

APLICACIÓN DE UN CASO DE ESTUDIO PARA LA SECUENCIACIÓN DE TAREAS POR ALGORITMOS,
PARTIENDO DE LA UTILIZACIÓN TEÓRICA DE TÉCNICAS LEAN MANUFACTURING Y LA
SIMULACIÓN DE PROCESOS EN EL SECTOR CARTONERO

JAIRO ORLANDO DUEÑAS

UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PROCESOS Y SISTEMAS INDUSTRIALES
BOGOTÁ
2020

APLICACIÓN DE UN CASO DE ESTUDIO PARA LA SECUENCIACIÓN DE TAREAS POR ALGORITMOS,
PARTIENDO DE LA UTILIZACIÓN TEÓRICA DE TÉCNICAS LEAN MANUFACTURING Y LA
SIMULACIÓN DE PROCESOS EN EL SECTOR CARTONERO

AUTOR:
JAIRO ORLANDO DUEÑAS

TESIS DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
MASTER EN INGENIERÍA DE PROCESOS Y SISTEMAS INDUSTRIALES
MODALIDAD DE PROFUNDIZACIÓN

DIRECTOR:
ING. JORGE IVAN ROMERO

UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PROCESOS Y SISTEMAS INDUSTRIALES
BOGOTÁ
2020

Nota de aceptación

Firma del presidente del Jurado

Firma de Jurado

Firma de Jurado

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS.

El desarrollo de este proyecto lo dedico a Dios, por permitirme alcanzar este logro, a mi Madre y Hermana por su apoyo.

A mis amigos y compañeros por su paciencia y colaboración.

Agradezco al Ingeniero Jorge Iván Romero, director de este proyecto por su colaboración y guía, por enseñarme como se analiza una situación a solucionar de una forma sistémica y nuevos métodos de aplicación de la Investigación de Operaciones.

A todas las personas que contribuyeron al desarrollo de este proyecto de una u otra manera.

CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO	9
RESUMEN	11
INTRODUCCIÓN	13
OBJETIVOS	15
METODOLOGÍA	15
1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO	16
2. ANÁLISIS DE LA BASE DE DATOS OPERACIONALES CONSTRUIDA, CATEGORIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS Y ESTUDIO ESTADÍSTICO	19
2.1 ANALISIS POR IMPRESORA	23
2.1.1 Impresora S Y S	24
2.1.2 Impresora GANDOSI	29
2.1.3 Impresora WARD 1	32
2.1.4 Impresora WARD 2	37
3. INVESTIGACIÓN Y APLICACIÓN TEÓRICA DE TÉCNICAS LEAN MANUFACTURING PARA MEJORAR LOS PROCESOS	40
3.1 DESARROLLO DEL SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE (SMED) O CAMBIO DE MATRIZ EN MENOS DE 10 MINUTOS	43
3.1.1 Observación y aplicación de 5 S	44
3.1.2 Identificar y separar las operaciones internas y externas	48
3.1.3 Convertir operaciones internas a externas	49
3.1.4 Estandarizar y mejorar	54

4. DESARROLLO DE UN SISTEMA PRODUCTIVO, UTILIZANDO ALGORITMOS DE SECUENCIACIÓN 56

5. SIMULACIÓN DE LOS PROCESOS EN CADA ESCENARIO 62

 5.1 Simulación del escenario 1 63

 5.2 Simulación del escenario 2 64

 5.3 Simulación del escenario 3 65

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 67

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 70

BIBLIÓGRAFIA 72

ANEXOS 76

LISTA DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1 Cifras operativas del proceso	22
Tabla 2 Factores de tiempos improductivos reportados	23
Tabla 3 Estadísticas impresora S Y S	26
Tabla 4 Correlación de variables	27
Tabla 5 Estadísticas impresora GANDOSSI	30
Tabla 6 Estadísticas impresora WARD 1	35
Tabla 7 Estadísticas impresora WARD 2	39
Tabla 8 Utilización de técnicas Lean Manufacturing según autores	42
Tabla 9 Establecimiento de % de alistamiento por categoría	44
Tabla 10 AMEF del proceso de impresión / troquelado	46
Tabla 11 Utilización de las 5S para solucionar las causas de los tiempos improductivos	47
Tabla 12 Clasificación actual de actividades internas y externas	49
Tabla 13 Reorganización de actividades	53
Tabla 14 Recopilación de trabajos de grado de aplicación de Lean Manufacturing	55
Tabla 15 Nuevos tiempos de alistamiento después de mejoras en el proceso	56
Tabla 16 Agrupación de los datos	57
Tabla 17 Priorización por categoría y asignación de valores o peso	58
Tabla 18 Resultados de los algoritmos de secuenciación	59
Tabla 19 Secuenciación de los pedidos en los ocho grupos de datos	59
Tabla 20 Variación de los factores entre montaje	60
Tabla 21 Composición de los nuevos factores entre montaje	60
Tabla 22 Nuevos tiempos totales de proceso	62
Tabla 23 Resumen de los resultados de cada objetivo	67
Tabla 24 Comparación escenario 1 con escenario 2	68
Tabla 25 Resultados de todos los escenarios	69
Tabla 26 Ahorro de tiempos entre los escenarios	69

LISTA DE FIGURAS.

	Pág.
Figura 1 Caracterización del proceso de impresión / troquelado	17
Figura 2 Distribución de Planta	18
Figura 3 Categorización de los productos	19
Figura 4 Producción y categorías por impresora	20
Figura 5 Metros cuadrados procesados por categoría e impresora	20
Figura 6 Discriminación de metros cuadrados en impresoras	21
Figura 7 Horas por categoría en cada máquina	22
Figura 8 Producción y consumos impresora S Y S	24
Figura 9 Tiempos improductivos impresora S Y S	25

Figura 10 Grafica de la distribución de los datos de la impresora S Y S	27
Figura 11 Gráficos de teorema central y correlación de variables impresora S Y S	28
Figura 12 Producción y consumos impresora GANDOSI	29
Figura 13 Tiempos improductivos impresora GANDOSI	30
Figura 14 Gráficos de teorema central y correlación de variables impresora GANDOSI.....	32
Figura 15 Producción y consumos impresora WARD 1	33
Figura 16 Tiempos improductivos impresora WARD 1	34
Figura 17 Gráficos de teorema central y correlación de variables impresora WARD 1	36
Figura 18 Producción y consumos impresora WARD 2	37
Figura 19 Tiempos improductivos impresora WARD 2	38
Figura 20 Gráficos de teorema central y correlación de variables impresora WARD 1	40
Figura 21 Distribucion de la tecnicas Lean Manufacturing por implementacion y sector	41
Figura 22 Distribucion del tiempo de alistamiento	43
Figura 23 Resumen de los tiempos improductivos	45
Figura 24 Modelo del proceso	61
Figura 25 Resultados simulación escenario 1	63
Figura 26 Resultados simulación escenario 2	63
Figura 27 Resultados simulación escenario 3	64
Figura 28 Resultados simulación escenario 3.1	65
Figura 29 Resultados simulación escenario 3.2	66
Figura 30 Resumen de los factores entre montaje	68

ANEXOS.

	Pág.
ANEXO A. DATOS DE PROCESO IMPRESORA S Y S	77
ANEXO B. DATOS DE PROCESO IMPRESORA GANDOSI	78
ANEXO C. DATOS DE PROCESO IMPRESORA WARD 1	79
ANEXO D. DATOS DE PROCESO IMPRESORA WARD 2	80
ANEXO E. PROGRAMACIÓN EMPLEADA PARA COMPILAR LOS ALGORITMOS DE SECUENCIACIÓN	81

GLOSARIO.

Aleta o pestaña de la caja: al desdoblar en 2 dimensiones una caja, es la parte que une con pegante las caras transversalmente, esta aleta mide 4 cm de ancho y la altura depende de las medidas de la caja. El pegue de la aleta o pestaña puede ser por dentro de la caja o por fuera, eso lo decide el cliente, pero el alisamiento del dispositivo que hace esta operación en la máquina si varía entre cada tipo de cierre.

Análisis de modo efecto y fallas (AMEF): es una técnica para identificar fallas o inconvenientes en productos, en los procesos o sistemas, también evalúa y clasifica objetivamente sus efectos y causas, dando solución a cada una, mitigando o evitando su ocurrencia.

Búsqueda Tabú: es un algoritmo inteligente utilizado para la solución de problemas de enrutamiento que buscan minimizar los recorridos al cumplir con las restricciones impuestas.

Cyresles o Planchas: son insumos requeridos en el proceso de impresión. Transfieren la tinta al cartón por contacto en la máquina, generando las imágenes o textos solicitados por el cliente.

Factor entre montaje: es un número entre 1 y 4, asignándose según lo parecido que sea el pedido que se esté procesando con el inmediatamente anterior, para identificar el grado de similitud del alistamiento. Con este factor se demuestra los resultados de la secuenciación de tareas

Flexsim: es un software especializado para la simulación de eventos discretos, en donde se puede modelar, analizar, visualizar y optimizar cualquier proceso industrial.

Google colaborative: es una plataforma de libre ingreso donde se pueden compilar distintas programaciones sobre lenguaje C++, Python, entre otras.

Impresora Gandossi: es una máquina herramienta utilizada en las empresas cartoneras para la fabricación de cajas de cartón, es impresora y troqueladora al mismo tiempo, se especializa en procesar cajas de grandes dimensiones, por lo tanto, sus tiempos de alistamiento son más extensos porque los cuerpos impresores son independientes.

Impresora S Y S: es una máquina herramienta utilizada en las empresas cartoneras para la fabricación de cajas de cartón, es impresora y troqueladora al mismo tiempo, presenta una gran versatilidad frente a otras marcas, porque puede producir diferentes tipos de cajas (pequeñas, grandes, telescópicas, troqueladas).

Impresora Ward 1: es una máquina herramienta utilizada en las empresas cartoneras para la fabricación de cajas de cartón, es solamente troqueladora y se utiliza para procesar bases telescópicas de flores, cajas de archivo y lamina troquelada porque no tiene sistema de cierre para hacer cajas regulares.

Impresora Ward 2: es una máquina herramienta utilizada en las empresas cartoneras para la fabricación de cajas de cartón, es impresora y troqueladora y se utiliza para procesar tapas telescópicas de flores, cajas de archivo y lamina troquelada porque no tiene sistema de cierre para hacer cajas regulares.

Láminas de cartón o materia prima (MP): es la materia prima utilizada para fabricar las cajas de cartón, esta lamina tiene las medias del despliegue en 2 dimensiones de la caja y trae los scores o dobleces de las aletas superiores e inferiores de las cajas ya marcados en la lámina.

Lamina NC: sucede cuando a la lámina o MP se le identifica alguna situación especial que impide su utilización en el proceso porque compromete los requisitos de calidad exigidos por el Cliente.

Lean Manufacturing: También conocido como Manufactura Esbelta es un método de organización del trabajo que se centra en la continua mejora y optimización del sistema de producción mediante la eliminación de desperdicios y actividades que no suman ningún tipo de valor al proceso.

Metros cuadrados procesados: es la multiplicación de las unidades procesadas por la medida de largo por ancho en metros de la lámina utilizada, este número es relevante porque es la unidad de medida que se utiliza en las empresas cartoneras.

Papel Linner Kraft: es un tipo de papel industrial de color ocre, resistente al rasgado y rugoso del que están compuestas las láminas de cartón. El papel Kraft tiene diversos gramajes y acabados que finalmente dan las propiedades físicas de resistencia vertical y al rasgado a la caja de cartón.

Tiempo de montaje o alistamiento: es el tiempo empleado para lograr la puesta punto de cada pedido antes de su procesamiento, este tiempo técnicamente no genera valor agregado, pero es indispensable para el cumplimiento de los requisitos exigidos por el cliente.

Tiempos improductivos: son los mismos tiempos ociosos o muertos, tienen identificados 21 situaciones que componen estos tiempos improductivos, y son reportados cuando ocurren en la ejecución de los procesos por los operarios.

RESUMEN.

Este caso de estudio busca mejorar el desarrollo de los procesos en una planta cartonera, iniciando desde la construcción de una base de datos operacional al digitalizar los reportes de trabajo (minutas de trabajo) de cuatro meses (agosto, septiembre, octubre y noviembre) y su análisis para organizarlos por categorías de productos, la investigación de las técnicas Lean Manufacturing más implementadas en empresas del mismo sector industrial, identificando las causas y consecuencias de los inconvenientes que se presentan en la ejecución de los procesos y dándoles una solución teórica por medio de diferentes herramientas Lean como SMED y 5S, evidenciando una disminución en los tiempo de proceso del 13.2% respecto a los tiempos originales. Posteriormente utilizando tres diferentes algoritmos de secuenciación, se plantea otra secuenciación de trabajo que aprovecha mejor las características técnicas de cada pedido (categoría, medidas de la lámina, tintas, cierre de la caja), logrando una disminución del 18,3% del tiempo de proceso total. Del desarrollo de cada objetivo específico se obtienen tres escenarios, el primero con la situación actual del proceso, el segundo después de la implementación teórica de las técnicas Lean Manufacturing y el tercero luego de la aplicación de secuenciación por algoritmos, estos tres escenarios se simulan con el software Flexsim. Se realiza un análisis y discusión de los resultados al relacionar los resultados de los escenarios entre sí. Finalmente se dan conclusiones y recomendaciones.

Palabras clave: Lean Manufacturing, secuenciación por algoritmos, simulación con software Flexsim.

ABSTRACT.

This case study seeks to improve the development of processes in a cardboard plant, starting from the construction of an operational database by digitizing the work reports (work minutes) of four months (August, September, October and November) and their analysis to organize them by product categories, the investigation of the Lean Manufacturing techniques most implemented in companies in the same industrial sector, identifying the causes and consequences of the inconveniences that arise in the execution of the processes and giving them a theoretical solution by means of different Lean tools such as SMED and 5S, showing a decrease in process time of 13.2% compared to the original times. Subsequently, using three different sequencing algorithms, another work sequencing is proposed that takes better advantage of the technical characteristics of each order (category, sheet measurements, inks, box closure), achieving an 18.3% decrease in the time of total process. From the development of each specific objective three scenarios are obtained, the first with the current situation of the process, the second after the theoretical implementation of Lean Manufacturing techniques and the third after the application of sequencing by algorithms, these three scenarios are simulated with Flexsim software. An analysis and discussion of the results is performed by relating the results of the scenarios to each other. Finally conclusions and recommendations are given.

Key words: Lean Manufacturing, algorithmic sequencing, simulation with Flexsim software.

INTRODUCCIÓN.

La administración de las operaciones o procesos que se desarrollan en toda organización es crucial para controlar y tomar buenas decisiones que propendan al crecimiento económico, humano y tecnológico de la misma; siendo necesario administrar todos los recursos de una forma adecuada y controlada, para evitar sobrecostos en los procesos que impacten negativamente las finanzas de la organización.

Según el tamaño de cada empresa, de sus recursos, tecnología, procesos y materia prima, depende la organización de los procesos, los controles que se aplican y la administración de las tareas a ejecutar, a través del tiempo han surgido nuevas invenciones, técnicas y herramientas que buscan facilitar y mejorar el desarrollo de las actividades. Se ha identificado que estas técnicas son conocidas e implementadas en las grandes industrias, pero en PYMES y MIPYMES no son tan utilizadas, porque requieren inversión y contar con personal preparado que lidere su aplicación.

En el libro de Hernández y Vizán (2013), narran la evolución de la organización de la producción, comenzando en el siglo XX F.W. Taylor con la aplicación del método científico en los procesos, posteriormente Henry Ford logra especificar la normalización de los productos, la simplificación – secuenciación de tareas y la especialización del trabajo. Todos estos conceptos y técnicas fueron interrumpidos en Japón con el inicio del pensamiento Lean.

