesidad de determinada regularidad en el trabajo del sistema, o sea, un carácter rítmico en el flujo productivo.

Para su análisis se utilizará la expresión:

$$K_r = \frac{\sum_i^n Prt_i}{Pp_i} \quad (1.13)$$

Donde:

- Kr: Coeficiente de Ritmicidad.
- Prt: Producción real que no excede el plan.
- Pp: Producción planificada.

Se aclara que el objetivo fundamental del análisis de las exigencias técnico-organizativas y los principios de la organización de la producción va dirigido a la determinación de los problemas fundamentales que afectan su comportamiento y no al cálculo del indicador en sí mismo. No debe ser excluida la posibilidad de que cuando dichos parámetros sean de muy difícil cálculo, puedan ser sustituidos por una evaluación cualitativa de sus estados.

1.5.4 CUARTA ETAPA: DIMENSIÓN ECONÓMICA

Costo unitario de producción

Muestra el valor que cuesta producir una unidad, tomando en cuenta el costo de producción total y el volumen de producción total en un tiempo definido.

$$Cu = \frac{Cp}{Vp} \quad (1.14)$$

- Cu: [\$/unidad]
- Cp: Costo total de producción. [\$/período]
- Vp: Volumen producción. [unidades/ período]

Rendimiento de los medios de trabajo

Indicador que mide el valor obtenido al invertir un dólar por cada hora de trabajo, el cual es calculado con la expresión siguiente:

$$Rmt = \frac{P}{M} \quad (1.15)$$

- Rmt: [\$/ h-maq]
- P: Valor de la Producción durante el período. [\$/]
- M: Total de horas de trabajo del equipamiento productivo. [h- maq]

Rendimiento del objeto de trabajo

Indica el valor obtenido por cada dólar invertido en materia prima y materiales. Su cálculo se lo obtiene a partir de la expresión siguiente.

$$Rot = \frac{P}{O} \quad (1.16)$$

- Rot: [\$/ ingresados / \$ invertidos en materias primas y materiales.]
- P: Valor de la Producción durante el período. [\$/]

- O: Costo involucrado con el consumo de materias primas y materiales. [\\$]

1.5.5 QUINTA ETAPA: PRECISIÓN Y ENRIQUECIMIENTO DE LOS PROBLEMAS QUE AFECTAN LA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN

La necesidad de esta etapa se basa en ir más allá de un diagnóstico a través de datos históricos, pues aquí se busca obtener el punto de vista desde el cual los trabajadores miran a la organización y el funcionamiento de la misma.

Dicho diagnóstico es realizado con el procedimiento que a continuación se describe:

1. Identificación de universo y cálculo de la muestra (cantidad de personas a encuestar)

La muestra de estudio viene representada por la siguiente fórmula para poblaciones finitas:

$$n = \frac{N_p Z_\alpha^2 \times p(1 - p)}{k^2(N_p - 1) + Z_\alpha^2 \times p(1 - p)} \quad (1.17)$$

Fuente: (García Sánchez, 2008, pág. 158)

Para poblaciones infinitas:

$$n = \frac{Z^2 \times pq}{e^2} \quad (1.18)$$

Fuente: (García Sánchez, 2008, pág. 158)

Donde:

- N= tamaño de la muestra
- N_p = tamaño de la población
- Z= número de unidades de desviación típica en la distribución normal que produciría el grado deseado de confianza
- K= error o máxima diferencia entre la proporción muestral y la proporción de la población que se está dispuesto a aceptar en el nivel de confianza propuesto.
- p= porcentaje de la población que posee las características de interés.

2. Preparación del personal

Antes de la realización de la encuesta o entrevista es necesario trabajar con el personal a muestrear para convencerlos de la necesidad del diagnóstico y de la importancia de la participación activa en el estudio. Para lograrlo se forma un equipo de trabajo en el que se involucrarán a obreros, técnicos, dirigentes y administrativos de la organización.

3. Aplicación de la encuesta elaborada

La encuesta a aplicar se muestra en el anexo 3, la cual permite precisar y enriquecer los problemas que afectan la función producción de la organización en estudio, especificando en el procesamiento la incidencia que sobre cada problema tienen las categorías ocupacionales implicadas.

4. Procesamiento de los resultados de la encuesta.

Este paso consiste en el análisis de los resultados de la encuesta aplicada, el mismo que se puede realizar mediante la aplicación de métodos estadísticos. Tiene como objetivo la realización de un primer refinamiento de los aspectos contenidos en la encuesta y que realmente constituyen problemas que afectan la gestión productiva.

5. Realización de entrevistas individuales

Con el objetivo de realizar una primera validación de los resultados de la encuesta se entrevistará de manera individual, el personal seleccionado por el equipo de trabajo formado, a partir del criterio de que sean las personas que mejores opiniones puedan ofrecer. Como resultado de este paso la cantidad de problemas puede variar.

6. Validación, enriquecimiento y agrupación de los problemas detectados.

Para el cumplimiento de este paso se utilizan técnicas de trabajo en grupos, siendo una de las más utilizadas, la tormenta de ideas o "*brain storming*", participando en el

ejercicio un grupo de expertos cuya cuantía puede determinarse a partir de la siguiente expresión:

$$M = \frac{P \times (1 - P) \times R}{i^2} \quad (1.19)$$

Donde:

M: Cantidad de expertos.

i: nivel de precisión.

P: porcentaje de error que como promedio se tolera.

R: constante cuyo valor está asociada al nivel de confianza. De acuerdo a la ley de probabilidad Binomial:

NIVEL DE CONFIANZA	R
99 %	6.6564
95 %	3.8416
90 %	2.6896

1.6 SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS

En la actualidad el afán de buscar soluciones eficientes y eficaces a diferentes problemas que se presentan en las organizaciones ha impulsado el desarrollo de una infinidad de *softwares* que hagan que el análisis de las problemáticas y soluciones a las mismas sean más dinámicas, ágiles y con mayor credibilidad. Específicamente, la simulación de estos sistemas ha recibido considerables alcances a partir del desarrollo de lenguajes de programación y *softwares* comerciales.

Por ello es necesario definir lo que es simulación, que según Azaharag & García Dunna (1998) “Es el desarrollo de un modelo lógico-matemático de un sistema, de tal forma que se obtiene una imitación de la operación de un proceso de la vida real o de un sistema a través del tiempo” (pág. 63).

Según el portal de la Universidad Del Valle (citado por Bohórquez, 2009) opina que: “La simulación implica crear un modelo que aproxima cierto aspecto de un sistema del modelo real y que puede ser usado para generar historias artificiales del sistema, de forma tal que nos permite predecir cierto aspecto del comportamiento del sistema” (pág. 15).

Bangsaw (2012) señala que la simulación de eventos discretos es el proceso de codificar el comportamiento de un sistema complejo como una secuencia ordenada de eventos bien definidos.

Mientras que Posh & Wall (1992) hacen alusión a que esta simulación proporciona un enfoque intuitivo y flexible para la representación de sistemas complejos a través del modelado basado en el ordenador.

Pero a pesar de ser esta una herramienta tan poderosa dentro del campo experimental, al igual que otras herramientas posee ventajas y desventajas al momento de su aplicación, Azaharag & García (1998) mencionan algunas de ellas:

Ventajas

1. Una vez construido el modelo base, este puede ser modificado tantas veces como opciones de mejora exista, permitiendo así al modelador observar los efectos que tendrían dichos cambios en el sistema real, sin necesidad de modificar el mismo.
2. Existen muchos casos en los que resulta más conveniente simular puesto que el sistema mismo obliga la realización de ésta, ya sea por costos, por pérdidas humanas o por el tiempo que involucraría la experimentación en el sistema real. Algunos ejemplos que sustentan esta ventaja son: pruebas de aeronaves, creación de medicamentos, o aun cuando el sistema no existe.

3. Resulta más sencillo entender y comprender el funcionamiento, puesto que la simulación permite visualizar la dinámica del sistema y detectar con prontitud si algo no funciona correctamente.
4. Provee una información más exacta que otras herramientas como es el caso de los métodos analíticos que trabajan con un gran número de suposiciones o simplificaciones, la simulación toma en cuenta la aleatoriedad de los sucesos, lo que hace posible analizar sistemas con mayor complejidad y detalle.

Desventajas

1. Incurre en altos costos por el tiempo que requiere para su desarrollo y validación y porque el modelador debe ser una persona que tenga un alto conocimiento de la herramienta.
2. Requiere un conocimiento minucioso del sistema a estudiarse, puesto que es necesario conocer la interdependencia de la realidad, el análisis se lo realiza con distribuciones de probabilidad y mas no con promedios.
3. Muchas veces no suele valorarse por parte de la alta dirección de una empresa, puesto que se requiere del conocimiento de la misma para facilitar su entendimiento.
4. La simulación no es una herramienta de optimización, por lo que es necesario hacer este estudio por separado.

Tomando en cuenta las ventajas y desventajas antes presentadas, Banks & Gibson (1996) consideran mencionar que no es necesario utilizar la simulación cuando:

- El problema puede ser resuelto analíticamente usando el “análisis de sentido común”.
- El problema puede ser resuelto analíticamente, usando modelos establecidos como: la teoría de colas.
- Es más fácil cambiar o ejecutar la experimentación directa sobre el sistema real.
- El costo de la simulación excede los ingresos disponibles.

- No hay disponibilidad de recursos propios para el proyecto ni tiempo suficiente para que los resultados del modelo sean utilizables.
- No hay datos, ni ninguna estimación.
- El modelo no puede ser verificado o validado.
- Las expectativas del proyecto no pueden ser alcanzadas.
- El comportamiento del sistema es demasiado complejo.

1.6.1 EL ENFOQUE SISTÉMICO EN LA SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS

Evidentemente el término sistema tiene una alta relevancia en el concepto de simulación y también es tomado en cuenta para el análisis de las ventajas y desventajas de la misma, por lo que es necesario analizar su definición y su enfoque.

Un sistema es una colección de componentes interdependientes o que interactúan regularmente tales como máquinas, personas, información y comunicación actuando como una unidad para alcanzar una misión implícita o explícita (Marrero et al., 2002).

Otros autores como Piera, Guasch, Casanovas, & Ramos (2006) afirman que: “Un sistema puede definirse como una colección de objetos o entidades que interactúan entre sí para alcanzar un cierto objetivo” (pág.2). Otros la consideran como un objeto cuyas propiedades se desee estudiar, es decir, cualquier fuente de datos puede considerarse como un sistema (Urquía & Martín, 2013).

En estos sistemas puede experimentarse tanto en el sistema real, como en un modelo de dicho sistema, entendiéndose por experimentación: “Proceso de extraer datos de un sistema sobre el cual se ha ejercido una acción externa” (Urquía & Martín, 2013, pág. 24). Esto se sintetiza de mejor manera en la ilustración 1.3.

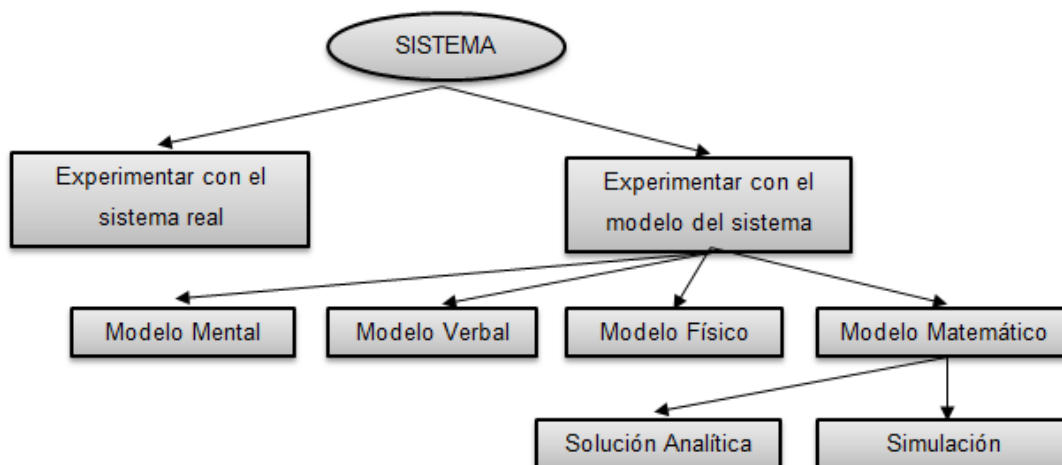


Ilustración 1.3: Formas de estudiar un sistema

Fuente: Urquía & Martín, 2013, pág. 26.

Debido a que la simulación permite experimentar con modelos, cabe mencionar que un modelo es la representación de un sistema desarrollado para un propósito específico (Urquía & Martín, 2013).

Clasificación de los modelos de simulación

La clasificación de un modelo de simulación depende básicamente de las características del proceso a simular.

Modelos determinísticos o estocásticos: Un modelo es determinístico cuando todas las variables de entrada tienen su valor conocido en cada instante y éste no varía con el pasar del tiempo. Es estocástico cuando alguna de sus variables de entrada es aleatoria, por lo tanto, el recorrido de estos sistemas debe estudiarse mediante términos probabilísticos (Marrero et al., 2002).

Modelos discretos o continuos: En los modelos de eventos discretos el valor de las variables sólo puede cambiar en instantes específicos, permaneciendo constantes el resto de tiempo. Estos cambios se denominan eventos, los cuales para un tiempo finito deben ser un número finito de eventos. La diferencia entre estos dos modelos radica en que el cambio de estado del sistema en el primer modelo depende del tiempo,

mientras que en el segundo depende del evento (Urquía & Martín, 2013) esto significa que las variables cambian periódicamente, dicha secuencia de tiempo de cambio es considerada como patrón periódico.

Guasch Petit, Piera, & Casanovas (2005) mencionan que los modelos de eventos discretos son dinámicos y estocásticos, en los que las variables de estado cambian de valor en instantes no periódicos del tiempo sin estar dirigidos por un reloj. Estos instantes de tiempo se corresponden con la ocurrencia de un evento (pág. 7).

Por otra parte, un modelo de tiempo continuo está dado cuando las variables cambian de manera continua durante todo el transcurso del tiempo.

El modelo de mayor interés y en el que se va a basar este estudio es el orientado a eventos discretos, como es el caso del proceso productivo de medias. Por lo tanto, se puede definir a la simulación de eventos discretos como: “Conjunto de relaciones lógicas, matemáticas y probabilísticas que integran el comportamiento de un sistema bajo estudio cuando se presenta un evento determinado” (García Dunna et al., 2013, pág. 4).

1.6.2 ELEMENTOS DE UN SISTEMA

Un sistema está compuesto por diferentes elementos necesarios para su construcción, por lo que es necesario conocer cada uno de ellos.

Entidad: Objeto que es manipulado, procesado, atendido o transportado a través del sistema (Piera et al., 2006), los cuales poseen ciertos atributos que definen su comportamiento; y por ende el estado del sistema.

Atributos: Son características de las entidades, locaciones o de los recursos que ayudan a definir el estado del sistema. Los atributos pueden ser variables cuando su comportamiento en el tiempo es variable, ejemplo de ello son las entradas al sistema que se presentan con una distribución de probabilidad cualquiera. Son parámetros cuando su comportamiento es constante en el tiempo, por ejemplo: capacidades (Piera et al., 2006).

Estado del sistema: Es la condición que guarda el sistema bajo estudio en un momento de tiempo determinado. El estado del sistema se compone de variables o características puntuales y de variables o características de operación acumuladas o promedio” (García Dunna et al., 2013, pág.4).

Actividades: Son las tareas que se realizan a las entidades en un tiempo finito y definido, cabe recalcar que no es necesario una actividad para cada entidad, puesto que ésta puede realizarse a diferentes entidades.

Evento: Es el proceso de cambio de una actividad a otra que se produce en un tiempo instantáneo, por lo que marca el fin de una actividad y el inicio de otra. García Dunna et al. (2013) define un evento como el cambio en el estado actual del sistema, el cual puede ser de dos tipos: eventos actuales, aquellos que están sucediendo en un sistema en un momento dado, y eventos futuros, cambios que se presentaran en el sistema después del tiempo de simulación, de acuerdo con una programación específica (pág. 4).

Locaciones: Son todos los lugares por los cuales transita una entidad, tomando en cuenta no sólo aquellos en los que se realiza una operación, sino también en los que la entidad espera a ser atendida, es decir, las colas.

Recursos: Es toda persona, maquinaria o cualquier otro elemento móvil que proporciona un servicio necesario para la realización de las actividades en las entidades.

VARIABLES: Son condiciones que se dan al sistema, éstas a su vez pueden ser continuas o discretas cuyos valores pueden modificarse a través de ecuaciones matemáticas y relaciones lógicas (García Dunna et al., 2013). Existen variables de entrada, de estado y de salida.

En la tabla 1.1 se ejemplifican los elementos antes analizados en casos generales como sistemas productivos, sistemas de servicios y sistemas de distribución.

Tabla 1.1: Ejemplos de elementos de sistemas en casos generales

Sistema	Entidades	Actividades	Recursos	Locaciones	Atributos
Productivo	Materia prima, productos (en proceso, terminados)	Operaciones de corte, inyección, empaque, transporte etc.	Herramientas, personal operativo, vehículos de cargue y descargue	Estaciones de corte, inyección, empaque, almacén, etc.	Tipo de producto, tiempo de operación, velocidad de la banda transportadora, cantidad de productos/caja.
Servicios	Clientes, vehículos, pacientes	Consignación de dinero, lavado del vehículo, diagnóstico del paciente	Vehículos de servicio de pacientes, instrumentos de medición.	Cajero, estación de lavado, consultorio.	Tiempo entre llegadas de los clientes, tiempo de procesamiento de las solicitudes, tiempo de lavado del vehículo.
Distribución	Camiones	Consolidación de la carga, transporte	Grúas, montacargas.	Almacén, puerto, centros de distribución.	Capacidad de los camiones, tiempo de consolidación y de transporte, capacidad del almacén, ubicación de los centros de distribución.

Fuente: (Marrero et al., 2002, pág. 20).

1.7 PASOS PARA REALIZAR UN ESTUDIO DE SIMULACIÓN

Para la realización del estudio de simulación es necesario definir una metodología lógica y sistémica que garantice que el modelo funcione, tal como lo hace el sistema real y así las variables que se deseen estudiar tengan el menor error posible.

La ilustración 1.4 muestra la naturaleza iterativa del proceso para realizar un trabajo de simulación.

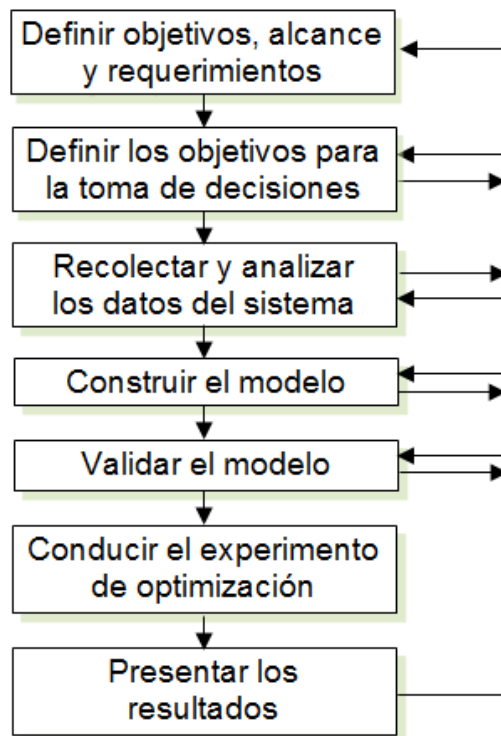


Ilustración 1.4: Proceso iterativo de la simulación

Fuente: Harrell et al. (2000).

1.7.1 DEFINIR OBJETIVOS, ALCANCE Y REQUERIMIENTOS

Estrechamente relacionado con el planteamiento de los objetivos es necesario conocer con claridad el sistema a modelar, es decir, contar con la información suficiente para lograr establecer el modelo conceptual del caso de estudio (García Dunna et. al., 2013). Para su definición y mejor comprensión se requiere responder las interrogantes siguientes (Blanco Rivero & Fajardo Piedrahíta, 2003):

- ¿Cómo está distribuida la planta (*layout*)?
- ¿Cuántos centros de trabajo (*locations*) tiene el proceso?
- ¿Cuántos productos o subproductos (*entities*) se quieren incluir en el modelo?
- ¿Quién requiere un recurso y cuándo y dónde lo necesita?
- ¿Qué se desea medir?
- ¿Cuáles serán los indicadores que se deberán tener en cuenta?

- ¿Cuánto tiempo se simulará el proceso?
- ¿Qué tan variable es el proceso?

Los objetivos deben ser planteados de forma tal que guarden especial relación con las variables de respuesta y de decisión del modelo, las primeras pueden ser planteadas a partir de un análisis de sensibilidad, mientras que las segundas, se plantean a través del análisis de la mejor configuración de las mismas para alcanzar los objetivos de rendimiento deseados en la optimización (Harrell et al., 2000).

Además, es necesario tomar en cuenta aspectos relacionados con el alcance, nivel de detalle y grado de exactitud que se pretende con el modelo, en aras de minimizar tiempo y esfuerzo en las fases posteriores (Blanco Rivero & Fajardo Piedrahíta, 2003).

1.7.2 RECOLECTAR Y ANALIZAR LOS DATOS DEL SISTEMA

En este paso se procede a dividir los datos en tres categorías: estructurales, operacionales y numéricos. En los primeros se consideran la cantidad de locaciones, recursos y entidades, así como, las redes de abastecimiento a los puestos de trabajo. El análisis de los datos operacionales permite explicar cómo opera el sistema, es decir, cuándo, dónde y cómo tienen lugar las actividades (Marrero Delgado et. al., 2002).

Los datos numéricos representan la información útil para la determinación de las distribuciones de probabilidad asociadas a cada una de las variables aleatorias necesarias para la simulación, lo que significa que, si no se cuenta con la información requerida o se desconfía de la misma, es necesario realizar un estudio estadístico del comportamiento de dichas variables, para luego proceder a incluirlas en el modelo (García Dunna et. al., 2013).

1.7.3 CONSTRUIR EL MODELO

La construcción del modelo consiste en realizar una representación simplificada de la realidad, es importante tomar en cuenta que una actividad debe considerarse siempre en términos de su efecto sobre otros elementos del sistema en lugar de en términos de la forma detallada en la que se lleva a cabo. Tales mecanismos detallados son intrascendentes para las entidades globales del flujo y utilización de los recursos.

El modelo se construye en base a elementos estructurales, tales como máquinas, personas, elementos de trabajo y áreas de trabajo ya antes definidos, para los cuales es necesario precisar el comportamiento de los diferentes elementos físicos en el sistema y cómo interactúan. Estos incluyen hojas de ruta, operaciones, las llegadas, entidad y el movimiento de recursos, reglas de selección de tareas, horarios de recursos, y los tiempos de parada y reparaciones (Harrell et al., 2000).

Es recomendable construir un sub-modelo asociado a la actividad más importante del sistema [Marrero Delgado et. al., 2002], es decir, a la actividad más compleja del proceso productivo desde el punto de vista operativo, cuya comprensión y variables de respuesta sirvan de entrada al modelo general, lo cual permita minimizar la programación de éste.

1.7.4 VALIDAR EL MODELO

El proceso de validación se garantiza, principalmente, desde la misma programación de los modelos, manteniendo siempre el sentido de la aplicación (Marrero Delgado et. al., 2002).

Posteriormente, es necesaria la realización de una serie de pruebas simultáneas con información de entrada real para observar su comportamiento y analizar sus resultados. El objetivo de este paso corresponde a obtener un comportamiento similar al que se presenta en el proceso real si es que este existe, de no ser el caso, la validación consiste en introducir algunos escenarios sugeridos por el cliente y demostrar su congruencia (García Dunna et. al., 2013).

1.7.5 CONDUCIR EL EXPERIMENTO DE OPTIMIZACIÓN

Este paso comienza realizando un análisis de sensibilidad como parte del estudio de optimización (Harrell et. al., 2000), lo cual implica la realización de corridas o réplicas experimentales que permitan hacer comparaciones con el comportamiento histórico del sistema [Marrero Delgado et. al., 2002]. A partir de estas corridas pilotos, se detecta los momentos en que alcanzan la estabilidad las variables respuesta y se determina la cantidad definitiva de réplicas a ejecutar, asumiendo un nivel de confianza y los niveles

de exactitud arrojados por las desviaciones típicas determinadas en las variables respuesta.

García Dunna et. al., (2013) hace énfasis en generar escenarios pesimistas, intermedios y optimistas que permitan determinar la influencia de estas (variable independiente) en las principales variables respuesta consideradas (variables dependientes).

1.8 PAQUETES COMERCIALES PARA LA SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS

Existen variedad de *softwares* que permiten la simulación de eventos discretos, los cuales han representado una gran herramienta utilizada en las empresas, bien sea para solución de procesos productivos, o procesos en los que se brindan servicios.

Algunos de estos paquetes comerciales son:

ProModel: Es un *software* enfocado a procesos de fabricación de uno o varios productos, líneas de ensamble y transformación, etc. Además, también es posible realizar simulaciones de operaciones de servicios aunque esta no sea su especialidad (García Dunna et al., 2013).

La visualización de un modelo simulado en ProModel se muestra en la figura 1.1.

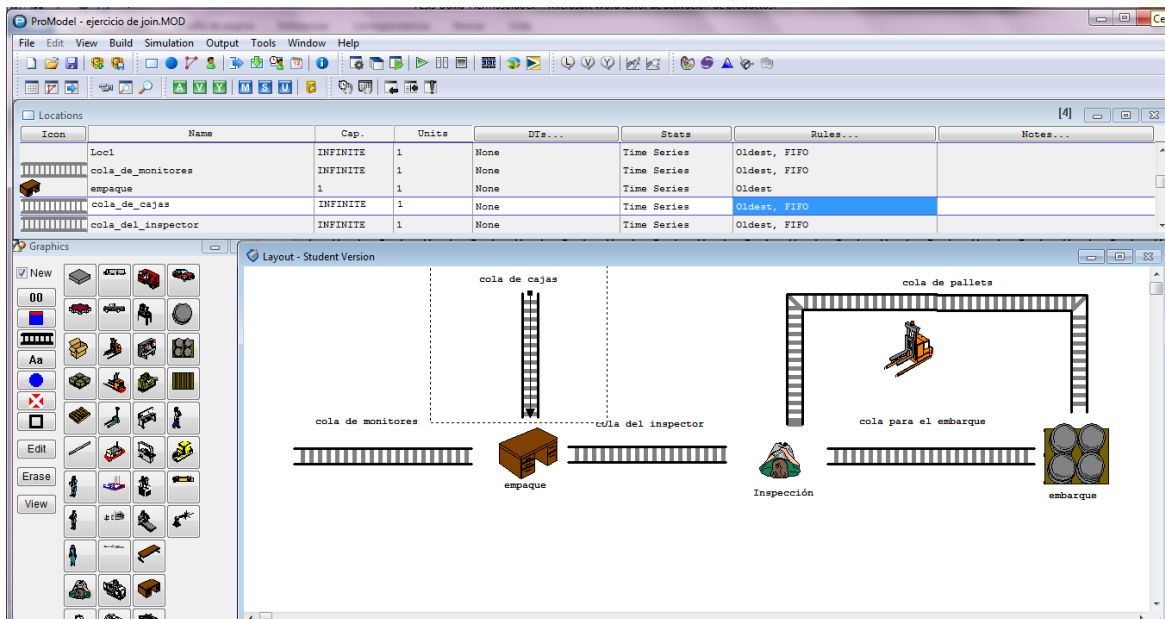


Figura 1.1: Captura de un modelo simulado en *ProModel*

Fuente: (ProModel, 2011).

AutoMod: Permite modelar la concepción de las instalaciones y le permite simular sistemas logísticos, de mantenimiento o de distribución. Puede simular fácilmente y con precisión sistemas de todo tamaño o de nivel de detalle, que van desde las operaciones manuales, hasta las instalaciones totalmente automatizadas. Su éxito y su productividad están aumentados cuando utiliza las capacidades únicas de Applied AutoMod tales como: animación 3D en realidad virtual, modelización interactiva, modelos de sistemas automatizados y el lenguaje de modelización propietario “*English-like*”. *AutoMod* provee animaciones realistas en 3D y una flexibilidad fácilmente aplicable, lo que permite simular una cantidad infinita de aplicaciones, de las operaciones manuales, las celdas de trabajo, las carretillas de horquillas elevadoras, hasta las taquillas de los aeropuertos, las operaciones de servicio de locación automóvil, los sistemas “drive” para la comida rápida o también los sistemas logísticos y gráficos (SIMCORE, 2015). En la figura 1.2 se puede visualizar como es el diseño de un sistema modelado en el simulador *AutMod*.

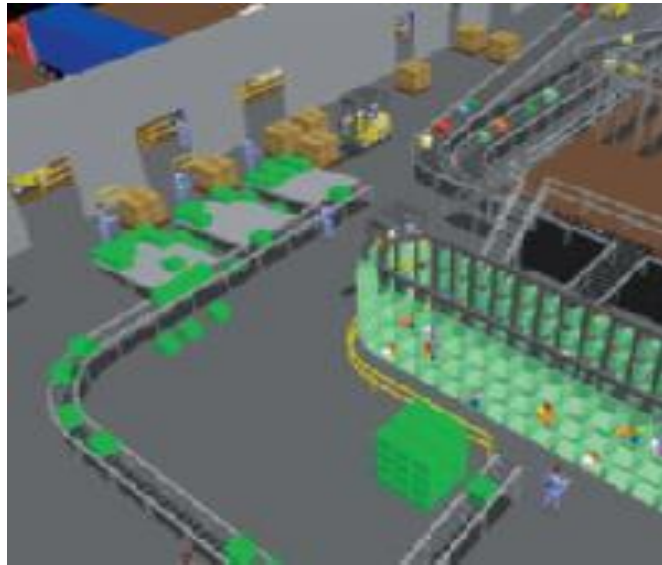


Figura 1.2: Captura de un modelo simulado en *AutoMod*

Fuente: (SIMCORE, 2015).

Arena: Posee metodologías de modelado mediante diagramas de flujo que incluyen una gran biblioteca de bloques de construcción predefinidos para modelar el proceso sin la necesidad de programación personalizada. Además, cuenta con una gama completa de opciones de distribución estadística para modelar con precisión la variabilidad del proceso. Tiene capacidad de animación 2D y 3D realistas para visualizar resultados más allá de los números. También provee un análisis estadístico y generación de informes (Rockwell Automation, 2016).

1.8.1 FLEXSIM

Flexsim es una potente herramienta de análisis que ayuda a los ingenieros y planificadores a tomar decisiones inteligentes en el diseño y operación de un sistema. En él es posible construir el modelo en tres dimensiones con una visualización mucho más realista.

En términos técnicos, *Flexsim* se clasifica como un programa de software de simulación de eventos discretos. Los artículos que a menudo se procesan en un modelo de simulación de eventos discretos son, a menudo, los productos físicos, pero también pueden ser clientes, papeleos, dibujos, tareas, llamadas telefónicas,

mensajes electrónicos, etc. Estos avanzan a través de una serie de procesos, la puesta en cola y pasos de transporte, a lo que se le denomina un flujo de proceso, y en cada paso está expuesto a requerir uno o más recursos, tales como una máquina, un transportador, un operador, un vehículo o una herramienta de cualquier tipo. Algunos de estos recursos son estacionarios y otros son móviles; unos cuantos de ellos realizan una sola actividad y otros están dedicados a compartir varias actividades.

Flexsim está propuesto para resolver tres problemas básicos: los problemas de servicio, en la necesidad de procesar a los clientes y sus peticiones en el momento correcto para el más bajo costo posible; los problemas de fabricación, como la necesidad de hacer el producto correcto en el momento correcto y con un bajo coste; y problemas de logística, en la necesidad de obtener el producto adecuado, en el lugar adecuado, en el momento adecuado y con un bajo coste posible (FlexSim Problem Solved, 2014).

La visualización de un modelo simulado en *FlexSim* se muestra en la figura 1.3.

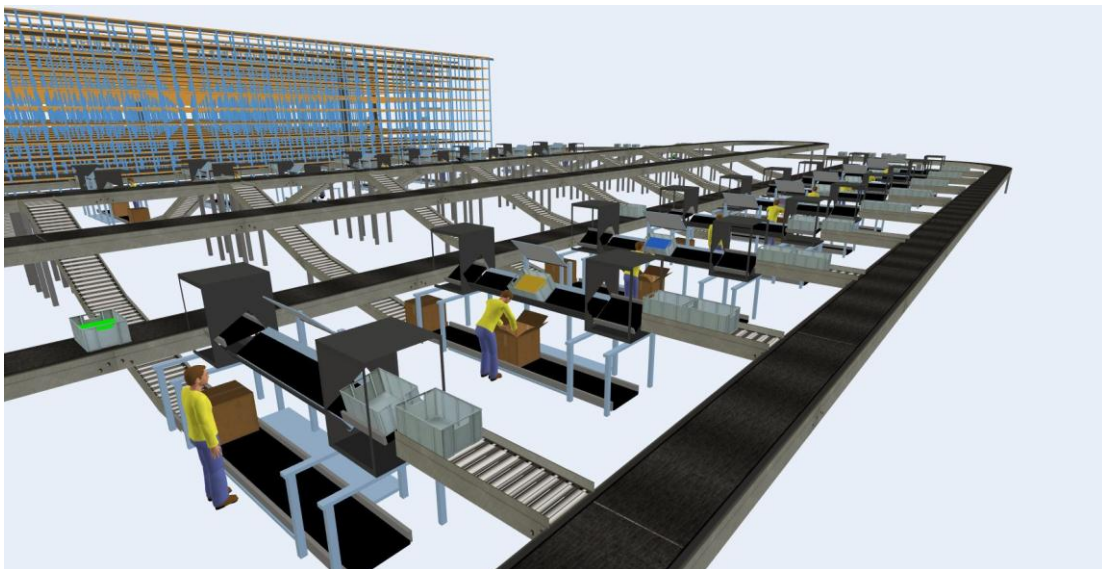


Figura 1.3: Captura de un modelo simulado en *FlexSim*

Fuente: (FlexSim Problem Solved, 2014).

Terminología en FlexSim

Objetos de *Flexsim*: simulan diferentes tipos de recursos en la simulación por ejemplo: la cola, que representa un espacio de almacenamiento o de espera; el procesador que simula un retraso o un tiempo de procesamiento y puede estar representado por una máquina o incluso un operador que realiza alguna actividad.

Productos de flujo (*Flowitems*): son objetos que se mueven a través del modelo, pueden ser partes, paletas, papel, envases, llamadas telefónicas, pedidos o cualquier cosa que se mueva a través del proceso que se está simulando. Estos pueden tener procesos efectuados sobre ellos y se pueden llevar a través del modelo con recursos de manejo de materiales.

Etiquetas (*labels*): son cadenas o números que están almacenados en los *Flowitems* y objetos. Estas pueden ser dinámicamente alteradas en el curso de un flujo de proceso y pueden ser útiles para almacenar información tal como el costo, el tiempo de procesamiento, etc.

Tipo de artículo (*itemtype*): es una etiqueta especial que se coloca en el *flowitem*, y podrían representar un número de código de barras, tipo de producto, el número de pieza, etc. Flexsim está configurado para utilizarlo como referencia en *flowitems* de enrutamiento.

Puertos (*ports*): cada objeto tiene un número ilimitado de puertos a través de los cuales el primero se comunica con otros objetos. Existen tres tipos de puertos: entrada, salida y de centro. Los puertos de entrada y salida se utilizan para el encadenamiento de *Flowitems*, mientras que los de centro se utilizan para crear referencias de un objeto a otro.

Herramienta “*ExpertFit*”

El *ExpertFit* determina de forma automática y precisa la distribución de probabilidad que mejor representa al conjunto de datos; mientras que un segundo objetivo es ofrecer una fuente de aleatoriedad cuando existe ausencia de datos. Una vez que *ExpertFit* ajusta los datos a una distribución existen dos formas de funcionamiento: *Standard* y *Advanced*. El modo Estándar (predeterminado) es suficiente para el 95 por

ciento de todos los análisis y requiere la concentración en aquellas características consideradas las más importantes en un punto particular de un análisis. En cambio, el modo avanzado contiene un gran número de características adicionales. Además, permite realizar diversos análisis para las distribuciones de ajuste en dos niveles de precisión Normal y Alta (FlexSim Problem Solved, 2015).

Herramienta “*Experimenter*”

El experimentador que ofrece *Flexsim* se utiliza para definir, ejecutar y analizar experimentos en modelos de escenarios definidos, y en no pocas ocasiones, para la búsqueda de resultados optimizados. Para crear una ejecución de un experimento es necesario añadir las variables al experimentador. Estas variables son los elementos del modelo que se desean optimizar como parte de un experimento dado, como por ejemplo: el número de operadores para un equipo determinado o la posición de un recurso fijo.

Un escenario es una configuración específica del conjunto de variables que se ha definido. Por lo tanto, las variables deben tener al menos un escenario que es un valor numérico que se asigna a la variable asociada.

1.9 APLICACIÓN DE LA SIMULACIÓN

Según los artículos publicados en la *Winter Simulation Conference* (2014) existen diferentes campos de aplicación de las técnicas de simulación orientadas a eventos discretos, tales como: procesos de fabricación, logística, transporte, sanidad, negocios, construcciones, emergencias y otros servicios en general.

Las herramientas de simulación orientadas a eventos discretos ofrecen una plataforma que permite emprender con éxito un proceso de mejora continua de sistemas complejos para los cuales las técnicas analíticas clásicas basadas en el cálculo diferencial, teoría de probabilidades y métodos algebraicos, no pueden ser utilizadas para formalizar de modo sencillo la complejidad de los procesos (Guasch Petit et al., 2005).