Este pensamiento Lean, explican Galindo y Villaseñor (2009) comenzó en 1984 por Sakichi Toyoda cuando por experimentación de prueba y error generó el genchi genbutsu (ir/observar/entender) para mejorar la fabricación de telares manuales, logrando un mecanismo especial que detenía el telar cuando el hilo se rompía, éste invento más tarde se convirtió en jidoka o automatización con toque humano. En 1930 el señor Sakichi y su hijo fundaron Toyota Motor Company, siguiendo la filosofía de su padre logró la técnica JIT después de visitar otras plantas automotrices en América, que fue el punto de partida del Kanban.

En el artículo de Arrieta, Muñoz, Salcedo y Sosa (2011), hacen un resumen de la cantidad de proyectos de grado en universidades del país que tratan sobre la aplicación de herramientas Lean Manufacturing en organizaciones, dando como resultado que las tres técnicas más aplicadas son el SMED con 36%, las 5 S con 23% y Six Sigma con un 28%.

Existen otros factores que pueden afectar directamente el desarrollo de los procesos como la planeación de la producción, Chase, Jacobs y Aquilano (2005) menciona que los principales objetivos de la programación de la producción son: cumplir las fechas de entrega, reducir los tiempos de entrega, minimizar los tiempos de alistamiento, reducir el inventario de producto en proceso, maximizar la utilización de máquinas y mano de obra.

Pero cuando se tiene una planeación subjetiva no se aprovechan las características similares entre cada pedido y se incurren en tiempos de alistamiento innecesarios que no generan valor agregado al producto final y si un sobrecosto para el proceso, siendo una prioridad dar tratamiento esta situación por medio de la utilización de un software especializado en áreas de ingeniería de operaciones.

Cuevas, Camacho y Solís (2019), explican en su artículo la historia, usos y aplicaciones del lenguaje Julia, teniendo como propósito desarrollar procesos de cómputo sofisticados como cálculos en paralelo y distribuidos, además de sus usos para modelado matemático, simulación computacional, ciencia de datos y diseño de aplicaciones de misión crítica lo convierten en un

lenguaje de programación muy potente y ampliamente usado en la academia, aunque subestimado en la industria.

Otra herramienta utilizada en la industria para mejorar sus procesos es la simulación, según García (2013), cualquier empresa que pretenda ser más competitiva, debe gestionar sus recursos de una forma eficiente, siendo necesario conocer todas las metodologías disponibles para esa gestión, una de ellas son las herramientas informáticas, que permiten solucionar problemas de una gran complejidad sin requerir una gran inversión ni demasiado tiempo, existiendo softwares especializados para cualquier proceso industrial en el mercado y también sus tutoriales.

El caso de estudio que se trabajara en este proyecto corresponde al sector cartonero, donde se desarrollan diversos procesos como: impresión, troquelado, descartone, plegado, zunchado, entre otros, en una empresa donde se tenían identificados varios inconvenientes en sus procesos, a los que se plantearían soluciones reales por medio de la aplicación de herramientas Lean Manufacturing, un sistema de secuenciación de tareas y simulación de los procesos. Por diferencias con la jefatura de planta, se replanteo el proyecto, reajustando el objetivo general y los específicos hacia un caso de estudio y no como un proyecto aplicado, pero conservando la necesidad de dar solución teórica a los problemas originales.

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL.

Desarrollar un caso de estudio para la Secuenciación de Tareas por Algoritmos, partiendo de la utilización teórica de técnicas Lean Manufacturing y la simulación de procesos, en el sector cartonero.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1. Compilar una base de datos operacionales para organizar los productos por categorías según sus características de proceso similares.
2. Mejorar los procesos de impresión/troquelado mediante la aplicación teórica de técnicas Lean Manufacturing.
3. Desarrollar un sistema productivo sencillo de aplicar, utilizando algoritmos de secuenciación.
4. Determinar mediante la simulación de los procesos las características operativas de cada escenario

METODOLOGÍA.

Este análisis de caso es descriptivo, con un diseño experimental con base en la simulación de procesos y la aplicación de los algoritmos de secuenciación. Está compuesto por 4 etapas secuenciales, iniciando con la compilación de la base de datos operacionales al digitalizar las minutas de trabajo de cada día, turno y tripulación, su posterior análisis para establecer las diferentes categorías de productos y parámetros del proceso a tener en cuenta como son: cantidad de tintas, dimensiones de la lámina, tipo de pestaña, unidades procesadas, tiempos improductivos; de las cuatro impresoras/troqueladoras solo la S Y S tiene cifras de proceso en todas las categorías de productos determinadas, de los 1.194 trabajos procesados el 51% fueron en dicha máquina, y utiliza la mayor cantidad de horas trabajadas, por dichas razones se elige solo la máquina S Y S para desarrollar cada uno de los objetivos del proyecto. Luego se realiza una investigación de las técnicas Lean Manufacturing, para conocer cuáles son las más implementadas y se utiliza las 5 S y el SMED para mejorar teóricamente de los procesos, logrando una disminución en los tiempos de ejecución. Aplicando distintos algoritmos de secuenciación se logra una mejor reorganización de los trabajos a procesar al considerar los parámetros más importantes del proceso para finalmente simular los resultados obtenidos en el desarrollo de cada objetivo específico.

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO.

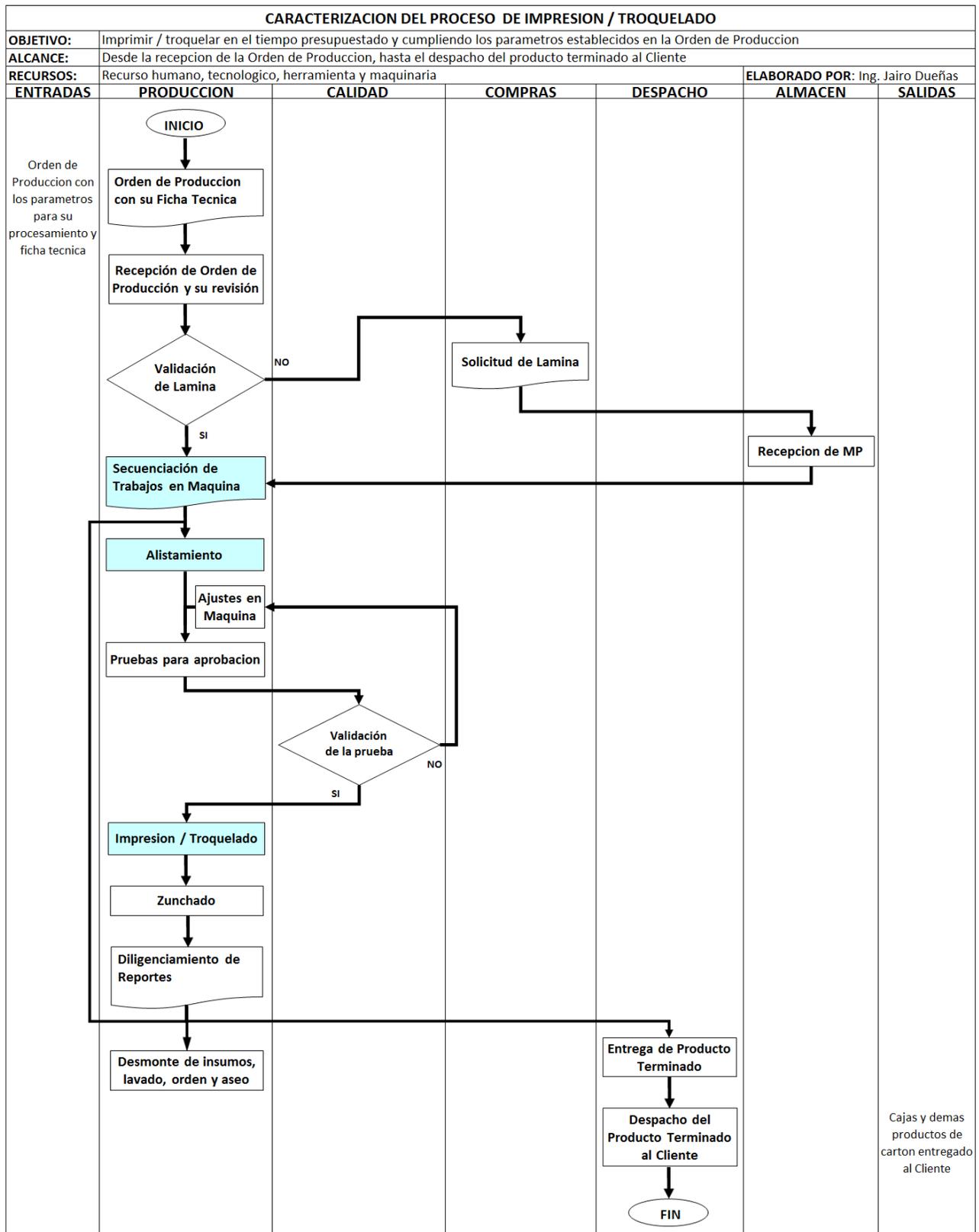
Dependiendo del tipo de empresa se pueden presentar varios procesos para la obtención de los diferentes productos a base de cartón, hay organizaciones que cuentan con su propio molino paplero y compran el material reciclado, lo procesan para obtener rollos de papel linner kraft, que utilizan como materia prima en una planta corrugadora donde los transforman en láminas de cartón que procesan en las impresoras/troqueladoras, produciendo finalmente las cajas de cartón. Existen en el mercado empresas que se dedican exclusivamente a la impresión/troquelado de láminas para producir las cajas de cartón, manejan unos precios más económicos y algunas veces periodos de entrega más cortos, pero dependen de empresas cartoneras que le provean su materia prima a tiempo y con la calidad requerida, este es el caso de la organización donde se recopilaron los datos de proceso.

La gama de productos que se fabrican en una empresa cartonera son variados y se van ampliando de acuerdo a las nuevas utilidades que se le dan al cartón (publicidad, mobiliario, soportes, material didáctico, etc), los productos más representativos y comunes son las cajas de empaque corrientes que pueden variar de medidas según la necesidad del cliente, cajas de doble pared para resistir largos trayectos de transporte y garantizar la protección de electrodomésticos o productos delicados, bandejas de frutas también en doble pared y resistentes a la humedad y cuartos fríos, cajas doble cuerpo los sus grandes dimensiones, cajas telescópicas para el sector floricultor (tapas y bases) con resistencia a la humedad y bajas temperaturas, cajas troqueladas para archivo (viene con un sistema de armado especial), lamina troquelada para distintos usos industriales y comerciales, single face para empaques, particiones o divisiones para protegen envases de vidrio, esquineros para soportar cargas muertas, entre otros. No todas las empresas cartoneras ofrecen todos estos productos, ya que para su fabricación se requiere de maquinaria especial o en algunos casos son producidos manualmente (particiones, esquineros, etc) y su mercado es limitado. En la figura 3, se puede visualizar varios ejemplos de los productos más representativos de este sector industrial.

A continuación, se presenta el diagrama de proceso que resume e ilustra las operaciones requeridas desde la recepción de la Orden de Producción, hasta el despacho del producto terminado al cliente. Los procesos resaltados con color azul muestran donde se realizan mejoras en el desarrollo de este proyecto.

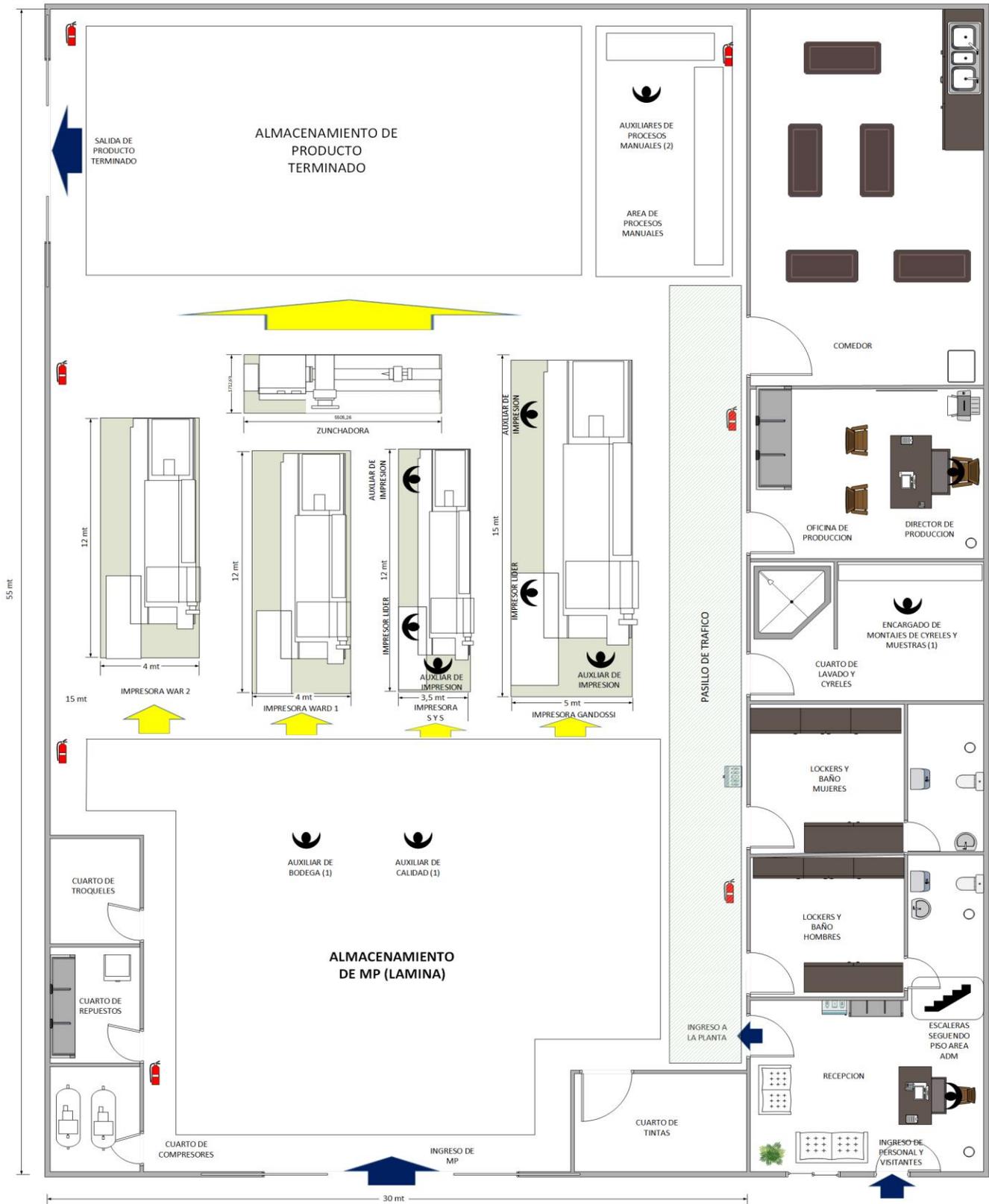
También se presenta una distribución de planta de una empresa cartonera común, en donde la planta de producción contiene el área de almacenamiento de lámina o MP, cuarto de repuestos, cuarto de troqueles, cuarto de tintas, zona de compresores, cuarto de cyreles y montajes, área de trabajos manuales, área de almacenamiento de producto terminado y las áreas donde están ubicadas las impresoras.