1.9.1 APLICACIONES DE *FLEXSIM*

FlexSim permite la simulación de sistemas en diversas áreas, tales como:

- Simulación de procesos de fabricación, para optimizar espacio en el piso, identificar los cuellos de botella, reducir al mínimo el tiempo de inactividad de la máquina y el tiempo ocioso del operador y reducir el inventario.
- Producción o ensamblaje, la labor de un gerente de operaciones surge en dar respuestas o soluciones a preguntas como: ¿Y si añadimos otra máquina? ¿Y si nos trasladamos este proceso? ¿Qué pasaría si tuviéramos una nueva máquina con menos tiempo de inactividad en esa estación? ¿Qué pasa si este operador estuvo a cargo de las dos máquinas? y *FlexSim* es la herramienta que contribuye a dar una respuesta rápida y eficiente a estas incógnitas.
- *Lean/Six Sigma*: Ayuda a identificar los siete desperdicios en su sistema. Se puede dar una retroalimentación en todo, desde la ubicación y la velocidad de acumulación de inventario hasta cómo un cambio de diseño afecta la cantidad de operadores o el movimiento del producto. También puede mostrar como un proyecto de *Six sigma*, que mejora una parte del sistema, afectará al resto del sistema.
- Simulación de Transportadores: Los sistemas de transportes tienen retos y oportunidades únicas. El *software* de simulación adecuado puede ayudar a identificar áreas de necesidad y optimizar el flujo a través del sistema de transporte.
- Simulación de Embalaje: El empaquetado debe ser un proceso eficiente que garantice que su producto entrega un valor añadido para sus clientes. ¿Cómo el embalaje afecta a nuestro sistema en general? ¿Cómo debemos diseñar la nueva zona de embalaje? ¿Cómo podemos empaquetar de forma más eficaz? son preguntas que pueden ser contestadas mediante la simulación en *FlexSim* puesto que el *software* ofrece transportadores, equipos de manipulación de materiales, operadores y otros objetos creados previamente que le permiten identificar, probar y resolver problemas en el embalado de sus productos. Haciendo pruebas de embalaje en un entorno 3D nativo ayuda a entender visualmente y estadísticamente lo que realmente está sucediendo.

- Simulación del almacenamiento: Los almacenes tienen preocupaciones específicas en sus sistemas ya se trate de *cross dock*, carga fraccionada o consolidación del almacén. El *software* de simulación puede ayudar a que los procesos sean más eficientes optimizando el espacio del almacén y el diseño, identificando formas de mejorar en la rotación de inventarios o aumentando la productividad de las operaciones de embalaje.
- Simulación de Manejo de materiales: El *software* de simulación puede ayudar a disminuir el número de contactos entre los operadores y optimizar el movimiento en un sistema de manipulación de material. Puede aumentar el índice de recogidas/día y mejorar la precisión de las recogidas.
- Simulación Logística: *FlexSim* puede ayudar a aumentar la confiabilidad de un servicio, optimizando el uso de camiones o completando más envíos. Además, se puede utilizar para identificar las áreas del modelo de logística que están causando problemas y luego investigar soluciones sin costosas inversiones de capital.
- Simulación de cadenas de suministros: ¿Qué pasa si uno de nuestros proveedores sale del negocio? ¿Y si enviamos en tren en vez de camiones? Puede ayudar a medir la flexibilidad de una cadena de suministro e identificar cómo los cambios en uno de los extremos afectarán al cliente.
- Simulación del transporte: Hace que mejorar su proceso de transporte sea mucho más simple. Se puede modelar la variabilidad que es inherente en el transporte, y determinar la efectividad de cualquier enfoque.
- Simulación de Aeropuertos: Es la herramienta ideal para esta aplicación puesto que puede ayudar a identificar formas de reducir demoras en las salidas, mejorar el manejo de equipaje, tiempo o mover a la gente con más facilidad a través de la seguridad.
- Simulación de Emergencias: ¿Es el plan adecuado? ¿Cuánto tiempo se necesitaría para evacuar? El *Software* de simulación *FlexSim* puede ser utilizado para poner a prueba los planes de evacuación o de emergencia.
- Simulación de Proyectos de Planificación: ¿Cuánto tiempo va a tomar este proyecto? Si vamos con este proveedor en lugar de otro, entonces acelerara el

proyecto? El *Software* de simulación *FlexSim* ayuda a responder a estas y muchas otras preguntas, ya que se logra planificar proyectos de forma más precisa tomando en cuenta la comprensión de las variaciones del proyecto.

- Simulación de Negocios: otra de las aplicaciones es la simulación de negocios, pues ayuda a dar solución a preguntas como: ¿Cómo podríamos ajustar las operaciones de productos si nuestros competidores bajaron sus precios? ¿Cómo esos cambios afectarían a otros productos?
- Simulación al por menor: El *Software* de simulación *FlexSim* es importante en un entorno minorista. Esto hace que sea más fácil de probar y refinar nuevos diseños de las tiendas y operaciones sin interrumpir las operaciones actuales.
- Simulación de Centros de Atención de Llamadas: Ayuda a disminuir el tiempo de espera del cliente u optimizar el horario de los operadores, esta herramienta ayuda a entender cómo la variabilidad influye en su centro de llamadas.
- Simulación de Atención al Cliente: ¿Cómo aumentamos los niveles de servicio? ¿Cuál es el número ideal de representantes de atención al cliente? *FlexSim* puede ayudar a responder a estas y muchas otras preguntas, ya que el motor de simulación 3D hace que sea más fácil entender que parte en el servicio al cliente podría mejorar dentro de su organización.
- Simulación de centros de Salud: una de las aplicaciones es ayudar en la mejora de las salas de emergencia, clínicas, hospitales u otros proveedores de atención médica. Es útil en la disminución del tiempo de espera de los pacientes, aumento del tiempo de utilización de la máquina, la mejora de los materiales y el flujo de pacientes.
- Simulación del flujo en edificios: La Simulación de flujo en edificios es importante para arquitectos, estudios de arquitectura y empresas. Con el software de simulación puede optimizar cómo materiales y personas se mueven a través de un edificio.
- Simulación en Minería: El *Software* de simulación *FlexSim* puede ser utilizado en la minería para aumentar la utilización de la maquinaria, reducir el tiempo de inactividad, aumentar la capacidad y disminuir los costos unitarios.

- Simulación de eventos discretos: Simulación de eventos discretos es la creación de modelos de sistemas basados en estadísticas donde los objetos se mueven a través de una serie de pasos. *Flexsim* es un simulador de eventos discretos y de flujo de fluido, con la capacidad de convertir entre flujos continuos y flujos discretos (FlexSim Problem Solved, 2015).

CAPÍTULO II

2 CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA GESTIÓN PRODUCTIVA DE LA FÁBRICA GARDENIA

2.1 INTRODUCCIÓN

Dentro de la caracterización y diagnóstico de la gestión productiva se hizo énfasis en los cuatro primeros pasos del procedimiento del anexo 1, sin llegar a determinar el Nivel de Excelencia Organizativa Industrial debido a que no es considerado objeto de estudio.

2.2 CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

La Fábrica Gardenia es una empresa de carácter unipersonal ubicada en Atuntaqui, barrio la Merced, la cual lleva una trayectoria en el mercado de más de 24 años. Comienza su trabajo con 20 máquinas y 15 trabajadores, pero su actividad productiva fue creciendo poco a poco hasta convertirse en lo que es hoy, la segunda fábrica de medias más grande en el Ecuador.

2.2.1 FACTORES INTERNOS

Misión

Medias “Gardenia” es una empresa dedicada a la elaboración y comercialización de calcetines, ofrece a sus clientes media deportiva, casual, formal y colegial para damas, caballeros y niños en una gran variedad de diseños únicos y exclusivos. Busca satisfacer las necesidades y expectativas de los clientes trabajando con material importado, maquinaria de última tecnología y personal comprometido a brindar productos de la más alta calidad a precios competitivos y acordes con la tendencia actual del mercado.

Visión

En el año 2018 Fábrica Gardenia será reconocida a nivel nacional e internacional como una de las empresas más grandes del país en la elaboración y comercialización de calcetines. Busca garantizar productos y servicios de calidad mediante el mejoramiento continuo de sus procesos, manteniendo así la fidelidad y confianza de sus clientes, con responsabilidad social y en comunión con el medio ambiente.

Estructura organizativa

La Fábrica Gardenia cuenta con una estructura organizativa poco definida, tal y como se muestra en el organigrama del anexo 4.

El número total de trabajadores que contribuyen con la actividad productiva es de 111, de ellos 10 son administrativos encargados de la Dirección Contable Financiera; mientras que 101 pertenecen al Departamento de Producción en las actividades de mantenimiento, diseño y producción propiamente.

Los trabajadores de producción se dividen de la manera siguiente: 38 laboran operando la maquinaria de formado o tejido de la media, 18 en la operación de planchado, 16 son costureras, 29 cumplen varias actividades (despacho, empaque, distribución a talleres, recepción de materia prima y almacenamiento). Además, cuenta con la operación de 15 talleres, uno de ellos se encarga del virado de la media y 14 realizan la actividad de planchado o etiquetado.

Materias primas y cartera de productos

Las materias primas más utilizadas son: el algodón regenerado, algodón 100% y acrílico, que combinados con otros materiales de alta calidad hacen que el producto final obtenga la contextura y calidad deseadas.

Como producto final se tienen una gran variedad de calcetines clasificados en cuatro familias de productos: colegial, deportiva, lycra y casual, cada una de ellas a su vez se subdivide en otros grupos, tal como se muestra en el anexo 5. Dentro de ellos el producto de mayor acogida en el mercado es la media corta logo en poliéster, la cual es vendida en almacenes de Guayaquil. Además, existe otro producto muy comercializado en Colombia que es la media Colegial Pupiada.

2.2.2 FACTORES EXTERNOS

Principales clientes

Los principales clientes son cadenas comerciales, dentro de las que se destacan las que siguen:

- Marathon en productos como zapatillas y cortas en poliéster sportenka, algodón regenerado, algodón 100% y malla lisa;
- Fybeca en la compra de zapatillas algodón 100% y media lycra para dama;

- Súper Éxito un cliente múltiple que adquiere diversos diseños de diferentes familias y materiales;
- Deprati, cliente exclusivo de medias para bebé.

Posición de la organización respecto a la competencia

Respecto a la competencia puede decirse que la fábrica ha venido creciendo a pasos agigantados a través del tiempo, esto ha hecho que sea considerada como la segunda empresa más grande, en cuanto a capacidad de producción, a nivel nacional dentro de esta actividad productiva. Pero se considera que la organización no ha actuado estratégicamente para apoderarse del mercado nacional, puesto que no ha hecho uso de herramientas y nuevas tecnologías que permiten a toda empresa ser más competitiva. Esto ha incidido en que Medias Roland lleve la delantera y que conjuntamente con otras nuevas empresas estén abarcando la mayor parte de la demanda.

Por otra parte, la calidad que se ofrece en el producto terminado es alta y se podría decir que es competitiva en este aspecto, pero ha descuidado el fortalecimiento del área comercial, marketing y publicidad, impidiendo así la posición de la marca y ocasionando que esta debilidad se convierta en una oportunidad para otras empresas.

Según estadísticas de una encuesta realizada a pequeños comerciantes de medias en el 2014 se obtuvo que más del 50% del mercado es cubierto por medias Roland, un 32% por medias Vanliz, otras marcas como Mecrisga, Baitex y Eltex también son conocidas y buscadas por los clientes, mientras que Gardenia apenas ocupa un 12% a pesar de su alta capacidad de producción. El problema radica en que se ha descuidado el afán por cubrir el mayor porcentaje del mercado nacional y no buscar estrategias y políticas de ventas que hagan incrementar su cartera de clientes. Su mayor ingreso lo representa el mercado colombiano con un 40% de participación en el total de los ingresos por ventas de la fábrica.

Principales proveedores

La fábrica cuenta con más de 20 proveedores de materia prima, pero de ellos los principales que forman parte de la cadena de suministro son las empresas textiles siguientes:

Algodón 100%

- Colonial
- Filbrescia
- Royal

Acrílico

- Beltex
- Interfibra
- Lanafit

Nylon y poliéster

- Enkador
- Policosmos
- Hiltexpoy

Algodón regenerado

- Ferre
- Texplan
- Belta

Elástico y licra

- Ribel
- Gomelast

2.2.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

El proceso productivo que se sigue para la elaboración de medias se muestra en el diagrama SIPOC del anexo 6. Todo comienza con la recepción y almacenamiento de la materia prima, la cual es despachada desde la bodega según se presente la necesidad de la misma.

Formado o tejido

Como primera operación del proceso se encuentra el formado o tejido de la media, la cual trabaja con características continuas aun cuando el resto de las operaciones trabajen de acuerdo a un flujo en lotes. Ella es considerada como la operación que más dificultades presenta en el sistema, no por las actividades que se realiza, sino más bien por los inconvenientes que trae consigo debido al alto número de máquinas automáticas disponibles para esta actividad y las diferentes restricciones que tienen

cada una de ellas al momento de programar una producción. Para la realización de una media es necesario tomar en cuenta el número de agujas, el tamaño del cilindro y el número de alimentaciones que tiene la máquina. Esta operación es controlada por operarios conocidos como enebradores y viradores. Los primeros se encargan de controlar paradas de máquina debido a problemas de corrida del hilo (cuando el hilo se rompe, se enreda o se monta sobre una pieza de la máquina) o cuando un cono se ha terminado y es necesario cambiarlo por uno nuevo. Mientras que los segundos viran la media al reverso una vez que termina su formado y cae de la máquina sobre una canastilla o funda, inspeccionan que esta no sea defectuosa y forman las docenas, en caso que la media tenga falla es separada de las demás para darle un acabado diferente. Todos los inconvenientes antes mencionados son detectados automáticamente por la máquina, ante ellos esta se detiene y enciende una luz de aviso. Se podría creer que esto hace que la media no salga defectuosa, pero debido a que la máquina se encuentra a una velocidad promedio de 180 rpm no puede pararse instantáneamente y debe terminar el tejido de esa media, la cual sale con imperfección y es catalogada como media de segunda. Cuando el problema es mucho mayor el operario detiene la máquina aunque el formado de la media no esté completo y el resultado de ello es entonces un desperdicio.

Está formada por 212 máquinas automatizadas que le aportan el mayor valor agregado al objeto de trabajo, todo lo cual unido a las razones anteriores la convierten en el punto fundamental del proceso productivo.

Cosido y Remallado

Una vez que las medias han terminado su proceso de formado y están agrupadas en docenas, el (la) jefe (a) del área cuenta las producidas en el turno y procede a distribuirlas al área de cosido y remallado, en donde las costureras cosen la punta de la misma. Para ello emplean máquinas overlock cuando son medias talón falso o máquinas remalladoras cuando son medias talón verdadero (generalmente medias 100% algodón).

Virado

Las docenas ya cosidas pasan a ser empacadas en bultos y distribuidas al taller de virado que está ubicado fuera de las instalaciones de la fábrica. Este proceso consiste en cortar los hilos que unen las medias como una cadena para poder separarlas y posteriormente virarlas al lado derecho. Aquí también el trabajador debe ser precavido en que la media no tenga ninguna falla, en caso contrario debe separarla del grupo. Por último, las medias deben volver a ser contadas y empacadas en bultos para luego ser transportadas, bien sea a talleres de plancha o a la fábrica.

Planchado

Una vez que se encuentren las medias en el lugar de planchado, se procede a desempacar los bultos y a distribuirlos en cantidades iguales a cada plancha. La manipulación de la máquina es realizada por dos personas, una de ellas se encarga de colocar la media en el molde y la otra en retirarla una vez que ésta ha terminado su tiempo en la plancha (el tiempo depende del material de la misma), forma la docena y la coloca en pacas para su posterior distribución a los talleres de etiquetado.

Etiquetado

Antes de ser transportadas las pacas a los talleres se generan los adhesivos codificados que tiene cada paquete de docena o media docena de medias y las etiquetas que llevará cada par. Todos estos insumos son enviados conjuntamente con las pacas en cantidades exactas a cada taller. Estos talleres al ser el último proceso que manipula la media antes del acabado final, tienen la responsabilidad de realizar un control minucioso en la media para evitar que un producto defectuoso llegue a manos del cliente. Una vez terminado el etiquetado nuevamente son empacadas en fundas y transportadas a la fábrica para su posterior almacenamiento.

Almacenamiento

Se forman pacas o bultos dependiendo de la bodega a la que pertenezca el producto, con cantidades ya determinadas, se sellan con cinta de embalaje, se coloca una referencia de la media y se procede a almacenar en estibas del mismo tipo y talla hasta que el cliente pida el producto.

Todo el proceso productivo descrito se desarrolla en el *layout* que se muestra en el anexo 7, el cual es uno de los insumos sobre el cual se desarrollará el modelo de simulación.

2.2.4 CLASIFICACIÓN DEL SISTEMA

El sistema de la Fábrica Gardenia, en cuanto a la manera de satisfacer las órdenes de los clientes, presenta una combinación contra pedido y contra almacén, siendo la segunda la más predominante puesto que únicamente trabaja contra pedido cuando es un producto que generalmente no se produce; y por ende, no se maneja inventario del mismo.

En cuanto al flujo del objeto de trabajo se clasificó en producción por lotes, con tamaños de estos que oscilan entre los medianos y grandes por cada una de sus líneas de productos. Las características que justifican esta clasificación son las que siguen:

- La cantidad de productos que conforman el lote se define desde la operación de formado, con un lote de transportación que va variando a lo largo del proceso en dependencia del tipo de producto, capacidad de los medios de manipulación, embalajes, etc.
- Una operación puede emplearse para elaborar distintos tipos de productos. Todas las áreas están diseñadas con la flexibilidad necesaria para poder enfrentar esta alta variedad en las producciones con los mismos recursos.
- El objeto de trabajo por lo general sigue la misma ruta tecnológica a lo largo del proceso productivo, salvo en algunos productos en la que esta varía.
- Se emplean equipos especializados pero con una alta flexibilidad para producir diversos tipos de medias. Este es el caso de las máquinas utilizadas en el proceso de formado, existiendo una amplia variedad de modelos de máquinas que permiten hacer frente a la diversidad en las producciones, todo lo cual hace más flexible el proceso.
- Posee mano de obra flexible en cuanto a su capacidad para fabricar diversos tipos de medias.

- Los altos desafíos que presentan se concentran en minimizar los niveles de inventario, maximizar la utilización de los medios y fuerza de trabajo y en la programación de la producción.
- Se emplea una distribución física enfocada al proceso, es decir, los equipos y áreas se agrupan de acuerdo a su funcionabilidad tecnológica. El producto pasará por estos de acuerdo a sus requerimientos.

2.3 ANÁLISIS DE LAS EXIGENCIAS TÉCNICO – ORGANIZATIVAS

Capacidad de reacción

Este es un indicador cuantitativo que por razones de no existir un historial de fechas de recepción de pedidos y entrega de los mismos se ha optado por realizar un análisis cualitativo. Según entrevistas con los altos directivos y personal de la fábrica estos afirman que existen reclamaciones de los clientes porque no siempre se cumplen los tiempos de entrega. Por lo general, no se pactan fechas de entrega de los pedidos quedando el cliente pendiente de aviso en cuanto a la terminación. En el tratamiento de estos pedidos a lo largo del proceso de producción se les da cierta prioridad dependiendo del producto que se esté elaborando, de la disponibilidad de la materia prima a utilizarse y de la existencia del programa para la máquina.

Flexibilidad

Flexibilidad de la fuerza de trabajo (Fft)

El anexo 8 muestra la cantidad de obreros que pueden ejecutar una misma operación, a partir de lo cual se calcula la flexibilidad de la fuerza de trabajo y donde se asume que todas las operaciones tienen el mismo grado de importancia. Los cálculos son los siguientes:

$$Fft = \frac{\left(1 - \frac{1}{21}\right) \times 1 + 3 \times \left(1 - \frac{1}{100}\right) \times 1 + \left(1 - \frac{1}{10}\right) \times 1 + \left(1 - \frac{1}{5}\right) \times 1 + \left(1 - \frac{1}{18}\right) \times 1 + \left(1 - \frac{1}{40}\right) \times 1}{8 \times 1}$$

$$Fft = 0,9425 = 94,25\%$$

El 94,25% de la flexibilidad de la fuerza de trabajo se debe fundamentalmente a que no todos los obreros pueden ejecutar las operaciones de enebrado, cosido y planchado a vapor, aun cuando el resultado es bastante favorable.

Flexibilidad de los medios de trabajo (Fmt)

El análisis de la flexibilidad de los medios de trabajo se realiza como la cantidad de objetos o nomenclatura de medias diferentes que serán capaces de procesar los grupos de puestos de trabajo del proceso. Visto de esta manera la flexibilidad de los medios es de un 100%. No siendo el caso si se enfoca el problema desde el punto de vista de la flexibilidad de las máquinas de acuerdo a su tipo, aun cuando no se considera que esto influya de manera significativa.

Flexibilidad del objeto de trabajo (Fot)

La cantidad de medias que pueden ser elaboradas con la materia prima que se recibe se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Resumen de medias que pueden ser elaboradas con el mismo material

Materias primas	Deportiva corta	Deportiva larga	Deportiva zapatilla	Colegial	Casual	Licra	Mallas	PDO media
Acrílico	x	X	X	X	x	x		6
Algodón antibacterial	x	X	X	X	x	x		6
Algodón 100%	x	X	X	X	x		x	6
Licra	x	X	X			x	x	5
Nylon	x	X	X	X		x	x	6
Poliéster	x	X	X	X				4
PDO material:	6	6	6	5	3	4	3	

Fuente: Elaboración propia.

Arrojando el resultado siguiente:

$$Fot = \frac{4\left(1 - \frac{1}{6}\right) \times 1 + \left(1 - \frac{1}{5}\right) \times 1 + \left(1 - \frac{1}{4}\right) \times 1}{6 \times 1}$$

$$Fot = 0,957 = 95,7\%$$

La alta flexibilidad del objeto de trabajo se justifica a partir de que con pocas materias primas se logra producir la alta nomenclatura de productos.

Para una flexibilidad integral del proceso de producción de:

$$Fpp = 0,943 \times 1 \times 0,957 = 0,90$$

Cuyo resultado se ajustó adecuadamente a las características de este tipo de sistema de producción por lote.

Fiabilidad

En tópicos anteriores se menciona la cierta inconformidad que se tiene en los tiempos de entrega. A lo que se añade que no existen registros de devoluciones en los que se mencione la razón de la misma. A pesar de que los pedidos no siempre son realizados con el material requerido o el diseño especificado, siempre se llega a un acuerdo con el cliente, pese a esto, continúan existiendo reclamos y devoluciones por razones de calidad. Por todo lo anterior es que esta exigencia se evalúa de forma deficiente.

Estabilidad

Para el análisis de la estabilidad se emplearon las variables: valor de la producción y productividad del trabajador, donde la primera es calculada como el valor de la producción total mensual por un precio de venta promedio. Los datos correspondientes al 2015, así como los resultados se resumen en la tabla 2.2 y las ilustraciones 2.1 y 2.2.

Tabla 2.2: Análisis de estabilidad para las variables productividad del trabajador e ingresos periodo 2015

ANÁLISIS ESTABILIDAD 2015						
MES	Media de primera	Media de segunda	Valor de la producción (\$)	N° trabajadores	Productividad (\$/trabaj)	INGRESOS (\$)
Enero	98899	2630	713881.47	126	5665.73	400436
Febrero	41558	884	299243.42	126	2374.95	244049.3
Marzo	57528	1667	415709.08	125	3325.67	256815.9
Abril	87682	2676	634056.98	122	5197.19	348295.3
Mayo	103906	2949	750640.46	118	6361.36	439798.4
Junio	99966	2814	722100.06	117	6171.8	178766.1
Julio	107970	3279	780712.38	116	6730.28	353573.3
Agosto	106113	2107	763580.93	115	6639.83	559080.6
Septiembre	103736	3073	749840.04	114	6577.54	316800
Octubre	101871	2970	736200.63	112	6573.22	401661.2
Noviembre	89454	2557	646296.26	111	5822.49	374366.2
Diciembre	97887	2597	706556.35	109	6482.17	705926.7
TOTAL AL AÑO	1096570	30203	7918818.06		67922.22	4579569
		\bar{X}	659901.51		5660.19	
		S	149849.97		1404.3	
		Es	0.77		0.75	

Fuente: Elaboración propia.

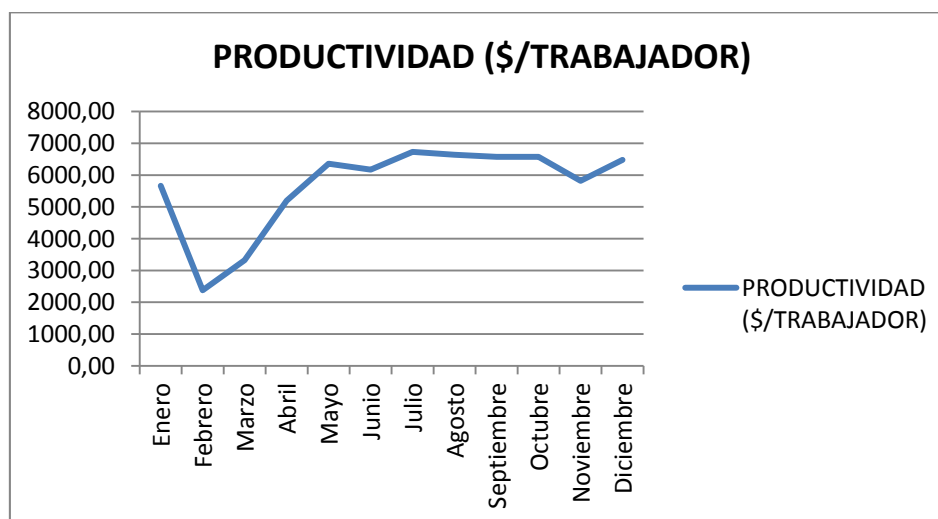


Ilustración 2.1: Productividad del trabajador para el periodo enero- diciembre, 2015

Fuente: Elaboración propia.

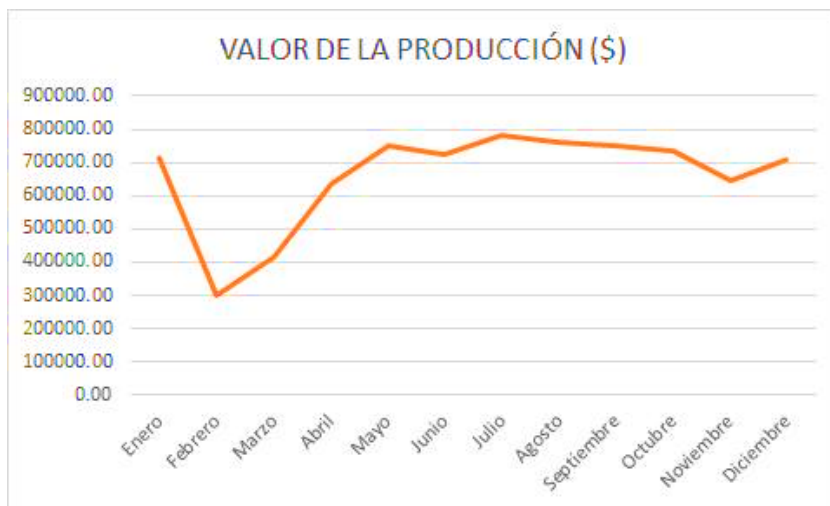


Ilustración 2.2: Valor de la producción para el periodo enero-diciembre, 2015

Fuente: Elaboración propia.

La productividad por trabajador se comporta alrededor del 75% y el valor de la producción se comporta a un 77%, aproximadamente, incidiendo como principal causa de inestabilidad para estas dos variables, los meses de febrero y marzo en los que se produjo un descenso en el valor de la producción, debido a la actividad de mantenimiento de la maquinaria.

Dinámica de rendimiento

Para este análisis se consideraron los indicadores de eficiencia de costo unitario, rendimiento de los medios de trabajo y rendimiento del objeto de trabajo, sobre la base de los datos recopilados en el 2015 (ver anexo 9).

- **Costo unitario de producción**

En el costo total están incluidos los siguientes gastos: materia prima, costo de materiales indirectos, repuestos, luz, fletes, lubricantes, combustibles, gastos de importación, gasto sueldos personal directo, depreciación maquinaria, otros gastos indirectos de producción, depreciación muebles y enseres, depreciación equipos de oficina, depreciación equipos de computación, depreciación vehículos, sueldos

personal administrativo, amortización equipos electrónicos, amortización robo, amortización incendio y amortización fidelidad.

La variable se mantiene estable durante todo el año a un 83,42%, con una media de 3,86 \$/docena e incidiendo de forma desfavorable los meses de febrero, marzo, agosto y diciembre. Los dos primeros como resultado de la actividad de mantenimiento donde se elevan los gastos por este concepto y se disminuye la cantidad de docenas producidas. Los dos últimos como resultado del incremento de los gastos por concepto de salarios producto del pago de los décimos a los trabajadores.

- **Rendimiento de los medios de trabajo**

Para su cálculo se afecta el volumen de producción mensual por un precio de venta promedio de \$7, 93 y se calcula a partir de la ecuación 1.15. El régimen de trabajo para las operaciones de formado, cosido y planchado es el que sigue:

- Formado: Trabaja con 212 máquinas en dos turnos de 12 horas cada uno.
- Cosido: Trabaja 8h por turno, un turno al día y utiliza 16 máquinas.
- Planchado: Trabaja con 8 máquinas, generalmente en un turno de 8 horas.

Con una afectación al fondo de tiempo de dos semanas en el mes de febrero y una semana en el mes de marzo.

La variable se mantiene estable durante todo el año a un 91,38%, con una media de 7,08 hora trabajada por cada dólar generado y una desviación de 0,61.

- **Rendimiento del objeto de trabajo**

Para el cálculo del rendimiento del objeto de trabajo se utiliza la ecuación 1.16 y se consideran sólo los gastos por concepto de materias primas y materiales y el valor de la producción.

La variable se mantiene a un 86,8% de estabilidad, con un valor de 3,26 dólares de ingreso por cada dólar invertido en materias primas y materiales. Está afectada principalmente en los meses de noviembre y diciembre en los que se presenta un

incremento en los gastos de materias primas y materiales y un descenso en la producción. Los primeros como resultado de crear un stock de materias primas para enfrentar las producciones de enero y febrero del 2016. Los segundos debido a que sólo se produce para el mercado colombiano suprimiendo el mercado nacional.

2.4 PRINCIPIOS DE LA ORGANIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Proporcionalidad de la producción

El proceso de producción es por lotes, de ahí que es de esperar que exista producción en proceso. En el caso específico del objeto de estudio, se observa que el inventario en proceso es alto, sobre todo entre las operaciones de formado y cosido y entre cosido y virado. Todo ello debido a las supuestas desproporciones existentes entre estas tres operaciones que ocasionan el deterioro de la media y el descontrol de la producción en proceso.

A lo anterior se suma que se desconocen las capacidades productivas de cada uno de los eslabones del proceso, se desconoce el punto limitante del mismo, aun cuando se tiene claro que este debe estar entre las tres primeras operaciones del proceso.

Continuidad de la producción

En cuanto se refiere a la continuidad del objeto de trabajo no existe un conocimiento aproximado del tiempo que tarda la producción de un lote, a lo que se añade que tampoco se han hecho estudios relacionados con la representatividad de las actividades no productivas dentro del tiempo de corrida. Esperando que estas últimas alcancen valores significativos si se tienen en cuenta los tiempos de estadía de la producción en proceso. Debido a esto, se espera que este coeficiente se comporte a un bajo nivel.

La continuidad de los medios de trabajo tampoco ha sido estudiada, aun cuando las mayores afectaciones se registran en el proceso de formado. Las causas principales se deben a:

- Roturas de hilos por la mala calidad de la materia prima.
- Problemas con el abastecimiento de materiales a la operación.
- Problemas relacionados con los errores de máquina debido a fallas electrónicas.
- Roturas de la maquinaria producto del mantenimiento deficiente y la falta de presupuesto para la adquisición de piezas de repuesto.

A estas se añaden las paradas de las máquinas en los diferentes centros de trabajo producto de la falta de programación de la producción.

2.5 PRECISIÓN Y ENRIQUECIMIENTO DE LOS PROBLEMAS QUE AFECTAN LA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Universo y muestra

Para el cálculo de la muestra se emplea la ecuación 1.17 y se definen los aspectos siguientes: 118 operarios, se trabajó con un nivel de confianza del 95%, un error del 10% y un porcentaje de trabajadores con la característica de interés del 50%. Obteniendo así el cálculo siguiente:

$$n = \frac{118 * (1,65)^2 \times 0,5(1 - 0,5)}{(0,1)^2(118 - 1) + 1,65^2 \times 0,5(1 - 0,5)}$$

$$n = 46,11$$

Puesto que en el área administrativa son menos de 30 trabajadores fue necesario realizar un censo para la aplicación de la encuesta, mientras que del personal operativo se tomó una muestra de 47 personas, resultado obtenido del cálculo anterior.

Preparación del personal

Como paso de preparación del personal se optó por relacionarse con más frecuencia con el personal operativo, puesto que existen trabajadores que sienten cierta timidez

e inseguridad al expresar sus opiniones. Primero se trabajó junto con ellos, tomando en cuenta sus opiniones y sugerencias para la realización de ciertas actividades, poco a poco se logró cierta confianza mediante el diálogo sobre su estado en la fábrica.

Aplicación de las encuestas

La aplicación de la encuesta se realizó durante dos semanas, puesto que como el personal labora dos turnos era necesario esperar al cambio de turno para poder encuestar al personal restante.

Procesamiento de los resultados

1. Resultados del personal administrativo

Las tabulaciones que se muestran en el anexo 10, indican como todo el personal administrativo no conoce la capacidad de producción de la fábrica puesto que nunca ha sido analizada. El 40% afirma que en cuanto se refiere a la producción real obtenida si tienen cierto conocimiento y mencionan que está alrededor de las 4500 docenas diarias. Por otra parte, el 30% afirma poder dar respuesta al cliente sobre el estado de su pedido, y esto se da básicamente porque únicamente el 30% del personal administrativo está relacionado con este tema.

En cuanto se refiere al tiempo que demora en ser procesada una docena de medias de un tipo cualquiera nadie tiene información, esto es razonable puesto que el personal administrativo está formado básicamente como un departamento contable. En lo referente al cumplimiento de plazos de entrega de pedidos, el 50% considera que no se cumple los plazos de entrega, por último el 20% considera que existen producciones atrasadas de aproximadamente una semana.

En inventarios, el 30% conoce la cantidad de inventario acumulado puesto que son los encargados de manejar dicha información pero únicamente el 10% conoce el valor mínimo que debe tener el inventario, y es el caso del encargado de bodega de materia prima.

El 20% afirma que si se toma en cuenta sus opiniones para resolver ciertos problemas y son el gerente y el contador de la fábrica, además se puede evidenciar que la mitad del personal no se siente a gusto con la actividad que realiza y se podría afirmar que es porque no tiene oportunidad de crecimiento puesto que el 100% menciona que no tiene acceso a cursos de superación ni ha recibido capacitación alguna para mejorar su rendimiento.

2. Resultados del personal operativo

Estos resultados se muestran en el anexo 11, el cual indica como sólo el 8% del personal tiene una idea de cuál es la capacidad de producción de la fábrica y que esta es de aproximadamente 5500 docenas diarias. El 49% afirma que en cuanto se refiere a la producción real obtenida tienen cierto conocimiento pero de la operación que ellos realizan, mas no del área a la que pertenecen y menos aún de la producción total obtenida.

Por otra parte, el 18% afirma poder dar respuesta al cliente sobre el estado de su pedido que son prácticamente los jefes de producción. En cuanto se refiere al tiempo que demora en ser procesada una docena de medias de un tipo cualesquiera un 10% puede estimarlo. En lo referente al cumplimiento de plazos de entrega de pedidos el 38% del personal no conoce el resultado de los mismos, pero el 36 % considera que si se cumplen dichos pedidos, dando como resultado que el 46% consideren que existen ciertos pedidos urgentes que si desordenan la producción. Por último, el 18% considera que generalmente existen producciones atrasadas con un tiempo aproximado de una semana.

Sólo el 5% conoce la cantidad de inventario acumulado y son básicamente los encargados de bodega, los cuales pueden dar una respuesta aproximada siempre y cuando se trate de productos con mayor movimiento. Absolutamente nadie conoce el *stock* de seguridad para las líneas de productos.

En cuanto se refiere a organización, se obtuvo que apenas el 18% conoce con anticipación la tarea que debe realizar y el resto realizan sus actividades de improvisado.

El 54% considera que la producción se ve afectada por la falta de programación de mantenimiento en la maquinaria.

En cuanto a participación puede asegurarse que jamás se toma en cuenta la opinión del personal puesto que el 100% afirma que los problemas son resueltos sin pedir opinión. Además, el 10% del personal no se siente a gusto con la actividad que realiza y esto se podría afirmar que es porque no tienen oportunidad de crecimiento puesto que sólo el 3% menciona que ha tenido acceso a un curso de superación, mientras que el 97% menciona que jamás ha recibido capacitación alguna para mejorar su rendimiento.

2.6 INFORME TÉCNICO

Un resumen del diagnóstico realizado es el que sigue:

- La fábrica ha perdido mercado en los últimos años debido al deficiente empleo de estrategias y políticas de ventas que hagan incrementar su cartera de clientes.
- El punto fundamental del proceso se concentra en la operación de formado el cual consta de 212 máquinas automatizadas que le aportan el mayor valor agregado al objeto de trabajo.
- El sistema se clasifica, predominantemente, en producción para almacenamiento teniendo como principales desafíos el de minimizar los niveles de inventario, maximizar la utilización de los medios y fuerza de trabajo y en la programación de la producción.
- Se presentan deficiencias en el cumplimiento de los plazos de entrega de los pedidos y reclamos por falta de calidad de los mismos, aun cuando la fábrica no lleva un control adecuado de esta información.
- Alta flexibilidad del sistema lo cual constituye una fortaleza de vital importancia para el incremento de su cartera de productos; y por ende de su cartera de clientes.
- Se observan altos niveles de producción en proceso, originados por las desproporciones existentes entre los diferentes eslabones productivos, sobre todo entre las operaciones de formado y cosido y entre cosido y virado.

- Se desconocen las capacidades productivas de cada uno de los eslabones del proceso; y por tanto, del punto limitante y del punto fundamental.
- Se detectan oportunidades de mejoras en cuanto a la disminución de los tiempos de corrida, en lo fundamental aumentando la continuidad de trabajo de las máquinas y equilibrando mejor el proceso.
- Existen problemas en la planificación de la producción, sobre todo a corto plazo en el que se desconocen el estado de los lotes de producción y donde los pedidos de imprevisto desordenan la planificación realizada.

De tomarse medidas que contribuyan a minimizar los problemas detectados en el proceso productivo, se lograría incidir favorablemente en los resultados económicos. Son de mencionar las oportunidades de mejora en cuanto a la productividad por trabajador, los costos y los rendimientos de los medios y objeto de trabajo.

Son de destacar las principales causas que provocan las interrupciones de las máquinas en la operación de formado y que inciden en la capacidad de producción de este punto fundamental del proceso. El enriquecimiento de las principales causas que originan dichas interrupciones se muestra en el anexo 12.

En aras de detectar y ordenar las principales causas encontradas mediante el criterio de expertos, en cuanto a su repercusión en las interrupciones de las máquinas en la operación de formado, se calcula el número de estos mediante la expresión 2.1.

$$M = \frac{p \times (1 - p) \times k}{i^2} \quad (2.1)$$

Dónde:

M: cantidad necesaria de expertos.

p: error estimado.

k: constante cuyo valor está asociado al nivel de confianza.

i: precisión deseada en la estimación.

Para este cálculo se tomó como error estimado un 1%, un nivel de confianza de un 99% y una precisión deseada en la estimación de 0.1, dando como resultado un total de 7 expertos, los cuales posterior a varias rondas arrojan como principales causas las siguientes:

- C1: Errores electrónicos que se traducen en fallas eléctricas y de programación de las máquinas.
- C2: Material de mala calidad que origina partiduras de los hilos.
- C3: Fallas mecánicas que se deduce del desgaste mecánico de las piezas.
- C4: Desabastecimiento de MP a las máquinas producto de que no existe un stock en proceso, se espera a que se termine el cono y posteriormente se va a bodega a buscarlo.
- C5: Falta de planificación de mantenimiento, predominando el mantenimiento correctivo.
- C6: Ineficiencia en el arreglo del paro dado que no siempre se detectan las causas que lo originan y se corrigen otras.
- C7: Mala programación de las máquinas en cuanto al diseño que deben confeccionar.
- C8: Condiciones ambientales de humedad y temperatura variantes a lo largo de la jornada laboral.

La ordenación de acuerdo a su nivel de importancia se realiza mediante el método *Analytic Hierarchy Process (AHP)* de Saaty (1981), cuyo procedimiento se muestra en el anexo 13 y los resultados en el anexo 14. En este último se observan, específicamente en la matriz del vector B, los pesos de importancia obtenidos que ordenan las causas de la manera siguiente:

- C5: Falta de planificación de mantenimiento, predominando el mantenimiento correctivo.
- C2: Material de mala calidad que origina partiduras de los hilos.

- C3: Fallas mecánicas que se deduce del desgaste mecánico de las piezas.
- C1: Errores electrónicos que se traducen en fallas eléctricas y de programación de las máquinas.
- C4: Desabastecimiento de MP a las máquinas producto de que no existe un stock en proceso, se espera a que se termine el cono y posteriormente se va a bodega a buscarlo.
- C6: Ineficiencia en el arreglo del paro dado que no siempre se detectan las causas que lo originan y se corrigen otras.
- C7: Mala programación de las máquinas en cuanto al diseño que deben confeccionar.
- C8: Condiciones ambientales de humedad y temperatura variantes a lo largo de la jornada laboral.

Se aceptan los resultados al obtener una razón de inconsistencia en la opinión de los expertos de 0.06, menor a 0.10 (Saaty, 1981).

Llegado a este punto puede plantearse la necesidad latente de estudiar a profundidad las principales causas encontradas en cuanto a su repercusión en los principales indicadores de rendimiento en el punto fundamental y su incidencia en la operación siguiente. Todo ello unido a la complejidad tecnológica del mismo, justifican el empleo de la simulación como potente herramienta para detectar posibilidades de mejora que contribuyan con la optimización de los recursos existentes.

CAPÍTULO III

3 DISEÑO DEL MODELO DE SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA

3.1 INTRODUCCIÓN

Para todo el proceso de modelación y optimización se siguió el procedimiento iterativo de la ilustración 1.3. Para el desarrollo del modelo de simulación se empleó FlexSim, versión 7.7.4 y sus paquetes *Experfit* y *Experimenter* para el procesamiento estadístico de datos y para la optimización, respectivamente. Para otros análisis estadísticos se empleó el SPSS, versión 22.0 y para la recopilación de la información numérica se utilizó el Excel.

Todos los análisis se centraron en la operación de formado (punto fundamental del proceso productivo), su incidencia en la siguiente operación de cosido y en la interacción entre estas dos operaciones.

3.2 DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS, ALCANCE Y REQUERIMIENTOS

El desarrollo de este modelo comprende las dos primeras operaciones del proceso productivo, es decir, incluye desde que el material ingresa a maquinaria hasta que las docenas pasan de la Operación de Formado de las medias al cosido y remallado. Se tomaron los tipos de medias que se producen con mayor frecuencia, en aras de no incrementar la complejidad en la programación del modelo. Todo esto define el alcance de la simulación a desarrollar.

Los resultados del diagnóstico desarrollado en el capítulo anterior, unido a otras entrevistas realizadas a los trabajadores de la fábrica, conllevaron a que se planteen los siguientes objetivos para la simulación:

Objetivo general de la simulación:

Determinar las principales reservas de productividad en el punto fundamental mediante el desarrollo de un modelo de simulación en FlexSim, versión 7.7.4, que permita describirlas y detectar las posibilidades de mejora.

Objetivos específicos de la simulación: estos objetivos se resumen en la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Objetivos específicos de la simulación

Objetivos específicos de la simulación	Variable dependiente	Denominación	Unidad de medida
Analizar el comportamiento de la defectuosidad por sección de trabajo.	Cantidad de unidades defectuosas en la sección i	D_i	(u)
Analizar los paros de las máquinas por subsección de trabajo.	Promedio del porcentaje de los paros de las máquinas de la subsección j	Breakdown $_j$	(%)
Analizar la utilización de la maquinaria por subsección de trabajo.	Promedio del porcentaje de procesamiento de las máquinas de la subsección j	Processing $_j$	(%)
	Promedio del porcentaje de esperas de las máquinas por recursos para la atención de los paros en la subsección j	WOM $_j$	(%)
	Promedio del porcentaje de esperas de las máquinas por recursos para el virado en la subsección j	WOC $_j$	(%)
	Promedio del porcentaje de esperas de las máquinas por recursos para el transporte en la subsección j	WTCC $_j$	(%)
Analizar la utilización de los recursos.	Promedio del porcentaje de desocupación de los enebradores en la subsección j	IE $_j$	(%)

	Promedio del porcentaje de desocupación de los viradores en la subsección j	IV_j	(%)
Determinar el rendimiento total y el rendimiento por subsección de trabajo en la operación de formado.	Total de docenas producidas en la operación de formado en una semana de trabajo	Total Output Formado	(docena/semana)
	Rendimiento de la operación de formado	Rendimiento Formado	(docena/min)
	Rendimiento de la operación de formado por subsección de trabajo j	Rendimiento Subsección $_j$	(docena/min)
Caracterizar la interacción entre el punto fundamental y su operación siguiente para detectar mejoras en cuanto a: rendimiento, inventario en proceso, continuidad de trabajo de las operaciones y un mejor equilibrio del sistema.	Rendimiento de las operaciones de cosido y remallado	Rendimiento Cosido	(docena/min)
	Suministro de docenas de medias a las operaciones de cosido y remallado	Input Cosido	(docena/min)
	Promedio del inventario en proceso entre la operación de formado y cosido	WIP Formado-Cosido	(docena)

Fuente: Elaboración propia.

Se adicionan como variables dependientes las cantidades de medias en docenas de acuerdo a su tipo k y producidas en una semana de trabajo (U_k), las cuales se denominarán de acuerdo al tipo de media y se emplearán en las funciones objetivos que se declaren en la optimización.

Los objetivos relacionados con la toma de decisiones en la optimización fueron los que se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Objetivos para la optimización

Objetivo de optimización	Variable independiente	Denominación	Unidad de medida
Determinar la cantidad óptima de trabajadores a organizar por subsección de trabajo, de forma tal que se logre optimizar el uso de los mismos y un mejor desempeño de las principales métricas del rendimiento.	Cantidad de enebradores a utilizar en la subsección j	Enebrador _{j}	(u)
	Cantidad de viradores a utilizar en la subsección j	Virador _{j}	(u)

Fuente: Elaboración propia.

Estos objetivos para la optimización definieron los escenarios y función objetivo a plantearse en los pasos siguientes del procedimiento.

3.3 RECOLECTAR Y ANALIZAR LOS DATOS DEL SISTEMA

Para el desarrollo de este paso se dividieron los datos en dos categorías: estructurales y numéricos. Los primeros destinados a la definición de los elementos del sistema, tales como: *flowitems*, *processors*, *operators*, y las *networks*; mientras que los segundos a la toma de datos y análisis estadístico de los mismos. Estos datos fueron tomados de las dos primeras operaciones del proceso, en búsqueda de lograr que el modelo trabaje tal como se muestra en el Diagrama OTIDA del anexo 15.

Análisis de datos estructurales

Flowitems

Se definieron 22 *flowitems* sobre la base de los tipos de medias que se fabrican con mayor frecuencia, los cuales son los siguientes:

- Colegial 10-12
- Colegial 08-10
- Colegial 06-08
- Zapatilla 10-12
- Zapatilla poliéster 10-12
- Zapatilla 06-08
- Corta 10-12
- Corta 08-10
- Corta 06-08

- Colegial 04-06
- Colegial 02-04
- Hombre 10-12
- Media técnica 10-12
- Zapatilla poliéster 06-08
- Zapatilla 04-06
- Corta algodón 10-12
- Corta poliéster 10-12
- Corta poliéster 08-10
- Corta poliéster 06-08
- Corta 02-04
- Corta 00-02
- Larga poliéster 10-12

Por otro lado, se definieron otros *flowitems* como resultado del proceso de manipulación de materiales, tales como “docena” y “para coche”; para la agrupación de medias en docenas y para el transporte desde el formado hasta el cosido y remallado, respectivamente.

Fixed resources y Task executers

Se definieron 22 *sources* para generar los 22 *flowitems* anteriores; y 7 *sinks*, 6 de ellos para la producción defectuosa de cada una de las secciones y el restante para eliminar el *flowitem* contenedor “para coche”.

En la operación de formado cada máquina es representada por un *processor*, una *queue* y un *combiner*, para representar el procesamiento de la media, la funda donde cae la misma una vez tejida y la agrupación en docenas, respectivamente. Para la combinación de las cajas que son llevadas al almacenamiento en proceso entre formado y cosido se emplean *queues* que reciben la producción desde varias máquinas y un *combiner* para conformar la caja. El almacenamiento en proceso es representado por cuatro *queues* a las que arriban nuevamente el *flowitem* “docena” debido al desempaque que ejecutan los *separators*. Toda esta operación se encuentra organizada en secciones y subsecciones de trabajo, tal y como se muestra en el anexo 16.

Para el transporte a la operación de cosido y remallado se conforman los coches de docenas de medias en varios *combiners*. En esta operación las máquinas son representadas por *processors* y el almacenamiento en proceso es representado por

dos *queues* a los que llegan nuevamente los *flowitems* “docena” como resultado del desempaque de los coches en los *separators*.

Networks

La *network* se construyó para garantizar el desplazamiento de todos los *task executers*, existen *networks nodes* que se conectan a objetos fijos y otros que marcan la ruta a seguir.

Análisis de los datos numéricos

Para el tratamiento estadístico de las variables de entrada se tomaron 30 observaciones por cada una de ellas (ver anexo 17). Las principales variables de entrada son:

- Tiempo de formado de media: este tiempo de procesamiento depende del tipo de media y de la talla de la media, y es constante debido a que las máquinas son automáticas.
- Tiempo de virado: tiempo que demora el virador en virar las 24 medias al revés y agruparla en una docena.
- Tiempo de cosido: tiempo que le toma a las cosedoras coser un lote de 200 docenas.
- Tiempo de remallado: tiempo que le toma a las remalladoras remallar una caja de 60 o 40 docenas, denominado remallado de 6 pack y 4 pack, respectivamente.
- Tiempo entre paros de las máquinas (*Up Time*): tiempo que transcurre entre que se efectúe un paro y el siguiente.
- Tiempo de arreglo del paro (*Down Time*): tiempo que tarda el enebrador en reparar un paro.

Se consideraron cuatro tipos de *Down Times* a colación con las principales causas que inciden en los paros de las máquinas y que fueron detectadas en el trabajo con los expertos en el capítulo anterior, estos son: errores de máquinas (C1), daño de media (C3), rotura de hilos (C2) y desabastecimiento de materia prima (C4). Los expertos

añaden que para realizar el estudio de estos *Down Times* la maquinaria debe quedar agrupada según las secciones de trabajo, las que a su vez mantienen constante, aproximadamente, la marca de la máquina y su obsolescencia, la calidad del material que procesan y el tipo de media que fabrican. De ahí que las agrupaciones queden de la siguiente manera:

- Secciones D y E con máquinas de marca LONATI, en las que se producen medias de tipo corta y colegial, a partir de una materia prima de calidad intermedia.
- Secciones CC, B y A con máquinas de marca CONTI y LONATI que son las más antiguas de la fábrica y en las que se producen medias a partir de un material de mala calidad.
- Sección CL con máquinas de marca LONATI que son las más nuevas de la fábrica y en las que se producen medias a partir de un material de buena calidad.

Para la toma de los datos se empleó la observación directa con el método de cronometraje. Se realizaron las pruebas del *Automated-Fitting* y de *Goodness of Fit* para determinar la distribución de mejor ajuste de las variables y comprobar que esta distribución es la adecuada, respectivamente.

Análisis estadístico de la defectuosidad en la operación de formado

Este análisis resulta de vital importancia en la operación de formado dado que, al ser el punto fundamental del proceso, el tiempo perdido en él en producción defectuosa es irrecuperable en el resto del proceso productivo. Persigue como principal objetivo el de caracterizar el comportamiento de la defectuosidad en la operación de formado por turno y por sección de trabajo. Para el desarrollo del mismo se declararon las variables siguientes:

Grupo o sección: variable nominal que identifica los diferentes grupos de máquinas en cada una de las secciones de trabajo (factor I). Esta variable ayudará a analizar el comportamiento de la producción defectuosa en cada una de las secciones de trabajo y compararlas entre sí.

Turno: variable nominal que identifica los dos turnos de trabajo del día (factor II). Esta variable contribuirá a analizar el comportamiento de la producción defectuosa en cada uno de los turnos y compararlas entre sí.

Defectuosiad (DEF): variable de escala que caracteriza el porcentaje de producción defectuosa por turno y por sección de trabajo. Los datos para esta variable se obtuvieron de los registros históricos de la fábrica (ver anexo 18).

Para este análisis se aplica un ANOVA (tipo II) con el procedimiento del Modelo Lineal General Univariante, con la finalidad de evaluar el efecto individual y en conjunto que tienen los factores sobre la variable DEF. Todos los resultados relacionados se muestran en el propio anexo 18.

De las pruebas *Kolmogorov - Smirnov* y *Shapiro - Wilk* se observa que la variable DEF no se ajusta a la normalidad en todos los casos, e incluso el resultado de estas dos pruebas no coinciden en todos los casos (ver tabla 2 del anexo 18). Esto no constituye una restricción para el estudio dado que el estadístico F del ANOVA se comporta razonablemente bien, incluso para poblaciones alejadas de la normalidad, cuando el tamaño de muestra es grande, y en este caso se han tomado 50 observaciones de la variable por cada grupo-turno. Se añade que no existe homocedasticidad ni entre turnos, ni entre grupos, ni entre la interacción entre grupos y turnos, lo cual se demuestra con el test de Levene y el diagrama de cajas (ver tabla 3 y figura 1 del anexo 18).

Del modelo corregido puede deducirse que el efecto del modelo completo sobre la variable DEF si es significativo (el efecto de los dos factores separados, el efecto de la interacción entre los dos factores y el de la constante del modelo o intersección), aun cuando el modelo sólo explica el 35.3% de la variabilidad en la variable DEF (ver tabla 4 del anexo 18). Este último resultado conlleva a pensar que pudieran existir otros factores que incidan en la variable DEF y que no han sido incluidos en este estudio. También es significativo el efecto que tiene cada factor por separado sobre la variable DEF, además de ser significativo el efecto que tiene la interacción de los dos factores sobre la misma. Todo lo cual arroja como resultado que existen diferencias

significativas entre el comportamiento medio de la DEF filtrada por grupos de máquinas y por turnos de trabajo.

Para analizar el efecto individual de cada factor sobre la variabilidad de la variable DEF se realiza un ANOVA (tipo II) con el procedimiento del Modelo Lineal General Univariante pero por cada uno de los factores (ver tablas 5 y 6). De este análisis se obtuvo que los factores Grupo y Turno explican el 31.6% y el 2.5% de la variabilidad total de la variable DEF. De lo cual es obvio que los grupos de máquinas son los que más inciden en que las medias de la DEF sean diferentes.

Debido a los resultados obtenidos, y para detectar dónde se concentran las mayores diferencias entre las medias de los diferentes grupos de máquinas se realiza un análisis Post-Hoc con los estadísticos T3 de Dunnett y Games-Howell, debido a la inexistencia de homocedasticidad (ver tabla 7 del anexo 18). Los resultados coincidieron para ambos estadísticos y son los siguientes:

- Existe igualdad de medias entre las defectuosidades originadas por los grupos de máquinas B y CC, D y CL, D y E y entre E y CL.
- El grupo de máquinas A arroja defectuosidades diferentes al del resto de los grupos.

En el gráfico de las medias marginales estimadas para la DEF es observable como el turno del día arroja una mayor defectuosidad que el turno de la noche (ver figura 2 del anexo 18). Además, las máquinas de los grupos B y CC son las que más defectuosidad generan, seguidas por el grupo A y posteriormente por los grupos CL, D y E.

Dados los resultados anteriores se decide entrar al modelo la defectuosidad medida por grupos o secciones de máquinas y no por turnos de trabajo.

3.4 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Para la construcción del modelo se realizó un estudio minucioso de la forma en que opera el sistema actual. Para lo cual se consideraron los siguientes *Fixed Resources*:

- 24 *sources* (22 para los tipos de medias, uno para la “docena” y uno para el lote “coche”),
- 228 *procesors* (212 máquinas de tejido, 10 máquinas overlock y seis máquinas remalladoras),
- 255 *queues* (212 fundas para cada máquina, 37 cajas, tres áreas de producción en proceso para cosido, un área de producción en proceso para remallado y dos áreas para el almacenamiento de cosido y remallado),
- 254 *combiners* (212 para la formación de la docena en cada máquina, 37 para formar el lote caja y cinco para formar el lote coche),
- 6 *separators* (cuatro para separar el lote caja en las áreas de almacenamiento en proceso entre formado y cosido y dos para separar el lote coche en las áreas para el almacenamiento de cosido y remallado) y;
- 7 *sinks* (seis para el ruteo de la defectuosidad de la media por cada sección y una para eliminar el *ítem* coche).

Dentro de los *Task Executors* se hizo uso de 38 *operators*: 9 enebradores, 11 viradores, 2 jefes de producción o control, 10 cosedoras y 6 remalladoras. Es válido aclarar que en el caso de los enebradores, sólo se consideraron sus actividades relacionadas con la atención a los *Down Times*, aun cuando realmente estos trabajadores realizan otras actividades dentro del proceso productivo y que no son de interés considerar en la construcción del modelo. El modelo diseñado se muestra en las figuras 3.1 y 3.2.



Figura 3.1: Modelo en el área de formado

Fuente: Elaboración propia.

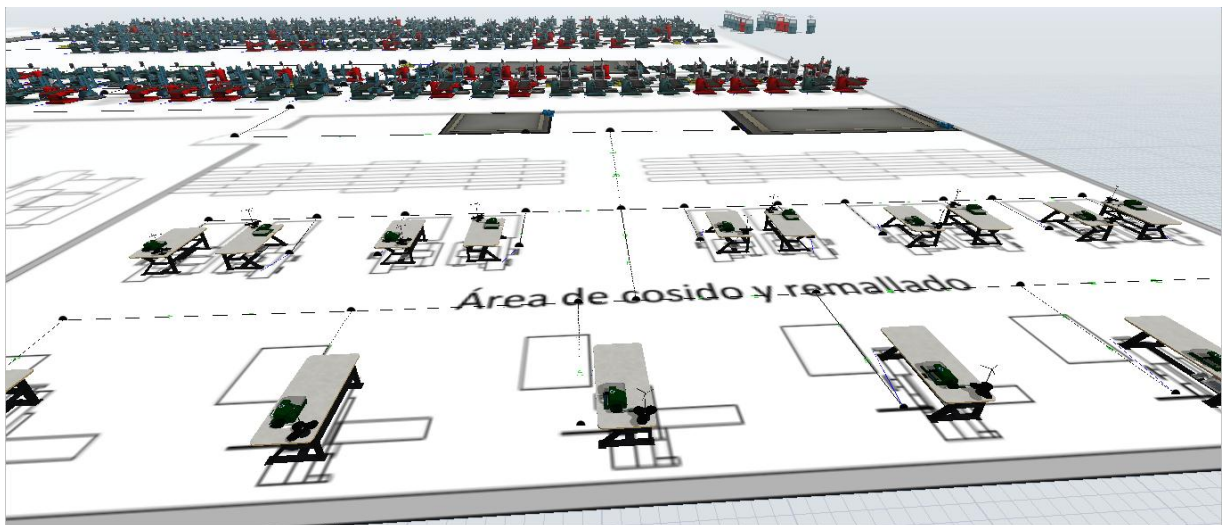


Figura 3.2: Modelo en el área de cosido y remallado

Fuente: Elaboración propia.

Además, para lograr su funcionamiento se hizo énfasis en los siguientes aspectos (ver anexo 19):

1. Que en los *processors* ocurran cuatro tipos diferentes de *Down Times*, y tras la ocurrencia de cada uno de ellos, la máquina cambie a color rojo para identificar

que se encuentra en estado *breakdown*, hasta que espera por el operario para su reparación y pueda volver a su color original. Para ello se crearon las listas MTBF MTTR que se muestran en la figura 1 del anexo 19.

2. Que los viradores vayan al *combiner* de cada *processor* (funda) una vez que se han procesado 24 medias, viren las medias, formen la docena y la transporten a la caja correspondiente. Para esto, se creó una *task sequence* en cada *combiner* que permite la realización de esta secuencia de tareas (ver anexo 19, figura 2).
3. Que los *processors* tengan un porcentaje de producción de media defectuosa con un ruteo diferente. Esto se logró mediante el empleo de la opción *By Percentage* en el *Send to Port* de los mismos (ver figura 3 del anexo 19).
4. Que en el *combiner* de cada máquina que produce media 100% (máquinas de la sección CL y sección D) se cambie el tipo de *item*, en dependencia de que sean medias para *4pack* o *6pack*. La programación se realizó mediante la creación de una *Global Table* denominada "REMALLADO" con dos nuevos tipos de *items* (221 y 231) y la creación de un *Trigger* en el *On Exit* de cada *combiner* con la función *set item type* y haciendo uso de la *Global Table* creada (ver figura 4 del anexo 19).
5. Que en el área para remallado una vez que ingresen las docenas cambien de color dependiendo del tipo de media (morado para *6 pack* y celeste para *4 pack*) y al salir reduzcan su tamaño, esto con la finalidad de mejorar el aspecto visual del modelo. Para ello se volvió a hacer uso de los *Triggers*, esta vez en el *On Entry* con la función *set color by case* y en el *On Exit* con la función *set size* (ver figura 5 del anexo 19).
6. Que el ruteo de los *items* que se encuentran en el área para remallado hacia los *combiners* que forman los lotes para *4 pack* y *6 pack* sea dependiendo del tipo de *item* (para *4 pack* los *items* 221 y para *6 pack* los *items* 231). Este ruteo se programó en el *Flow* del *queue* (área para remallado) con la opción *Port by Case* (ver figura 6 del anexo 19).
7. Que los recursos cosedoras transporten un lote de 200 docenas hasta su puesto de trabajo (máquinas *overlock*), cosan este lote y lo transporten para su área de producción terminada. Esta secuencia de actividades se garantiza mediante las prioridades de las actividades (ver figura 7, anexo 19).

8. Que los recursos remalladoras transporten una caja de producción hasta su puesto de trabajo (máquinas remalladoras), que el tiempo de procesamiento dependa de si son medias para *6 pack* o *4 pack* (60 docenas y 40 docenas, respectivamente) y que una vez remalladas las transporten hasta su área de producción terminada. Para ello, al igual que con las cosedoras se emplea el manejo de *Priorities* y la activación del *Values by Case* en el *Process Time* de las máquinas remalladoras (ver anexo 19, figura 8).
9. Que los operarios del área de formado (viradores y enebradores) salgan durante una hora al almuerzo, organizados en dos grupos de trabajos alternos. Por otra parte, las cosedoras y remalladoras tienen un turno de trabajo diferente, inician su jornada laboral a las 8:00 a.m, trabajan durante 4 horas, toman un receso de 2 horas y regresan a trabajar durante 4 horas más. Estos turnos de trabajo se obtienen mediante la creación de *Time Tables* (ver figura 9 del mismo anexo 19).

3.5 VALIDACIÓN DEL MODELO

El proceso de validación se garantizó, primeramente, a partir de la propia programación del modelo, verificando el trabajo adecuado de las funcionalidades declaradas en su construcción. En tal sentido, se emplearon algunas declaraciones propias de *FlexSim*, que unidas al empleo de informaciones de entrada real, permitieron observar el comportamiento de las variables respuesta y que este fuera congruente con el desempeño real del sistema.

Además y como herramienta de ayuda para la validación, se crearon *dashboards* para todas las variables de respuesta por cada subsección y sección de trabajo. Estos primeros análisis permitieron definir aspectos relacionados con el proceso de optimización y a desarrollar en el próximo paso del procedimiento. Ejemplo de ello, fue que permitió declarar como un comportamiento adecuado que el promedio del porcentaje de desocupación no supere el 80% y el 30% para los enebradores y viradores, respectivamente. Esto a su vez, pudo considerarse como restricciones en el proceso de optimización y delimitar los intervalos de comportamiento para las variables independientes dentro de valores razonablemente lógicos, es decir, viabilizó

la definición del *Lower* y *Upper Bound* para la cantidad de enebradores y viradores a organizar en cada sección y subsección de trabajo. Por otra parte, también se hizo uso de los *dashboards* para verificar que no exista bloqueo ni en las máquinas ni en los recursos.

En vista de que no existen suficientes datos históricos de la fábrica, excepto la producción diaria de la operación de formado (ver anexo 20). La validación se garantiza en función de la producción semanal, tomando en cuenta el porcentaje de máquinas que han trabajado para dichas producciones, donde se puede observar que para un 87% de máquinas trabajando se obtiene una producción promedio de 22700 docenas/semana y para un 68% de máquinas trabajando se obtiene un a producción promedio de 17650 docenas/semana. Para ello, en el modelo se diseñó un *downtime* que invalida el funcionamiento del porcentaje restante de las máquinas para todo el tiempo de corrida. La selección de las máquinas a añadir en estos downtimes se realizó a través de un muestreo estratificado proporcional por secciones de trabajo. La selección específica de las máquinas dentro de las secciones se realizó mediante un muestreo aleatorio simple¹.

Se realizaron 20 corridas para el 68% y el 87% de las máquinas en funcionamiento, obteniéndose los resultados que se muestran en el propio anexo 20. Para comparar los resultados obtenidos del modelo y el comportamiento real de la empresa se utilizó la prueba de comparación de medias T para una muestra, posterior a demostrar la normalidad en ambas variables. Lográndose demostrar que para ambos casos el modelo arroja medias iguales al comportamiento real de la empresa, con probabilidades despreciables en cuanto a la posibilidad de equivocarse en la toma de esta decisión. El resumen de la validación se muestra en la tabla 3.3.

Tabla 3.3: Comparación de medias para la variable producción

Meses de trabajo	Cantidad de máquinas en funcionamiento	Porcentaje de máquinas en funcionamiento	Producción promedio Real (docena/semana)	Producción promedio del modelo (docena/semana)
------------------	--	--	--	--

¹ Se obvia todo el proceso de muestreo en aras de ganar brevedad.

Enero- febrero	184	87%	22700	22693
Marzo-diciembre	144	68%	17650	17638

Fuente: Elaboración propia.

3.6 CONducir el Experimento de Optimización

Análisis de sensibilidad

Una vez construido y validado el modelo se realizaron varias corridas en aras de determinar el *warmup* del sistema y posterior al cual las variables respuesta alcancen su estabilidad. Para esto son analizadas las variables respuesta siguientes: Rendimiento Formado, Total Output Formado, Input Cosido, Rendimiento Cosido y WIP Formado - Cosido. Estas variables resultan de la interacción del resto de las variables de respuesta, por lo que se asume que si ellas se estabilizan es porque el resto de las variables de respuesta se han estabilizado también, garantizando así la síntesis del análisis. El comportamiento de las mismas se muestra en los *dashboard* del anexo 21 y en el que es observable lo siguiente:

- La variable Rendimiento Formado Total se estabiliza al cabo de los 150000 segundos.
- La variable WIP Formado – Cosido, no se estabiliza en su totalidad, pero muestra cierta estabilidad a partir de los 615000 segundos.
- La variable Input Cosido y Remallado se estabiliza al cabo de los 200000 segundos, luego presenta un decremento (originado por el fin de semana no laborable) y pasado los 600000 segundos vuelve a estabilizarse con un valor promedio menor. Esta estabilización está representada por ciclos de tiempo que suben y tienden a bajar en cierta medida, lo cual es justificable, por el turno de trabajo que tiene esta operación.
- La variable Rendimiento Cosido se estabiliza alrededor de los 600000 segundos y de igual manera muestra ciclos de tiempo, de aproximadamente 100000 segundos cada uno, que incrementan y bajan su rendimiento promedio, esto se debe a la misma razón antes mencionada.

En resumen, la variable que más tardó en estabilizarse es la de WIP Formado - Cosido, por lo que se decide darle un *warmup* al sistema de una semana (604800 segundos). Además, un *Run Time* de dos semanas (1047600 segundos), desde las 7:00 a.m. del 24 de octubre hasta las 10:00 a.m. del 5 de noviembre del 2016, coincidiendo con los turnos de trabajo.

Se hizo una corrida piloto de diez réplicas, con el fin de determinar el total de réplicas que permitirán estimar adecuadamente las variables de respuesta y cuyos resultados son lo que se muestran en la tabla 3.3. En consultas realizadas a expertos de la planta se consideró aceptar hasta un error de ± 100 unidades alrededor de la estimación que se le realice a la media de la variable Total *Output* Formado. Este valor conlleva a definir un error para el resto de las variables de ± 0.0140 docenas/minuto, y cuyo cálculo es el que se muestra a continuación:

$$Error = \frac{100 \text{ docenas/sem} / \text{semana}}{442800 \text{ seg/sem} / \text{semana}} \times 60 \text{ seg/min} = 0.0140 \text{ docenas/min}$$

Lo anterior, unido a un nivel de confianza del 95% da como resultado que la cantidad de réplicas a ejecutar en el experimento es de 10, es decir, que las réplicas de la corrida piloto son suficientes para estimar todas las variables de respuesta.

Tabla 3.4: Cálculo de la cantidad de réplicas

VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	MEDIA	DESVIACIÓN ESTANDAR	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR	ERROR	L= LS-LI	CONDICIÓN $L \leq 2 * E$	CANTIDAD DE RÉPLICAS
Rendimiento formado	(docenas/min)	3.5451	0.0140	3.5350	3.5551	0.0140	0.0201	$0.0201 \leq 0,0280$	5.12
Total output formado	(docenas)	26163	104	26089	26237	100	148	$148 \leq 200$	5.53
WIP Formado - Cosido	(docenas)	1680	41	1650	1709	30	59	$59 \leq 200$	9.56
Input cosido	(docenas/min)	3.5190	0.0190	3.5060	3.5320	0.0140	0.0260	$0.0260 \leq 0,0280$	9.42
Rendimiento cosido	(docenas/min)	3.4564	0.0147	3.4459	3.4669	0.0140	0.0210	$0.0210 \leq 0,0280$	5.64

Fuente: Elaboración propia.

Se definió un sólo escenario que caracteriza el comportamiento actual de las variables independientes, tal y como se muestra en la figura 3.3, y como *Performance Measures* las propias variables dependientes.

The screenshot shows the 'Simulation Experiment Control' window with the 'Advanced' tab selected. A table lists various variables and their current values. The table has three columns: 'Variable', 'Variable', and 'Actual'.

	Variable	Actual
SE1 ENEBRADOR	Nr TEs in Team /D Enebrador E1	1
SE1 VIRADOR	Nr TEs in Team /D Virador E1	1
SE2 ENEBRADOR	Nr TEs in Team /D Enebrador E2	1
SE2 VIRADOR	Nr TEs in Team /D Virador E2	1
SD1 ENEBRADOR	Nr TEs in Team /D Enebrador D1	1
SD1 VIRADOR	Nr TEs in Team /D Virador D1	1
SD2 ENEBRADOR	Nr TEs in Team /D Enebrador D2	1
SD2 VIRADOR	Nr TEs in Team /D Virador D2	1
SCC ENEBRADOR	Nr TEs in Team /D Enebrador CC	1
SCL ENEBRADOR	Nr TEs in Team /D Enebrador CL	1
SC VIRADOR	Nr TEs in Team /D Virador C	2
SA ENEBRADOR	Nr TEs in Team /D Enebrador A	2
SA VIRADOR	Nr TEs in Team /D Virador A	3
SB ENEBRADOR	Nr TEs in Team /D Enebrador B	1
SB1 VIRADOR	Nr TEs in Team /D Virador B1	1
SB2 VIRADOR	Nr TEs in Team /D Virador B2	1

Figura 3.3: Escenario Actual

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de optimización

El diseño del proceso de optimización es el que se muestra en la figura 3.4 y se realizó tomando como variables el número de enebradores y viradores a trabajar en cada subsección de trabajo (Enebrador_j y Virador_j). El *Lower* y el *Upper Bound* fueron definidos desde el proceso de validación del modelo. Se añadieron restricciones relacionadas con el porcentaje de desocupación de los enebradores y viradores de forma tal que esta variable no supere el 80% y el 30%, respectivamente.

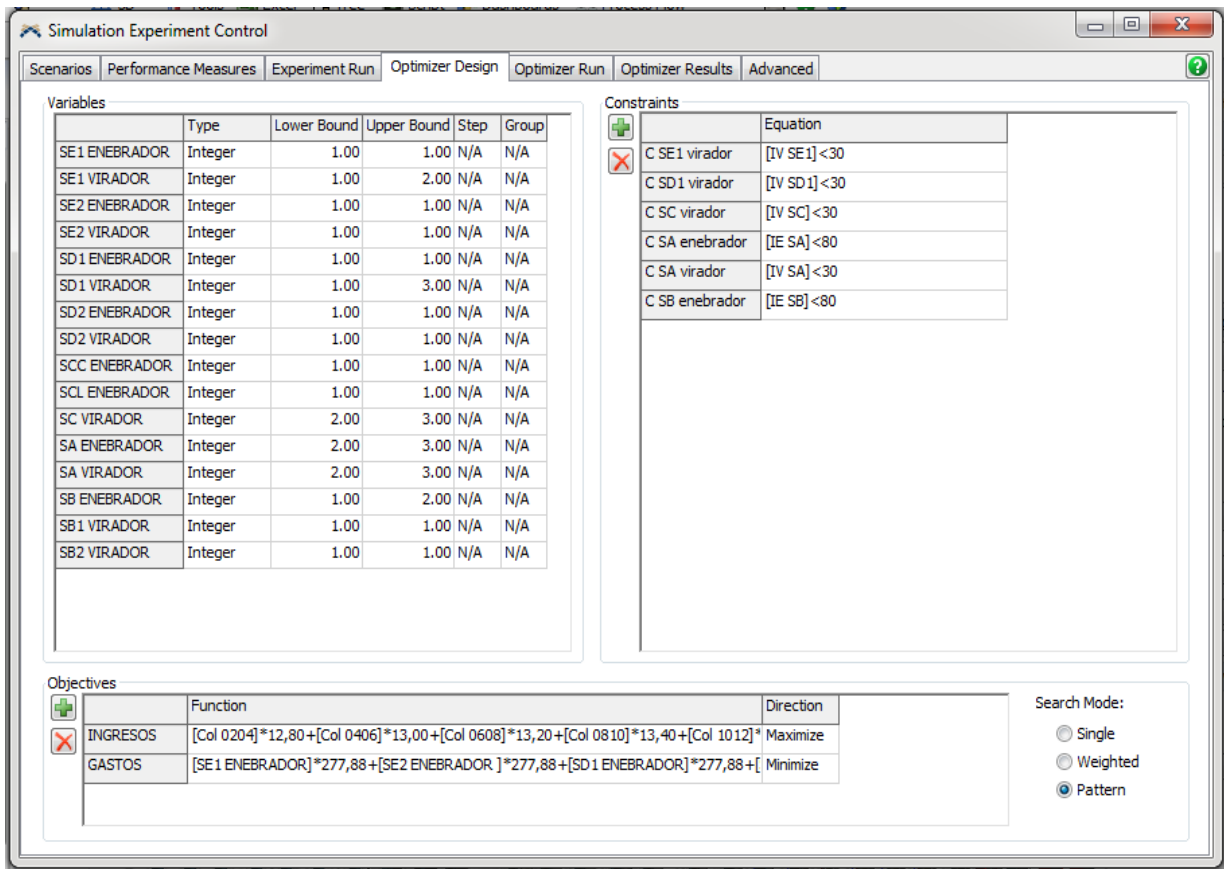


Figura 3.4: Diseño del modelo de optimización

Fuente: Elaboración propia.

Se plantearon las dos funciones objetivo siguientes:

$$\text{Maximizar} \quad \text{Ingresos}(\text{Valor de la producción}) = \sum_{k=1}^{22} U_k \times p_k \quad (\$/\text{semana})$$

$$\text{Minimizar} \quad \text{Gatos} = \sum_{j=1}^8 \text{Enebrador}_j \times 277.88 + \text{Virador}_j \times 222.30 \quad (\$/\text{semana})$$

Donde:

p_k : precio de venta de la media tipo k

j : para las ocho subsecciones de trabajo

k : para los 22 tipos de items definidos en el modelo

Los números correspondientes a la función de gastos equivalen a un aproximado de los gastos por concepto de salario semanal para los enebradores y viradores. Cabe mencionar que en estos valores están incluidas las aportaciones al IESS, tanto patronal como del afiliado, valores calculados para un salario mensual de 500 \$/mes y 400 \$/mes, respectivamente.

Se marcó la opción *Pattern* para buscar un aproximado al óptimo de Pareto que quedó planteado de la siguiente manera: el 80% del incremento de los Ingresos se logra con tan sólo un incremento del 20% de los Gastos, respecto al Escenario Actual. Además, se consideraron un máximo de 50 soluciones.

3.7 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

El análisis de los resultados se dividió, en primer lugar, por cada una de las secciones en la operación de formado, representadas en subsecciones de trabajo; segundo, para la totalidad de la operación de formado; tercero para la operación de cosido; y cuarto para la interacción entre las operaciones de formado y cosido. Se profundiza en el comportamiento de las variables respuesta y su desempeño en el Escenario Actual, para un tiempo de corrida (*Run Time*) de 1047600 segundos y un *Warmup time* de 604800 segundos (ver anexo 22). Finalmente, se analizan los resultados obtenidos en el proceso de optimización.

3.7.1 DESEMPEÑO DEL ESCENARIO ACTUAL

Sección E

1) Subsección E1

Las máquinas tienen un *breakdown* que representa el 0.79% (59 min/semana) y esperan el 8.08% (597 min/semana) por el enebrador para que atienda los distintos paros, dando como resultado un procesamiento del 91.13% (6726 min/semana).