Figura 1 Caracterización del proceso de impresión / troquelado



Autor: Elaboración propia

Figura 2 Distribución de Planta



Autor: Elaboración propia

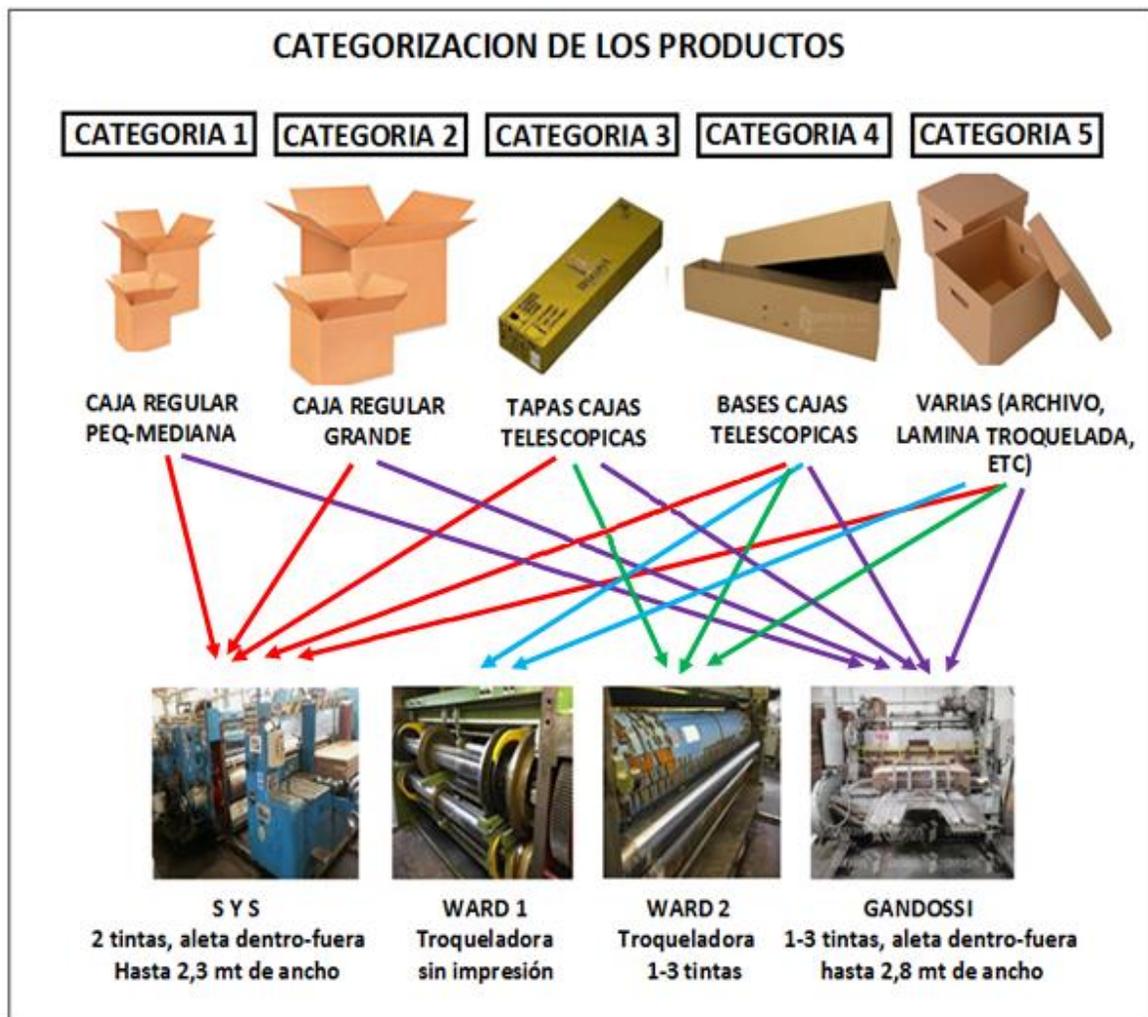
2. ANÁLISIS DE LA BASE DE DATOS OPERACIONALES CONSTRUIDA, CATEGORIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS Y ESTUDIO ESTADÍSTICO.

Se digitalizaron los reportes diarios de producción de 4 meses (Agosto, Septiembre, Octubre y Noviembre), se depuro la información y se obtuvo una base de datos con 31.219 celdas e información propia del proceso como son:

- Impresora utilizada
- Cliente, referencia, cantidad solicitada, clave
- Medidas de la lamina
- Cantidad de tintas
- Tiempo empleado
- Inconvenientes sucedidos
- Metros cuadrados procesados

Se organizo dicha información y se identificaron 5 categorías de productos así:

Figura 3 Categorización de los productos



Autor: Elaboración propia

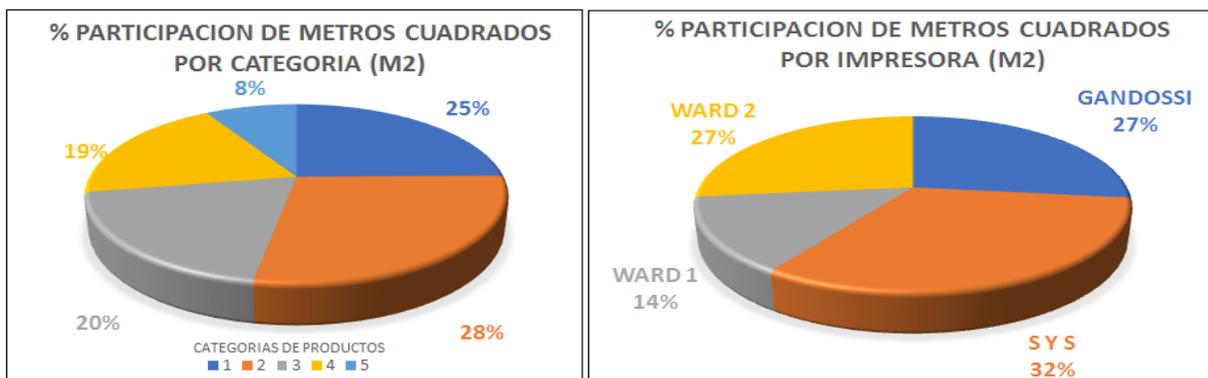
Figura 4 Producción y categorías por impresora

		Metros cuadrados	Total	% Categoría	% Impresora
SYS	Categoría 1	558.435	733.276	76%	33%
	Categoría 2	38.045		5%	
	Categoría 3	41.110		6%	
	Categoría 4	17.297		2%	
	Categoría 5	78.389		11%	
GANDOSI	Categoría 1	445	605.965	0%	27%
	Categoría 2	591.384		98%	
	Categoría 3	12.781		2%	
	Categoría 4	-		0%	
	Categoría 5	1.355		0%	
WARD 1	Categoría 4	247.875	312.498	79%	14%
	Categoría 5	64.623		21%	
WARD 2	Categoría 3	386.201	601.876	64%	27%
	Categoría 4	169.038		28%	
	Categoría 5	46.637		8%	
Total		2.253.615	2.253.615	400%	100%

Autor: Elaboración propia

En la impresora SYS y Gandossi se pueden procesar las 5 categorías de productos identificados, pero los alistamientos en la Gandossi requieren mucho tiempo por el gran tamaño de la máquina, entonces solo se utiliza para procesar cajas grandes y tapas de flores (categoría 3), en la gráfica anterior se evidencia que la impresora SYS procesa el 33% de los metros cuadrados, realizó 609 cambios de referencia que son el 51% y utilizó el 44% de las horas trabajadas totales, además es una máquina versátil y se tienen datos de proceso para todas las categorías (en la figura 6 se evidencia lo anterior), el desarrollo de los objetivos específicos serán sobre la impresora SYS por la disponibilidad de datos y utiliza la mayor cantidad de recurso humano en horas. En el sector cartonero la unidad de referencia para controlar los procesos no son las unidades procesadas sino los metros cuadrados procesados porque entre más grande sea la caja mayor es su valor, agrupando cada categoría y analizándola por metros cuadrados se obtiene:

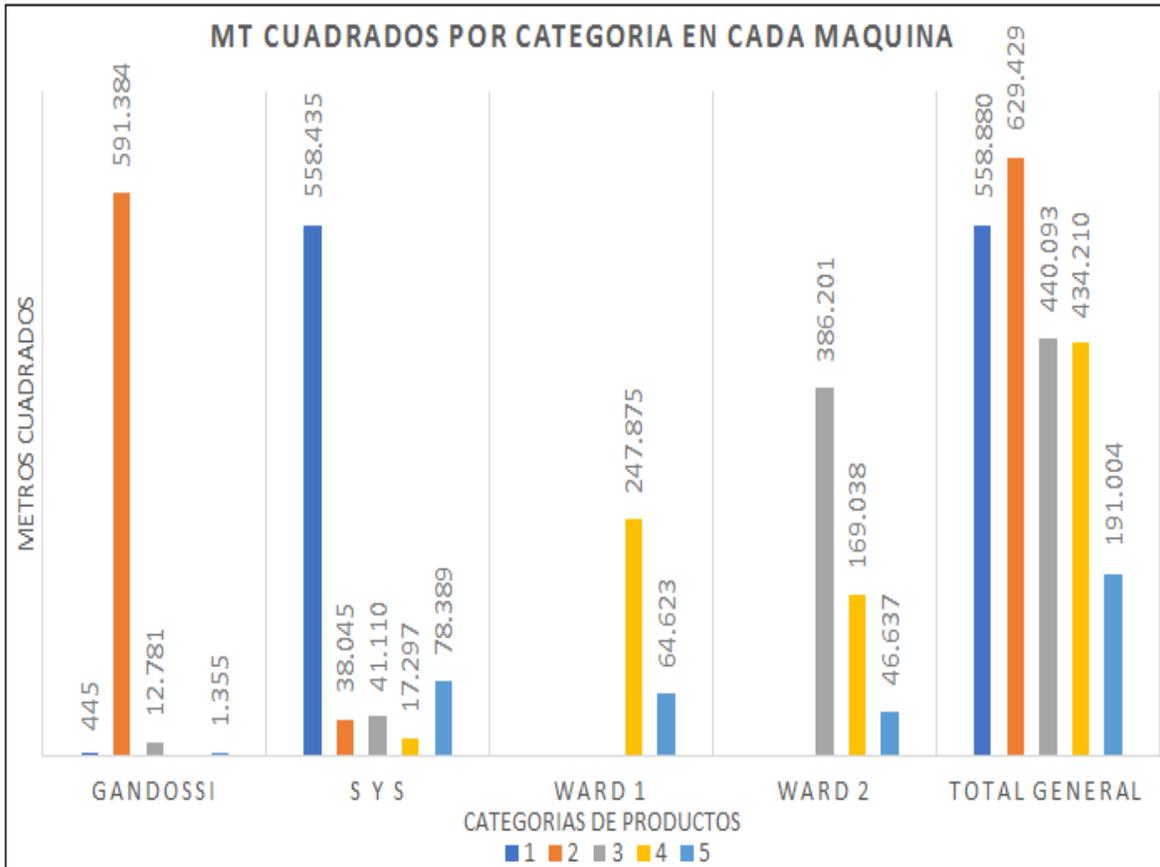
Figura 5 Metros cuadrados procesados por categoría e impresora



Autor: Elaboración propia

Al sintetizar los metros cuadrados procesados por las cuatro impresoras (figura 6) se evidencia que la categoría 2 de cajas grandes es la que mayor participación tiene con un 28%, seguida de las cajas pequeñas o medianas con un 25%. La impresora que procesa en mayoría la categoría 2 es la Gandossi que tiene un 27% de los metros cuadrados procesados totales igual que la Ward 2, mientras la SYS procesa el 32%, se demuestra que cada máquina se especializa en el procesamiento de alguna categoría de producto en específico, solo en la impresora S Y S se utilizó para fabricar productos de todas las categorías.

Figura 6 Discriminación de metros cuadrados en impresoras



Autor: Elaboración propia

El siguiente cuadro resume para cada impresora los metros cuadrados, horas, unidades, tiempos improductivos, los montajes realizados y el factor entre cada montaje, este factor va de 1 a 4 y significa:

- 1 = el nuevo montaje en máquina es exacto al anterior y no hay cambios de tinta o cuchillas ni lavado, no hay alistamiento.
- 2 = el nuevo montaje es parecido en algunos aspectos como las tintas, medidas o la aleta de la caja, teniendo un ahorro de tiempo en el alistamiento.
- 3 = el nuevo montaje no es parecido al anterior, implicando lavado y un alistamiento completo de la máquina.
- 4 = es el primer montaje del turno y hay que iniciar de 0.

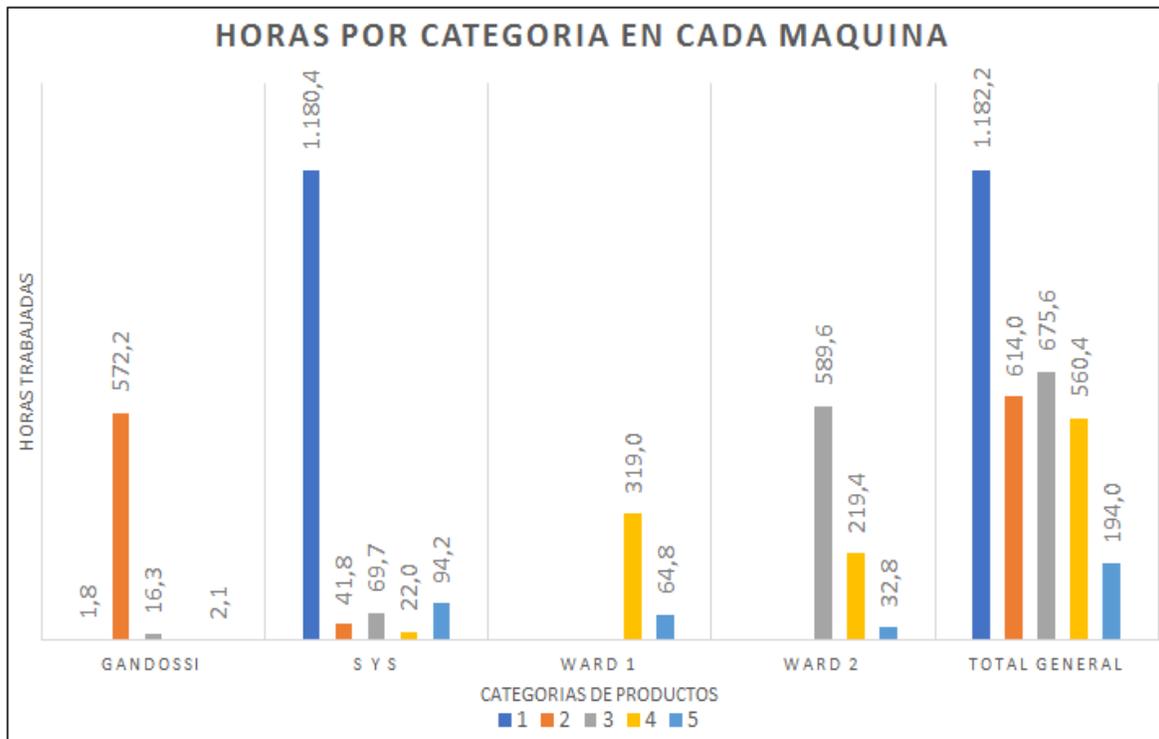
Tabla 1 Cifras operativas del proceso

IMPRESORA	METROS CUADRADOS (m2)		HORAS TRABAJADAS		UNIDADES PROCESADAS		TIEMPOS IMPRODUC H		MONTAJES REALIZADOS		FACTOR ENTRE MONTAJES Y % PARTICIPACION							
	1	%	1	%	1	%	1	%	1	%	1	%	2	%	3	%	4	%
GANDOSSI	605.965	27%	592	18%	323.690	14%	11,8	21%	165	14%	10	6,1%	64	38,8%	39	23,6%	52	31,5%
S Y S	733.277	33%	1.408	44%	1.011.815	44%	22,3	39%	609	51%	29	4,8%	281	46,1%	207	34,0%	92	15,1%
WARD 1	312.499	14%	384	12%	314.050	14%	6,0	11%	116	10%	14	12,1%	21	18,1%	46	39,7%	35	30,2%
WARD 2	601.876	27%	842	26%	634.810	28%	16,8	29%	304	25%	15	4,9%	98	32,2%	120	39,5%	71	23,4%
TOTALES	2.253.616	1	3.226	1	2.284.365	1	57	1	1.194	1	68	6%	464	39%	412	35%	250	21%

Autor: Elaboración propia

La impresora S Y S por la variedad de categorías que maneja tiene reportado la mayor cantidad de tiempos improductivos con 22.3 horas y la mayor cantidad de montajes con 609 cambios. Al analizar los Factores entre montaje se evidencia que los porcentajes con numero 1 son muy bajos al compararlos con otros factores, se entiende que eso se relaciona directamente con las ventas de la compañía, pero debe ser una meta a corto plazo lograr su incremento a la medida de lo posible, lo mismo ocurre con el factor 2, es necesario aumentar su porcentaje en cada máquina para tener mayor un mayor aprovechamiento de las impresoras.

Figura 7 Horas por categoría en cada maquina



Autor: Elaboración propia

Respecto a las horas trabajadas, la impresora S Y S con la categoría 1 es la que mayor participación en Mano de Obra Directa con el 43.6%, esto se debe a la gran cantidad de cambios que se realizan y que esta impresora puede procesar todas las referencias de productos identificados.

2.1 ANÁLISIS POR IMPRESORA.

Cada impresora tiene unas características distintas como cantidades de tintas, anchos y mínimos en la bandeja de entrada, disposición de aleta en las cajas, etc, al filtrar por cada impresora en la base de datos se pueden concluir puntos específicos sobre el procesamiento de cada categoría.

La impresora S Y S procesa principalmente la categoría 1, puede procesar cajas grandes, pero maniobrar lámina de grandes dimensiones en la bandeja de alimentación de la impresora es complicado porque no es tan espaciosa, además abrir las bandas de los cuerpos de impresión y troquelado es incómodo porque están por la parte inferior de la máquina, siendo muy demorado este tipo de alistamiento.

La impresora GANDOSI imprime hasta 3 tintas y maneja cuerpos impresores independientes, es una máquina muy robusta y grande, porque puede procesar lamina de amplias dimensiones, no se puede trabajar en paralelo los montajes en cada cuerpo impresor porque solo permite abrir 1 cuerpo y por restricciones de espacio, los montajes de cuchillería para caja regular son demorados por lo grandes de las cuchillas y porque los cilindros se encuentran a un nivel bajo del suelo teniendo el operario que agacharse en su alistamiento.

Las impresoras WARD 1 y 2 no pueden procesar cajas regulares porque no tienen el aditamento para hacer la aleta de estas cajas, se utilizan para procesar cajas de flores y archivo o lamina troquelada entre otras, en la WARD 1 no se puede imprimir y es 100% troqueladora, realizar los montajes de troqueles o cuchillería es sencillo porque los cilindros portatroqueles están a una altura promedio hombre siendo cómodo para el operario. La WARD 2 es una máquina que imprime y troquela a buena velocidad, su alistamiento es cómodo para montar las planchas y la tinta.

Los tiempos improductivos reportados se clasifican en la siguiente tabla y se explican en el análisis de cada impresora:

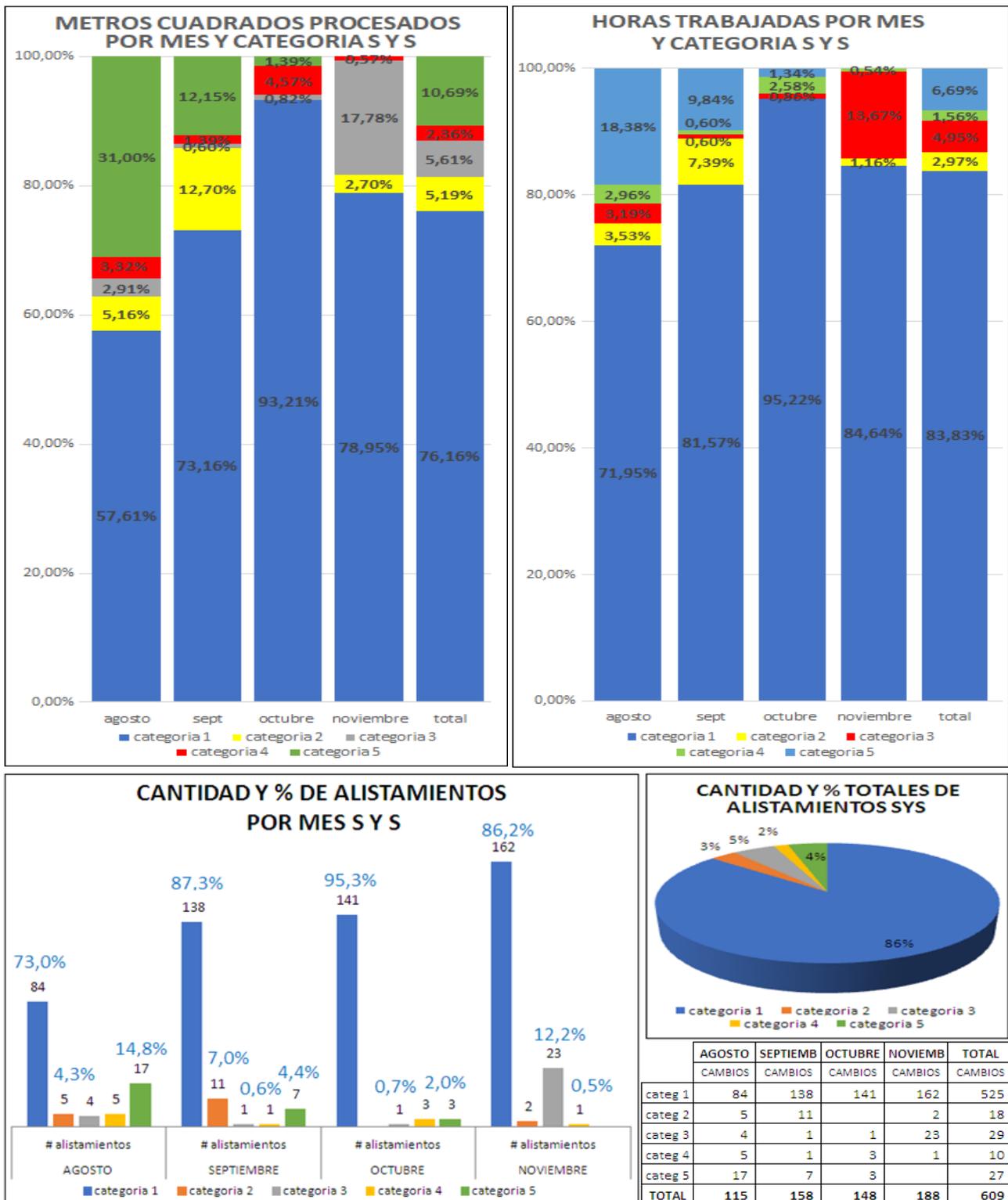
Tabla 2 Factores de tiempos improductivos reportados

FACTORES DE TIEMPOS IMPRODUCTIVOS IDENTIFICADOS		
01 PREPARACION DE TINTAS	08 DAÑO PLANCHA	15 ESPERANDO APROBACION
02 ASEO PUESTO DE TRABAJO	09 DAÑO MAQUINA	16 MP ONDULADA
03 MANTENIMIENTO MAQUINA	10 FALTA DE cuchillas	17 MP QUEBRADIZA
04 REUNIONES	11 FALTA ENERGIA ELECTRICA	18 LAVADO PLANCHAS Y CUBETAS
05 ORDEN Y ASEO PLANTA	12 FALTA AIRE	19 PROBLEMAS DE MEDIDAS DE LA LAMINA
06 BUSCANDO PLANCHAS	13 BUSCANDO LAMINA	20 ARREGLANDO MONTAJE PLANCHAS
07 ARMADO TROQUELES	14 BUSCANDO HERRAMIENTAS, CUCHILLAS, ETC	21 PROBLEMAS ZUNCHADORA

Autor: Elaboración propia

2.1.1 Impresora S Y S.

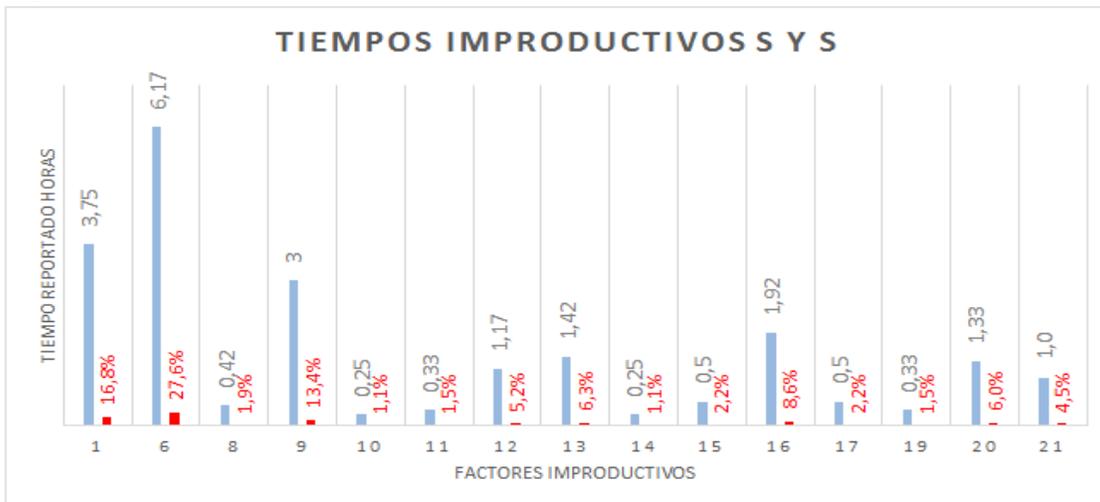
Figura 8 Producción y consumos impresora S Y S



Autor: Elaboración propia

Las anteriores graficas denotan que la categoría 1 es la más procesada en esta impresora, teniendo un 76.2% de metros cuadrados, un 83.3% de unidades entregadas (que no es muy diciente porque las medidas de cada referencia varían), un 83.8% de las horas trabajadas fue en la categoría 1, al revisar los factores de montaje identificados se encontró que de los 525 montajes que se realizaron en cajas de categoría 1 solo el 4% fueron factor 1 (igual al anterior), un 49% corresponde a factor 2 (parecido al anterior), 33% de los montajes no son parecidos al anterior (factor 3) requiriendo mayor tiempo de alistamiento y un 14% son el primer montaje del turno y se inician de cero (factor 4), con los anteriores datos se puede concluir que el factor 1 depende directamente del ingreso de pedidos y de los clientes que solicitan más de un pedido de una misma referencia porque sus destinos son distintos, o necesitan fecha de entrega diferente, proponer aumentar este factor requiere mayor gestión comercial que operativa, el factor 2 aunque tiene un 49% se puede aumentar con una secuenciación adecuada de los trabajos en máquina, los parámetros a tener en cuenta son variados (colores de las tintas, disposición de la aleta, medida de la lámina) y si se aprovecharan mejor, disminuiría el porcentaje del factor 3 y aumentaría el factor 2, reflejándose en mayor cantidad de metros cuadrados procesados por turno, también el porcentaje del factor 4 (14%) se puede disminuir si la secuenciación es larga y para el inicio del siguiente turno se pueden conservar la cuchillería o el sistema de cierre de la caja. En el Anexo A se presenta una tabla resumen que condensa los totales de unidades producidas, horas trabajadas, alistamientos por cada categoría de producto, los resultados de los factores de montaje y fue el insumo para la construcción de los anteriores gráficos.

Figura 9 Tiempos improductivos impresora S Y S



Autor: Elaboración propia

La búsqueda de las planchas es el tiempo improductivo más reportado con un 27 % y sucede porque al tener tantas referencias para esa impresora, los operarios dejan acumular el lavado de las planchas y cuando van a archivarlas por el afán las colocan en desorden en el cuarto de clises; cuando regresa otra vez un pedido de esa referencia no encuentran las planchas y surge esa demora. Se plantearán diversas alternativas de solución a estos inconvenientes en el desarrollo del segundo objetivo de este proyecto.

A continuación, se sintetizan los datos estadísticos de la impresora S Y S sobre los tiempos por unidad que se calcularon con los tiempos de proceso reportados. Luego se concentra puntualmente en la categoría 1 que es la de mayor concentración en la máquina y después se segrega por cada uno de los 4 factores de montaje identificados.

Tabla 3 Estadísticas impresora S Y S

<i>S Y S tiempo / unidad (min)</i>		<i>S Y S CATEGORIA 1 tiempo / unidad (min)</i>		<i>S Y S CATEGORIA 1 FACTOR 1 tiempo / unidad (min)</i>	
Media	0,094	Media	0,095	Media	0,048
Error típico	0,002	Error típico	0,002	Error típico	0,003
Mediana	0,083	Mediana	0,084	Mediana	0,045
Moda	0,08	Moda	0,12	Moda	0,059
Desviación estándar	0,042	Desviación estándar	0,042	Desviación estándar	0,012
Varianza de la muestra	0,002	Varianza de la muestra	0,002	Varianza de la muestra	0,000
Curtosis	4,714	Curtosis	4,995	Curtosis	-1,140
Coefficiente de asimetría	1,864	Coefficiente de asimetría	1,932	Coefficiente de asimetría	0,167
Rango	0,278	Rango	0,264	Rango	0,039
Mínimo	0,017	Mínimo	0,03	Mínimo	0,03
Máximo	0,294	Máximo	0,294	Máximo	0,069
Suma	57,120	Suma	50,046	Suma	1,017
Cuenta	609	Cuenta	526	Cuenta	21
Nivel de confianza(95,0%)	0,003	Nivel de confianza(95,0%)	0,004	Nivel de confianza(95,0%)	0,005

<i>S Y S CATEGORIA 1 FACTOR 2 tiempo / unidad (min)</i>		<i>S Y S CATEGORIA 1 FACTOR 3 tiempo / unidad (min)</i>		<i>S Y S CATEGORIA 1 FACTOR 4 tiempo / unidad (min)</i>	
Media	0,086	Media	0,109	Media	0,108
Error típico	0,002	Error típico	0,004	Error típico	0,005
Mediana	0,078	Mediana	0,095	Mediana	0,1
Moda	0,08	Moda	0,12	Moda	0,1
Desviación estándar	0,034	Desviación estándar	0,047	Desviación estándar	0,043
Varianza de la muestra	0,001	Varianza de la muestra	0,002	Varianza de la muestra	0,002
Curtosis	7,665	Curtosis	3,793	Curtosis	3,741
Coefficiente de asimetría	2,253	Coefficiente de asimetría	1,840	Coefficiente de asimetría	1,715
Rango	0,250	Rango	0,243	Rango	0,228
Mínimo	0,044	Mínimo	0,046	Mínimo	0,052
Máximo	0,294	Máximo	0,289	Máximo	0,28
Suma	22,288	Suma	19,074	Suma	7,667
Cuenta	259	Cuenta	175	Cuenta	71
Nivel de confianza(95,0%)	0,004	Nivel de confianza(95,0%)	0,007	Nivel de confianza(95,0%)	0,010

Autor: Elaboración propia

En el primer cuadro están las estadísticas de las 609 cifras de la impresora S Y S (todas las categorías y factores de montaje), teniendo una media de 0,094 y una desviación estándar de 0,042 que es casi la mitad de la media, mostrando que los datos tienen una variación alta respecto al promedio, tanto la media como la desviación van cambiando en cada uno de los cuadros a medida que se centran los datos en la categoría 1 que es la familia de productos propios para ser procesados en esta máquina y también por cada uno de los 4 factores de

montaje, con el factor 1 la media es de 0,048 y la desviación es de 0,012, un 25% de la media, evidenciando poca desviación entre los datos, en factor 2 la relación entre desviación y media es de 39%, para factor 3 esta relación es de 47% y en factor 4 da 39%, demostrando que los tiempos de alistamiento dan mayor variabilidad según el factor de montaje, para factor 1 el porcentaje es bajo porque no hay alistamiento, pero en los otros factores va aumentando. Se identificaron también los Coeficientes de Correlación entre las columnas de datos para identificar cuales tienen una relación directa entre sí, encontrando que los datos de las unidades entregadas y los metros cuadrados totales tienen relación con el tiempo de proceso reportado, lo mismo pasa con el tiempo unitario con el tiempo unitario multiplicado por el factor de montaje, esto significa que el factor de montaje influye considerablemente en el tiempo unitario.