Las fundas de las máquinas tienen un 29.9% (2207 min/semana) de espera por el virador para que realice el virado y conformación de la docena de medias y una espera

por este mismo recurso para el transporte hacia la caja de un 0.037% (3 min/semana), logrando que la cantidad de medias en las fundas no exceda la capacidad de estas.

Las cajas tienen una espera por el virador del 1.239% (92 min/semana) para ser transportadas al área de almacenamiento en proceso entre formado y cosido (Área para cosido 1).

Respecto a la producción en proceso puede decirse que la subsección no posee grandes problemas en este sentido, no superando las capacidades máximas de las fundas y de las cajas. De forma general la subsección tiene un rendimiento de 0.3486 docenas/minuto.

Los resultados anteriores arrojan que el virador de esta subsección posee un *idle* del 8.63% (637 min/semana), o lo que es lo mismo, un 91.33% de utilización, lo cual representa un valor bastante alto y por eso se considera como oportunidad de mejora.

Se puede declarar como opciones de mejora, el incremento de un virador, siempre y cuando el porcentaje de *idle* sea el adecuado, lo cual fue considerado en el proceso de optimización (observarse el Lower and Upper Bound en la figura 3.4).

2) Subsección E2

Las máquinas tienen un *breakdown* del 0.77% (57 min/semana) y esperan por el enebrador para que atiendan los paros suscitados en un 6.86% (506 min/semana), dando como resultado un porcentaje de procesamiento del 91.13% (6726 min/semana).

Las fundas de estas máquinas tienen un 7.57% (559 min/semana) de espera por el virador para que realice la actividad del virado y a la vez una espera por este mismo recurso para el transporte hacia la caja de un 0.072% (6 min/semana), logrando que la cantidad de medias en las fundas no exceda la capacidad de estas.

Las cajas tienen una espera por el virador del 1.12% (83 min/semana) para ser transportadas al Área cosido 1. Estos resultados ocasionan que el virador de esta

subsección posea un *idle* del 23.88% (1762 min/semana), es decir, un 76.12% de utilización.

Con respecto a la producción en proceso, puede decirse que no posee problemas de acumulación excesiva ya que no supera las capacidades máximas de las fundas y de las cajas. En consecuencia la subsección tiene un rendimiento de 0.2412 docenas/minuto.

La Sección E en general arroja una defectuosidad de 2990 u (124 docenas/semana) que representa un tiempo no recuperable de 10216 min/semana.

Sección D

1) Subsección D1

En esta subsección las máquinas presentan un 0.79% (58 min/semana) de *breakdown* y un porcentaje de espera por el enebrador del 6.5% (480 min/semana), dando como resultado que las máquinas se encuentran a un 92.73% (6843 min/semana) del tiempo procesando la media.

Con respecto al virado, las fundas esperan al virador en un 83.73% (6179 min/semana) para esta actividad, y un 0.11% (8 min/semana) para que las docenas sean transportadas a las cajas. Lo que significa que aquí se presenta un problema de acumulación de medias en las fundas, debido al alto rendimiento de la subsección (0.3862 docenas/min).

Las cajas tienen un 0.53% (39 min/semana) de espera por el virador para ser transportadas, algunas de ellas hacia el Área para cosido 1 y otras hacia el Área para remallado.

Estas situaciones ocasionan que el virador tenga un *idle* del 0.03% (2.21 min/semana) o lo que es igual un 99.97% ocupado. Por lo que se podría sugerir como alternativa de mejora, añadir más viradores a la actividad siempre y cuando el porcentaje de *idle* sea el adecuado, lo cual fue considerado en el proceso de optimización (ver figura 3.4).

2) Subsección D2

Las máquinas tienen un 0.79% (58 min/semana) de *breakdown* y un 8.3% (613 min/semana) de espera por el enebrador para el arreglo de los daños, dando como resultado que el 90.91% (6709 min/semana) se encuentran en estado de procesamiento.

Las fundas esperan por el virador un 7.49% (553 min/semana) para el virado y formación de la docena y un 0.07% (5 min/semana) para que dichas docenas sean transportadas a su respectiva caja. Como es evidente, esta parte de la sección no posee problemas de acumulación de media en las fundas.

Las cajas esperan por el virador 0.25% (18 min/semana) para ser transportadas, la mayoría de ellas al Área para remallado y el resto al Área para cosido 1.

Como resultado se tiene que: el *idle* del virador se encuentra en un 23.49% (1728 min/semana), es decir, el 76.51% se encuentra ocupado; no existe problemas de acumulación de producción en proceso ni en las fundas ni en las cajas y el rendimiento de la subsección es de 0.2526 docenas/min.

La sección tiene una defectuosidad de 3449 u (144 docenas/semana), esto equivale a que la sección ha perdido aproximadamente 11657 min/semana en la producción de media defectuosa.

Sección C

1) Subsección CC

Para esta subsección las máquinas presentan un *breakdown* del 2.45% (181 min/semana) y una espera por el enebrador del 7.49% (553 min/semana) para el arreglo de los *downtimes* presentados, lo que significa que tienen un porcentaje de procesamiento del 90.05% (6646 min/semana).

Las fundas esperan por los viradores en un 69.60% (5137 min/semana) para la actividad de virado y formación de la docena, y un 0.25% (18 min/semana) para el

transporte de las docenas hacia su respectiva caja. Dichas cajas, que luego son transportadas hacia el Área para cosido 3, tienen una espera por los mismos recursos del 0.96% (71 min/semana).

El rendimiento de esta sección es de 0.3069 docenas/min. Puede asegurarse que existen problemas de acumulación de medias en las fundas ya que el porcentaje de espera es relativamente alto. En lo referente a la cantidad de media defectuosa que produce esta sección es de 2662 u (111 docenas/semana), es decir, un equivalente a 3115 min/semana perdidos en dicha producción.

2) Subsección CL

Las máquinas tienen un *breakdown* de 0.53% (39 min/semana), un porcentaje de espera por el enebrador del 4.59% (339 min/semana) y por ende un porcentaje de procesamiento del 94.87% (7001 min/semana), lo que significa que es la subsección mejor utilizada dentro del proceso de formado.

Las fundas tienen un porcentaje de espera por el virador del 22.4% (1653m min/semana) para el virado y un porcentaje de espera para el transporte de las docenas de 0.11% (8 min/semana).

Las cajas esperan un porcentaje del 0.05% (4 min/semana) para ser transportadas al Área para remallado. Dicho porcentaje es mínimo y es razonable puesto que el operario que moviliza estas cajas es el de Control 2.

Esta subsección tiene un rendimiento de 0.3818 docenas/min y no presenta problemas graves de acumulación de producción en las fundas. Por otro lado, la cantidad de media defectuosa que se produce en esta sección es de 1907 u (79 docenas/semana), es decir, ha hecho uso de un tiempo no recuperable de aproximadamente 6244 min/semana.

Dando como resultado que el *idle* promedio para los dos viradores que se ocupan de toda la Sección C (Subsección CC y Subsección CL) es de 4.48% (331 min/semana), o lo que es lo mismo, 95.52% de ocupación.

Como posible mejora puede proponerse la contratación de otro virador, cabe recordar que el virador ficticio es en reemplazo a la ayuda que recibe este virador por parte de los dos enebradores de la sección (Enebrador CC y Enebrador CL), y que aun con esta ayuda, el porcentaje de *idle* es bajo. Esto se tuvo en cuenta en el proceso de optimización (ver figura 3.4).

Sección A

Para esta sección las máquinas presentan un *breakdown* del 2.72% (200 min/semana) y un porcentaje de espera por los enebradores de 25.95% (1915 min/semana), que da como resultado un porcentaje de procesamiento del 71.33% (5264 min/semana). Estos altos porcentajes de espera, unidos a los de bajo procesamiento, originaron alternativas de mejora que fueron evaluadas en el proceso de optimización (ver imagen 3.4).

Las fundas tienen un porcentaje de espera por los viradores del 8.79% (649 min/semana), 0.21% (15 min/semana) de espera para el transporte de las docenas hasta las cajas y las cajas un porcentaje de espera por los mismos recursos del 0.31% (23 min/semana) para ser transportadas hasta el Área para cosido 2.

El rendimiento de esta sección alcanza un valor de 1.0312 docenas/min y adicionalmente produce 5883 u (245 docenas/semana) de media defectuosa, que representa un tiempo perdido de aproximadamente 5971 min/semana.

El *idle* promedio de los tres viradores es de 40.10% (2959 min/semana), es decir, 59.90% de utilización. Cabe recalcar que uno de ellos es ficticio, puesto que esta sección trabaja realmente con dos viradores que reciben la colaboración constante del operario Control 1. Lo que significa que a pesar del porcentaje de *idle* obtenido está sujeto a mejoras dentro del proceso de optimización (ver figura 3.4).

Sección B

Las máquinas de esta sección tienen un *breakdown* del 2.79% (206 min/semana) y un porcentaje de espera por el enebrador del 27.21% (2008 min/semana) para el arreglo

de paros en las máquinas, originando así un procesamiento del 69.99% (5165 min/semana). Esta sección es la que presenta el menor porcentaje de procesamiento en el área de formado, se podría afirmar que es la obsolescencia de las máquinas la que ocasiona principalmente los paros. Estos altos porcentajes de espera, unidos a los de bajo procesamiento, pueden originar alternativas de mejora que fueron evaluadas en el proceso de optimización (ver figura 3.4). Las fundas esperan por el virador: 21.70% (1601 min/semana) para la actividad de virado y 0.22% (16 min/semana) para el transporte de las docenas. Las cajas esperan 0.58% (43 min/semana) al virador para ser llevadas al Área para cosido 2.

El *idle* para los viradores es de 24.98% (1844 min/semana) para el virador B1 y de 42.64% (3147 min/semana) para el virador B2, es decir, un porcentaje de ocupación del 75.20% y 57.36%, respectivamente. Los dos viradores son responsables del mismo número de máquinas pero la diferencia radica en el rendimiento de cada grupo asignado, ya que el grupo de máquinas del virador B1 tiene una producción mayor.

El rendimiento de esta sección se encuentra en 0.5988 docenas/min y tiene una producción defectuosa de 5791u (241 docenas/semana) que equivale a un tiempo perdido de aproximadamente 5689 min/semana.

Operación de formado, cosido y su interacción

En referencia a los resultados totales obtenidos para la operación de formado se obtuvo que el Total *Output* es de 26163 docenas, lo que es equivalente a un rendimiento de 3.55 docenas/min.

Mientras que la operación de cosido tiene un *input* de 3.52 docenas/min y un rendimiento de 3.46 docenas/min. La interacción entre las dos operaciones da como resultado un inventario en proceso de 1680 docenas como promedio. El cual se acumula durante la noche debido a que las costureras y remalladoras no trabajan en ese horario.

La producción obtenida por sección es la que se indica en la tabla 3.5, mientras que la producción obtenida por tipo de media es la que se muestra en el anexo 23 junto con

los precios para cada tipo de media. Estos resultados conducen a que se genere un total de ingresos de 250879 \$/semana.

Tabla 3.5: Producción semanal por sección de trabajo en la operación de formado

SECCIÓN	PRODUCCIÓN SEMANAL (docena/semana)	RENDIMIENTO (docena/min)
E	4353	0,5898
D	4714	0,6388
CC	2265	0,3069
CL	2818	0,3818
A	7610	1,0312
B	4419	0,5988

Fuente: elaboración propia.

3.7.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PROCESO DE OPTIMIZACIÓN Y COMPARACION CON EL ESCENARIO ACTUAL.

Los resultados del proceso de optimización son los que se muestran en el anexo 24. En el gráfico de Ingresos contra Gastos (figura 1 del anexo 24) se obtuvieron sólo cuatro soluciones factibles que cumplen con las restricciones planteadas (solución 2, 9, 31 y 32), y de ellas, tres aparecen como soluciones óptimas (2, 9 y 32).

Es de destacar la Solución 3, que aun cuando no sea factible, determina el máximo de Ingresos y Gastos con el modelo de optimización planteado. Esta solución marca la máxima diferencia de incremento a obtener en Ingresos y Gastos respecto al Escenario Actual (ver tabla 1 del anexo 24). Se seleccionaron como soluciones aquella o aquellas que garanticen una mejor aproximación al Principio de Pareto respecto a estas máximas diferencias calculadas.

De la tabla 2 del propio anexo 24 se deduce que la Solución 2 quedó descartada producto a que sólo aumenta los ingresos en 16 \$/semana; la Solución 32 logra un incremento del 43.94% en los ingresos con un incremento del 3.88% de los gastos; mientras que la Solución 9 alcanza un incremento del 73.57% en los ingresos con un incremento del 23.11% en los gastos. De aquí que de todas las soluciones óptimas la Solución 9 es la que más se aproxima al Principio de Pareto, para un total de ingresos

de 269399 \$/semana y un total de gastos de 5280 \$/semana, logrando un incremento en los ingresos respecto al Escenario Actual de 18520 \$/semana y en los gastos un incremento de 333.78 \$/semana.

La Solución 9 consiste en incrementar un enebrador en la Sección A, quitar un virador en la propia Sección A, aumentar un enebrador en la Sección B y mantener el resto de los trabajadores iguales al Escenario Actual. Con esta solución se alcanzan los resultados siguientes (ver anexo 24, tabla 3):

Sección A

- Se incrementa el porcentaje de procesamiento de las máquinas en un 17.87%, dado que al añadir un enebrador se disminuye el porcentaje que esperan las máquinas por el enebrador para el arreglo de los paros en un 17.65%.
- Se incrementa el *idle* de los enebradores en un 21.90%, lo cual no es relevante dado que estos trabajadores poseen otras tareas que no fueron consideradas en el modelo.
- Se incrementa la producción en proceso en las fundas de las máquinas dado que al quitar un virador se incrementa el porcentaje que esperan las fundas por los viradores para la actividad de virado y formación de la docena, esto en un 85.61%. Lo anterior unido al 0% de *idle* de los viradores produce resultados relativamente ilógicos, pero que pueden ser solucionados mediante la colaboración del trabajador Control 1.
- Se incrementa el rendimiento de la Sección A en 0.2154 docenas/minuto, lo que equivale a un incremento de la producción semanal en 1590 docenas.

Sección B

- Se incrementa el porcentaje de procesamiento de las máquinas en un 23.61%, dado que al añadir un enebrador se disminuye el porcentaje que esperan las mismas por dichos recursos para el arreglo de los paros en un 23.31%.

- Se incrementa el *idle* de los enebradores en un 42.20%, lo cual no es muy relevante puesto que estos trabajadores realizan otras tareas que no han sido consideradas en el modelo.
- Se incrementa la producción en proceso en las fundas de las máquinas, dado que al aumentar un enebrador, el rendimiento de las máquinas aumenta considerablemente; y por ende se incrementa en un 26.10% el porcentaje que esperan las fundas por los viradores para la actividad de virado y formación de la docena.
- Se reduce el *idle* de los viradores B1 y B2 en un 23.78% y 17.84%, respectivamente. Lo anterior, por la misma razón del incremento del rendimiento de las máquinas.
- Se incrementa el rendimiento de la Sección B en 0.20 docenas/minuto, lo que equivale a un incremento de la producción semanal en 1446 docenas.

3.7.3 RESUMEN DE LAS MEDIDAS PROPUESTAS

Las medidas a proponer para la mejora de los indicadores de desempeño en el punto fundamental, y de forma tal que se optimicen los recursos, son las que siguen:

1. Analizar si existe la posibilidad de que dos trabajadores de la fábrica puedan ser capacitados y ocupar un nuevo puesto como enebradores en las Secciones A y B, de lo contrario se contratarían dos nuevos trabajadores.
2. Asignar la tarea de colaborar con la actividad de virado en la Subsección D1 al trabajador denominado Control 1, en lugar de continuar colaborando en la actividad de virado en la Sección A.
3. Asignar la tarea de colaborar con la actividad de virado en la Sección C al trabajador denominado Control 2.
4. Mantener la cantidad de trabajadores que se tienen actualmente en el resto de las subsecciones de trabajo.

CONCLUSIONES

1. El estudio realizado para la confección del Marco Teórico confirmó la existencia de las amplias posibilidades de aplicación de la simulación de eventos discretos en la toma de decisiones dentro de los procesos de producción, en vistas de lograr el óptimo uso de los recursos disponibles y un mejor desempeño de las principales métricas de rendimiento de estos procesos.
2. La herramienta aplicada para el diagnóstico del sistema de producción permitió caracterizarlo y clasificarlo adecuadamente, además de detectar los principales problemas que afectan la gestión desde una perspectiva sistémica. Se logró determinar como punto fundamental la operación de formado, el deficiente comportamiento del sistema frente a los plazos de entrega, la alta flexibilidad del sistema, así como otros problemas relacionados con la programación de la producción.
3. Las herramientas multicriterios empleadas en el diagnóstico permitieron detectar las principales causas que afectan el trabajo continuo de la maquinaria en la operación de formado. Se destacaron, en orden de prioridad, la planificación del mantenimiento, la calidad del material, las fallas mecánicas, errores electrónicos y desabastecimiento de materia prima.
4. Mediante el modelo de simulación construido se logró determinar las capacidades de producción actual que tiene la fábrica, para el total de la operación de formado, por sección y subsección de trabajo y por tipo de media. Además, permitió identificar las secciones y subsecciones que constituyen las mejores oportunidades de mejora para la Operación de Formado.
5. El proceso de optimización desarrollado en el Experimenter viabilizó la toma de decisiones a favor de la Solución 9, con la cual se logran elevar el valor de la producción en un 73.57% (18520 \$/semana), con tan sólo un incremento en los gatos por concepto de salario en un 23.11% (333.78 \$/semana). Esta solución eleva el rendimiento en la Operación de Formado hasta un 3.766 docenas/minuto, y a su vez, mejora la continuidad de trabajo en la operación.

RECOMENDACIONES

1. Modelar el proceso productivo completo de forma tal que permita conocer su cuello de botella y otras medidas de desempeño del sistema productivo, puesto que la interacción entre la operación de formado y la operación de cosido y remallado muestran una acumulación de inventario en proceso si se hace uso de la capacidad máxima de producción con el escenario actual y más aún si se incrementa esta producción con la implementación de la solución nueve.
2. Desarrollar otros escenarios, sobre la base del modelo desarrollado en el presente trabajo de grado, que permitan detectar los óptimos globales en cuanto a la asignación de recursos en la operación de formado.
3. Hacer uso del software FlexSim como una potente herramienta de apoyo en el análisis y toma de decisiones para cualquier trabajo de estudio, puesto que gracias a la aleatoriedad que se maneja en el modelo, hace que las estadísticas sean más verídicas y confiables.

BIBLIOGRAFÍA

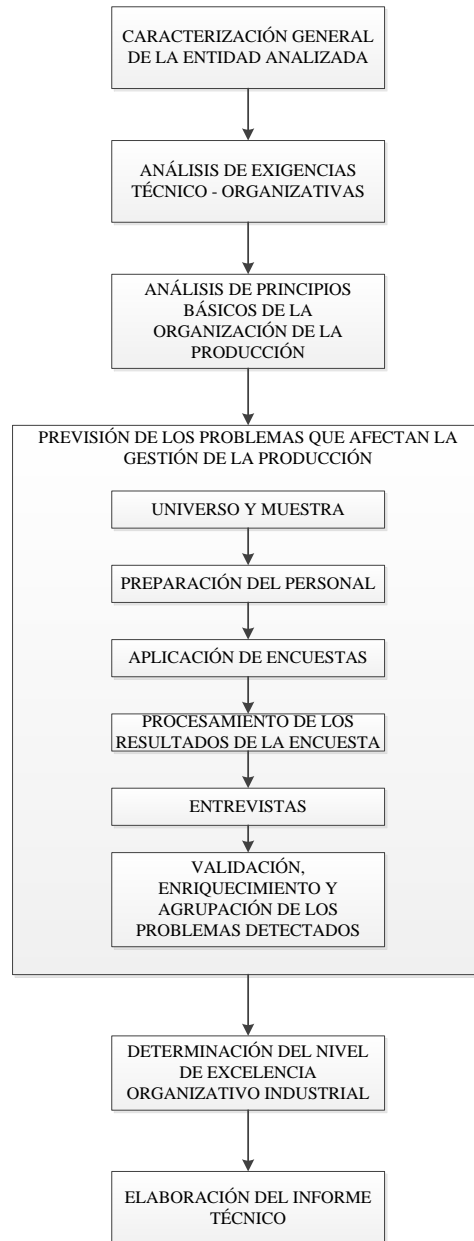
- Rockwell Automation. (2016). *Arena Simulation Software*. Recuperado el Febrero de 2016, de <https://www.arenasimulation.com/what-is-simulation/discrete-event-simulation-software>
- Barceló, J. (1996). *Simulación de sistemas discretos*. Madrid: Isdefe.
- Bohórquez Majías, P. R. (2009). *Simulación de Líneas de Producción y Servicios Mediante el Uso PYTHON- SIMPY*. Venezuela.
- Camacho, J. (Marzo de 2010). www.scielo.sa.cr. Obtenido de <http://www.scielo.sa.cr/pdf/amc/v50n1/3700.pdf>
- Cao Abad, R. (2002). *Introducción a la simulación y a la teoría de colas*. Coruña: NETBIBLO, S.L.
- Fischman, G. (1978). *Principles of Discrete Event Simulation*. Jonh Wiley.
- FlexSim Problem Solved. (2014). *FlexSim User Manual*. Recuperado el Febrero de 2016, de https://www-docs.tu-cottbus.de/informationssysteme/public/Lehrveranstaltungen/ISU/PLogistik/FlexSim_7_manual.pdf
- FlexSim Problem Solved. (2015). *Software de Simulación*. Recuperado el Febrero de 2016, de <https://www.flexsim.com/es/simulation-software/>
- García Dunna, E., García Reyes, H., & Cárdenas Barrón, L. (2013). *Simulación y Análisis de Sistemas con ProModel*. México: PEARSON.
- García, M. (2013). *Dirección y Gestión de la Producción. Una aproximación mediante la simulación*.
- González Ariza, A. (2003). *Manual práctico de investigación de operaciones*. Barranquilla: Ediciones Uninorte.

- Guasch Petit, A., Piera, M., & Casanovas, J. (2005). *Modelado y Simulación: Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios*. Barcelona: Edicions UPC.
- Guerrero Hernández, M. A., & Henriques Librantz, A. F. (2014). Simulación de eventos discretos de la cadena logística de exportación de commodities. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*.
- Hasan, S., & Al-Hussein, M. (2010). Advanced simulation of tower crane operation utilizing system dynamics modeling and lean principles. En S. Hasan, & M. Al-Hussein (Ed.), *Winter Simulation Conference of 2010*. Yücesan.
- Kellner, M. M. (1999). *DM., Software process simulation modeling: Why? What? How? The Journal of Systems and Soft-ware*.
- Krajewski, L., Ritzman, L., & Malhotra, M. (2008). *Administración de operaciones: Procesos y cadenas de valor*. México: Pearson Education.
- Leirca, E. (1999). *Software de Simulación*. Obtenido de http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v02_n1/software.htm#GASP
- Machuca, J., Gil, J., García, S., Machuca, M. A., & Jimenez, A. (1995). *Dirección de Operaciones: Aspectos estratégicos en la producción y en los servicios*. Sevilla: McGraw-Hill.
- Marrero, F., Abreu, R., Taborda, B., Bravo, F., Mejía, D., & Grau, R. (2002). *Simulación de Sistemas*. Manizales.
- Medina, A., Nogueira, D., & Pérez, A. (2001). *Clasificación y Caracterización de Sistemas Productivos*.
- Pooch, U., & Wall, J. (2000). *Discrete Event Simulation: A practical approach*. CRC Press.
- Render, B., & Heizer, J. (2009). *Principios de Administración de operaciones*. México: Pearson Education.

- Saaty, T. L. (1981). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw Hill.
- Salazar Guerrero, A. (2010). *cursos.aiu.edu*. Obtenido de <https://cursos.aiu.edu/Simulacion%20de%20Eventos/PDF/Tema%204.pdf>
- Schroeder, R. G., Meyer Goldstein, S., & Rungtusanatham, M. J. (2011). *Administración de operaciones: Conceptos y casos contemporáneos*. Mc Graw Hill.
- SIMCORE. (2015). *Software de Simulación "AUTOMOD"*. Recuperado el Febrero de 2016, de <http://www.simcore.fr/es/automod-software.asp>
- Urquía, A., & Martín, C. (2013). *Modelado y Simulación de Eventos Discretos*. Madrid.

ANEXOS

Anexo 1: Procedimiento para la realización del diagnóstico del sistema de gestión de la producción



Fuente: Acevedo Suarez (1986).

Anexo 2: Características del proceso para la clasificación del sistema

CARACTERÍSTICAS	CONTINUO Y LÍNEAS DE ENSAMBLE	LOTE Y TALLERES DE TRABAJO	PROYECTO
Producto			
Tipo de orden	Continuo o lote grande	Lote	Una sola unidad
Flujo del producto	Secuenciado	Discontinuo	Ninguno
Variedad del producto	Baja	Alta	Muy alta
Tipo de mercado	En masa	Personalizado	Único
Volumen	Alto	Mediano a bajo	Una sola unidad
Mano de obra			
Habilidades	Bajo	Alto	Alto
Tipo de tareas	Repetitivo	No rutinario	No rutinario
Remuneración	Mediana	Alta	Alta
Capital			
Inversión	Alta	Mediana	Mediana
Inventario	Bajo	Alto	Pequeño
Equipo	Para propósitos especiales	Para propósitos generales	Para propósitos generales
Objetivos			
Flexibilidad	Baja	Mediana	Alta
Costos	Bajo	Medio	Alto
Calidad	Conformidad	Conformidad	Conformidad
Entrega	Puntual	Puntual	Puntual

Fuente: Schroeder, 20011, pág. 65.

Anexo 3: Encuesta para la detección de problemas en la gestión productiva de la Fábrica Gardenia



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



Encuesta para la detección de los principales problemas que afectan la Gestión Productiva

Objetivo

La presente encuesta está dirigida con el propósito de obtener a través de su opinión los principales problemas que vinculados al área de producción, existen en el área en la que usted labora. Por ello se requiere que le conceda la importancia debida, con vistas a que sean solucionadas las dificultades y con ello se obtenga una mejora significativa en la fábrica.

1. Marque con una “X” su categoría ocupacional:

Dirigente ____ Técnico ____ Administrativo ____ Obrero ____

PRODUCCIÓN

Responda con SI o NO, en caso de ser afirmativo justifique su respuesta.

Pregunta	Respuesta	
1. ¿Conoce la capacidad de producción del área por la cual responde?	<i>Docenas/ tiempo</i>	
2. ¿Conoce la producción real obtenida en diferentes períodos de tiempo, del área por la cual responde?	<i>Docenas/ tiempo</i>	
3. ¿Considera posible dar una respuesta al cliente, sobre la situación de su pedido?	<i>Tiempo de respuesta</i>	
4. ¿Conoce el tiempo que demora una unidad de producto en ser procesado, teniendo todos los materiales disponibles?	<i>Tiempo de algún producto</i>	
5. ¿Considera que cumple los plazos de entrega a su cliente inmediato?	<i>Plazo</i>	
	<i>Frecuente</i>	

6. ¿Considera que determinados pedidos urgentes desordenan su trabajo y le impiden cumplir con otros clientes?		<i>Poco frecuente</i>	
7. ¿Existen en su área de trabajo producciones atrasadas?		<i>Tiempo de mayor atraso</i>	
8. ¿Al asignársele una orden de trabajo, dispone de todos los recursos necesarios?			

INVENTARIOS

Responda con SI o NO, en caso de ser afirmativo justifique su respuesta.

Pregunta	Respuesta	
9. ¿Conoce el valor de los inventarios acumulados en la organización?	<i>Cantidad actual</i>	
10. ¿Conoce el valor mínimo de los inventarios necesarios para que funcione la organización?	<i>Cantidad</i>	

ACTIVIDADES VARIAS

Responda con SI o NO, en caso de ser afirmativo justifique su respuesta.

Pregunta	Respuesta	
11. ¿Conoce con anticipación la tarea diaria que realiza?	<i>Plazo de anticipación</i>	
12. ¿Existen afectaciones en la producción, provocadas por la forma en que está organizada la actividad de mantenimiento?	<i>Ejemplo</i> _____ _____	

PARTICIPACIÓN

Responda con SI, NO o A veces y justifique su respuesta

Pregunta	Respuesta	
13. ¿Se tiene en cuenta su opinión al tratar de resolver los problemas de la organización?		
14. ¿Posees una noción general de cómo funciona la organización?		
15. ¿Está satisfecho con la actividad que realiza?		
16. ¿Se siente identificado con su organización?		

17. ¿Recibe documentación técnica actualizada?		
18. ¿Tiene acceso a cursos de superación?		

PREGUNTAS ESTRATÉGICAS

19. Especifique los tres problemas más importantes que en su criterio existen en la Gestión Productiva de su Organización

.....

.....

.....

20. Especifique tres posibles soluciones a los problemas que existen en la Gestión Productiva de la Organización

.....

.....

.....

21. Existen en la organización proyectos de mejora para el incremento de la competitividad (reducción de stocks, costes, incremento de la flexibilidad y otros)

Si _____ No _____

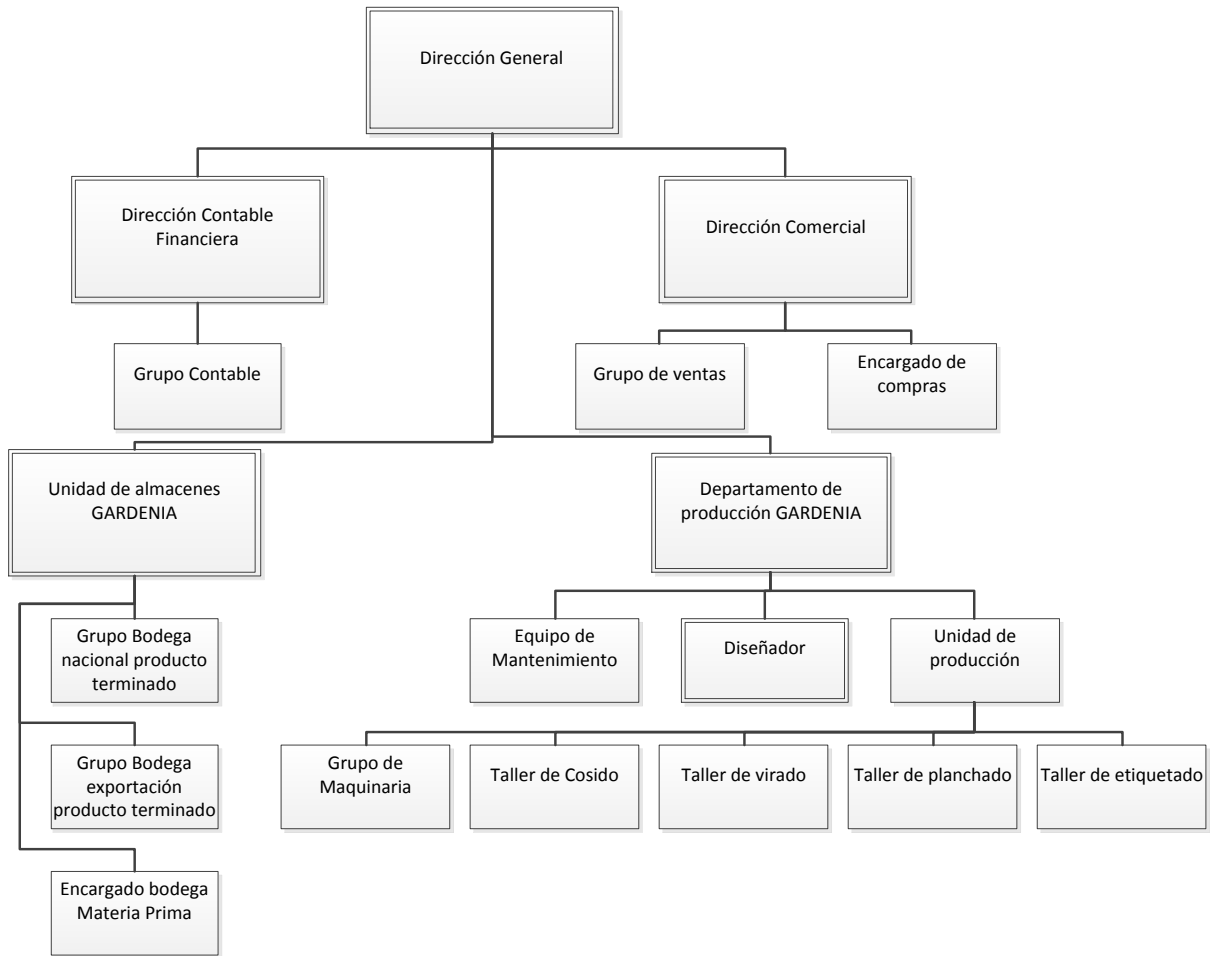
En caso afirmativo, especifique cuáles:

.....