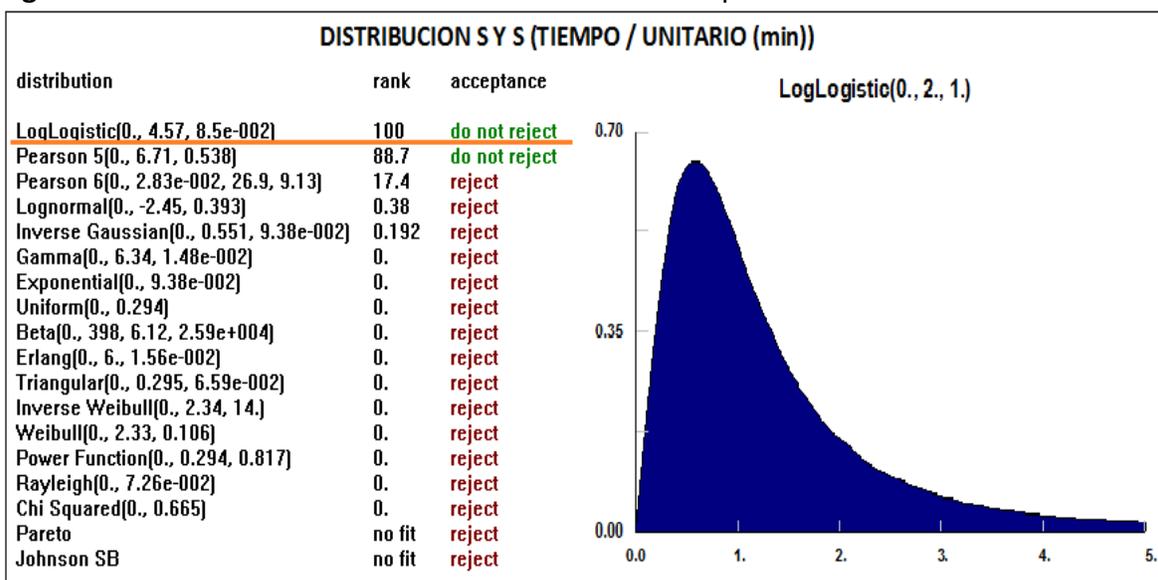
Tabla 4 Correlación de variables impresora S Y S

TABLA DE VALORES DE ASOCIACION	COEFICIENTES DE CORRELACION	
-1.0 y -0.8 --> la correlación es muy alta y es inversa	UNIDADES ENTREGADAS VS TIEMPO PROCESO REPORTADO (MIN)	0,749
-0.8 y -0.6 --> la correlación es alta y es inversa	METROS CUADRADOS TOTALES (m2) VS TIEMPO PROCESO REPORTADO (MIN)	0,743
-0.6 y -0.4 --> la correlación es normal y es inversa	tiempo / unidad (min) VS tiempo unit x factor montaje	0,877
-0.4 y -0.2 --> la correlación es baja y es inversa	METROS CUADRADOS TOTALES (m2) VS tiempo / unidad (min)	-0,183
-0.2 y 0.2 --> la correlación es muy baja o nula.	UNIDADES ENTREGADAS vs tiempo / unidad (min)	-0,442
0.2 y 0.4 --> la correlación es baja y es directa	tiempo / unidad (min) VS factor montaje	0,272
0.4 y 0.6 --> la correlación es normal y es directa	tiempo / unidad (min) VS factor montaje X m2	-0,208
0.6 y 0.8 --> la correlación es alta y es directa	tiempo / unidad (min) VS TIEMPO PROCESO REPORTADO (MIN)	0,039
0.8 y 1.0 --> la correlación es muy alta y es directa	tiempo / unidad (min) VS No tintas	0,266

Autor: Elaboración propia

Los 609 datos de proceso del tiempo unitarios de la impresora S Y S corresponden a una distribución logarítmica como lo muestra la siguiente gráfica:

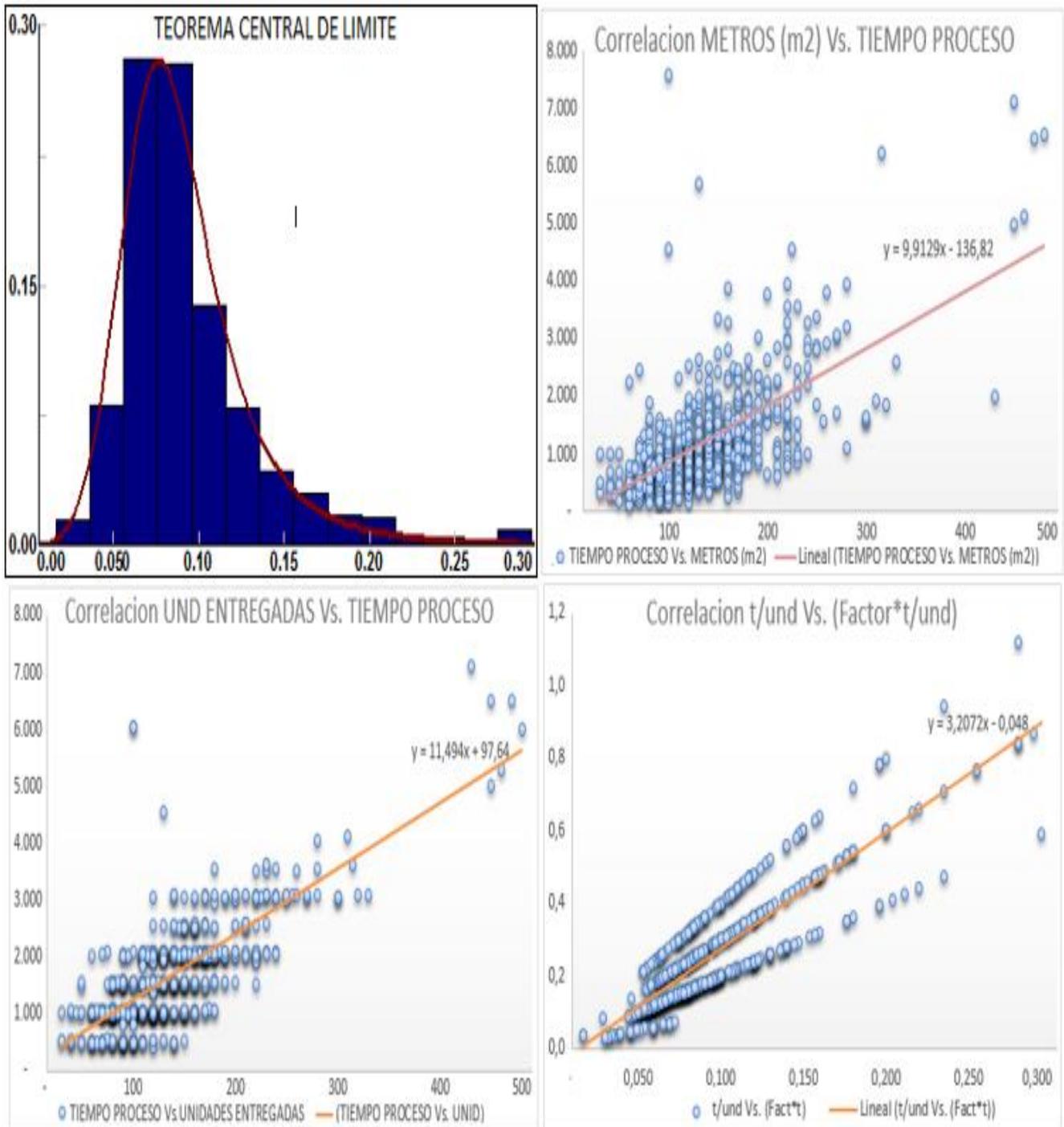
Figura 10 Grafica de la distribución de los datos de la impresora S Y S



Autor: Elaboración propia

Se grafico también el teorema central del límite para estos datos y la correlación que existen entre las variables, estos análisis solo se efectuaron para esta máquina, por ser la que se utilizara en los demás objetivos específicos del proyecto.

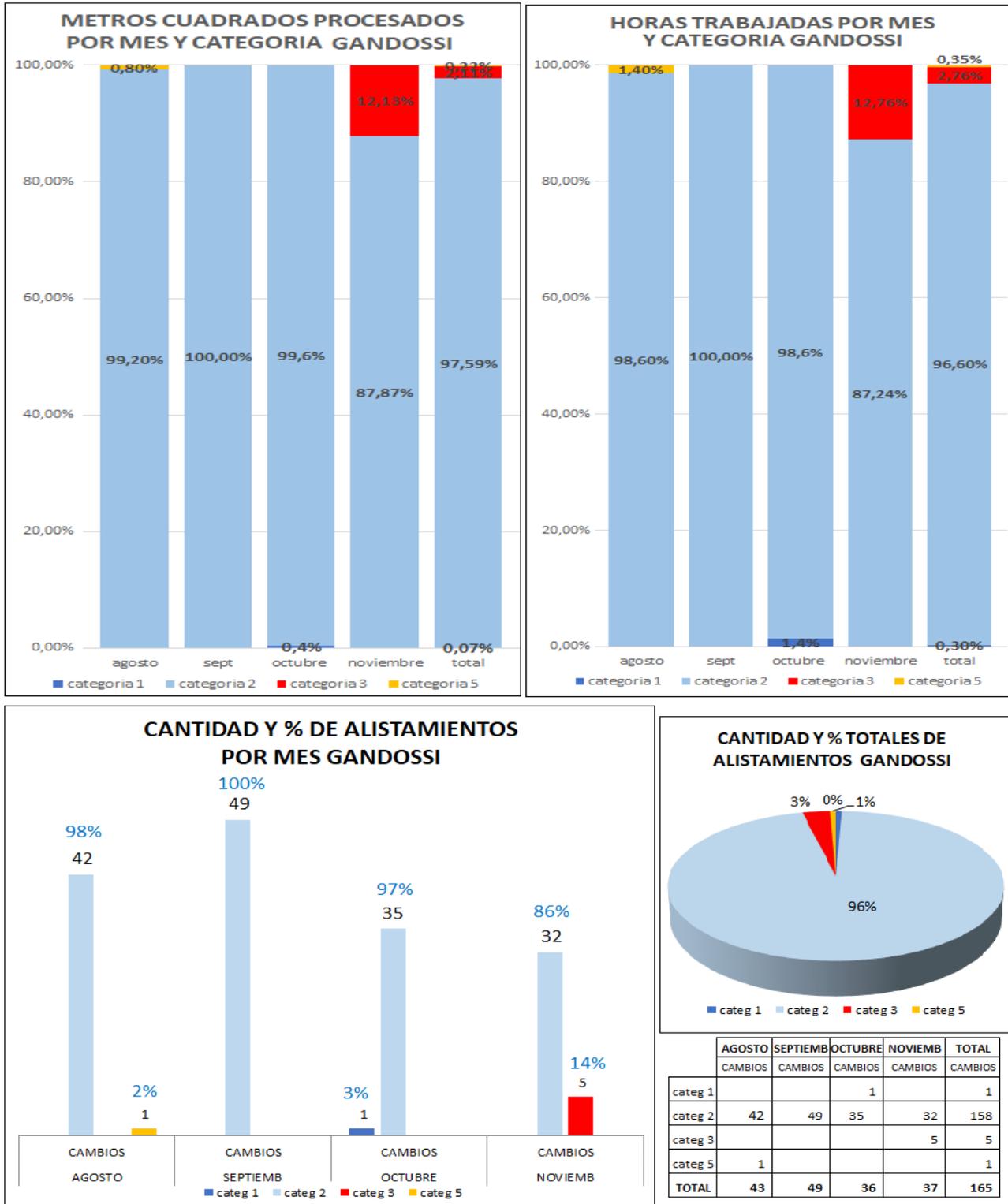
Figura 11 Gráficos de teorema central y correlación de variables impresora S Y S



Autor: Elaboración propia

2.1.2 Impresora GANDOSI.

Figura 12 Producción y consumos impresora GANDOSI

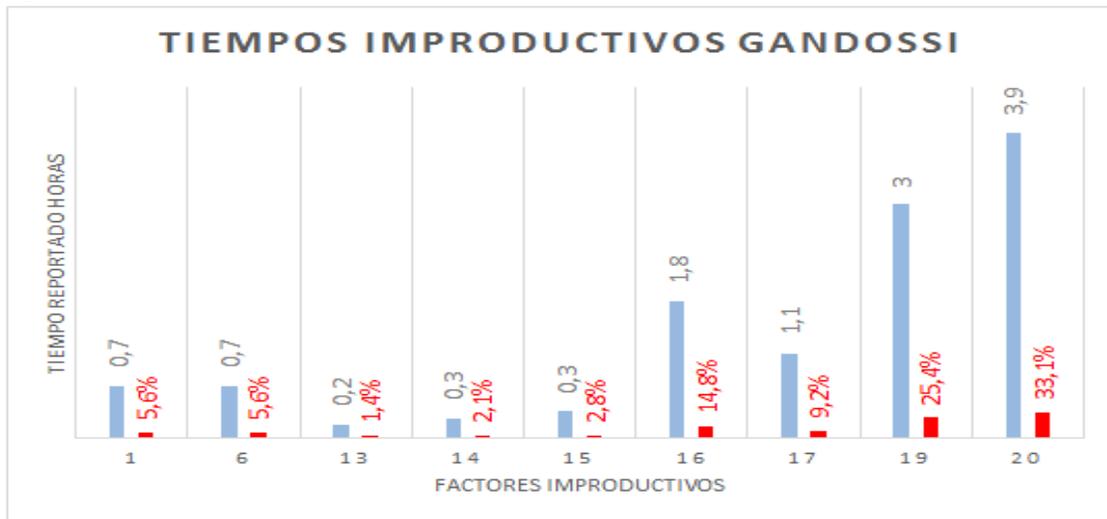


Autor: Elaboración propia

La impresora Gandossi proceso el 27% de los metros cuadrados de toda la planta por el tamaño grande de las cajas que maneja, el cuadro resumen y los graficos de metros cuadrados, horas trabajadas, numero de alistamientos en la impresora Gandossi muestran que la categoria 2 tiene un 97.6 % de metros cuadrados, un 96.4 % de unidades entregadas, 96.63 % de horas trabajadas. Como se explico anteriormente esta impresora se utiliza para procesar cajas con medidas de lamina grandes (mas de 185 cm de largo hasta 3 metros), se puede procesar cajas de categoria 1 pero al ser los cuerpos impresores robustos, realizar un alistamiento es muy demorado y para eso se tiene la impresora S Y S. Al analizar la categoria 2, los factores de montaje estan distribuidos asi: con factor 1 solo un 6%, en factor 2 un 38%, factor 3 un 24% y factor 4 un 32%, se aclara que los pedidos o referencias que se procesan en esta impresora son muy especificos, maneja unos clientes puntuales y en varios casos para evitar el lavado de más de una maquina por tripulacion, despues de terminar un pedido asignan una OP de distinta categoria a la 2 para no tener que usar otra maquina y tener doble lavado, tienen en cuenta que las medida de largo no sea tan corta y la procesan por la Gandossi, no es la mejor decisión pero compensa con el ahorro de doble lavado de maquina.

Igual que en el analisis de la impresora S Y S, hay que aumentar la cantidad de montajes con factor 1 y 2, disminuir los factores 3 y 4 para lograr una mayor productividad y menos tiempo de alistamiento. En el Anexo B se sintetizan todos las cifras operativas de esta máquina.