Gracias por su colaboración

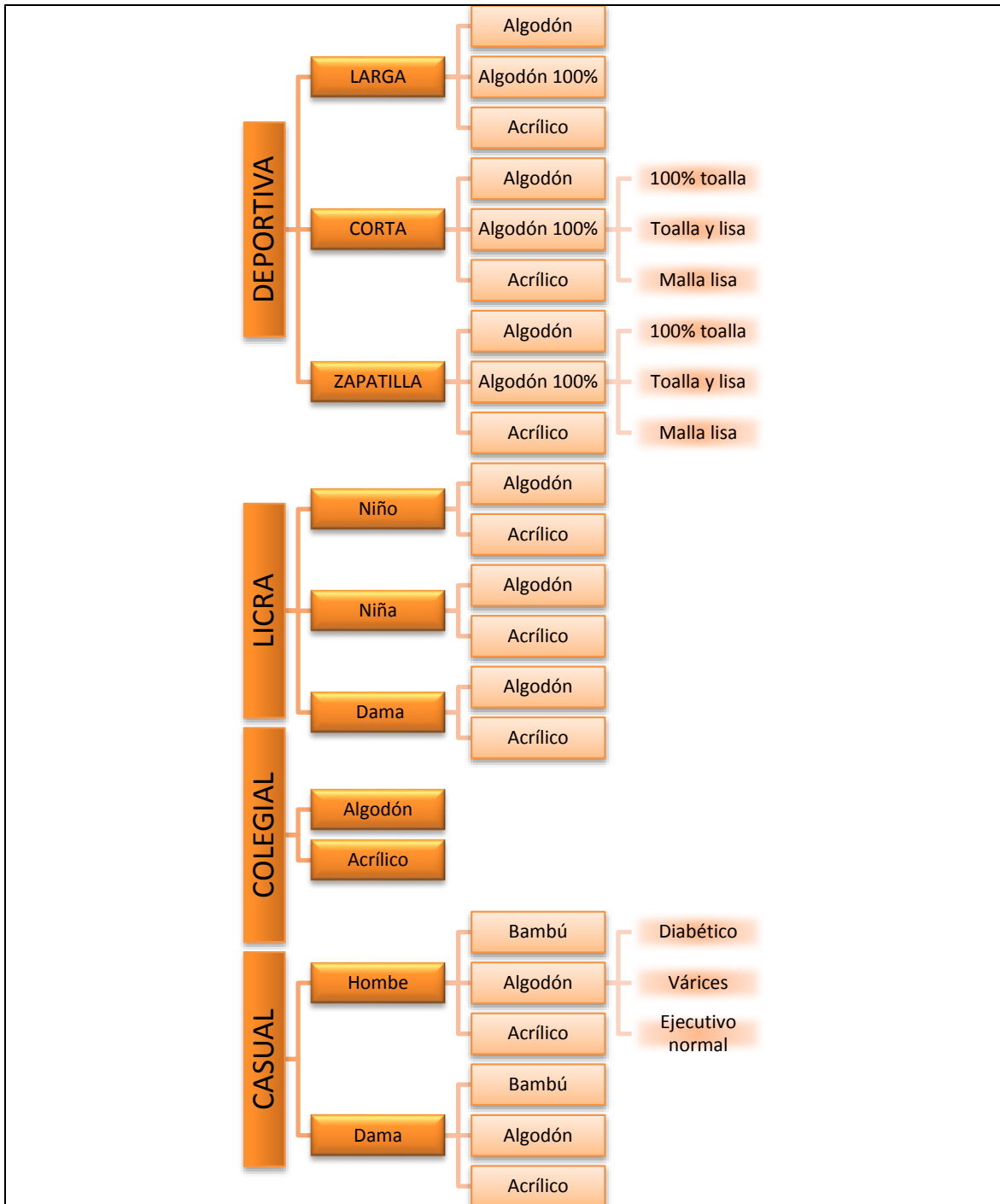
Fuente: Elaboración propia

Anexo 4: Organigrama de la Fábrica Gardenia



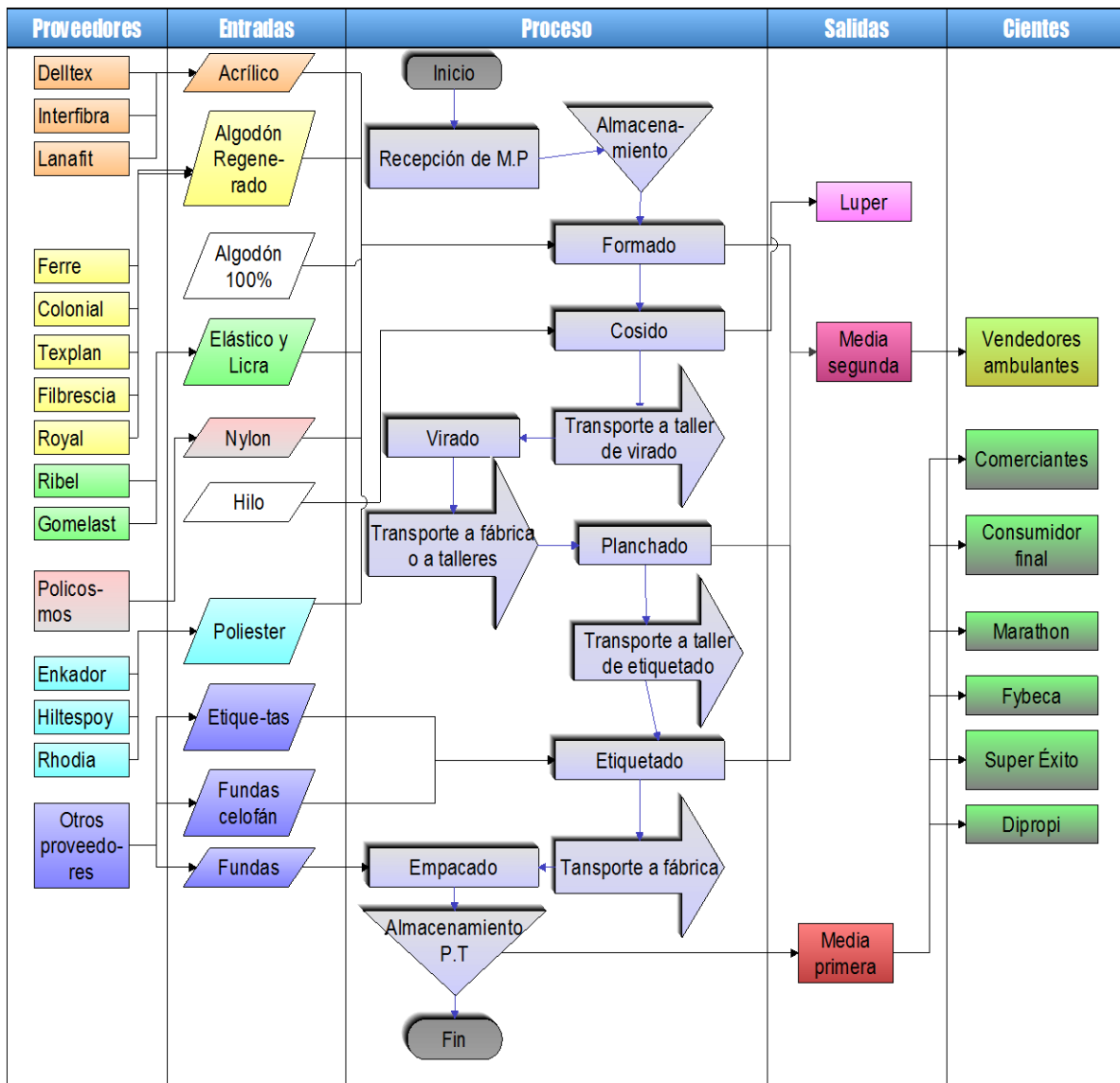
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5: Cartera de productos de la Fábrica Gardenia



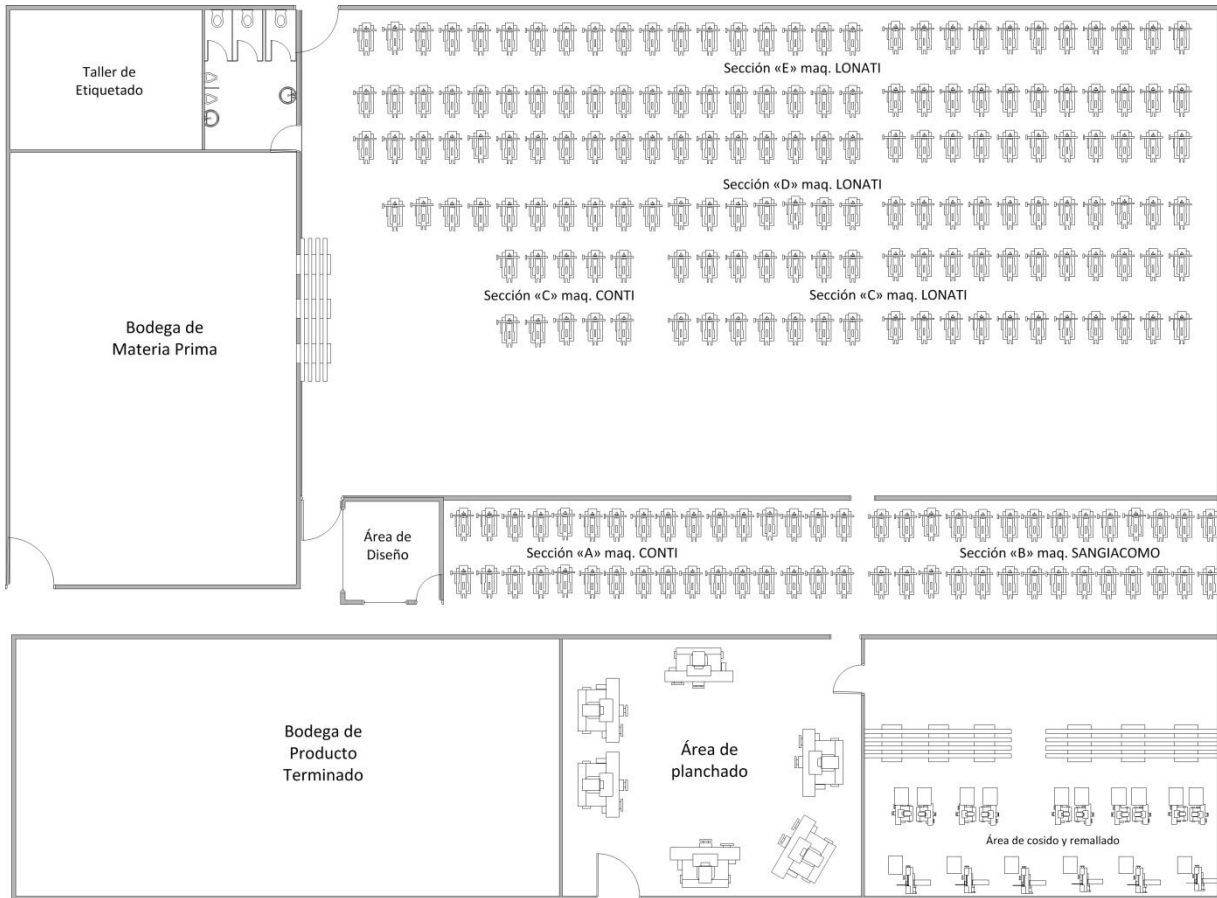
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 6: Diagrama SIPOC del proceso productivo de medias en la Fábrica Gardenia



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 7: Layout de la planta de producción



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 8: Tabla para el cálculo de la flexibilidad de la fuerza de trabajo

MANO DE OBRA		OPERACIONES							
Ocupación	Cantidad	Formado		Cosido		Virado	Planchado		Etiquetado
		Enebrar Máq.	Virar media	Overlock	Remallado	Taller	Térmico	Vapor	Taller
Enebradores	21	21	21			21	21		
Viradores revés	20		20			20	20		
Costureras	15		15	10	5	15	15		15
Viradores derecho	1		1			1	1		1
Personal de plancha	18		18			18	18	18	18
Personal de acabados	14		14			14	14		
Personal de conteo y distribución	6		6			6	6		6
Bodegueros	4		4			4	4		
Administrador de repuestos	1		1			1	1		
Total Trabajadores	100	21	100	10	5	100	100	18	40

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9: Análisis de la dinámica de rendimiento

Tabla1: Costos de producción de la Fábrica Gardenia en el año 2015

COSTOS DE PRODUCCION 2015													
Gastos	UM	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Materia Prima	\$	219556.59	79096.9	115898.23	193012.82	213883.87	203714.08	221181.36	240391.62	243911.14	275495.58	227227.45	331870.76
Costos materiales indirectos	\$	17000.5	9916.69	9821.13	13829.62	16553.24	17077.44	19064.98	18815.06	18925.78	16362.75	14041.11	14780.74
Repuestos	\$	2764.26	2211.41	3336.59	2669.27	2135.42	2290.79	1832.63	5286.73	4229.39	3565.52	4086.17	7282.29
Luz	\$	11145.47	12053.74	7760.14	11848.46	12036.39	15857.54	15998.82	15398.9	15289.22	16707.33	16880.01	16771.56
Fletes	\$	2850	330	1200	300	130		4000	2000	195		1600	
Lubricantes	\$	690.09		594.94	2182.38	594.94	594.94	594.94	594.94	594.94	654.59	1191.8	1268.34
Combustibles	\$	2567.13	1382.68	576.3	1717.83		1263.8	2804.44	1335.3	1468.4	1205.48	1007.63	984.15
Gatos de importación	\$	4093.61	2486.35	2582.74	3484.07	1435.5		3982.87	7895.51	4085.98	1166.35	3293.6	907.71
Gasto sueldos	\$	57741.41	57621.75	58117.18	57574.8	57341.53	58432.44	59108.03	96740.48	63394.78	5228.71	60455.48	101639.91
Depreciación Maquinaria	\$	7551.55	7551.55	7551.55	7551.55	7551.55	7551.55	7551.55	7551.55	7551.55	7551.55	7551.55	7551.54
Otros gastos indirectos fabricación	\$	2514.9	657.42	374.55	2461.4	1344.92	1865.4	1727.66	74.04	2423.4	3789.67	3384.97	635.81
Depreciación Muebles y Enseres	\$	398.43	398.43	398.43	398.43	398.43	404.41	410.42	410.42	410.42	410.42	410.42	410.42
Depreciación Equipos de Oficina	\$	25.18	25.18	25.18	25.18	25.18	25.18	25.18	25.18	25.18	25.18	25.18	25.2
Depreciación Equipos de Computación	\$	83.77	92.75	96.56	115.63	115.63	115.63	115.63	119.2	142.42	142.43	168.02	210.07
Depreciación Vehículos	\$	602.55	602.55	602.55	602.55	602.55	602.55	602.54	602.54	602.54	602.54	602.54	602.54
Sueldos personal Administrativo	\$	20238.45	19414.37	19434.07	19719.96	18996.52	18958.37	18697.13	28844.66	18985.8	19845.62	26164.63	42100.97
Amortización Equipos electrónicos	\$			5.73	8.59	8.88	8.59	8.88	8.88	8.59	8.87	8.58	8.87
Amortización Robo	\$	23.58	23.58	192.06	276.31	288.51	281.03	290.39	290.39	281.03	290.39	281.04	290.42
Amortización Incendio	\$	17	17	503.94	747.41	774.48	750.81	775.84	775.84	750.81	775.84	750.81	775.88
Amortización Fidelidad	\$			32.08	48.12	49.72	48.12	49.72	49.72	48.12	49.71	48.11	49.71
COSTO TOTAL MENSUAL	\$	349864.47	193882.35	229103.95	318574.38	334267.26	329842.67	358823.01	427210.96	383324.49	353878.53	369179.1	528166.89
PRODUCCIÓN MENSUAL	doc	98899	41558	57528	87682	103906	99966	107970	106113	103736	101871	89454	97887
FONDO DE TIEMPO	hrs	108960	54480	72648	108960	108960	108960	108960	108960	108960	108960	108960	108960

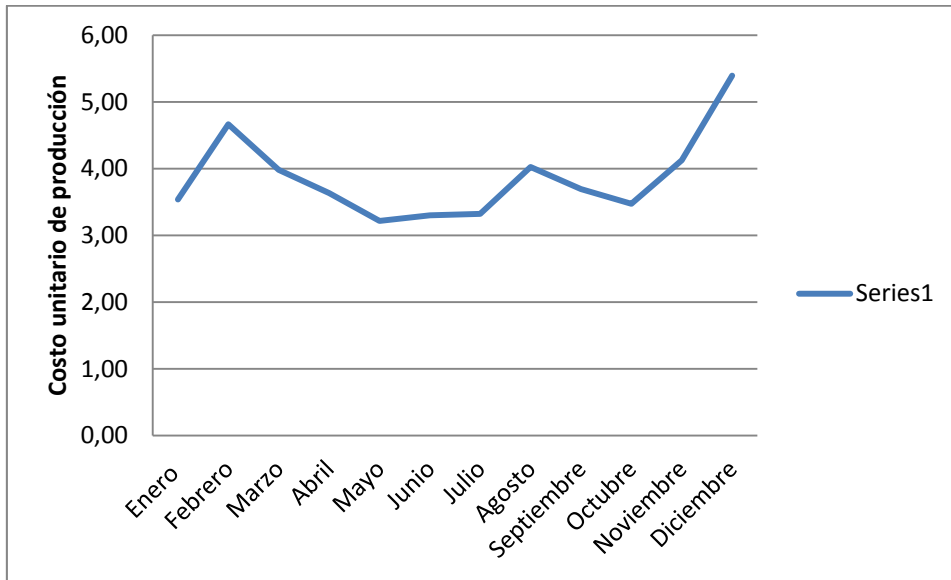
Fuente: Base de datos Fábrica Gardenia.

Tabla 2: Cálculo del costo de producción unitario y rendimiento de los medios de trabajo y el objeto de trabajo

VARIABLES	UM	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	\bar{X}	S
COSTO UNITARIO DE PRODUCCIÓN	\$/doc	3.54	4.67	3.98	3.63	3.22	3.30	3.32	4.03	3.70	3.47	4.13	5.40	3.86	0.64
RENDIMIENTO DE LOS MEDIOS DE TRABAJO	\$/h-maq	7.20	6.05	6.28	6.38	7.56	7.28	7.86	7.72	7.55	7.41	6.51	7.12	7.08	0.61
RENDIMIENTO DEL OBJETO DE TRABAJO	\$/ing/\$ inv	3.32	3.70	3.63	3.36	3.58	3.59	3.56	3.25	3.13	2.77	2.94	2.24	3.26	0.43

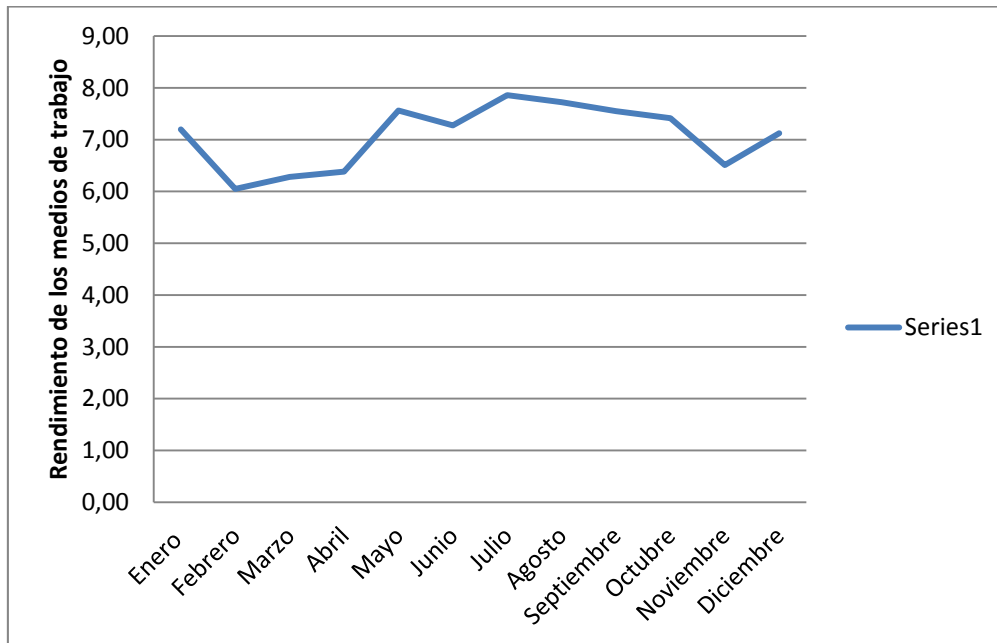
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1: Ritmicidad del costo unitario de producción



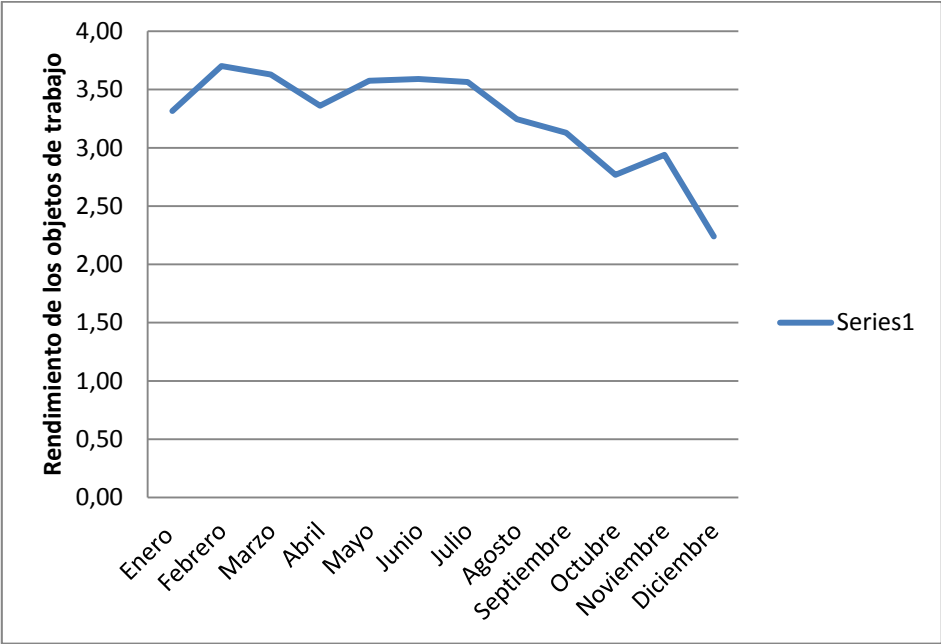
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2: Ritmicidad del rendimiento de los medios de trabajo



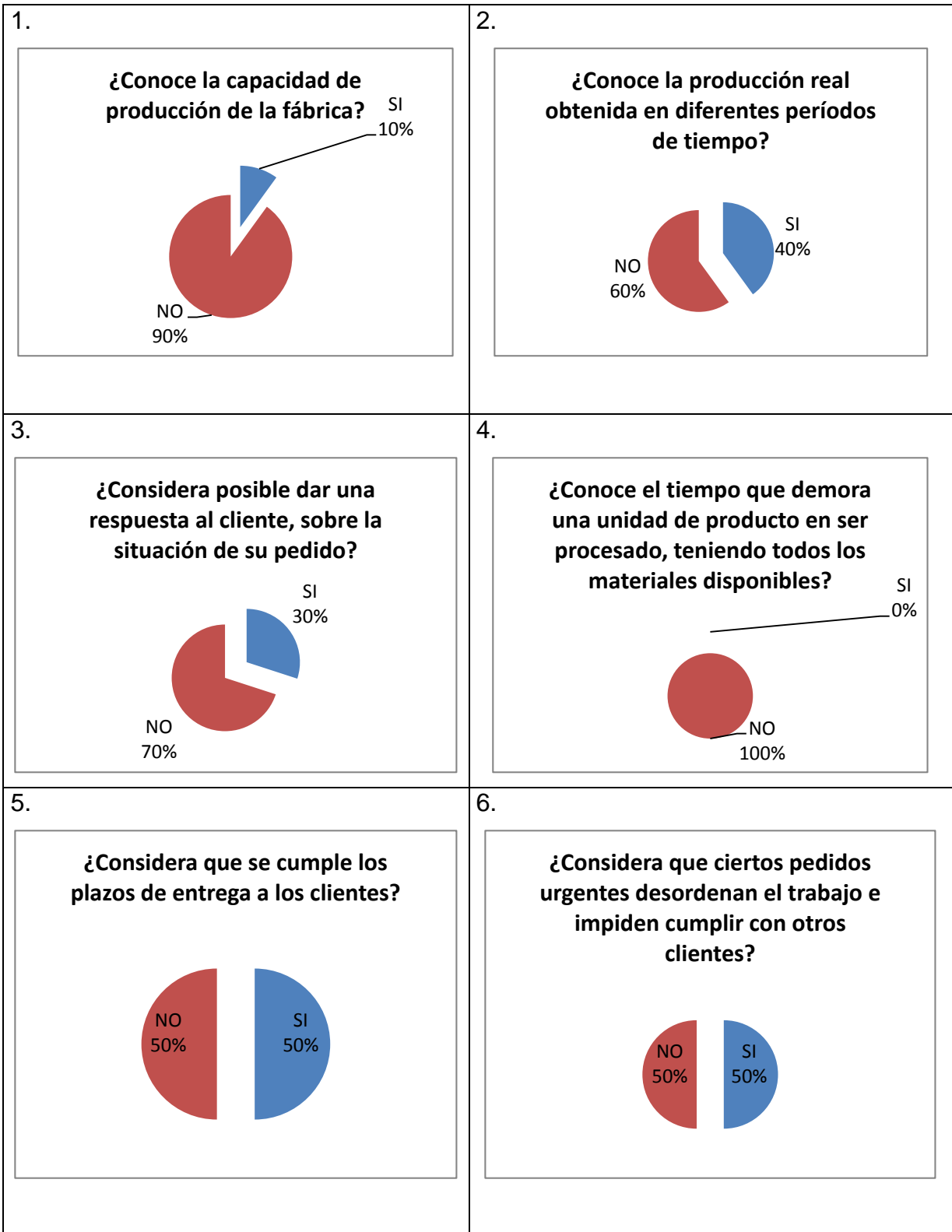
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2: Ritmicidad del rendimiento del objeto de trabajo



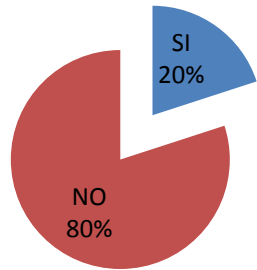
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 10: Tabulación de resultados de la encuesta (personal administrativo)



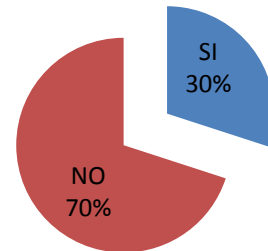
7.

Considera que existen producciones atrasadas



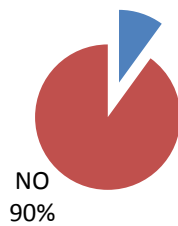
8.

Conoce el valor de los inventarios acumulados en la organización



9.

Conoce el valor mínimo de los inventarios necesarios para que funcione la organización



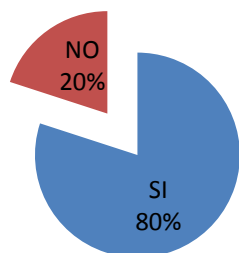
10.

Conoce con anticipación la tarea diaria que realiza



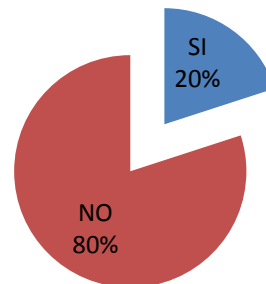
11.

Existen afectaciones en la producción provocadas por la mala organización del mantenimiento



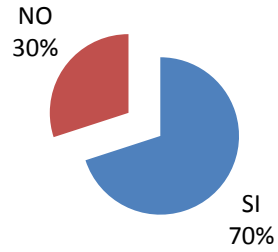
12.

Se tiene en cuenta su opinión al tratar de resolver los problemas de la organización



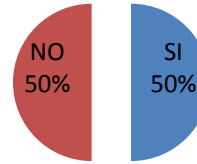
13.

Posee una noción general de cómo funciona la organización



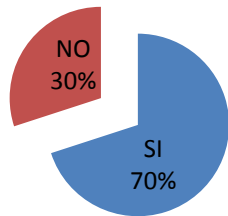
14.

Está satisfecho con la actividad que realiza



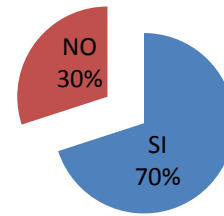
15.

Se siente identificado con su organización



16.

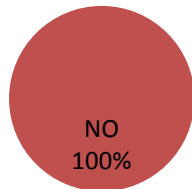
Recibe documentación técnica actualizada



17.

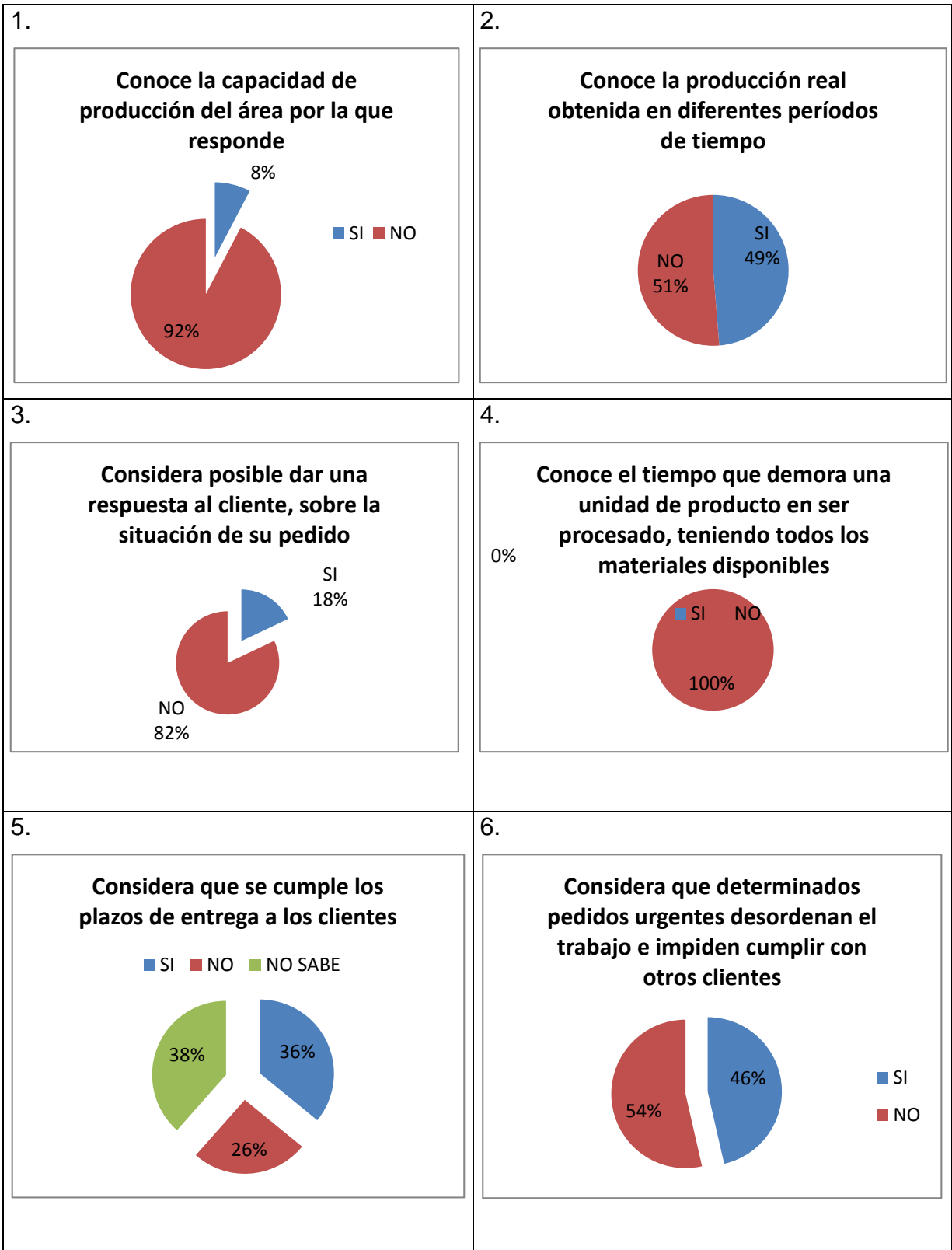
Tiene acceso a cursos de superación

SI
0%



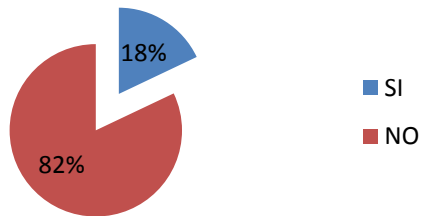
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 11: Tabulación de resultados de la encuesta (personal operativo)



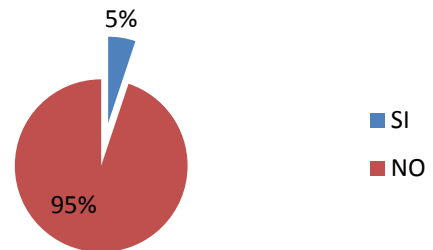
7.

Considera que existen producciones atrasadas



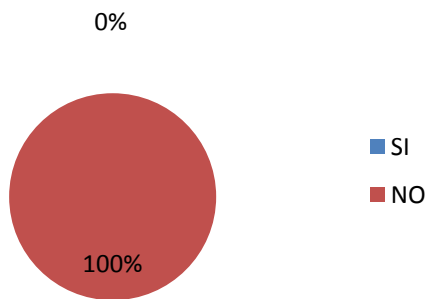
8.

Conoce el valor de los inventarios acumulados en la organización



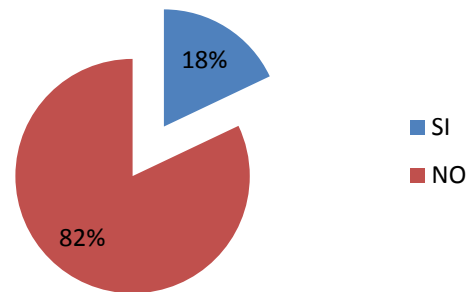
9.

Conoce el valor mínimo de los inventarios necesarios para que funcione la organización



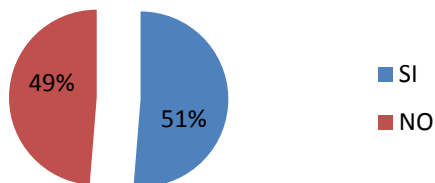
10.

Conoce con anticipación la tarea diaria que realiza



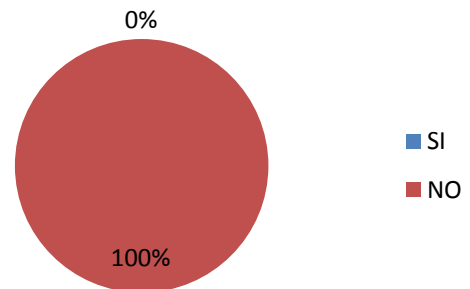
11.

Existen afectaciones en la producción, provocadas por la forma en que está organizada la actividad de mantenimiento



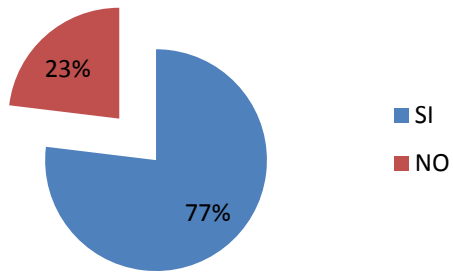
12.

Se tiene en cuenta su opinión al tratar de resolver los problemas de la organización



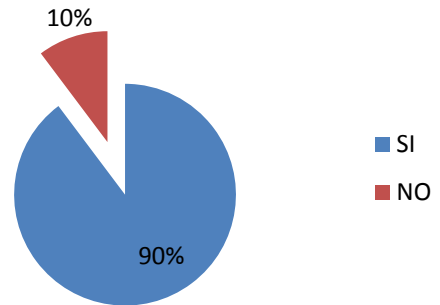
13.

Posees una noción general de cómo funciona la organización



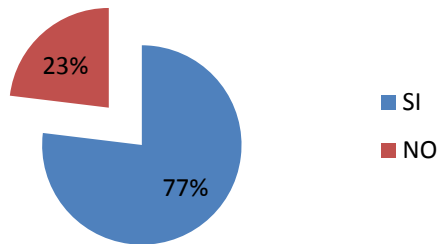
14.

Está satisfecho con la actividad que realiza



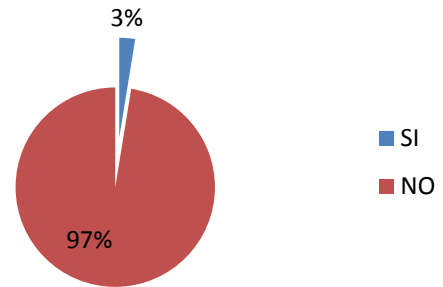
15.

Se siente identificado con su organización



16.

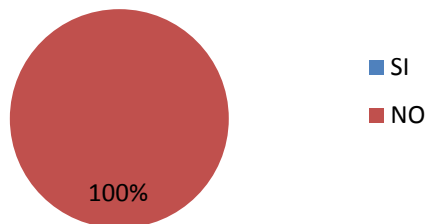
Tiene acceso a cursos de superación



17.

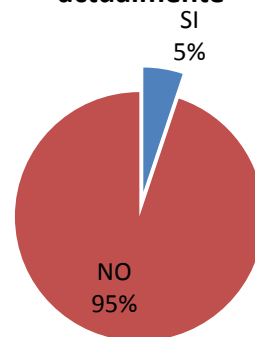
Tiene acceso a cursos de superación

0%

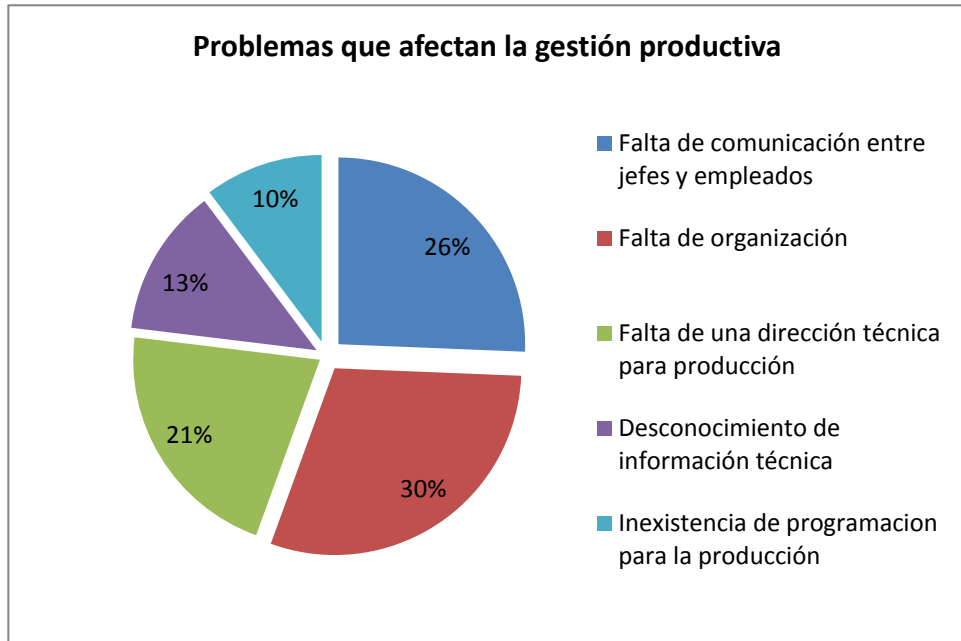


18.

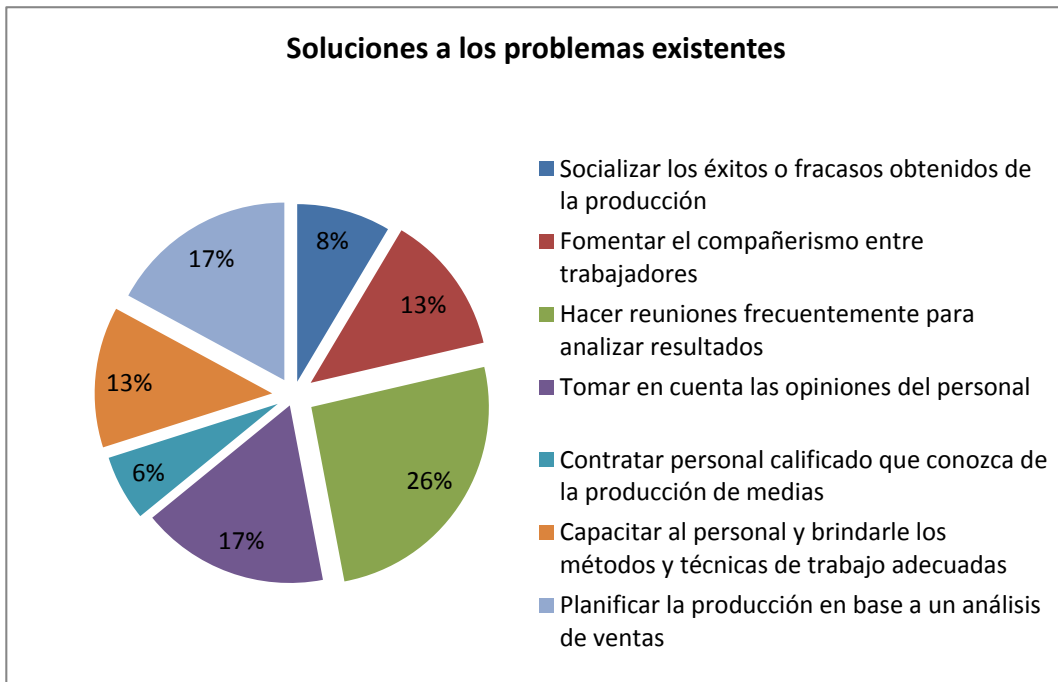
Existe algún plan de mejora actualmente



19.

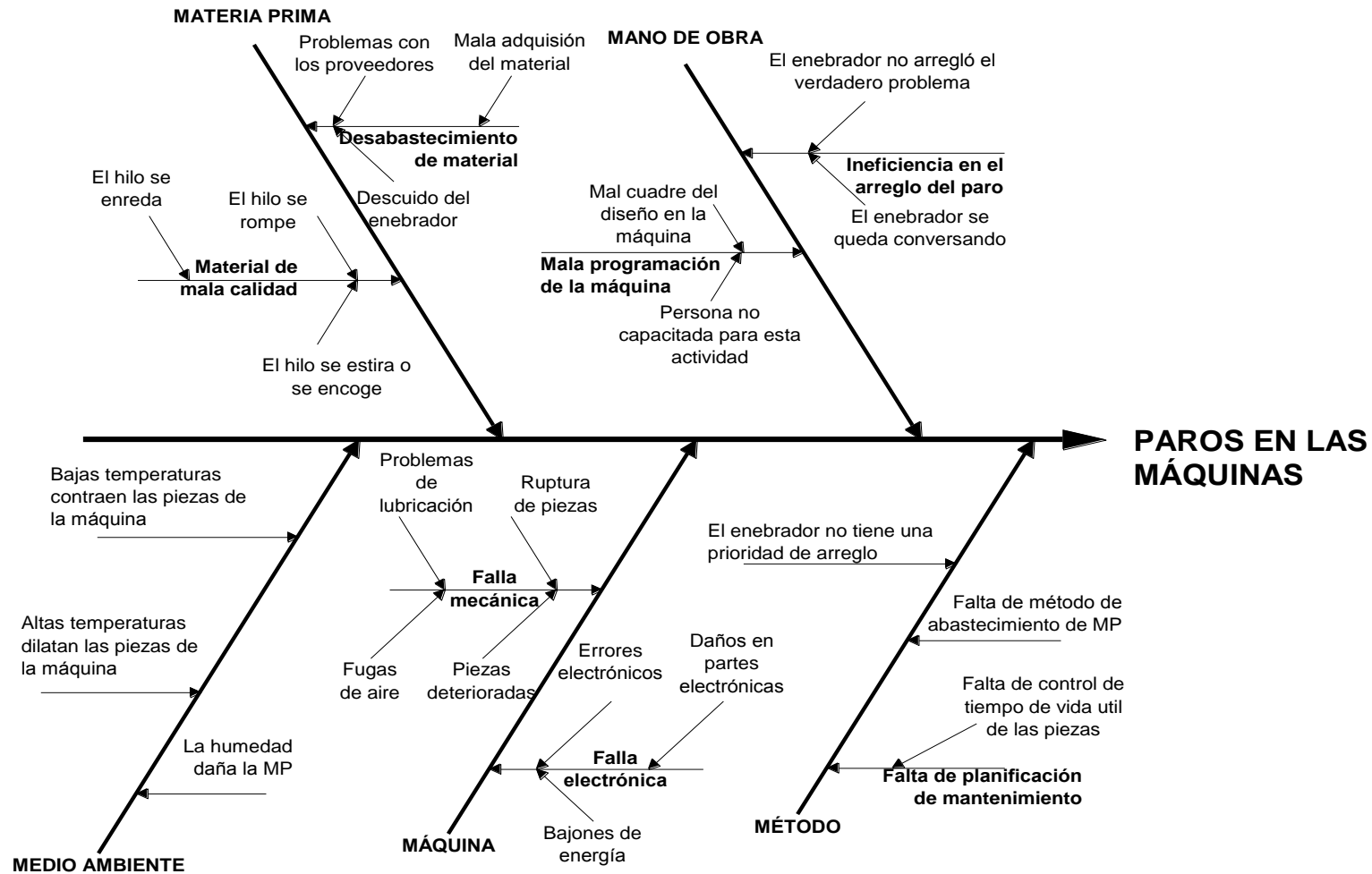


20.