Figura 13 Tiempos improductivos impresora GANDOSI



Autor: Elaboración propia

Los factores 19 y 20 corresponden a problemas de medidas de la lámina y arreglo del montaje de planchas, el primero ocurre en la máquina corrugadora y significa que el cutter que realiza el corte del largo de la lámina falla quedando de una medida distinta a la solicitada (más larga o corta, ocurre generalmente con largos superiores a 2 metros), teniendo el operario que alimenta la impresora escoger y separar dicha lamina NC. El arreglo de montaje sucede porque las planchas son de medidas grandes y como se adhieren por cinta doble faz al plástico porta plancha y se colocan en los rodillos de la impresora se pueden mover o desplazar por su peso quedando corridos al momento de imprimir.

Tabla 5 Estadísticas impresora GANDOSI

<i>GANDOSI tiempo / unidad (min)</i>		<i>GANDOSI CATEGORIA 2 tiempo / unidad (min)</i>		<i>GANDOSI CATEGORIA 2 FACTOR 1 tiempo / unidad (min)</i>	
Media	0,117	Media	0,118	Media	0,066
Error típico	0,003	Error típico	0,003	Error típico	0,004
Mediana	0,111	Mediana	0,112	Mediana	0,063
Moda	0,1	Moda	0,1	Moda	#N/A
Desviación estándar	0,037	Desviación estándar	0,037	Desviación estándar	0,013
Varianza de la muestra	0,001	Varianza de la muestra	0,001	Varianza de la muestra	2E-04
Curtosis	3,426	Curtosis	3,441	Curtosis	1,39
Coefficiente de asimetría	1,236	Coefficiente de asimetría	1,264	Coefficiente de asimetría	1,442
Rango	0,236	Rango	0,236	Rango	0,039
Mínimo	0,044	Mínimo	0,044	Mínimo	0,054
Máximo	0,28	Máximo	0,28	Máximo	0,093
Suma	19,28	Suma	18,72	Suma	0,657
Cuenta	165	Cuenta	159	Cuenta	10
Nivel de confianza(95,0%)	0,006	Nivel de confianza(95,0%)	0,006	Nivel de confianza(95,0%)	0,009

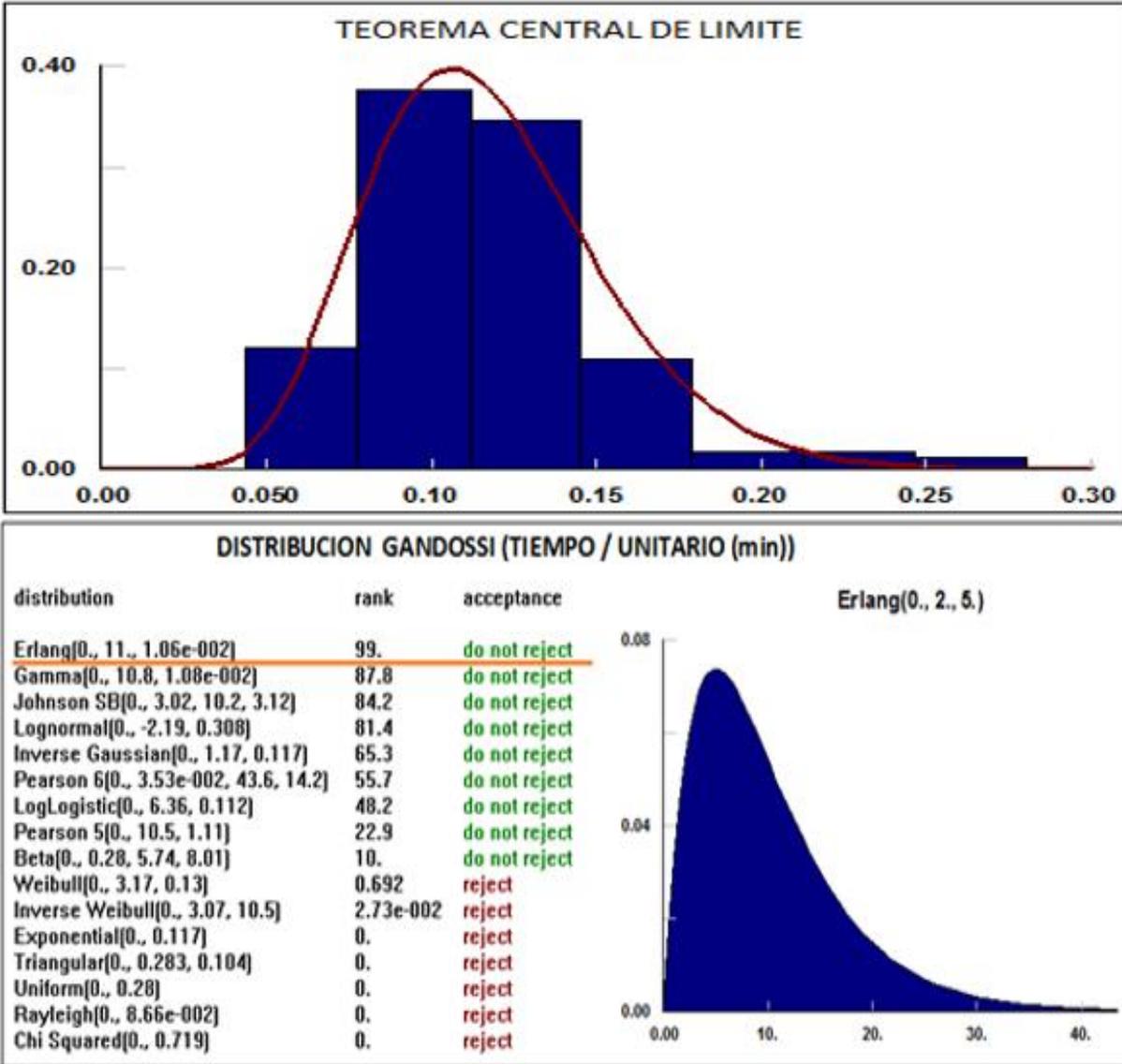
<i>GANDOSI CATEGORIA 2 FACTOR 2 tiempo / unidad (min)</i>		<i>GANDOSI CATEGORIA 2 FACTOR 3 tiempo / unidad (min)</i>		<i>GANDOSI CATEGORIA 2 FACTOR 4 tiempo / unidad (min)</i>	
Media	0,112	Media	0,123	Media	0,131
Error típico	0,004	Error típico	0,007	Error típico	0,004
Mediana	0,107	Mediana	0,11	Mediana	0,135
Moda	0,12	Moda	0,13	Moda	0,1
Desviación estándar	0,034	Desviación estándar	0,042	Desviación estándar	0,029
Varianza de la muestra	0,001	Varianza de la muestra	0,002	Varianza de la muestra	8E-04
Curtosis	2,584	Curtosis	7,312	Curtosis	0,797
Coefficiente de asimetría	1,212	Coefficiente de asimetría	2,508	Coefficiente de asimetría	0,583
Rango	0,186	Rango	0,203	Rango	0,139
Mínimo	0,044	Mínimo	0,077	Mínimo	0,077
Máximo	0,23	Máximo	0,28	Máximo	0,216
Suma	6,848	Suma	4,666	Suma	6,548
Cuenta	61	Cuenta	38	Cuenta	50
Nivel de confianza(95,0%)	0,009	Nivel de confianza(95,0%)	0,014	Nivel de confianza(95,0%)	0,008

Autor: Elaboración propia

Igual que con los datos estadísticos de la impresora S Y S, la desviación estándar disminuye cuando el factor de montaje es 1, dando una relación entre la media y la desviación de 19%, inferior a la relación cuando el factor de montaje es de 2 (30%), factor de montaje 3 (34%) y factor de montaje 4 (22%).

Los datos de la impresora GANDOSI también cumplen el teorema central del límite y corresponde a una distribución Erlang.

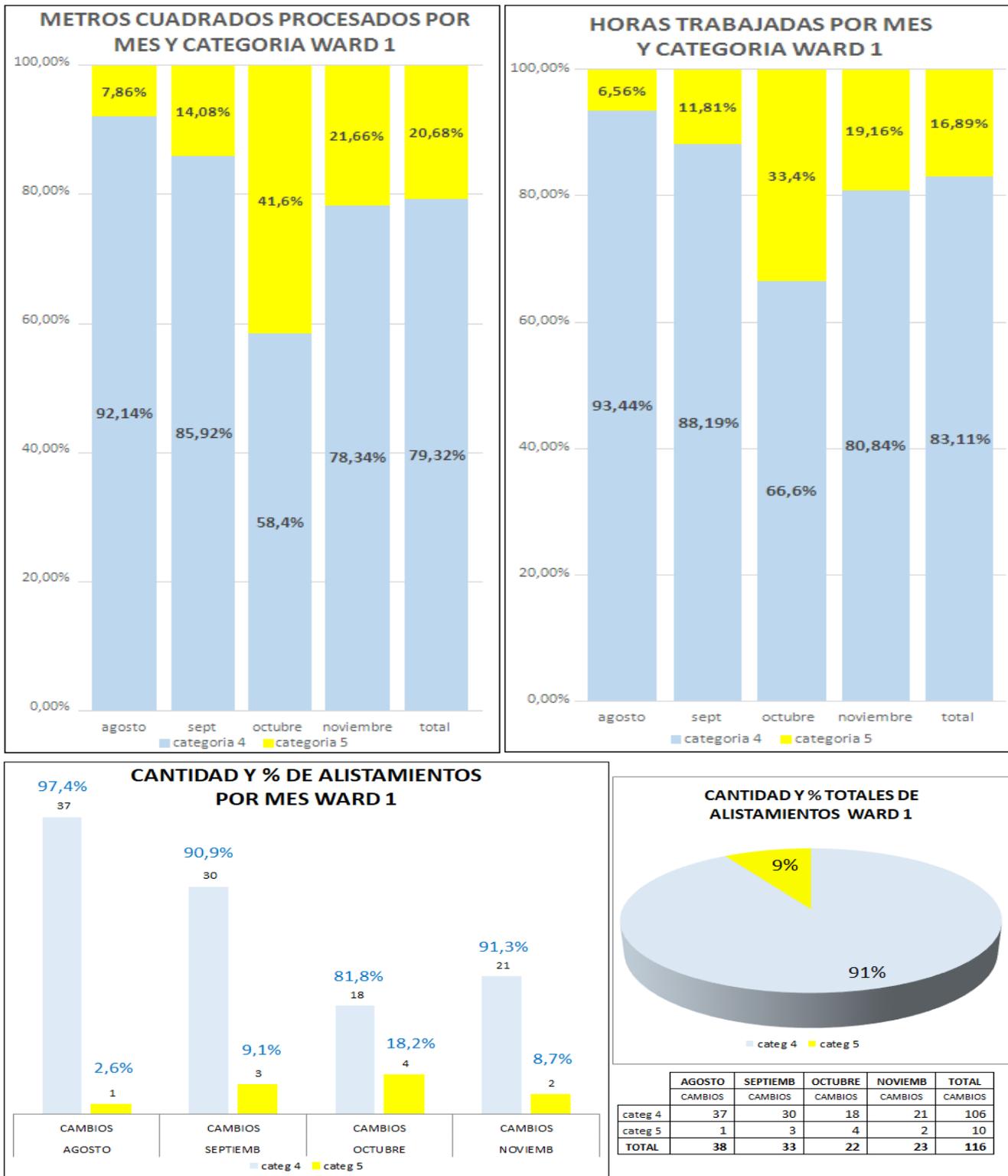
Figura 14 Gráficos de teorema central y correlación de variables impresora GANDOSI



Autor: Elaboración propia

2.1.3 Impresora WARD 1.

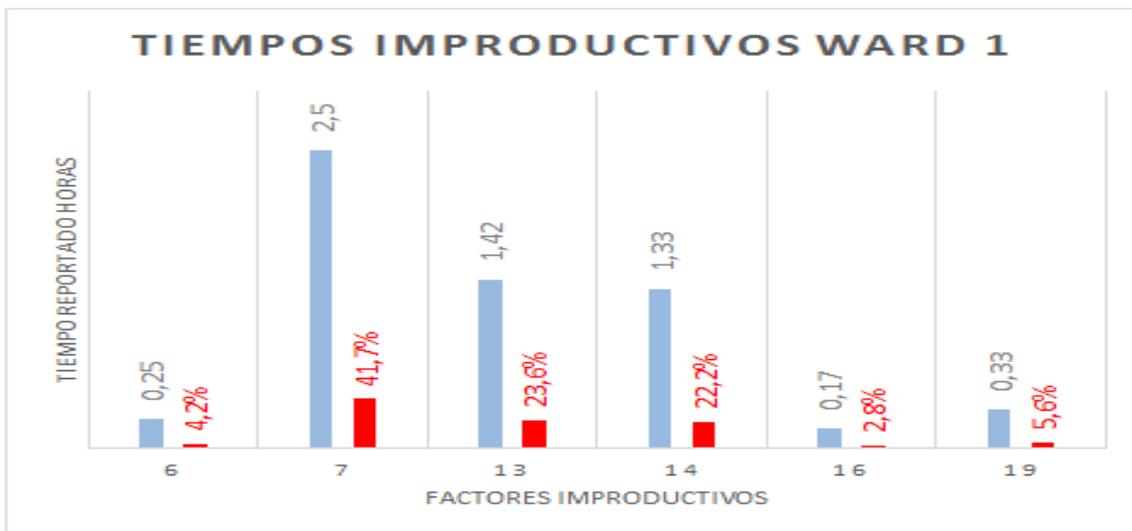
Figura 15 Producción y consumos impresora WARD 1



Autor: Elaboración propia

La troqueladora Ward 1 no posee cuerpos impresores, solo tiene cuerpo troquelador, entonces solo puede procesar bases de cajas para flores (categoría 4), cajas troqueladas de archivo sin impresión y lamina troquelada (categoría 5), los alistamientos son cortos, proceso el 14% de los metros cuadrados totales de la planta y tiene el 12% del total de horas trabajadas, al analizar las 2 categorías que se procesan en esta impresora, la categoría 4 tiene un 79.3% de metros procesados, un 83.1% de las horas procesadas, los factores de montaje están distribuidos en 12% de factor 1, un 15% de factor 2, un 43% de factor 3 y el factor 4 con un 29%. El factor 3 es muy elevado considerando que la cantidad de pedidos son relativamente bajos al compararlos con otra impresora, es necesario convertirlos a factor 2. En el Anexo C se sintetizan todos las cifras operativas de esta máquina.

Figura 16 Tiempos improductivos impresora WARD 1



Autor: Elaboración propia

La impresora WARD 1 es una máquina sin impresión, es una troqueladora robusta y sus montajes dependen de los cortes solicitados para cada trabajo, pueden ser con troquel entero o armado de cuchillería, ese es el factor reportado: armado de troqueles, y más cuando en la máquina no se encuentran las cuchillas y toca buscarlas en otras máquinas.

Tabla 6 Estadísticas impresora WARD 1

<i>WARD 1 tiempo / unidad (min)</i>		<i>WARD 1 CATEGORIA 4 tiempo / unidad (min)</i>		<i>WARD 1 CATEGORIA 4 FACTOR 1 tiempo / unidad (min)</i>	
Media	0,075	Media	0,076	Media	0,048
Error típico	0,002	Error típico	0,002	Error típico	0,003
Mediana	0,071	Mediana	0,073	Mediana	0,046
Moda	0,06	Moda	0,06	Moda	0,037
Desviación estándar	0,024	Desviación estándar	0,024	Desviación estándar	0,01
Varianza de la muestra	6E-04	Varianza de la muestra	6E-04	Varianza de la muestra	1E-04
Curtosis	12,44	Curtosis	11,56	Curtosis	-1,52
Coefficiente de asimetría	2,401	Coefficiente de asimetría	2,315	Coefficiente de asimetría	0,181
Rango	0,186	Rango	0,186	Rango	0,03
Mínimo	0,034	Mínimo	0,034	Mínimo	0,034
Máximo	0,22	Máximo	0,22	Máximo	0,064
Suma	8,723	Suma	8,028	Suma	0,619
Cuenta	116	Cuenta	106	Cuenta	13
Nivel de confianza(95,0%)	0,004	Nivel de confianza(95,0%)	0,005	Nivel de confianza(95,0%)	0,006

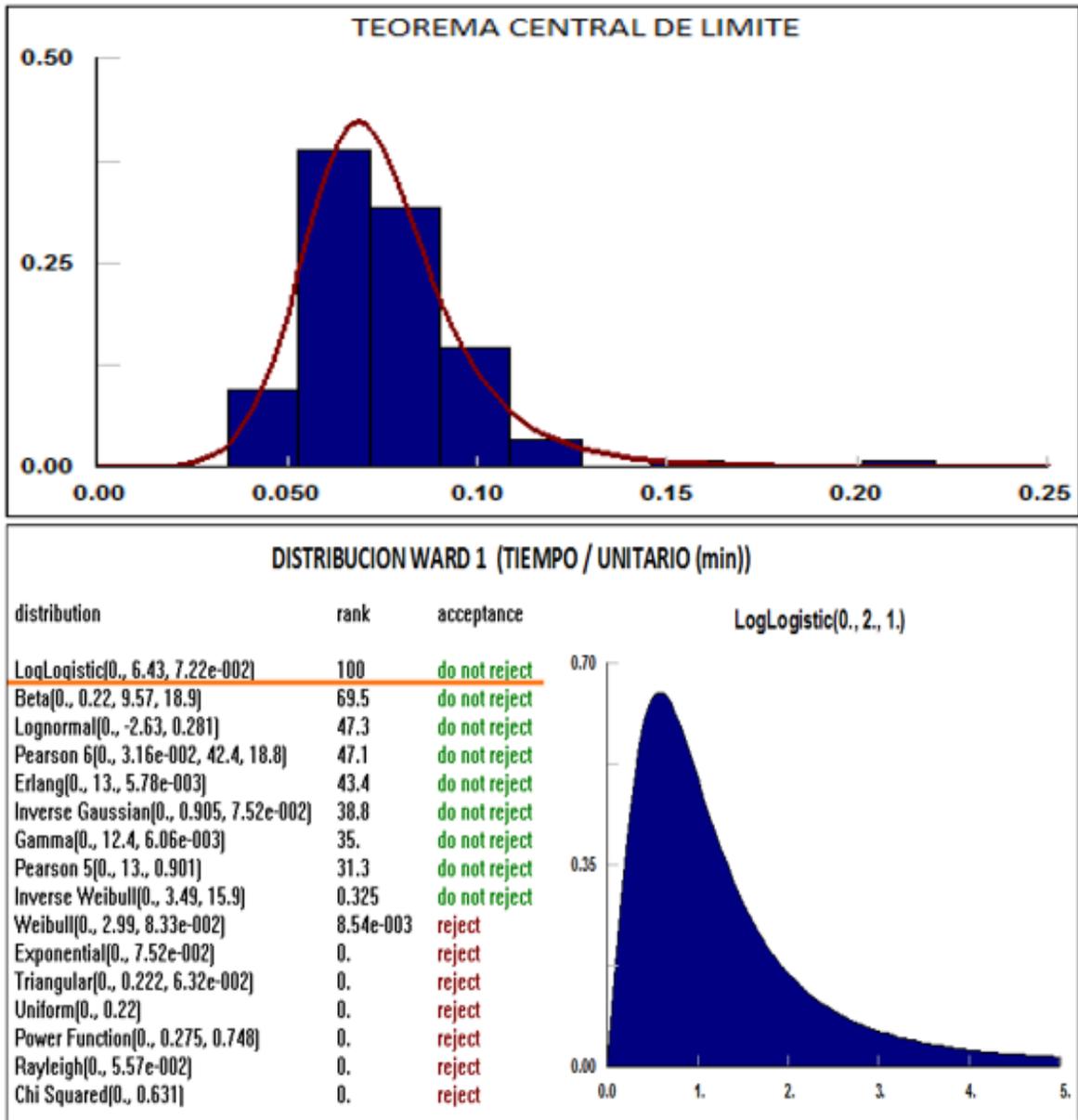
<i>WARD 1 CATEGORIA 4 FACTOR 2 tiempo / unidad (min)</i>		<i>WARD 1 CATEGORIA 4 FACTOR 3 tiempo / unidad (min)</i>		<i>WARD 1 CATEGORIA 4 FACTOR 4 tiempo / unidad (min)</i>	
Media	0,072	Media	0,084	Media	0,084
Error típico	0,004	Error típico	0,004	Error típico	0,004
Mediana	0,069	Mediana	0,076	Mediana	0,076
Moda	0,08	Moda	0,093	Moda	0,093
Desviación estándar	0,015	Desviación estándar	0,029	Desviación estándar	0,029
Varianza de la muestra	2E-04	Varianza de la muestra	8E-04	Varianza de la muestra	8E-04
Curtosis	1,393	Curtosis	11,15	Curtosis	11,15
Coefficiente de asimetría	1,097	Coefficiente de asimetría	2,804	Coefficiente de asimetría	2,804
Rango	0,056	Rango	0,17	Rango	0,17
Mínimo	0,054	Mínimo	0,05	Mínimo	0,05
Máximo	0,11	Máximo	0,22	Máximo	0,22
Suma	1,154	Suma	3,842	Suma	3,842
Cuenta	16	Cuenta	46	Cuenta	46
Nivel de confianza(95,0%)	0,008	Nivel de confianza(95,0%)	0,009	Nivel de confianza(95,0%)	0,009

Autor: Elaboración propia

La relación entre la media y desviación estándar en los datos de la impresora WARD 1, igual que en las anteriores dos impresoras disminuye con los datos de factor de montaje 1 (20%) y va aumentando con los factores 2 (22%), factor 3 (34%) y con el factor 4 (35%).

También los datos de la impresora WARD 1 cumplen el teorema central de límite central y corresponden a una distribución logarítmica

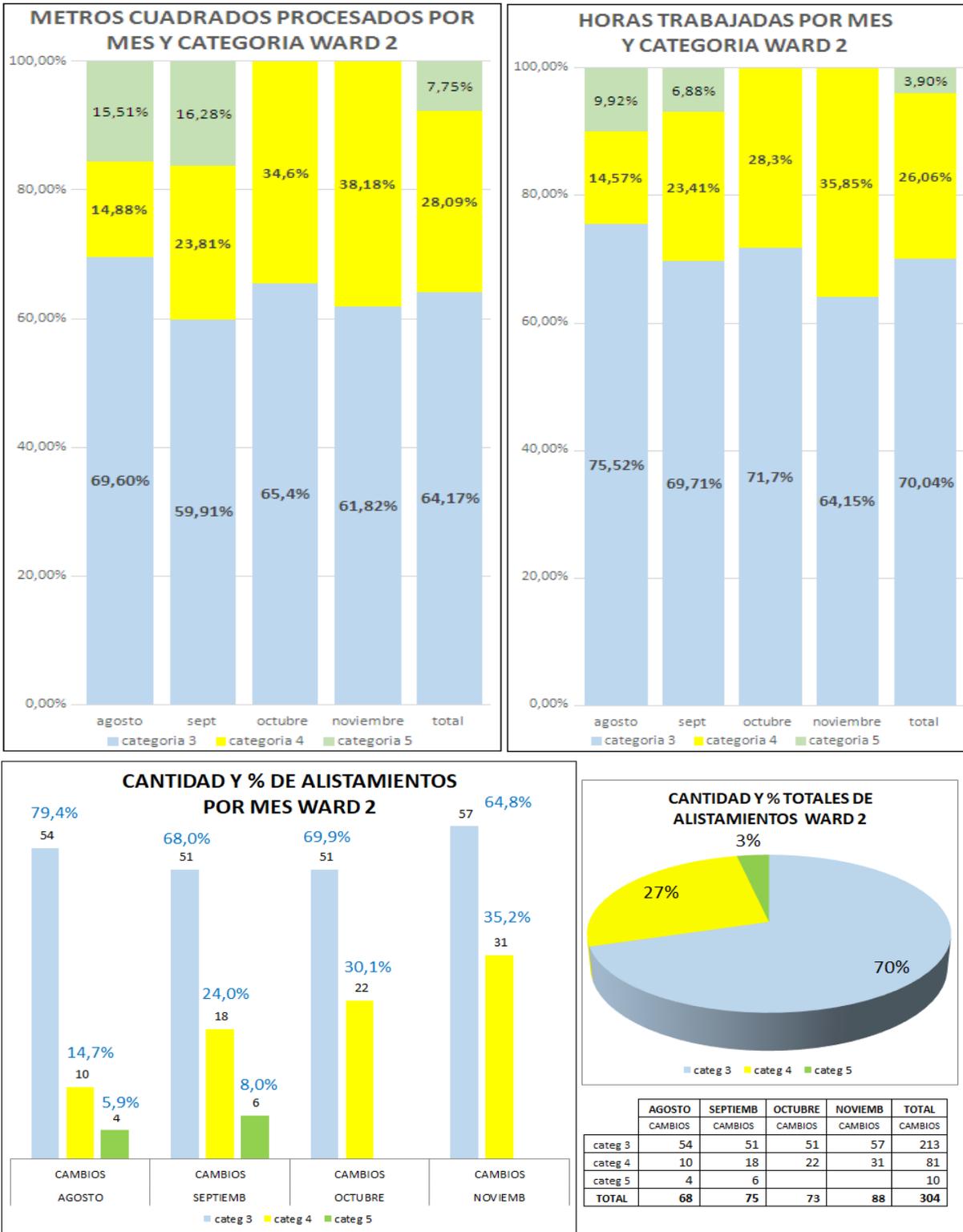
Figura 17 Gráficos de teorema central y correlación de variables impresora WARD 1



Autor: Elaboración propia

2.1.4 Impresora WARD 2.

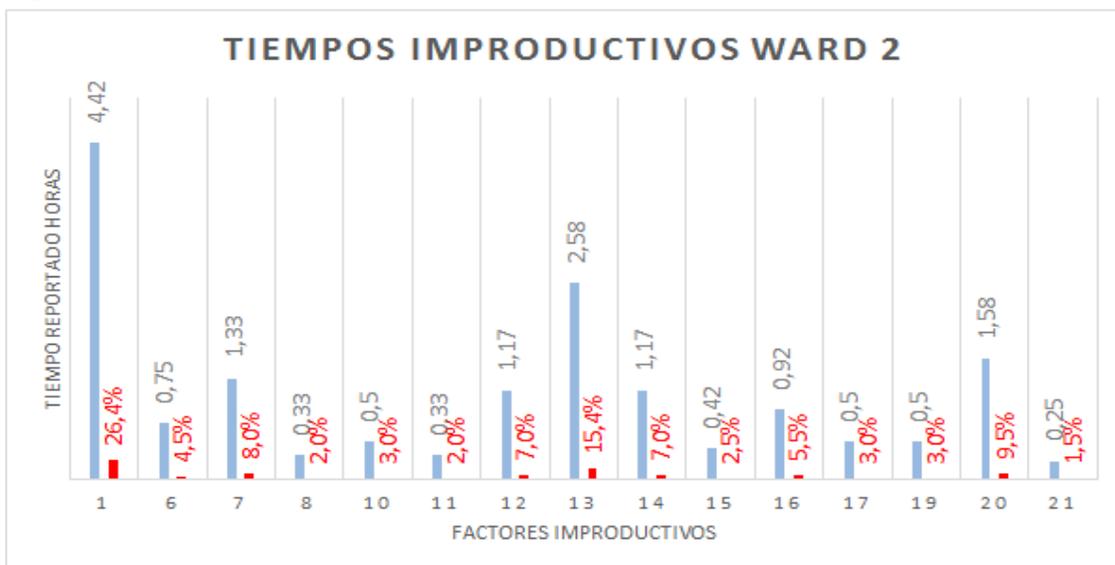
Figura 18 Producción y consumos impresora WARD 2



Autor: Elaboración propia

La impresora WARD2 proceso el 24 % de los montajes de toda la planta (304 montajes), es la segunda despues de la S Y S, la categoria 3 es la mas representativa con un 64.2 % de metros cuadrados, seguido de la categoria 4 con un 28.1%, no se deberia procesar bases de flores por esta maquina, para eso esta la WARD 1 que solo troquela, pero por razones de agilizar montaje, se procesan primero las tapas de varios pedidos que comparten las mismas tintas y despues las bases, como las medidas son parecidas solo hay reajustar la cuchilleria, en cambio si se pasan a la otra maquina, hay que comenzar de cero el alistamiento. Solo hay un 5% con factor 1 y como en las otras impresoras, esto no depende de produccion sino de ventas, pero los factores de montaje son muy cercanos entre el factor 2 (34%) y el factor 3 (37%), pudiendose incrementar el factor 2 con la secuenciacion de tareas, asi mismo el factor 4 que tine un 24% se puede disminuir tambien con la programacion de tareas. En el Anexo D se sintetizan todos las cifras operativas de esta máquina.

Figura 19 Tiempos improductivos impresora WARD 2



Autor: Elaboración propia

El principal factor reportado en la WARD 2 es la preparación de tintas con 26.4%, la categoría de mayor participación en esta máquina son las tapas de flores, que tienen en su impresión colores llamativos que por lo general no están en la pantonera sino hay que prepararlos y acercarlos a muestra, como los pedidos de flores son inciertos en las distintas referencias de cajas que manejan y las tintas tienen fecha de vencimiento y después de abiertas se deben utilizar prontamente o pierden sus características fisicoquímicas no se puede contar con un stock muy grande de tinta, además las tintas son usadas en 3 impresoras en distintos pedidos y al devolver los sobrantes después del proceso quedan desniveladas al tono inicial.

Tabla 7 Estadísticas impresora WARD 2

<i>WARD 2 tiempo /unidad (min)</i>		<i>WARD 2 CATEGORIA 3 tiempo /unidad (min)</i>		<i>WARD 2 CATEGORIA 3 FACTOR 1 tiempo /unidad (min)</i>	
Media	0,089	Media	0,095	Media	0,05
Error típico	0,002	Error típico	0,003	Error típico	0,004
Mediana	0,081	Mediana	0,087	Mediana	0,047
Moda	0,1	Moda	0,1	Moda	#N/A
Desviación estándar	0,035	Desviación estándar	0,037	Desviación estándar	0,013
Varianza de la muestra	0,001	Varianza de la muestra	0,001	Varianza de la muestra	2E-04
Curtosis	5,786	Curtosis	5,021	Curtosis	2,448
Coefficiente de asimetría	1,884	Coefficiente de asimetría	1,907	Coefficiente de asimetría	1,429
Rango	0,24	Rango	0,225	Rango	0,045
Mínimo	0,02	Mínimo	0,035	Mínimo	0,035
Máximo	0,26	Máximo	0,26	Máximo	0,08
Suma	26,95	Suma	20,32	Suma	0,548
Cuenta	304	Cuenta	213	Cuenta	11
Nivel de confianza(95,0%)	0,004	Nivel de confianza(95,0%)	0,005	Nivel de confianza(95,0%)	0,009