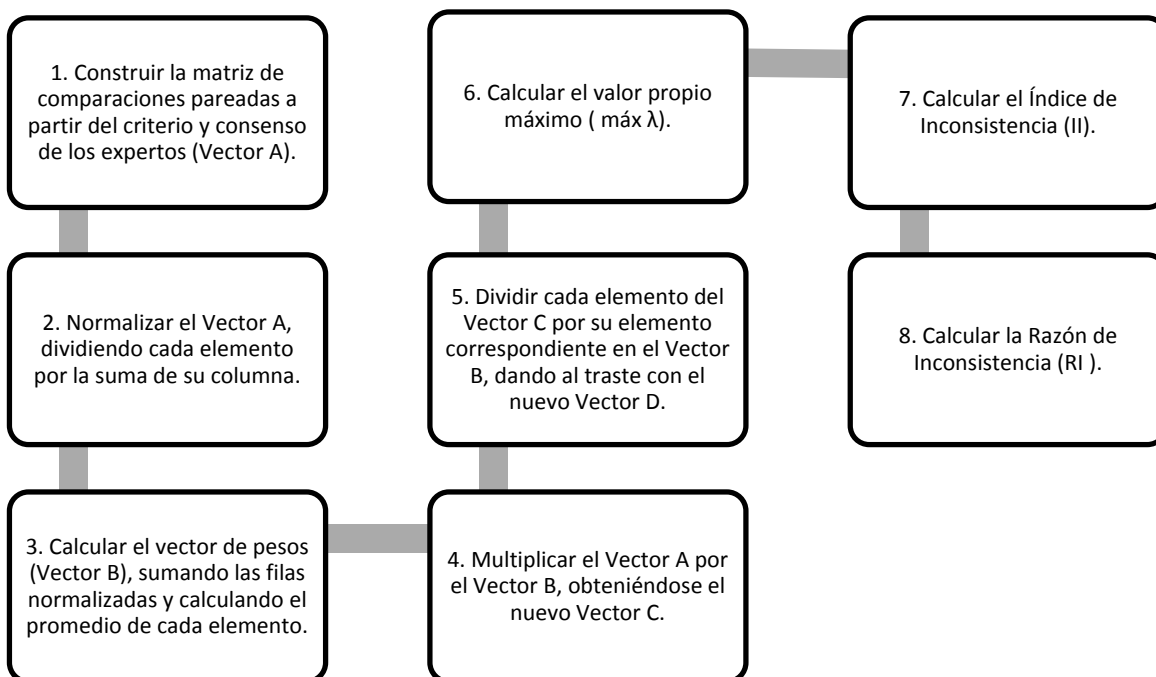
Fuente: Elaboración propia

Anexo 12: Diagrama Ishikawa para los paros de máquina



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 13: Pasos para el desarrollo del método AHP



Fuente: Saaty (1981).

Anexo 14: Procesamiento del método AHP

Tabla 1: Matriz de comparaciones pareadas (Vector A)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
C1	1.00	0.33	0.33	0.50	0.25	3.00	4.00	5.00
C2	3.00	1.00	4.00	4.00	1.00	3.00	5.00	5.00
C3	3.00	0.25	1.00	3.00	0.25	3.00	3.00	7.00
C4	2.00	0.25	0.33	1.00	0.20	3.00	3.00	5.00
C5	4.00	1.00	4.00	3.00	1.00	5.00	5.00	7.00
C6	0.33	0.33	0.33	0.33	0.20	1.00	1.00	2.00
C7	0.25	0.20	0.33	0.33	0.20	1.00	1.00	2.00
C8	0.20	0.20	0.14	0.20	0.14	0.50	0.50	1.00
Σ	13.78	3.57	10.48	12.37	3.24	19.50	22.50	34.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2: Matriz Normalizada

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Σ
C1	0.07	0.09	0.03	0.04	0.08	0.15	0.18	0.15	0.79
C2	0.22	0.28	0.38	0.32	0.31	0.15	0.22	0.15	2.03
C3	0.22	0.07	0.10	0.24	0.08	0.15	0.13	0.21	1.20
C4	0.15	0.07	0.03	0.08	0.06	0.15	0.13	0.15	0.82
C5	0.29	0.28	0.38	0.24	0.31	0.26	0.22	0.21	2.19
C6	0.02	0.09	0.03	0.03	0.06	0.05	0.04	0.06	0.39
C7	0.02	0.06	0.03	0.03	0.06	0.05	0.04	0.06	0.35
C8	0.01	0.06	0.01	0.02	0.04	0.03	0.02	0.03	0.22

Vector B	Vector C	Vector D
IR_j	$A*B$	C_j/IR_j
0.10	0.81	8.20
0.25	2.34	9.20
0.15	1.36	9.10
0.10	0.89	8.61
0.27	2.49	9.10
0.05	0.40	8.25
0.04	0.36	8.31
0.03	0.23	8.15

Valor propio máximo ($\lambda_{m\acute{a}x}$)

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{D_1 + D_2 + \dots + D_8}{8} = 8.61$$

Índice de inconsistencia (II)

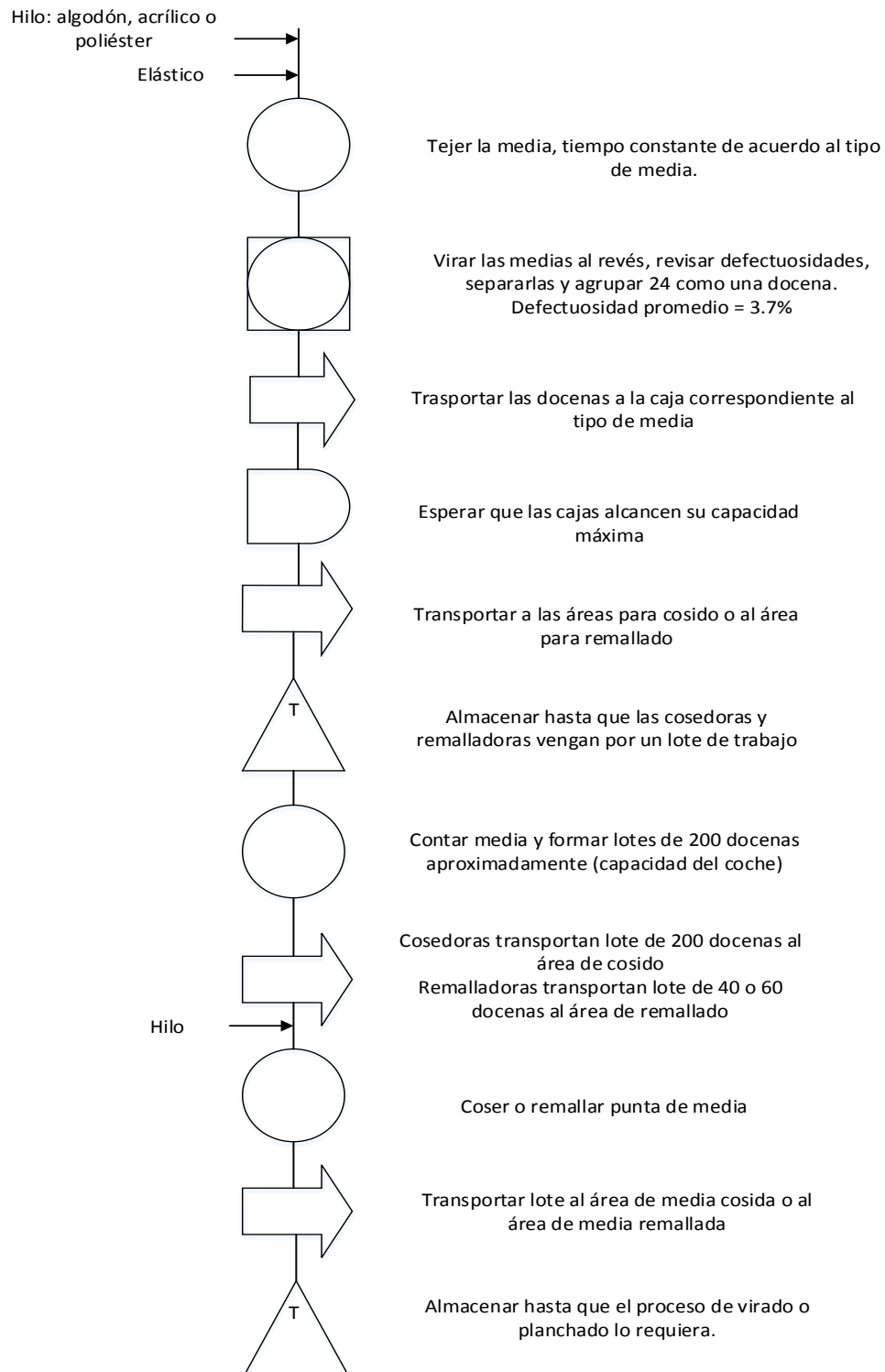
$$II = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - N}{N - 1} = 0.09$$

Razón de inconsistencia (RI)

$$RI = \frac{II}{IA} = 0.06$$

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 15: Diagrama OTIDA para las operaciones de formado y cosido



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 16: Datos estructurales del modelo

SECCIÓN	SUBSECCIÓN	TIPO DE MEDIA	TASK EXECUTERS (operators)	FIXED RESOURCES		
				Máquinas	Cajas	Áreas de almacenamiento temporal
A	A1	Corta algodón 10-12	3 Viradores	16	1	Media para cosido 2
		Corta algodón 08-10		3	1	
	A2	Corta algodón 10-12	2 Enebradores	19	1	
B	B	Larga poliester 10-12	2 Viradores	8	1	
		Zapatilla poliester 10-12		4	1	
		Corta poliester 06-08	1 Enebrador	4	1	
		Zapatilla sportenka 10-12		4	1	
C	CC	Corta poliester 10-12	1 Virador	10	1	Media para cosido 3
			1 Enebrador			
	CL	Media técnica	1 virador	1	1	Media para remallado
		Corta 100% 00-02	1 Enebrador	1	1	
		Corta 100% 02-04		4	1	
		Corta 100% 06-08		4	1	
		Zapatilla 100% 10-12		10	1	
		Corta 100% 10-12		7	1	
Zapatilla perforada 10-12	4	1				
D	D1	Corta 100% 10-12	1 Virador	3	1	Media para cosido 1
		Corta 100% 08-10		4	1	
		Colegial 02-04		1	1	
		Colegial 04-06	1 Enebrador	12	1	
		Colegial 06-08		5	1	
	Colegial 08-10	2	1			
	D2	Corta 100% 10-12	1 Virador	1	0	
		Colegial 08-10		1	0	
		Colegial 10-12		5	1	
		Media casual 10-12	1 Enebrador	16	4	
Corta 100% 06-08		2		1		
Larga 100% 10-12	5	1				
E	E1	Colegial 06-08	1 Virador	7	1	
		Colegial 08-10		17	1	
		Colegial 10-12	1 Enebrador	5	1	
	E2	Colegial 10-12	1 Virador	17	1	
		Colegial 08-10	1 Enebrador	10	1	
Todas las secciones		Todas las medias	2 control de producción	212	0	4
COSIDO	Cosido	Media de algodón, acrílico y poliester	10 Cosedoras	10	0	Media cosida para virado
	Remallado	Media 100% algodón	6 Remalladoras	6	0	Media % para virado
TOTAL DEL MODELO			38	228	33	6

Fuente: Elaboración propia.

Dos viradores (secciones A y C) son ficticios, puesto que reciben constantemente la ayuda en sus tareas por parte de un recurso de control y el enebrador, respectivamente.

Anexo 17: Recopilación y análisis de los datos para los tiempos de operación y *down times*

Tabla 1: Tiempos para la operación de formado

Tipo de media	Tiempo de procesamiento (seg/unidad)
Corta algodón 10-12	64.2
Corta algodón 08-10	57.6
Larga poliester 10-12	90
Zapatilla poliester 10-12	51
Corta poliester 06-08	45
Zapatilla sportenka 08-10	49.8
Corta poliester 10-12	70.2
Media técnica	300
Corta 100% 00-02	123
Corta 100% 02-04	127.2
Corta 100% 06-08	184.2
Corta 100% 08-10	207
Corta 100% 10-12	241.2
Larga 100% 10-12	262.2
Zapatilla perforada 10-12	199.8
Zapatilla 100% 10-12	199.8
Colegial 02-04	115.6
Colegial 04-06	145.8
Colegial 06-08	172.2
Colegial 08-10	207
Colegial 10-12	235.8
Media casual 10-12	256.8

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 2: Muestra tomada para los tiempos de virado y cosido de la media en las áreas de formado y cosido

TIEMPO DE VIRADO (seg/docena)			
N°	SECCIÓN D y E	SECCIÓN A, B y CC	SECCIÓN CL
1	129.00	42.00	180.00
2	132.00	54.00	120.00
3	126.00	68.60	150.00
4	130.20	57.60	162.00
5	129.00	61.21	174.00
6	129.60	72.00	150.00
7	126.00	77.40	120.00
8	129.00	77.76	156.00
9	130.20	68.40	138.00
10	133.20	77.40	180.00
11	129.65	66.34	174.00
12	128.77	61.20	180.00
13	130.41	70.80	168.00
14	126.06	45.28	174.00
15	130.01	68.46	120.00
16	127.89	50.05	180.00
17	126.26	46.51	150.00
18	132.55	71.38	162.00
19	128.67	60.65	144.00
20	129.58	65.93	168.00
21	131.51	71.26	162.00
22	128.51	59.69	150.00
23	125.62	42.74	174.00
24	130.77	66.63	138.00
25	126.19	46.09	162.00
26	130.04	50.68	168.00
27	128.41	53.11	114.00
28	129.76	66.70	120.00
29	131.66	72.16	126.00
30	130.47	71.17	138.00

TIEMPO DE COSIDO Y REMALLADO (seg/lote)			
N°	COSIDO LOTE (200 docenas)	REMALLADO 6 PACK	REMALLADO 4 PACK
1	11500.00	8388.00	5592.00
2	12900.00	8460.00	5640.00
3	11900.00	8316.00	5544.00
4	13500.00	8280.00	5520.00
5	12500.00	9000.00	6000.00
6	11500.00	8388.00	5592.00
7	11900.00	8460.00	5640.00
8	12300.00	8640.00	5760.00
9	11300.00	8388.00	5592.00
10	13500.00	8424.00	5616.00
11	12500.00	8316.00	5544.00
12	12500.00	8354.92	5569.94
13	11600.00	8861.44	5907.62
14	11300.00	8380.48	5586.98
15	12300.00	8526.96	5684.64
16	11700.00	8356.14	5570.76
17	12500.00	8701.09	5800.73
18	11500.00	8455.00	5636.66
19	11700.00	8365.82	5577.22
20	12300.00	8938.55	5959.03
21	11300.00	8372.12	5581.42
22	12300.00	8310.02	5540.02
23	13100.00	8469.25	5646.17
24	11900.00	8493.88	5662.58
25	11700.00	8381.30	5587.54
26	12300.00	8547.26	5698.18
27	11700.00	8386.67	5591.11
28	12300.00	8804.81	5869.87
29	11300.00	8357.54	5571.70
30	12500.00	8313.05	5542.03

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3: Resumen del *Automated-Fitting*

ANÁLISIS DE VARIABLES DE ENTRADA						
OPERACIÓN	SECCIÓN	VARIABLE	MODELO	RELATIVE SCORE	EVALUATION	ERROR (%)
FORMADO	D y E (Marca LONATI)	Tiempo de formar una docena	weibull(113.66, 16.45, 8.86)	97	GOOD	0.01
	C y A (Marca CONTI); B (Marca SANGIACOMO)	Tiempo de formar una docena	johnsonbounded(36.74, 79.65, -0.37, 0.76)	98.39	GOOD	0.01
	C (Marca LONATI)	Tiempo de formar una docena	beta(112.45, 180.76, 0.99, 0.67)	98.39	GOOD	0.17
COSIDO	Màq. OVERLOCK	Tiempo de Cosido lote	beta(11210.10, 14036.22, 1.17, 2.52)	93.33	GOOD	0.01
	Màq. REMALLADORAS	Tempo de Remallado 4 pack	invertedweibull(136.52, 2.10, 2.07)	90.91	GOOD	0.27
		Tempo de Remallado 6 pack	invertedweibull(8188.87, 182.33, 2.10)	90.91	GOOD	0.27

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4: Resumen del *Goodness of Fit (Anderson-Darling)*

ANÁLISIS DE HIPÓTESIS						
OPERACIÓN	SECCIÓN	VARIABLE	MODELO	TEST STATISTIC	CRITICAL VALUE	REJECT
FORMADO	D y E (Marca LONATI)	Tiempo de formar una docena	weibull(113.66, 16.45, 8.86)	0.41	2.492	NO
	C y A (Marca CONTI); B (Marca SANGIACOMO)	Tiempo de formar una docena	johnsonbounded(36.74, 79.65, -0.37, 0.76)	0.38	2.492	NO
	C (Marca LONATI)	Tiempo de formar una docena	beta(45.29, 202.57, 7.93, 2.35)	0.39	2.492	NO
COSIDO	Màq. OVERLOCK	Tiempo de cosido lote	beta(11210.10, 14036.22, 1.17, 2.52)	0.52	2.49	NO
	Màq. REMALLADORAS	Tiempo de remallado 4 pack	invertedweibull(136.52, 2.10, 2.07)	0.3	2.49	NO
		Tiempo de remallado 6 pack	invertedweibull(8188.87, 182.33, 2.10)	0.3	2.49	NO

Fuente: Elaboración propia.

H₀: la variable se ajusta a la distribución X y un *critical value* calculado para un $\alpha = 0,05$.

Tabla 5: Muestra de *Down Times* tomada en el proceso de formado en las secciones D y E máquinas marca LONATI

VARIABLES DE ENTRADA								
n°	Errores de máquina (C1)		Paros que dañan la media (C3)		Paros por rotura de hilos (C2)		Paros por desabastecimiento de MP (C4)	
	UP TIME (seg)	DOWN TIME (seg)	UP TIME (seg)	DOWN TIME (seg)	UP TIME (seg)	DOWN TIME (seg)	UP TIME (seg)	DOWN TIME (seg)
1	1736,40	7,80	4508,40	339,05	9786,00	13,20	27013,80	89,40
2	712,20	4,80	4393,80	337,20	12319,20	14,10	22825,80	159,00
3	1128,00	7,20	4725,00	240,80	10824,00	12,60	36007,20	154,80
4	1472,40	6,00	3048,00	309,00	12092,40	12,60	30213,60	109,20
5	2357,40	5,40	9036,00	297,20	18432,60	13,20	28020,60	207,60
6	1388,40	4,80	2496,08	308,40	5325,60	13,80	32625,60	159,60
7	943,80	7,20	3355,70	327,80	5541,00	13,20	36212,40	149,40
8	601,80	4,20	2870,27	288,40	19220,40	13,20	14101,20	97,80
9	1923,00	6,60	8008,56	312,00	30039,00	13,80	18327,00	185,40
10	1110,00	9,00	5219,20	339,00	25545,60	13,20	30032,40	269,40
11	2739,00	6,46	3440,86	298,63	15732,96	12,00	28261,20	195,13
12	1051,80	5,85	9828,84	308,14	12544,98	12,60	25450,56	114,71
13	1708,20	6,99	3763,39	309,16	18498,54	13,80	30699,54	186,15
14	1279,80	3,95	5610,71	387,22	2672,56	13,80	16746,54	153,50
15	795,00	6,71	3456,33	358,87	17048,58	13,27	29421,18	194,65
16	1601,84	5,23	7806,66	407,76	9352,92	13,01	22636,26	128,92
17	776,25	4,10	4702,90	297,26	3434,86	13,48	17418,66	167,68
18	1464,28	8,49	3578,62	311,47	26294,64	12,23	37572,96	191,01
19	1055,25	5,78	10801,50	348,10	12202,80	13,37	25148,88	109,83
20	1594,39	6,41	3657,81	408,59	15480,72	12,76	28038,84	188,84
21	874,13	7,76	2874,76	410,17	22503,30	12,29	34230,30	219,51
22	1202,30	5,67	4882,87	398,02	11612,82	14,10	24628,74	164,64
23	1538,74	3,65	5193,42	407,12	1103,36	12,99	15363,12	159,67
24	742,61	7,25	3773,62	399,47	19836,78	13,25	31879,38	185,90
25	1505,53	4,05	5866,59	357,25	3179,09	13,80	17193,18	149,98
26	1975,02	6,74	3841,17	378,89	17183,40	12,94	29540,04	184,30
27	1167,07	5,60	9114,72	287,98	11253,42	12,10	24311,82	119,03
28	1113,99	6,54	3473,95	308,70	16143,72	13,59	28623,36	194,10
29	1460,45	7,86	2912,96	410,34	23059,92	12,27	34721,04	217,26
30	1025,03	7,03	2629,88	309,21	18727,02	13,38	30900,96	238,94

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6: Muestra de *Down Times* tomada en el proceso de formado en las secciones CC, B y A máquinas marca CONTI y LONATI

VARIABLES DE ENTRADA								
n°	Errores de máquina (C1)		Paros que dañan la media (C3)		Paros por rotura de hilos (C2)		Paros por desabastecimiento de MP (C4)	
	UP TIME (seg)	DOWN TIME (seg)	UP TIME (seg)	DOWN TIME (seg)	UP TIME (seg)	DOWN TIME (seg)	UP TIME (seg)	DOWN TIME (seg)
1	1110,00	6,90	4804,20	399,08	1110,00	14,40	15265,80	27,49
2	1830,00	5,20	6367,80	375,00	3908,40	16,80	16081,20	32,47
3	1500,00	7,00	7501,80	405,80	4393,80	13,20	12919,80	65,39
4	1248,00	5,90	16444,20	370,20	1347,00	13,80	16271,40	34,13
5	609,00	6,30	21045,00	377,20	4725,00	15,00	18664,80	43,65
6	1797,00	5,60	16582,80	369,60	1830,00	12,00	19449,00	32,55
7	742,80	6,10	40209,00	408,60	1500,00	9,00	17941,20	54,97
8	1289,40	6,80	23674,20	369,00	3048,00	10,20	12079,20	38,97
9	787,80	6,40	21620,40	372,00	609,00	10,80	15252,60	33,18
10	1736,40	6,10	14775,00	412,80	6336,00	18,00	18940,20	70,41
11	1312,46	6,87	25514,40	364,11	2475,18	7,20	17061,00	33,59
12	1128,18	6,63	19069,68	402,31	1849,54	15,00	14113,80	29,55
13	1472,33	7,10	15103,98	352,79	3185,96	19,20	16087,80	39,90
14	557,50	5,91	22510,08	400,58	746,90	21,00	17343,60	41,50
15	1388,51	6,98	2822,96	364,04	2791,10	16,80	13864,80	34,18
16	943,66	6,39	20706,30	414,40	1380,74	14,55	14732,40	37,75
17	601,57	5,97	11133,12	380,08	801,34	13,03	19462,20	34,35
18	1922,98	7,78	3771,25	363,50	6483,36	15,88	18921,00	41,77
19	1108,40	6,60	32208,18	411,60	1792,53	8,30	19259,40	28,83
20	1297,88	6,85	14678,34	363,19	2418,82	15,18	16747,20	39,52
21	1703,83	7,44	18755,94	367,68	4590,04	11,50	15828,48	31,92
22	1074,29	6,55	27491,82	409,64	1698,31	8,66	17544,24	29,09
23	466,80	5,81	13944,36	408,91	646,03	19,61	12983,46	62,00
24	1549,68	7,21	870,94	392,75	3599,56	12,86	17126,34	34,05
25	586,78	5,95	24174,72	417,49	782,65	14,43	14908,62	37,43
26	1396,31	6,99	3453,08	362,52	2825,66	17,80	13203,12	50,12
27	1053,52	6,53	20874,06	412,95	1643,35	12,58	19790,88	33,55
28	1336,21	6,91	13497,30	363,96	2569,80	7,54	15729,90	28,37
29	1736,00	7,49	19580,70	387,35	4828,86	16,52	16674,54	44,18
30	1485,53	7,12	28184,28	370,53	3253,06	8,54	18698,28	29,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7: Muestra de los *Down Times* tomada en el proceso de formado en la sección CL máquinas marca LONATI

VARIABLES DE ENTRADA								
n°	Errores de máquina (C1)		Paros que dañan la media (C3)		Paros por rotura de hilos (C2)		Paros por desabastecimiento de MP (C4)	
	UP TIME (seg)	DOWN TIME (seg)	UP TIME (seg)	DOWN TIME (seg)	UP TIME (seg)	DOWN TIME (seg)	UP TIME (seg)	DOWN TIME (seg)
1	2357,40	7,80	2403,00	256,10	12000,60	12,00	21013,80	65,40
2	1388,40	4,80	5178,00	216,80	14103,00	12,60	19825,80	29,37
3	1543,80	7,20	9007,80	226,40	12620,40	13,80	30007,20	57,93
4	601,80	6,00	14050,20	206,10	15692,40	13,80	27213,60	29,18
5	1923,00	5,40	21027,00	236,87	21432,60	13,27	21420,60	53,40
6	1110,00	5,20	10618,80	226,63	7125,60	13,01	29025,60	27,49
7	2739,00	7,00	36003,00	217,10	6141,00	13,48	34412,40	32,47
8	1051,80	5,90	21244,20	245,91	20420,40	12,23	19501,20	65,39
9	1708,20	6,30	15620,40	266,98	32439,00	13,37	13527,00	34,13
10	1279,80	5,60	10575,00	216,39	28545,60	12,76	28232,40	43,65
11	1995,00	6,69	13549,44	206,58	16140,42	13,02	25047,60	36,97
12	1995,00	5,26	10294,14	276,41	13084,38	12,77	22601,70	32,68
13	1674,16	6,56	16926,24	236,73	19274,52	13,24	27169,50	43,25
14	1421,72	5,97	3398,39	245,88	6457,14	12,00	15027,30	27,99
15	1893,17	6,69	15085,92	206,65	17570,58	13,13	26056,98	39,57
16	639,94	5,52	7603,74	286,24	10527,60	12,52	20152,68	30,23
17	1778,35	6,23	3797,36	295,92	6848,04	12,06	15612,18	28,14
18	1168,94	6,63	30110,04	217,15	31253,64	13,85	33150,84	91,40
19	700,30	5,17	9980,40	226,39	12787,74	12,75	22339,20	32,34
20	2510,53	6,60	13268,58	216,57	15878,16	13,00	24854,10	36,53
21	1394,62	7,06	22928,04	206,95	24772,32	13,55	30242,04	59,96
22	1654,19	6,17	9454,38	296,36	12289,62	12,70	21886,50	31,81
23	2210,30	6,08	2632,54	285,80	5703,42	11,88	13823,40	27,75
24	1347,89	6,55	18773,16	266,80	20975,52	13,35	28196,16	47,58
25	515,67	5,91	3661,45	225,91	6715,02	12,04	15415,92	28,08
26	1999,14	6,53	15250,32	276,66	17723,22	13,14	26160,42	39,88
27	680,05	5,34	9142,98	256,34	11994,18	12,67	21610,74	31,52
28	1789,02	6,68	14016,18	206,61	16575,60	13,06	25362,78	37,72
29	1319,44	7,02	23882,70	226,98	25639,44	13,60	30669,06	63,37
30	1706,69	7,35	17231,04	246,75	19555,92	13,26	27344,70	43,91

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8: Resumen del *Automated-Fitting*

ANÁLISIS DE <i>DOWN TIMES</i>							
OPERACIÒN	SECCIÒN	TIPO DE <i>DOWN TIME</i>	TIME	MODEL	RELATIVE SCORE	EVALUATION	ERROR (%)
FORMADO	D y E (Marca LONATI)	ERRORES DE MÀQUINA	UP TIME	weibull(513.97, 923.12, 1.76)	97.5	GOOD	0.17
			DOWN TIME	johnsonbounded(0.33, 10.27, -0.62, 1.61)	100	GOOD	0.02
		PAROS QUE DAÑAN LA MEDIA	UP TIME	beta(4.37, 43288.86, 1.48, 2.31)	91.96	GOOD	0.35
			DOWN TIME	pearsont5(153.94, 2582.13, 14.82)	79.84	GOOD	0.21
		PARO POR ROTURA DE HILOS	UP TIME	beta(14.50, 31689.08, 1.55, 1.91)	100	GOOD	0.24
			DOWN TIME	johnsonbounded(11.38, 14.38, -0.44, 1.08)	94.35	GOOD	0.02
	PARO POR DESABASTECIMIENTO DE M.P	UP TIME	johnsonbounded(1270.23, 40226.61, -0.92, 1.21)	98.28	GOOD	0.18	
		DOWN TIME	weibull(13.04, 170.86, 4.10)	97.5	GOOD	0.03	
	C y A (Marca CONTI) B (Marca SANGIACOMO)	ERRORES DE MÀQUINA	UP TIME	beta(288.14, 1963.70, 1.78, 1.40)	92.5	GOOD	0.07
			DOWN TIME	johnsonbounded(4.21, 8.25, -0.58, 1.50)	96.67	GOOD	0.14
		PAROS QUE DAÑAN LA MEDIA	UP TIME	johnsonbounded(2354.62, 18940.93, 1.82, 0.88)	97.83	GOOD	0.62
			DOWN TIME	johnsonbounded(352.41, 418.23, -0.04, 0.53)	98.33	GOOD	0.14
		PARO POR ROTURA DE HILOS	UP TIME	beta(553.39, 7878.21, 0.93, 2.34)	99.04	GOOD	0.1
			DOWN TIME	johnsonbounded(3.40, 22.92, -0.14, 1.15)	96.67	GOOD	0.21
	PARO POR DESABASTECIMIENTO DE M.P	UP TIME	beta(11798.50, 19917.07, 1.40, 1.06)	98.33	GOOD	0.06	
		DOWN TIME	lognormal2(25.46, 10.18, 0.78)	87.9	GOOD	0.34	
	C (Marca LONATI)	ERRORES DE MÀQUINA	UP TIME	beta(46.44, 2990.23, 2.93, 2.84)	97.41	GOOD	0.21
			DOWN TIME	beta(3.65, 8.25, 5.05, 3.89)	98.39	GOOD	0.09
		PAROS QUE DAÑAN LA MEDIA	UP TIME	weibull(0.00, 15253.32, 1.77)	96.74	GOOD	0.13
			DOWN TIME	johnsonbounded(203.97, 300.95, 0.41, 0.55)	97.5	GOOD	0.09
		PARO POR ROTURA DE HILOS	UP TIME	weibull(1728.23, 16084.81, 2.00)	97.41	GOOD	0.58
			DOWN TIME	beta(10.36, 14.09, 5.69, 2.55)	97.58	GOOD	0.03
		PARO POR DESABASTECIMIENTO DE M.P	UP TIME	johnsonbounded(1971.59, 37938.52, -0.69, 1.38)	98.28	GOOD	0.15
			DOWN TIME	beta(27.45, 146.10, 0.65, 4.82)	100	GOOD	0.12

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9: Resumen del *Goodness of Fit (Anderson-Darling)*

ANÁLISIS DE HIPÓTESIS							
OPERACIÓN	SECCIÓN	TIPO DE <i>DOWN TIME</i>	<i>TIME</i>	MODELO	TEST STATISTIC	CRITICAL VALUE	REJECT
FORMADO	D y E (Marca LONATI)	ERRORES DE MÁQUINA	<i>UP TIME</i>	weibull(513.97, 923.12, 1.76)	0.25	2.492	NO
			<i>DOWN TIME</i>	johnsonbounded(0.33, 10.27, -0.62, 1.61)	0.21	2.492	NO
		PAROS QUE DAÑAN LA MEDIA	<i>UP TIME</i>	beta(4.37, 43288.86, 1.48, 2.31)	0.25	2.492	NO
			<i>DOWN TIME</i>	pearsont5(153.94, 2582.13, 14.82)	0.81	2.492	NO
		PARO POR ROTURA DE HILOS	<i>UP TIME</i>	beta(14.50, 31689.08, 1.55, 1.91)	0.31	2.492	NO
			<i>DOWN TIME</i>	johnsonbounded(11.38, 14.38, -0.44, 1.08)	0.36	2.492	NO
		PARO POR DESABASTECIMIENTO DE M.P	<i>UP TIME</i>	johnsonbounded(1270.23, 40226.61, -0.92, 1.21)	0.26	2.492	NO
			<i>DOWN TIME</i>	weibull(13.04, 170.86, 4.10)	0.32	2.492	NO
	C y A (Marca CONTI) B (Marca SANGIACOMO)	ERRORES DE MÁQUINA	<i>UP TIME</i>	beta(288.14, 1963.70, 1.78, 1.40)	0.16	2.492	NO
			<i>DOWN TIME</i>	johnsonbounded(4.21, 8.25, -0.58, 1.50)	0.21	2.492	NO
		PAROS QUE DAÑAN LA MEDIA	<i>UP TIME</i>	johnsonbounded(2354.62, 18940.93, 1.82, 0.88)	0.54	2.492	NO
			<i>DOWN TIME</i>	johnsonbounded(352.41, 418.23, -0.04, 0.53)	0.68	2.492	NO
		PARO POR ROTURA DE HILOS	<i>UP TIME</i>	beta(553.39, 7878.21, 0.93, 2.34)	0.18	2.492	NO
			<i>DOWN TIME</i>	johnsonbounded(3.40, 22.92, -0.14, 1.15)	0.19	2.492	NO
		PARO POR DESABASTECIMIENTO DE M.P	<i>UP TIME</i>	beta(11798.50, 19917.07, 1.40, 1.06)	0.15	2.492	NO
			<i>DOWN TIME</i>	lognormal2(25.46, 10.18, 0.78)	0.28	2.492	NO
	C (Marca LONATI)	ERRORES DE MÁQUINA	<i>UP TIME</i>	beta(46.44, 2990.23, 2.93, 2.84)	0.29	2.492	NO
			<i>DOWN TIME</i>	beta(3.65, 8.25, 5.05, 3.89)	0.23	2.492	NO
		PAROS QUE DAÑAN LA MEDIA	<i>UP TIME</i>	weibull(0.00, 15253.32, 1.77)	0.26	2.492	NO
			<i>DOWN TIME</i>	johnsonbounded(203.97, 300.95, 0.41, 0.55)	0.34	2.492	NO
		PARO POR ROTURA DE HILOS	<i>UP TIME</i>	weibull(1728.23, 16084.81, 2.00)	0.29	2.492	NO
			<i>DOWN TIME</i>	beta(10.36, 14.09, 5.69, 2.55)	0.28	2.492	NO
		PARO POR DESABASTECIMIENTO DE M.P	<i>UP TIME</i>	johnsonbounded(1971.59, 37938.52, -0.69, 1.38)	0.23	2.492	NO
			<i>DOWN TIME</i>	beta(27.45, 146.10, 0.65, 4.82)	0.15	2.492	NO

Fuente: Elaboración propia.

H₀: la variable se ajusta a la distribución X y un *critical value* calculado para un $\alpha = 0,05$.

Anexo 18: Análisis estadístico de la defectuosidad en la operación de formado

Tabla 1: Muestra de la defectuosidad por sección y por turno

PORCENTAJES DE DEFECTUOSIDAD EN EL PROCESO DE FORMADO						
n	DÍA					
	A	B	CC	CL	D	E
1	0.039	0.055	0.064	0.049	0.053	0.055
2	0.025	0.055	0.071	0.04	0.051	0.033
3	0.041	0.041	0.11	0.045	0.054	0.028
4	0.029	0.065	0.053	0.038	0.052	0.024
5	0.049	0.044	0.057	0.027	0.042	0.026
6	0.044	0.034	0.083	0.043	0.028	0.042
7	0.045	0.04	0.079	0.019	0.043	0.02
8	0.037	0.082	0.095	0.045	0.037	0.018
9	0.03	0.057	0.105	0.048	0.027	0.024
10	0.029	0.069	0.069	0.026	0.029	0.029
11	0.033	0.065	0.058	0.033	0.036	0.038
12	0.029	0.045	0.049	0.045	0.03	0.032
13	0.038	0.036	0.105	0.025	0.033	0.026
14	0.03	0.043	0.064	0.041	0.024	0.015
15	0.034	0.043	0.086	0.027	0.031	0.013
16	0.039	0.048	0.105	0.022	0.043	0.038
17	0.028	0.044	0.056	0.011	0.037	0.035
18	0.035	0.06	0.023	0.03	0.018	0.034
19	0.033	0.083	0.03	0.016	0.026	0.039
20	0.03	0.07	0.037	0.029	0.04	0.035
21	0.034	0.073	0.111	0.018	0.024	0.056
22	0.027	0.049	0.034	0.019	0.016	0.038
23	0.023	0.038	0.046	0.013	0.013	0.02
24	0.026	0.056	0.03	0.022	0.025	0.018
25	0.025	0.041	0.042	0.026	0.036	0.022
26	0.028	0.062	0.04	0.024	0.016	0.032
27	0.033	0.068	0.048	0.054	0.031	0.025
28	0.03	0.036	0.057	0.023	0.02	0.022
29	0.036	0.061	0.05	0.017	0.034	0.015
30	0.029	0.063	0.049	0.023	0.015	0.033
31	0.028	0.051	0.035	0.02	0.019	0.029
32	0.027	0.043	0.039	0.017	0.015	0.029
33	0.033	0.054	0.042	0.021	0.02	0.03
34	0.044	0.056	0.04	0.024	0.022	0.016
35	0.051	0.061	0.025	0.017	0.036	0.021
36	0.034	0.058	0.021	0.024	0.041	0.023
37	0.03	0.08	0.039	0.035	0.016	0.018
38	0.036	0.067	0.032	0.016	0.027	0.012
39	0.028	0.061	0.028	0.037	0.027	0.024
40	0.024	0.087	0.051	0.02	0.027	0.04
41	0.024	0.049	0.045	0.02	0.016	0.032
42	0.022	0.04	0.019	0.019	0.022	0.026
43	0.02	0.032	0.039	0.01	0.018	0.018
44	0.026	0.028	0.04	0.016	0.01	0.026
45	0.027	0.042	0.037	0.044	0.03	0.034
46	0.022	0.043	0.037	0.023	0.022	0.03
47	0.028	0.037	0.036	0.02	0.022	0.015
48	0.025	0.034	0.023	0.018	0.024	0.026
49	0.03	0.038	0.023	0.079	0.02	0.032
50	0.031	0.057	0.048	0.026	0.031	0.027

n	NOCHE					
	A	B	CC	CL	D	E
1	0.037	0.044	0.072	0.04	0.031	0.035
2	0.031	0.041	0.056	0.024	0.032	0.026
3	0.033	0.027	0.086	0.045	0.046	0.027
4	0.034	0.039	0.041	0.036	0.037	0.021
5	0.032	0.049	0.072	0.014	0.037	0.016
6	0.031	0.026	0.042	0.037	0.022	0.027
7	0.025	0.054	0.032	0.022	0.035	0.03
8	0.031	0.042	0.093	0.023	0.034	0.024
9	0.032	0.054	0.059	0.041	0.032	0.039
10	0.031	0.049	0.07	0.027	0.026	0.035
11	0.027	0.051	0.048	0.026	0.028	0.022
12	0.039	0.06	0.083	0.029	0.014	0.025
13	0.036	0.04	0.088	0.037	0.025	0.027
14	0.033	0.036	0.069	0.018	0.018	0.026
15	0.031	0.038	0.036	0.032	0.022	0.013
16	0.024	0.044	0.082	0.013	0.018	0.032
17	0.024	0.027	0.012	0.025	0.027	0.038
18	0.024	0.031	0.027	0.029	0.019	0.032
19	0.021	0.048	0.046	0.019	0.02	0.034
20	0.022	0.04	0.04	0.014	0.042	0.043
21	0.032	0.043	0.031	0.019	0.025	0.037
22	0.024	0.039	0.018	0.034	0.029	0.02
23	0.031	0.046	0.021	0.012	0.018	0.027
24	0.028	0.027	0.031	0.01	0.019	0.019
25	0.032	0.045	0.027	0.046	0.025	0.017
26	0.025	0.035	0.034	0.022	0.027	0.029
27	0.029	0.028	0.049	0.048	0.019	0.024
28	0.032	0.056	0.029	0.02	0.024	0.024
29	0.023	0.039	0.038	0.008	0.021	0.017
30	0.032	0.043	0.037	0.04	0.018	0.021
31	0.034	0.051	0.023	0.022	0.02	0.027
32	0.029	0.038	0.042	0.016	0.022	0.026
33	0.029	0.025	0.034	0.02	0.027	0.025
34	0.031	0.048	0.03	0.023	0.047	0.016
35	0.028	0.028	0.02	0.017	0.022	0.022
36	0.031	0.045	0.024	0.024	0.02	0.034
37	0.024	0.038	0.018	0.024	0.018	0.024
38	0.032	0.044	0.022	0.02	0.032	0.021
39	0.034	0.052	0.019	0.019	0.017	0.022
40	0.036	0.047	0.034	0.018	0.019	0.025
41	0.034	0.048	0.015	0.013	0.017	0.036
42	0.032	0.026	0.022	0.017	0.018	0.036
43	0.031	0.045	0.022	0.014	0.022	0.032
44	0.028	0.051	0.037	0.01	0.029	0.025
45	0.032	0.049	0.032	0.037	0.034	0.018
46	0.035	0.047	0.039	0.027	0.03	0.026
47	0.034	0.044	0.04	0.014	0.018	0.017
48	0.033	0.039	0.034	0.014	0.023	0.015
49	0.033	0.048	0.034	0.035	0.03	0.017
50	0.024	0.045	0.038	0.028	0.025	0.026

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2: Prueba de normalidad para la variable DEF filtrada para los factores: Grupo y Turno

	Turno	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
A	1	,169	50	,001	,937	50	,010
	2	,215	50	,000	,940	50	,013
B	1	,130	50	,034	,961	50	,093
	2	,112	50	,164	,950	50	,034
CC	1	,157	50	,003	,885	50	,000
	2	,200	50	,000	,882	50	,000
CL	1	,192	50	,000	,872	50	,000
	2	,117	50	,085	,948	50	,028
D	1	,097	50	,200	,952	50	,043
	2	,140	50	,016	,916	50	,002
E	1	,077	50	,200	,952	50	,040
	2	,141	50	,015	,970	50	,233

*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

H₀: La variable DEF se ajusta a la distribución normal

Estadístico: Sigma

Región Crítica: Sigma < 0.05; se rechaza H₀, la variable DEF no se ajusta a la distribución normal.

Tabla 3: Análisis de homocedasticidad para la variable DEF

Tabla 3.1: Análisis de homocedasticidad para la variable DEF filtrada por el factor Grupo

Variable dependiente: DEF

F	gl1	gl2	Sig.
35,246	5	594	,000

Contrasta la hipótesis nula de que la varianza error de la variable dependiente es igual a lo largo de todos los grupos.

Fuente: Elaboración propia

H₀: Existe igualdad de varianza entre los grupos

Estadístico: Sigma=0.00

Región Crítica: $0.00 < 0.05$; se rechaza H₀, no existe igualdad de varianza entre los grupos.

Tabla 3.2: Análisis de homocedasticidad para la variable DEF filtrada por el factor Turno

Variable dependiente: DEF

F	gl1	gl2	Sig.
19,417	1	598	,000

Contrasta la hipótesis nula de que la varianza error de la variable dependiente es igual a lo largo de todos los grupos.

Fuente: Elaboración propia

H₀: Existe igualdad de varianza entre los turnos

Estadístico: Sigma=0.00

Región Crítica: $0.00 < 0.05$; se rechaza H₀, no existe igualdad de varianza entre los turnos de trabajo.

Tabla 3.3: Análisis de homocedasticidad para la variable DEF filtrada por los dos factores: Grupo y Turno

Variable dependiente: DEF

F	gl1	gl2	Sig.
17,814	11	588	,000

Contrasta la hipótesis nula de que la varianza error de la variable dependiente es igual a lo largo de todos los grupos.

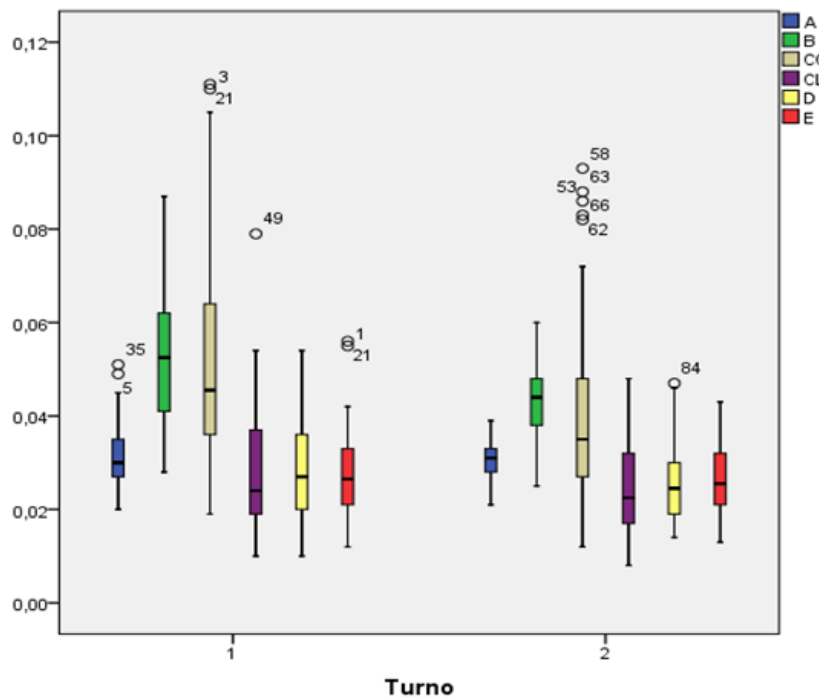
Fuente: Elaboración propia

H_0 : Existe igualdad de varianza

Estadístico: $\sigma^2 = 0.00$

Región Crítica: $0.00 < 0.05$; se rechaza H_0 , no existe igualdad de varianza entre la intersección de los turnos de trabajo y los grupos de máquinas.

Figura 1: Diagrama de cajas para el análisis de homocedasticidad de los factores



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4: Análisis de la incidencia del efecto de los factores sobre la variabilidad de DEF

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: DEF

Origen	Suma de cuadrados tipo II	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta al cuadrado parcial	Parámetro de no centralidad Parámetro	Potencia observada ^b
Modelo corregido	,057 ^a	11	,005	30,753	,000	,365	338,279	1,000
Intersección	,701	1	,701	4141,448	,000	,876	4141,448	1,000
Grupo	,050	5	,010	59,663	,000	,337	298,317	1,000
Turno	,004	1	,004	25,112	,000	,041	25,112	,999
Grupo * Turno	,003	5	,001	2,970	,012	,025	14,850	,859
Error	,100	588	,000					
Total	,858	600						
Total corregida	,157	599						

a. R cuadrado = ,365 (R cuadrado corregida = ,353)

b. Calculado con alfa = ,05

Fuente: Elaboración propia

H₀: El efecto no es significativo

Estadístico: Sigma

Región Crítica: Sigma < 0.05; se rechaza H₀, el efecto si es significativo, tanto para el efecto de los dos factores separados, el efecto de la interacción entre los dos factores y el de la constante del modelo o intersección.

Tabla 5: Análisis de la incidencia del efecto del factor Grupo sobre la variabilidad de DEF

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: DEF

Origen	Suma de cuadrados tipo II	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta al cuadrado parcial	Parámetro de no centralidad Parámetro	Potencia observada ^b
Modelo corregido	,050 ^a	5	,010	56,437	,000	,322	282,183	1,000
Intersección	,701	1	,701	3917,469	,000	,868	3917,469	1,000
Grupo	,050	5	,010	56,437	,000	,322	282,183	1,000
Error	,106	594	,000					
Total	,858	600						
Total corregida	,157	599						

a. R cuadrado = ,322 (R cuadrado corregida = ,316)

b. Calculado con alfa = ,05

Fuente: Elaboración propia

H₀: El efecto no es significativo

Estadístico: Sigma=0.00

Región Crítica: $0.00 < 0.05$; se rechaza H₀, el efecto si es significativo por lo que las medias de la defectuosidad entre los distintos grupos de máquinas si son significativamente diferentes.

Tabla 6: Análisis de la incidencia del efecto del factor Turno sobre la variabilidad de DEF

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: DEF

Origen	Suma de cuadrados tipo II	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta al cuadrado parcial	Parámetro de no centralidad Parámetro	Potencia observada ^b
Modelo corregido	,004 ^a	1	,004	16,664	,000	,027	16,664	,983
Intersección	,701	1	,701	2748,198	,000	,821	2748,198	1,000
Turno	,004	1	,004	16,664	,000	,027	16,664	,983
Error	,153	598	,000					
Total	,858	600						
Total corregida	,157	599						

a. R cuadrado = ,027 (R cuadrado corregida = ,025)

b. Calculado con alfa = ,05

Fuente: Elaboración propia

H₀: El efecto no es significativo

Estadístico: Sigma=0.00

Región Crítica: $0.00 < 0.05$; se rechaza H₀, el efecto si es significativo por lo que las medias de la defectuosidad entre los distintos turnos de trabajo si son significativamente diferentes.

Tabla 7: Análisis Post-Hoc para el factor Grupo

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: DEF

	(I) Grupo	(J) Grupo	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
T3 de Dunnett	A	B	-,0165500 ^a	,0014316	,000	-,020812	-,012288
		CC	-,0156500 ^a	,0024420	,000	-,022949	-,008351
		CL	,0046200 ^a	,0013292	,010	,000666	,008574
		D	,0037900 ^a	,0011180	,013	,000470	,007110
		E	,0039800 ^a	,0010200	,002	,000955	,007005
	B	A	,0165500 ^a	,0014316	,000	,012288	,020812
		CC	,0009000	,0027104	1,000	-,007154	,008954
		CL	,0211700 ^a	,0017747	,000	,015913	,026427
		D	,0203400 ^a	,0016227	,000	,015529	,025151
		E	,0205300 ^a	,0015567	,000	,015910	,025150
	CC	A	,0156500 ^a	,0024420	,000	,008351	,022949
		B	-,0009000	,0027104	1,000	-,008954	,007154
		CL	,0202700 ^a	,0026578	,000	,012366	,028174
		D	,0194400 ^a	,0025587	,000	,011816	,027064
		E	,0196300 ^a	,0025174	,000	,012122	,027138
	CL	A	-,0046200 ^a	,0013292	,010	-,008574	-,000666
		B	-,0211700 ^a	,0017747	,000	-,026427	-,015913
		CC	-,0202700 ^a	,0026578	,000	-,028174	-,012366
		D	-,0008300	,0015331	1,000	-,005373	,003713
		E	-,0006400	,0014631	1,000	-,004979	,003699
	D	A	-,0037900 ^a	,0011180	,013	-,007110	-,000470
		B	-,0203400 ^a	,0016227	,000	-,025151	-,015529
		CC	-,0194400 ^a	,0025587	,000	-,027064	-,011816
		CL	,0008300	,0015331	1,000	-,003713	,005373
		E	,0001900	,0012743	1,000	-,003585	,003965
	E	A	-,0039800 ^a	,0010200	,002	-,007005	-,000955
		B	-,0205300 ^a	,0015567	,000	-,025150	-,015910
		CC	-,0196300 ^a	,0025174	,000	-,027138	-,012122
		CL	,0006400	,0014631	1,000	-,003699	,004979
		D	-,0001900	,0012743	1,000	-,003965	,003585
Games-Howell	A	B	-,0165500 ^a	,0014316	,000	-,020688	-,012412
		CC	-,0156500 ^a	,0024420	,000	-,022732	-,008568
		CL	,0046200 ^a	,0013292	,009	,000780	,008460
		D	,0037900 ^a	,0011180	,011	,000566	,007014
		E	,0039800 ^a	,0010200	,002	,001041	,006919
	B	A	,0165500 ^a	,0014316	,000	,012412	,020688
		CC	,0009000	,0027104	,999	-,006922	,008722
		CL	,0211700 ^a	,0017747	,000	,016062	,026278
		D	,0203400 ^a	,0016227	,000	,015666	,025014
		E	,0205300 ^a	,0015567	,000	,016042	,025018
	CC	A	,0156500 ^a	,0024420	,000	,008568	,022732
		B	-,0009000	,0027104	,999	-,008722	,006922
		CL	,0202700 ^a	,0026578	,000	,012595	,027945
		D	,0194400 ^a	,0025587	,000	,012039	,026841
		E	,0196300 ^a	,0025174	,000	,012342	,026918
	CL	A	-,0046200 ^a	,0013292	,009	-,008460	-,000780
		B	-,0211700 ^a	,0017747	,000	-,026278	-,016062
		CC	-,0202700 ^a	,0026578	,000	-,027945	-,012595
		D	-,0008300	,0015331	,994	-,005244	,003584
		E	-,0006400	,0014631	,998	-,004855	,003575
	D	A	-,0037900 ^a	,0011180	,011	-,007014	-,000566
		B	-,0203400 ^a	,0016227	,000	-,025014	-,015666
		CC	-,0194400 ^a	,0025587	,000	-,026841	-,012039
		CL	,0008300	,0015331	,994	-,003584	,005244
		E	,0001900	,0012743	1,000	-,003478	,003858
	E	A	-,0039800 ^a	,0010200	,002	-,006919	-,001041
		B	-,0205300 ^a	,0015567	,000	-,025018	-,016042
		CC	-,0196300 ^a	,0025174	,000	-,026918	-,012342
		CL	,0006400	,0014631	,998	-,003575	,004855
		D	-,0001900	,0012743	1,000	-,003858	,003478

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

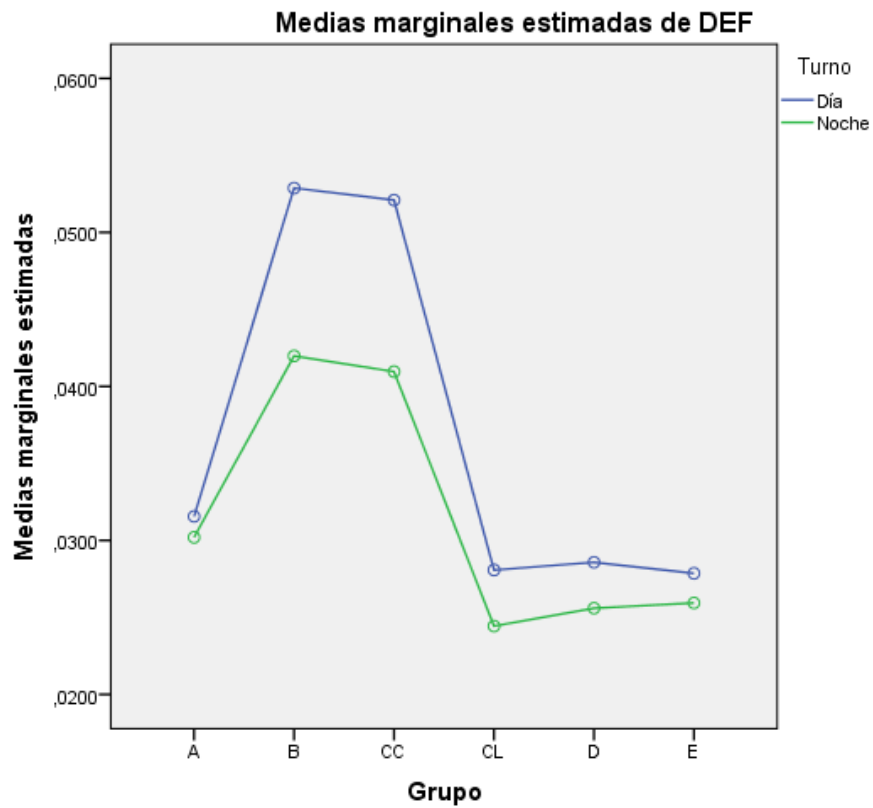
Fuente: Elaboración propia.

H₀: Existe igualdad de medias entre los grupos B y CC

Estadístico: Sigma=1.00

Región Crítica: $1.00 < 0.05$; se cumple la región crítica, no se rechaza H₀, por lo que la variable defectuosidad se comporta significativamente igual entre los grupos B y CC.

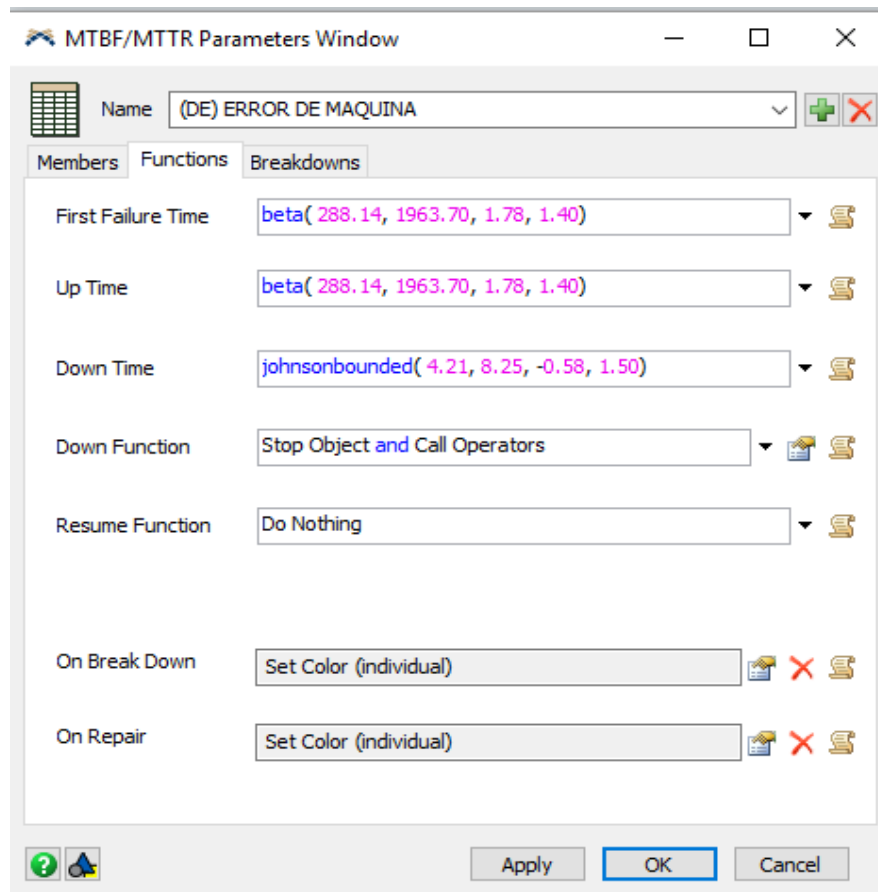
Figura 2: Medidas marginales estimadas de DEF



Fuente: Elaboración propia.

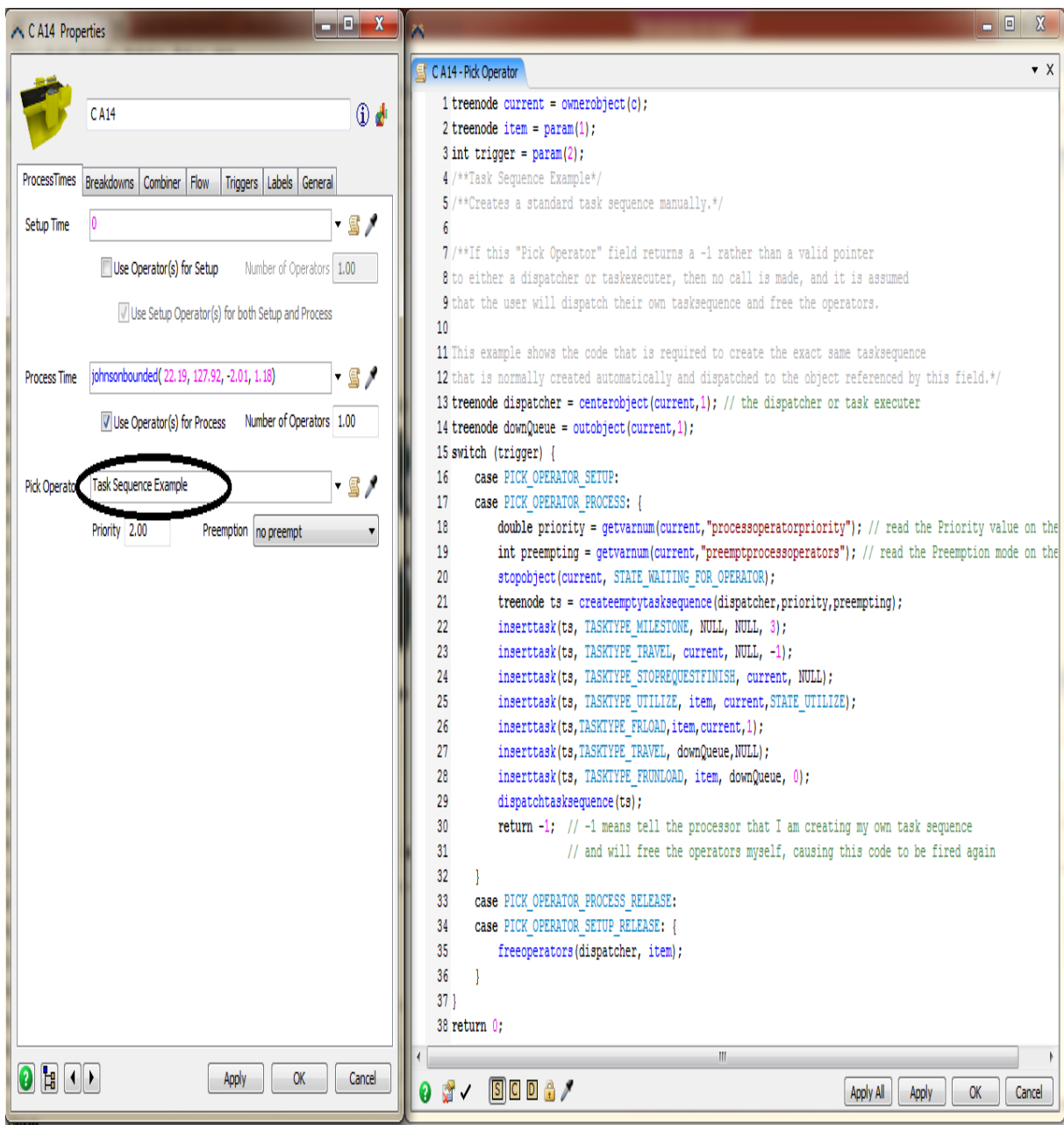
Anexo 19: Construcción del modelo

Figura 1: Ejemplo de la creación de listas MTBF MTTR para los *Down Times*



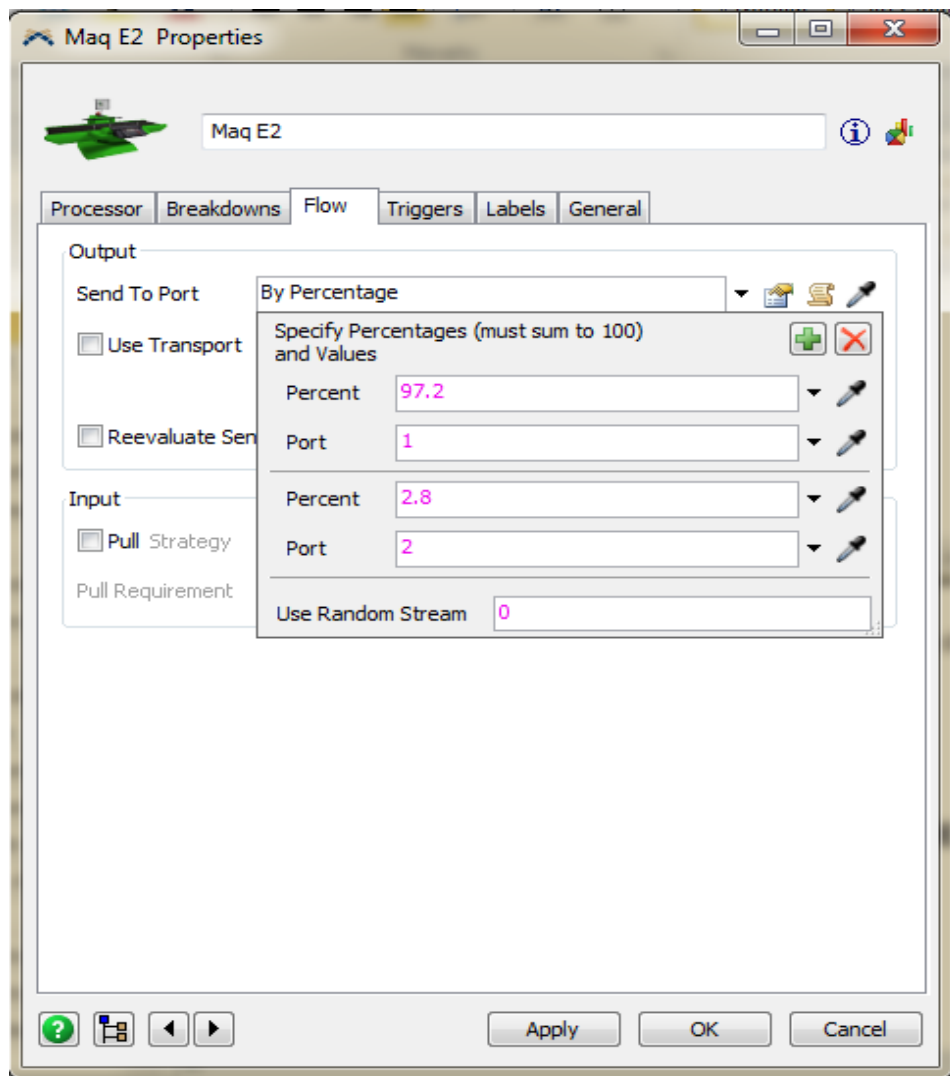
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2: Ejemplo de la programación de *Tasks Sequences* para los viradores



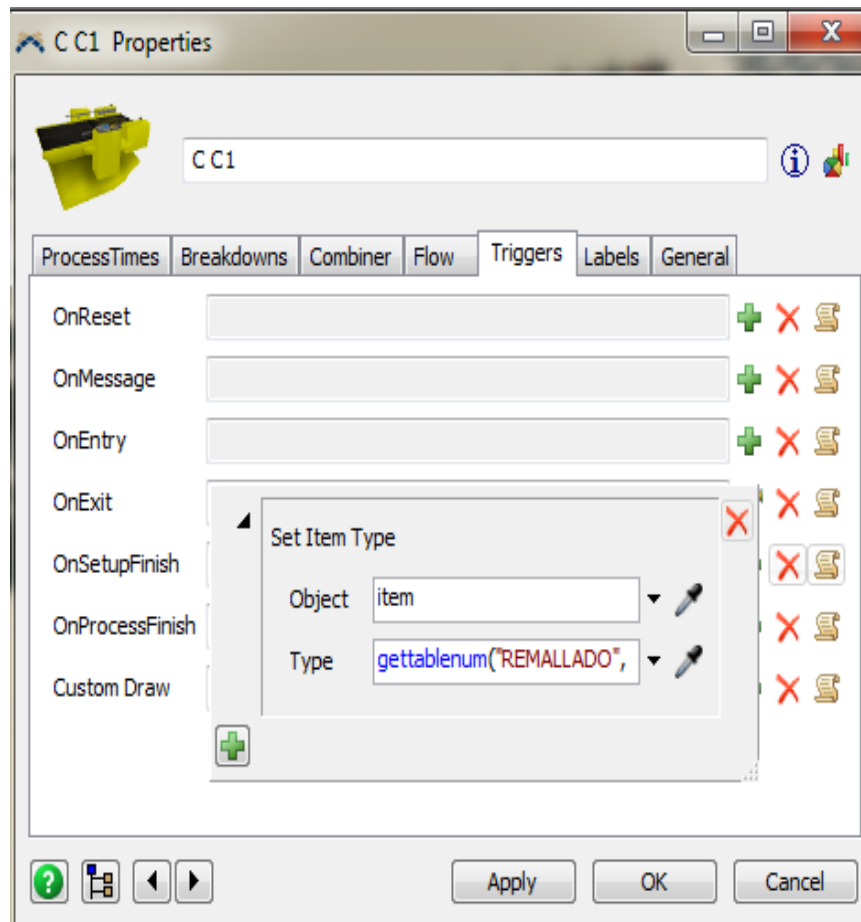
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3: Ejemplo de la programación del ruteo de la defectuosidad de la media



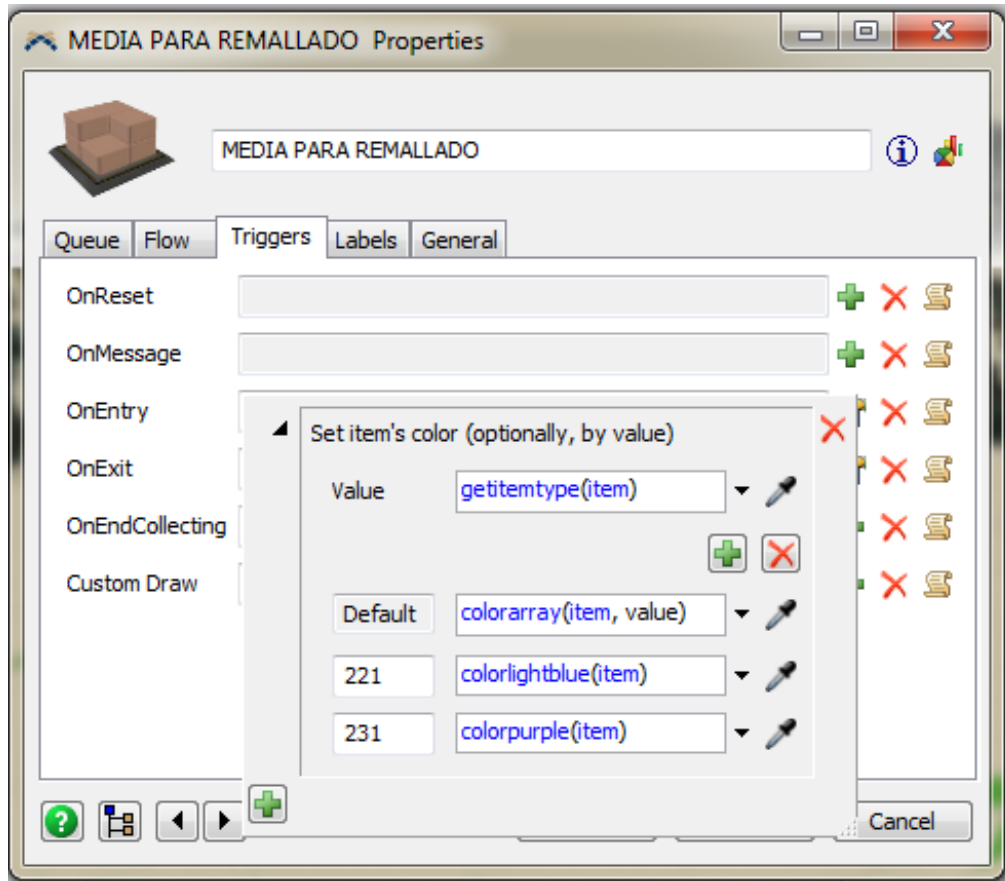
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4: Ejemplo de la creación de *Triggers* para el cambio de *items* en los *combiners* de la Sección CL y D



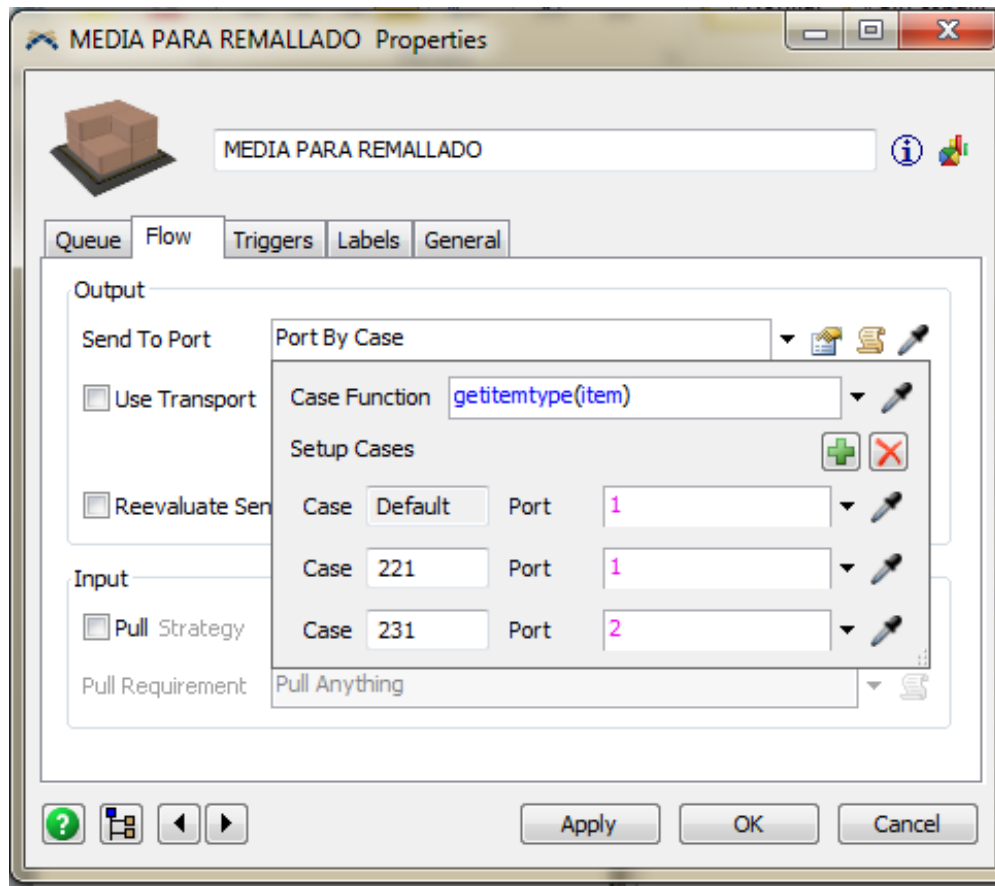
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5: Creación de *Triggers* para el cambio de color y tamaño del *item* en el área para remallado



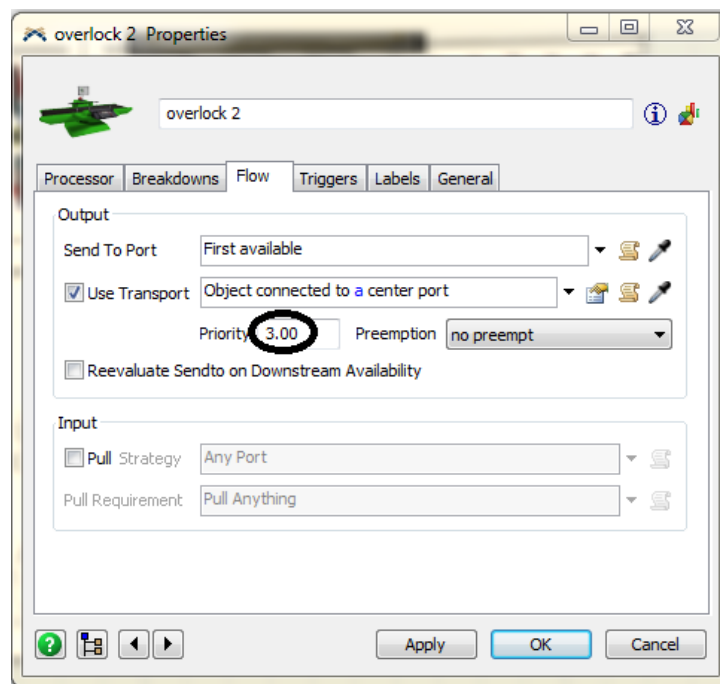
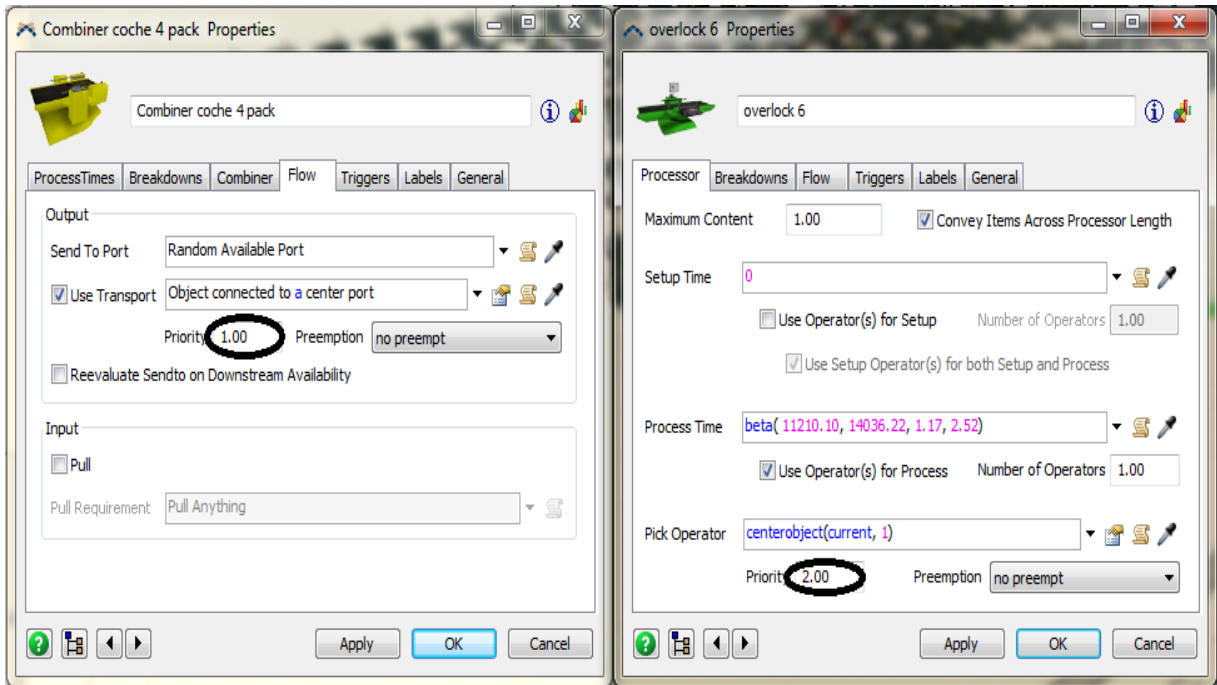
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6: Ruteo de *items* en el área para remallado



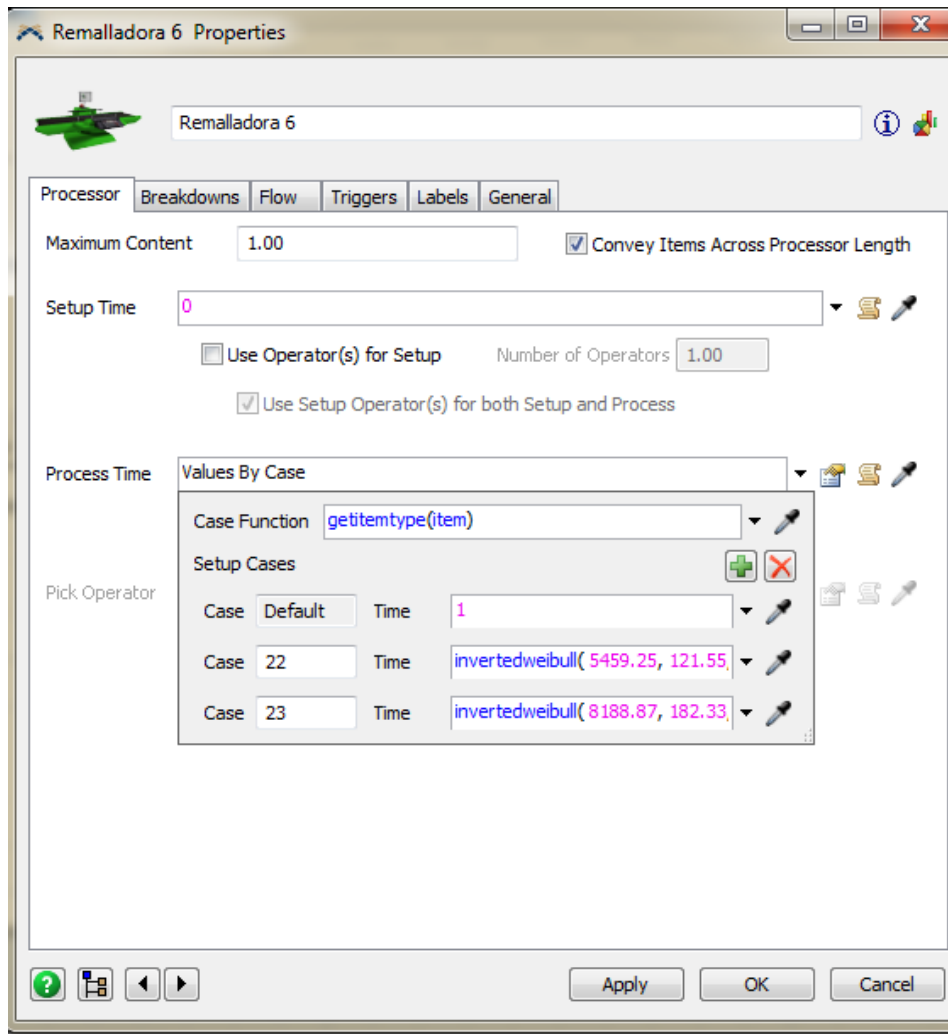
Fuente: Elaboración propia.

Figura 7: Ejemplo de la programación de tareas de las cosedoras



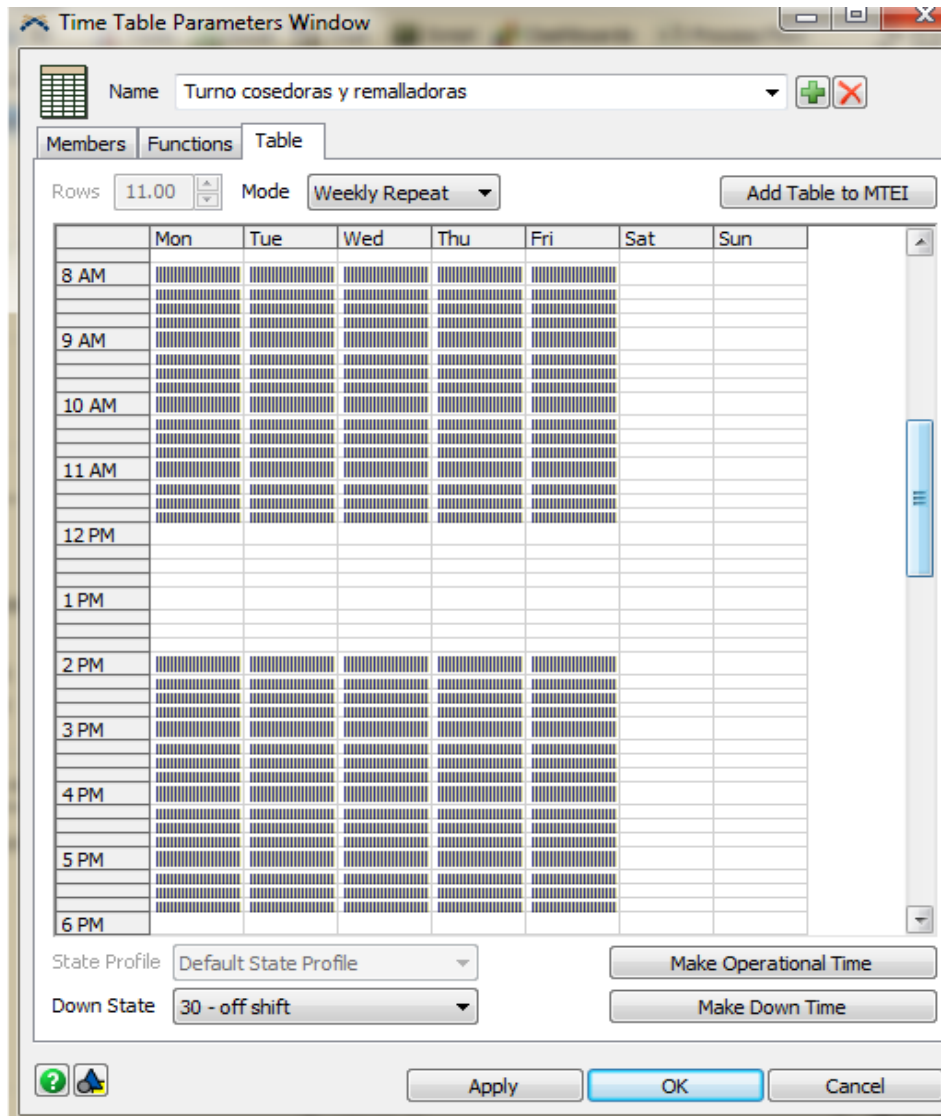
Fuente: Elaboración propia.

Figura 8: Ejemplo de los tiempos de procesamiento en el remallado



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9: Ejemplo de *Time Tables* para la programación de los turnos de trabajo de las cosedoras y remalladoras



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 20: Validación del modelo

Tabla 1: Histórico de la producción obtenida en la operación de formado

SEM	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	TOTAL SEMANA	Nº DE MÁQUINAS
1	3989	4411	4809	4657	3992	541	22399	182
2	4323	4414	4304	4344	4453	1006	22844	187
3	4111	4550	4472	4737	4223	743	22836	186
4	4224	4697	3678	4540	4314	730	22183	181
5	3926	4871	4547	4421	4979	808	23552	183
6	3752	4371	4620	4330	4696	619	22388	182
7	981	3525	4041	3609	3635	662	16453	134
8	3511	3815	3619	3667	3689	452	18753	153
9	3182	4142	3779	3606	4100	645	19454	159
12	3864	4117	3992	3938	3838	585	20334	166
13	3592	3884	4196	4203	3969	449	20293	165
14	3550	4227	3795	4027	3936	606	20141	164
16	3564	3999	4135	4052	4232	614	20596	168
17	2634	3586	4147	4273	4079	643	19362	158
18	2927	3322	3667	3453	3038	0	16407	134
19	3127	3043	3455	3516	3677	625	17443	142
20	2945	3029	3124	3553	3139	577	16367	133
21	2592	3299	3639	3515	3342	520	16907	138
22	0	2892	3736	3824	3740	659	14851	121
24	3549	3847	3725	3505	3538	905	19069	155
25	3559	3658	4126	4032	3541	622	19538	159
26	1863	2544	1698	1477	1773	875	10230	83
27	3163	3067	3311	3132	2739	0	15412	126
28	3109	3375	3028	2908	3173	493	16086	131

Fuente: (Fábrica Gardenia, 2015).

Tabla 2: Cálculo de la producción promedio para los porcentajes de máquinas en funcionamiento

Meses de trabajo	Cantidad de máquinas en funcionamiento	Porcentaje de máquinas en funcionamiento	Producción promedio (docena/semana)
Enero- febrero	184	87%	22700
Marzo-diciembre	144	68%	17650

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3: Producciones obtenidas en el modelo con el 87% y 68% de maquinaria en funcionamiento

Nº de corridas	PRODUCCION PARA EL 87% DE MAQUINAS	PRODUCCION PARA EL 68% DE MAQUINAS
1	22698	17586
2	22590	17545
3	22788	17686
4	22731	17649
5	22808	17635
6	22834	17718
7	22712	17561
8	22610	17496
9	22712	17791
10	22488	17687
11	22456	17728
12	22782	17595
13	22519	17638
14	22951	17719
15	22713	17718
16	22651	17479
17	22790	17776
18	22632	17494
19	22501	17551
20	22758	17562
21	22697	17848
22	22884	17583
23	22666	17832
24	22564	17644
25	22723	17532
26	22539	17483
27	22736	17671
28	22770	17633
29	22743	17742
30	22745	17570
Media (\bar{X})	22693	17638
Desviación (S)	119.28	103.30

Fuente: Elaboración propia.

Figura 1: Prueba de normalidad para la variable Producción con el 87% de maquinaria en funcionamiento

Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión
1	La distribución de Producción con el 87% de maquinaria en funcionamiento es normal con la media 22.693,033 y la desviación típica 119,28.	Prueba Kolmogorov-Smirnov de una muestra	,539	Retener la hipótesis nula.

Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05.

Fuente: Elaboración propia

H_0 : La variable Producción se ajusta a la distribución normal

Estadístico: Sigma

Región Crítica: $\text{Sigma} < 0.05$; se acepta H_0 , la variable Producción se ajusta a la distribución normal.

Figura 2: Prueba de comparación de medias T para una muestra de la producción con el 87% de maquinaria en funcionamiento.

Prueba para una muestra

	Valor de prueba = 22700					
	T	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
Producción con el 87% de maquinaria en funcionamiento	-,320	29	,751	-6,967	-51,51	37,57

Fuente: Elaboración propia

$H_0: \mu=22700$

$H_1: \mu \neq 22700$

Estadístico: Sigma

Región Crítica: $\sigma < 0.05$; se acepta H_0 , la variable Producción tiene igualdad de media con el comportamiento real de la empresa.

$$d = \frac{|\mu_1 - \mu_0|}{s} = \frac{|22800 - 22700|}{119.283} = 0.83$$

Curvas características: $n=30$, $d= 0.83$; para un $\beta \approx 0$

Figura 3: Prueba de normalidad para la variable Producción con el 68% de maquinaria en funcionamiento

Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión
1	La distribución de Producción con el 68% de maquinaria en funcionamiento es normal con la media 17.638,400 y la desviación típica 103,39.	Prueba Kolmogorov-Smirnov de una muestra	,945	Retener la hipótesis nula.

Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05.

Fuente: Elaboración propia

H_0 : La variable Producción se ajusta a la distribución normal

Estadístico: Sigma

Región Crítica: $\sigma < 0.05$; se acepta H_0 , la variable Producción se ajusta a la distribución normal.

Figura 4: Prueba de comparación de medias T para una muestra de la producción con el 68% de maquinaria en funcionamiento

Prueba para una muestra						
	Valor de prueba = 17650					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
Producción con el 68% de maquinaria en funcionamiento	-,615	29	,544	-11,600	-50,21	27,01

Fuente: Elaboración propia

$H_0: \mu=17650$

$H_1: \mu \neq 17650$

Estadístico: Sigma

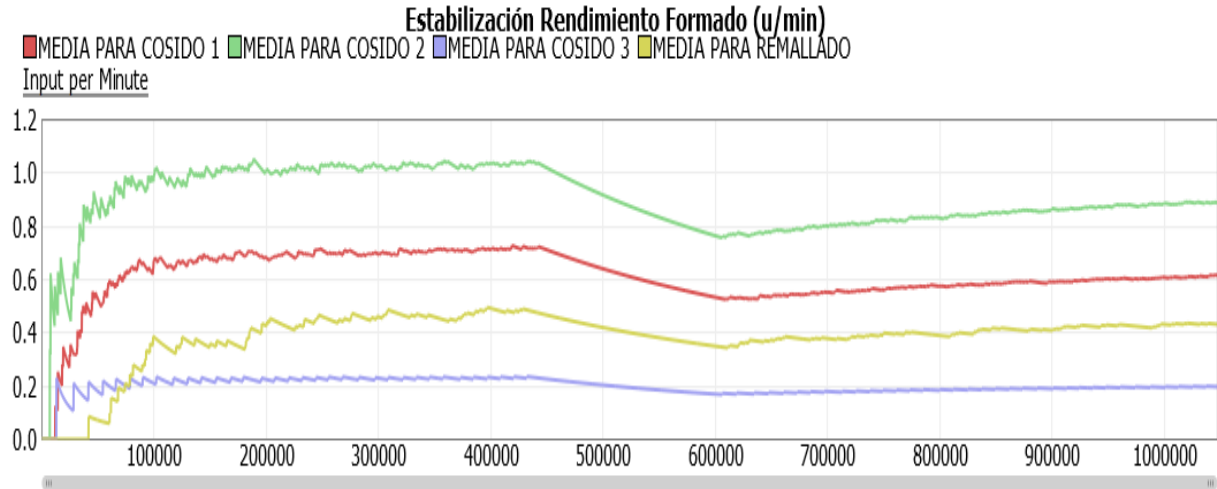
Región Crítica: Sigma < 0.05; se acepta H_0 , la variable Producción tiene igualdad de media con el comportamiento real de la empresa.

$$d = \frac{|\mu_1 - \mu_0|}{s} = \frac{|17750 - 17650|}{103.393} = 0.96$$

Curvas características: n=30, d= 0.96; para un $\beta \approx 0$

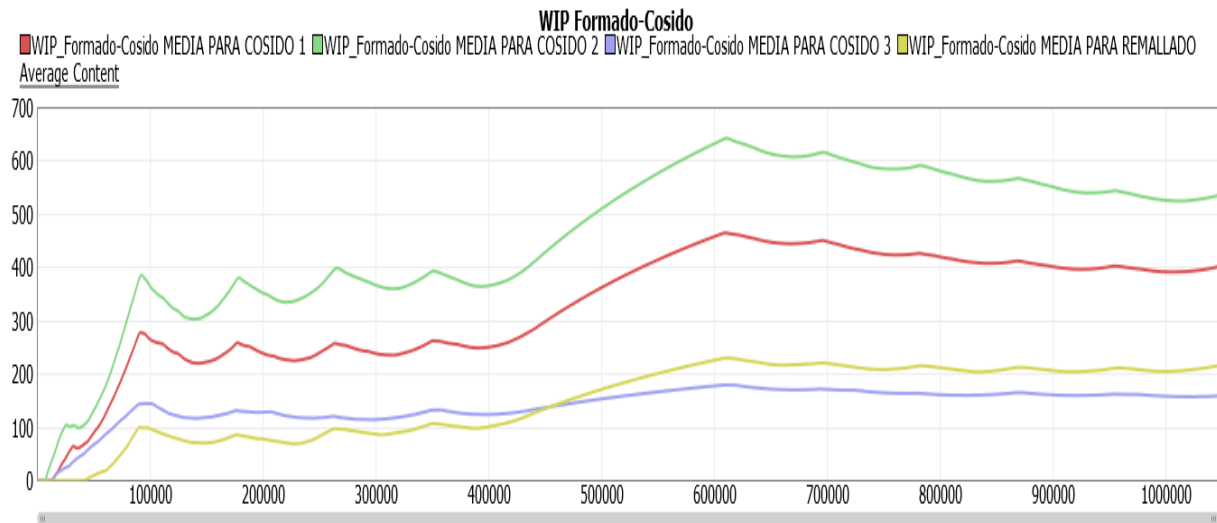
Anexo 21: Análisis de sensibilidad– gráficos *dashboard*

Figura 1: Estabilización de la variable Rendimiento Formado



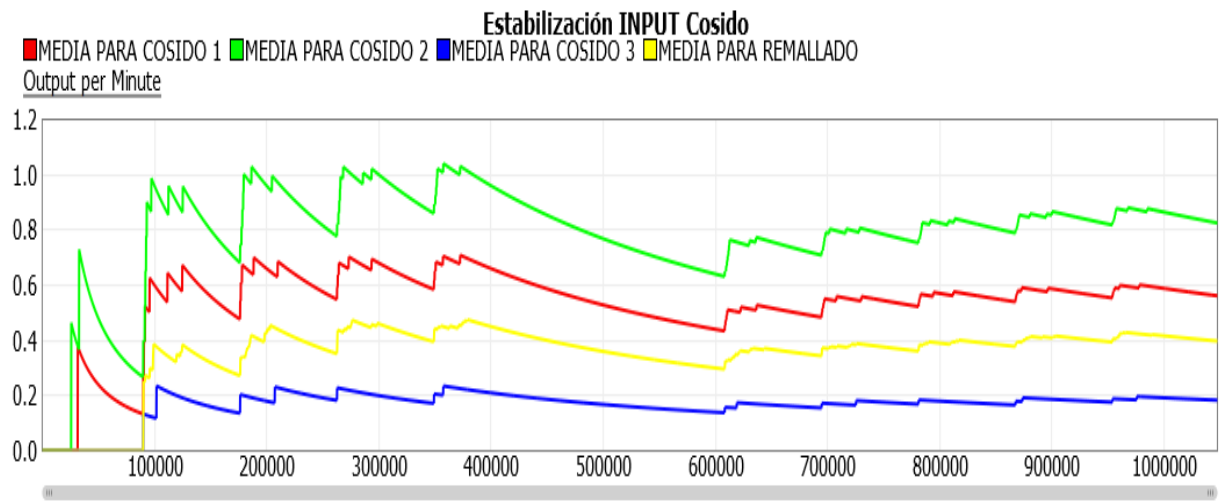
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2: Estabilización de la variable WIP Formado - Cosido



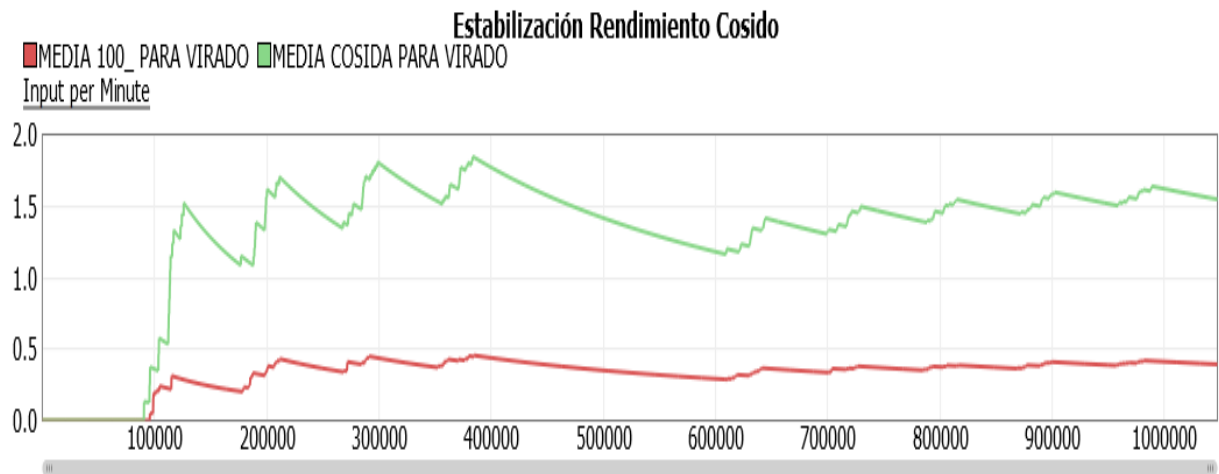
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3: Estabilización de la variable Input Cosido



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4: Estabilización de la variable Input Cosido



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 22: Análisis de las variables dependientes

	SUBSECCIÓN	VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	MEDIA	TIEMPO (min/sem)
Análisis para las secciones y subsecciones de trabajo	SE1	Breakdown	%	0,794	58,60
		Processing	%	91,13	6725,39
		WOM	%	8,08	596,30
		IE	%	64,9	4789,62
		WOC	%	29,9	2206,62
		WTC	%	0,037	2,73
		WTCC	%	1,239	91,44
		IV	%	8,63	636,89
		Rendimiento subsección	docena/min	0,349	
	SE2	Breakdown	%	0,769	56,75
		Processing	%	91,13	6725,39
		WOM	%	6,86	506,27
		IE	%	66,4	4900,32
		WOC	%	7,57	558,67
		WTC	%	0,072	5,31
		WTCC	%	1,12	82,66
		IV	%	23,88	1762,34
		Rendimiento subsección	docena/min	0,241	
	Sección E	Defectuosidad (E)	u	2990	
	SD1	Breakdown	%	0,769	56,75
		Processing	%	92,73	6843,47
		WOM	%	6,5	479,70
		IE	%	67,7	4996,26
		WOC	%	83,73	6179,27
		WTC	%	0,111	8,19
		WTCC	%	0,532	39,26
		IV	%	0,03	2,21
		Rendimiento subsección	docena/min	0,386179	
	SD2	Breakdown	%	0,787	58,08
		Processing	%	90,91	6709,16
		WOM	%	8,3	612,54
		IE	%	64,2	4737,96
		WOC	%	7,49	552,76
		WTC	%	0,07	5,17
		WTCC	%	0,247	18,23
		IV	%	23,42	1728,40
		Rendimiento subsección	docena/min	0,252575	
	Sección D	Defectuosidad (D)	u	3449	
	SCC	Breakdown	%	2,45	180,81
		Processing	%	90,05	6645,69
		WOM	%	7,49	552,76
		IE	%	69,7	5143,86
WOC		%	69,6	5136,48	
WTC		%	0,245	18,08	
WTCC		%	0,96	70,85	

		Rendimiento subsección	docena/min	0,306911	
		Defectuosidad (CC)	u	2662	
	SCL	Breakdown	%	0,533	39,34
		Processing	%	94,87	7001,41
		WOM	%	4,59	338,74
		IE	%	71,4	5269,32
		WOC	%	22,4	1653,12
		WTC	%	0,1062	7,84
		WTCC	%	0,051	3,76
		IVs promedio	%	4,48	330,62
		Rendimiento subsección	docena/min	0,381843	
		Defectuosidad (CL)	u	1907	
	SA	Breakdown	%	2,715	200,37
		Processing	%	71,33	5264,15
		WOM	%	25,95	1915,11
		IE	%	30,3	2236,14
		WOC	%	8,79	648,70
		WTC	%	0,2054	15,16
		WTCC	%	0,306	22,58
		IVs promedio	%	40,1	2959,38
		Rendimiento subsección	docena/min	1,031165	
		Defectuosidad (A)	u	5883	
	SB	Breakdown	%	2,79	205,90
		Processing	%	69,99	5165,26
		WOM	%	27,21	2008,10
		IE	%	33,7	2487,06
		WOC	%	21,7	1601,46
		WTC	%	0,22	16,24
		WTCC	%	0,578	42,66
		IV1	%	24,98	1843,52
		IV2	%	42,64	3146,83
		Rendimiento subsección	docena/min	0,599	
	Defectuosidad (B)	u	5791		
Análisis para la totalidad de la operación de formado		Rendimiento Formado	docena/min	3,545	
		Total Output	docena	26163	
Análisis para la totalidad de la operación de cosido		Input Cosido	docena/min	3,519	
		Rendimiento Cosido	docena/min	3,456	
Análisis para la interacción de las operaciones de formado y cosido		WIP Formado-Cosido	docena	1680	

Fuente: Elaboración propia.

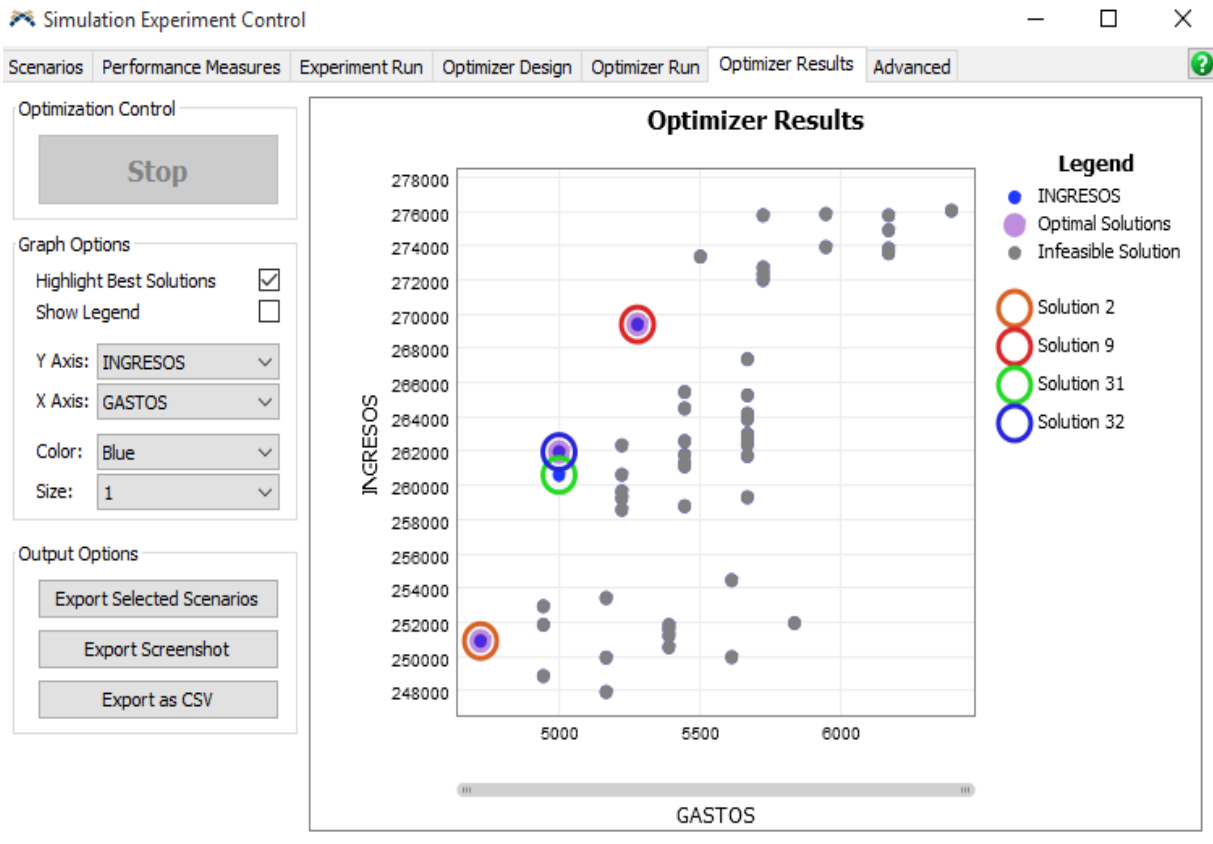
Anexo 23: Ingresos por tipo de media

TIPO DE MEDIA (k)	TOTAL OUTPUT (U _k) docena/semana	PRECIO DE VENTA (p _k) \$/docena	INGRESOS POR TIPO DE MEDIA \$/semana
Colegial 02-04	146	12,80	1868,80
Colegial 04-06	1264	13,00	16432,00
Colegial 06-08	1148	13,20	15153,60
Colegial 08-10	2383	13,40	31932,20
Colegial 10-12	1887	13,60	25663,20
Corta 100% 00-02	180	10,70	1926,00
Corta 100% 02-04	540	10,90	5886,00
Corta 100% 06-08	510	11,30	5763,00
Corta 100% 08-10	360	11,50	4140,00
Corta 100%10-12	870	11,70	10179,00
Hombre 10-12	1036	14,70	15229,20
Larga 100%10-12	316	15,30	4834,80
Media técnica 10-12	40	20,00	800,00
Zapatilla 100%10-12	846	11,20	9475,20
Zapatilla perforada 10-12	360	8,85	3186,00
Corta poliéster 10-12	2265	6,50	14722,50
Corta poliéster 06-08	1075	6,10	6557,50
Larga poliéster 10-12	1407	7,50	10552,50
Zapatilla poliéster 10-12	960	7,00	6720,00
Zapatilla spk 06-08	977	6,10	5959,70
Corta algodón 10-12	6944	7,10	49302,40
Corta algodón 08-10	666	6,90	4595,40
Total Ingresos			250879,00

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 24: Resultados obtenidos en el proceso de optimización

Figura 1: Soluciones factibles para la relación entre Ingresos vs Gastos



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2: Escenarios propuestos por cada solución factible

The screenshot shows the 'Simulation Experiment Control' interface. At the top, there are tabs for 'Scenarios', 'Performance Measures', 'Experiment Run', 'Optimizer Design', 'Optimizer Run', 'Optimizer Results', and 'Advanced'. Below the tabs, there are control buttons for 'Variables' (add, delete, up, down) and 'Scenarios' (add, delete, left, right), along with a dropdown for 'Choose default reset scenario: None'. The main table lists variables and their values for 'Actual', 'Solution 2', 'Solution 9', and 'Solution 32'.

Variable	Actual	Solution 2	Solution 9	Solution 32
SE1 ENEBRADOR	1	1.00	1.00	1.00
SE1 VIRADOR	1	1.00	1.00	1.00
SE2 ENEBRADOR	1	1.00	1.00	1.00
SE2 VIRADOR	1	1.00	1.00	1.00
SD1 ENEBRADOR	1	1.00	1.00	1.00
SD1 VIRADOR	1	1.00	1.00	1.00
SD2 ENEBRADOR	1	1.00	1.00	1.00
SD2 VIRADOR	1	1.00	1.00	1.00
SCC ENEBRADOR	1	1.00	1.00	1.00
SCL ENEBRADOR	1	1.00	1.00	1.00
SC VIRADOR	2	2.00	2.00	2.00
SA ENEBRADOR	2	2.00	3.00	3.00
SA VIRADOR	3	2.00	2.00	2.00
SB ENEBRADOR	1	1.00	2.00	1.00
SB1 VIRADOR	1	1.00	1.00	1.00
SB2 VIRADOR	1	1.00	1.00	1.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1: Máximo incremento con respecto al Escenario Actual

	Funciones Objetivo	
	Ingresos (\$/semana)	Gastos (\$/semana)
Escenario Actual	250879,00	4946,22
Solución 3	276053,00	6391,00
Diferencia	25174,00	1444,78

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2: Cálculo de porcentajes de incremento con respecto a la máxima diferencia obtenida

Soluciones factibles	Ingresos (\$/semana)	Diferencia (\$/semana)²	Porcentaje de incremento (%)³	Gastos (\$/semana)	Diferencia (\$/semana)	Porcentaje de incremento (%)⁴
Solución 2	250895,00	16,00	0,06	4724,00	-222,22	-15,38
Solución 9	269399,00	18520,00	73,57	5280,00	333,78	23,10
Solución 32	261941,00	11062,00	43,94	5002,00	55,78	3,86

Fuente: Elaboración propia.

² Diferencia calculada respecto al Escenario Actual.

³ Porcentaje calculado respecto a la máxima diferencia del Ingreso.

⁴ Porcentaje calculado respecto a la máxima diferencia del Gasto.

Tabla 3: Comparación de las variables dependientes entre el Escenario Actual y la Solución 9

SUBSECCIÓN	VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	Escenario Actual	Solución 9	Diferencia
			MEDIA	MEDIA	
SE1	Breakdown	%	0,79	0,74	-0,05
	Processing	%	91,13	91,00	-0,13
	WOM	%	8,08	8,96	0,88
	IE	%	64,90	64,50	-0,40
	WOC	%	29,90	27,90	-2,00
	WTC	%	0,04	0,04	0,00
	WTCC	%	1,24	1,13	-0,11
	IV	%	8,63	8,60	-0,03
	Rendimiento subsección	docena/min	0,3486	0,3449	-0,0038
SE2	Breakdown	%	0,77	0,96	0,19
	Processing	%	91,13	90,80	-0,33
	WOM	%	6,86	8,23	1,37
	IE	%	66,40	55,60	-10,80
	WOC	%	7,57	6,17	-1,40
	WTC	%	0,07	0,07	0,00
	WTCC	%	1,12	0,91	-0,21
	IV	%	23,88	25,49	1,61
	Rendimiento subsección	docena/min	0,24119	0,23780	-0,00339
Sección E	Defectuosidad (E)	u	2990	3062	72,00
SD1	Breakdown	%	0,77	0,74	-0,03
	Processing	%	92,73	92,70	-0,03
	WOM	%	6,50	6,56	0,06
	IE	%	67,70	71,70	4,00
	WOC	%	83,73	84,20	0,47
	WTC	%	0,11	0,10	-0,01
	WTCC	%	0,53	0,56	0,02
	IV	%	0,03	0,00	-0,03
	Rendimiento subsección	docena/min	0,3862	0,3828	-0,0034
SD2	Breakdown	%	0,79	0,88	0,09
	Processing	%	90,91	90,28	-0,63
	WOM	%	8,30	8,83	0,53
	IE	%	64,20	59,90	-4,30
	WOC	%	7,49	6,95	-0,54
	WTC	%	0,07	0,07	0,00
	WTCC	%	0,25	0,24	0,00
	IV	%	23,42	24,02	0,60
	Rendimiento subsección	docena/min	0,2526	0,2466	-0,0060
Sección D	Defectuosidad (D)	u	3449	3482	33
SCC	Breakdown	%	2,45	2,51	0,06
	Processing	%	90,05	89,57	-0,48

	WOM	%	7,49	7,91	0,42
	IE	%	69,70	69,10	-0,60
	WOC	%	69,60	68,60	-1,00
	WTC	%	0,25	0,21	-0,03
	WTCC	%	0,96	0,88	-0,08
	Rendimiento subsección	docena/min	0,3069	0,3049	-0,0020
	Defectuosidad (CC)	u	2662	2582	-80
SCL	Breakdown	%	0,53	0,55	0,02
	Processing	%	94,87	94,86	-0,01
	WOM	%	4,59	4,59	0,00
	IE	%	71,40	70,00	-1,40
	WOC	%	22,40	21,70	-0,70
	WTC	%	0,11	0,09	-0,01
	WTCC	%	0,05	0,05	0,00
	Ivs promedio	%	4,48	4,50	0,02
	Rendimiento subsección	docena/min	0,3818	0,3713	-0,0106
	Defectuosidad (CL)	u	1907	1951	44
SA	Breakdown	%	2,72	2,45	-0,27
	Processing	%	71,33	89,20	17,87
	WOM	%	25,95	8,30	-17,65
	IE	%	30,30	52,20	21,90
	WOC	%	8,79	94,40	85,61
	WTC	%	0,21	0,26	0,06
	WTCC	%	0,31	1,07	0,76
	IVs promedio	%	40,10	0,00	-40,10
	Rendimiento subsección	docena/min	1,0312	1,2466	0,2154
	Defectuosidad (A)	u	5883	7324	1441
SB	Breakdown	%	2,79	1,75	-1,04
	Processing	%	69,99	93,60	23,61
	WOM	%	27,21	3,90	-23,31
	IE	%	33,70	75,90	42,20
	WOC	%	21,70	47,80	26,10
	WTC	%	0,22	0,27	0,05
	WTCC	%	0,58	0,95	0,37
	IV1	%	24,98	1,20	-23,78
	IV2	%	42,64	24,80	-17,84
	Rendimiento subsección	docena/min	0,5988	0,7947	0,1959
	Defectuosidad (B)	u	5791	7872	2081
Operación de Formado	Rendimiento Formado	docena/min	3,5451	3,9280	0,3829
	Total Output	docena	26163	28986	2823
Operación de Cosido	Input Cosido	docena/min	3,5190	3,7510	0,2320
	Rendimiento Cosido	docena/min	3,4564	3,5230	0,0666
Formado y Cosido	WIP Formado-Cosido	docena	1680	2320	640

Fuente: Elaboración propia.