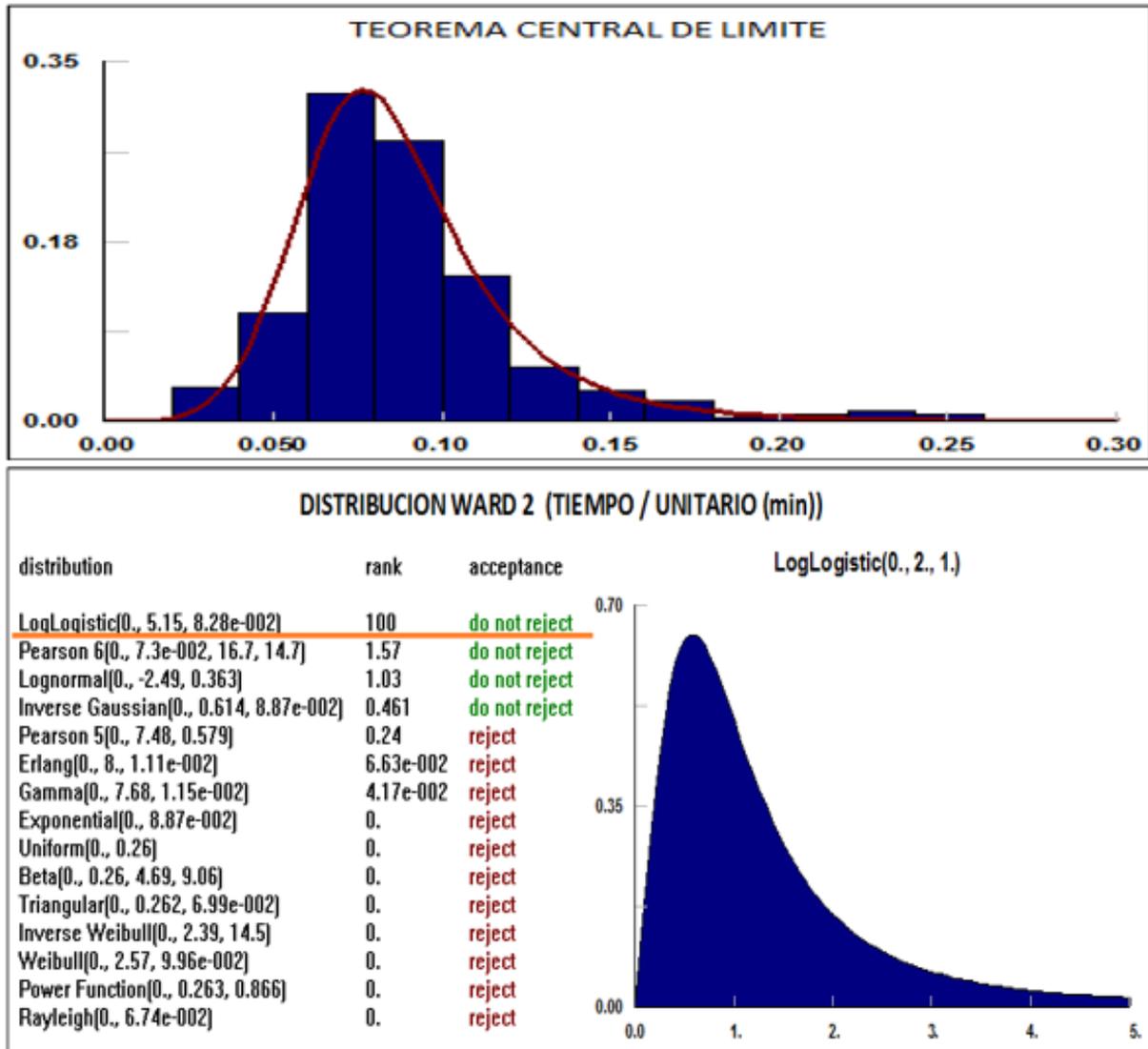
<i>WARD 2 CATEGORIA 3 FACTOR 2 tiempo /unidad (min)</i>		<i>WARD 2 CATEGORIA 3 FACTOR 3 tiempo /unidad (min)</i>		<i>WARD 2 CATEGORIA 3 FACTOR 4 tiempo /unidad (min)</i>	
Media	0,085	Media	0,105	Media	0,106
Error típico	0,003	Error típico	0,005	Error típico	0,005
Mediana	0,076	Mediana	0,093	Mediana	0,098
Moda	0,1	Moda	0,1	Moda	0,137
Desviación estándar	0,028	Desviación estándar	0,041	Desviación estándar	0,033
Varianza de la muestra	8E-04	Varianza de la muestra	0,002	Varianza de la muestra	0,001
Curtosis	7,325	Curtosis	5,297	Curtosis	2,411
Coefficiente de asimetría	2,33	Coefficiente de asimetría	2,187	Coefficiente de asimetría	1,426
Rango	0,168	Rango	0,211	Rango	0,154
Mínimo	0,052	Mínimo	0,049	Mínimo	0,066
Máximo	0,22	Máximo	0,26	Máximo	0,22
Suma	6,187	Suma	8,165	Suma	5,423
Cuenta	73	Cuenta	78	Cuenta	51
Nivel de confianza(95,0%)	0,007	Nivel de confianza(95,0%)	0,009	Nivel de confianza(95,0%)	0,009

Autor: Elaboración propia

La impresora WARD 2 tiene más datos que la WARD 1 por tener rodillos impresores, la relación entre la media y desviación estándar de los 304 datos (39%) disminuye a 26% en el factor 1, luego se incrementa a 33% al tener alistamiento, pasa a 39% por ser el alistamiento más complicado y finalmente para el factor 4 es de 32%.

La distribución para los datos de la impresora WARD 2 es logarítmica y también cumple el teorema de limite central.

Figura 20 Gráficos de teorema central y correlación de variables impresora WARD 1



Autor: Elaboración propia

3. INVESTIGACIÓN Y APLICACIÓN TEÓRICA DE TÉCNICAS LEAN MANUFACTURING PARA MEJORAR LOS PROCESOS.

Para el desarrollo de este objetivo, es necesario realizar una investigación teórica y depurar la información, analizar ejemplos de implementación de técnicas Lean Manufacturing en industrias del mismo o parecido sector industrial y procesos para conocer los porcentajes de disminución de tiempos. Como no es posible tomar nuevos datos hay que trabajar sobre los existentes, haciendo hincapié en los factores de los tiempos improductivos disponibles, también se dispone de un listado de las actividades que se desarrollan en el proceso de la Impresora S Y S realizado por el impresor y su tripulación. Hay que recordar que la empresa donde se tomaron los datos no tenía por separado en sus procesos el alistamiento de la

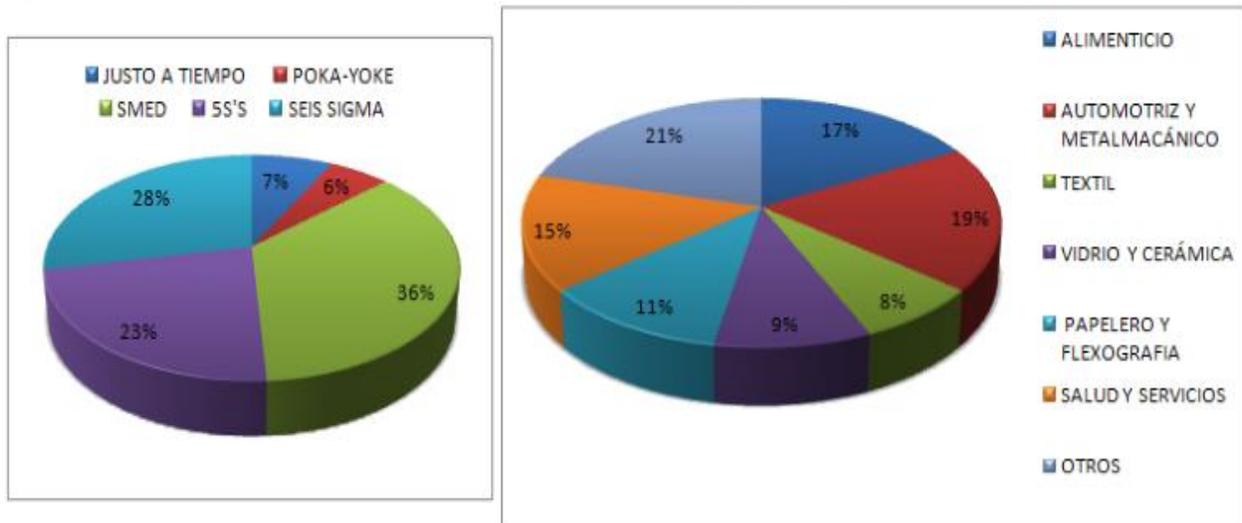
impresión/troquelado, los operarios reportaban un solo tiempo, siendo difícil controlar el inicio y fin del alistamiento adecuado.

Para decidir qué técnicas Lean Manufacturing se deben utilizar teóricamente, se revisaron varios proyectos de grado, como el de unas estudiantes de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas titulado CARACTERIZACIÓN TEÓRICA Y SU RELACIÓN EN LA IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS LEAN MANUFACTURING EN PROCESOS DE MANUFACTURA, donde realizan una compilación de más de treinta autores sobre técnicas Lean, organizan un cuadro que muestra la utilización de diferentes técnicas y su implementación en procesos de manufactura, en conclusión, Cano y Escobar (2018) aseguran:

La herramienta 5S es considerada por el 100% de los 30 autores (tabla 12), seguida por el SMED que fue considerada por el 80%, Kanban con un 70%, TPM y JIT en un 63%, JIDOKA por un 50%, VSM y POKA YOKE en un 57%, Gestión Visual con un 40%, y trabajo estándar y KAIZEN con un 33%, Heijunka con un 30%, manufactura celular con un 20%, despliegue de la función de la calidad QFD con un 13%, sistema de trabajo flexible y sistema pull con un 7%, y para finalizar, Shonjinka, cuadro de mando integral, gestión de calidad total TQM y Six Sigma con un 3%. (p.28)

En un artículo científico del 2011 titulado Aplicación Lean Manufacturing en la Industria Colombiana, se investigaron 53 trabajos de grado que implementaron diferentes técnicas Lean Manufacturing y resumieron en los siguientes gráficos sus resultados.

Figura 21 Distribución de las técnicas Lean Manufacturing por implementación y sector



Autor: Arrieta, Muñoz, Salcedo y Sosa (2011).

Por las condiciones actuales de los procesos, la primordial técnica a utilizar sería el SMED para establecer el alcance del alistamiento de la máquina y de la impresión/troquelado, además que su implementación es de bajo costo y presenta resultados en corto tiempo, las 5 S también servirían para solucionar inconvenientes puntuales que se reflejan en los tiempos improductivos registrados, pero por ser una implementación teórica es difícil cuantificar las mejoras, entonces se dará otra solución teórica para minimizar estos tiempos muertos.

La siguiente figura es la presentada en el proyecto de grado mencionado anteriormente, donde se resumen la utilización de las técnicas Lean.

Tabla 8 Utilización de técnicas Lean Manufacturing según autores

HERRAMIENTA AUTOR	5 S	SMED	KANBAN	TPM	JIT	POKA YOE	VSM	JIDOKA	ANDON	TRABAJO ESTANDAR	KAIZEN	HEIJUNKA	MANUFACTURA CELULAR	QFD	SISTEMA PULL	TRABAJO FLEXIBLE	SHONJINKA	CUADRO MANDO INTEGRAL	TQM
(González F.,2007)	X	X		X						X									
(Villareal & Orta,2008)	X	X	X	X	X	X	X			X									
(Vásquez,2013)	X	X			X	X		X	X										
(Modi & Thakkar,2014)	X	X		X	X		X		X										
(Botero,2010)	X	X	X	X			X							X					
(Navarrete & Triana,2004)	X		X		X	X		X	X										
(Cardona,2013)	X	X		X			X			X									
(Díaz,2012)	X	X				X													
(Hernández & Vizán,2013)	X	X	X	X				X	X	X		X		X					
(Rivera,2012)	X	X			X		X	X		X	X	X				X			
(Tejada,2011)	X	X	X	X		X	X				X		X						
(Rodríguez, Eduardo, Bernal, & David,2017)	X	X	X	X	X		X	X			X	X							
(Reyes, Wilches, Arango, Chaves & Sanmiguel,2011)	X		X		X	X		X											
(Tapia, Escobedo, Barrón, Martínez, & Estebané,2017)	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X						
(Hernández I.,2014)	X	X	X	X	X	X	X			X								X	
(Córdova,2012)	X		X	X	X	X		X	X										
(Sánchez,2015)	X		X	X	X						X	X			X		X		
(Bravo, Madrid)	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X							
(Amin & Karim,2013)	X	X	X	X	X				X	X			X						X
(Espejo,2010)	X	X	X	X		X	X												
(Arango,2013)	X		X		X	X		X											
(Valpuesta,2016)	X	X	X	X			X	X	X	X		X		X					
(Espinosa,2012)	X	X			X														
(Leon, Marulanda, & González,2017)	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X						
(Giraldo. Saldarriaga, & Moncada,2013)	X	X		X	X	X			X		X		X						
(Tobón & Villegas,2017)	X	X			X	X			X										
(Gualdrón & Guerrero,2013)	X		X			X	X												
(Buenaventura & Ríos,2014)	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X				X			
(Rajadell & Sánchez,2010)	X	X	X	X	X		X	X			X	X		X					
(Wang,2010)	X	X	X	X		X	X	X			X		X	X					
TOTAL	30	24	21	21	19	17	17	15	12	10	10	9	6	4	2	2	1	1	1

Autor: Cano y Escobar (2018)

3.1 DESARROLLO DEL SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE (SMED) O CAMBIO DE MATRIZ EN MENOS DE 10 MINUTOS.

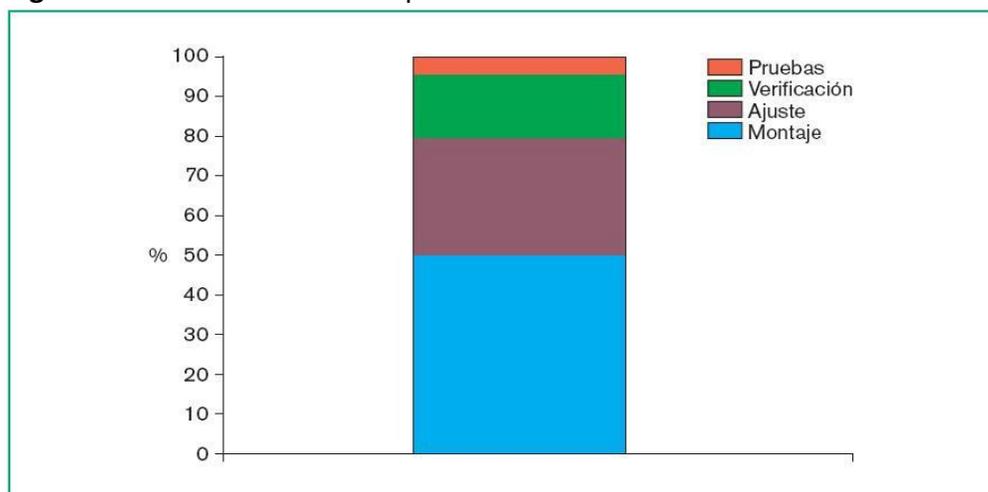
La finalidad principal de esta técnica Lean es disminuir los tiempos de alistamiento o cambios entre procesos que requieren que la máquina está detenida y volverlos tiempos productivos o que generen valor agregado.

En estos tiempos de alistamiento se desarrollan múltiples actividades para lograr la puesta a punto de la máquina, garantizando el cumplimiento de los requisitos solicitados por el cliente.

Según García y Villanueva (2009), los tiempos de alistamiento se distribuyen así:

- 50% del tiempo de cambio se dedica a la producción de piezas de ensayo y ajustes,
- 30% del tiempo de cambio se dedica a verificar herramientas, materiales, troqueles, etc.
- 15% del tiempo de cambio se dedica a centrar, dimensionar y fijar otras condiciones.
- 5% del cambio se dedica a montar y desmontar útiles.

Figura 22 Distribucion del tiempo de alistamiento



Autor: García y Villanueva (2009)

En la base de datos consolidada en el primer objetivo del proyecto se dio una clasificación al procesamiento de cada pedido dependiendo del pedido anteriormente fabricado, identificando que características similares como tintas iguales, disposición de la aleta en cajas regulares, medidas de lámina parecidas, dando un factor entre montajes de 1 a 4.

Los OP con factor 1 son para pedidos iguales, teniendo solo tiempo de impresión/troquelado y no tiempos de alistamiento, siendo su tiempo 100% de proceso.

Lo ideal para garantizar el tiempo de alistamiento bajo en el proceso sería solo tener factor entre montajes de 1, pero en la realidad no sucede porque es difícil tener varias órdenes de producción de una misma referencia, una solución más real es incrementar los factores de montaje 2 en la programación de trabajo de las impresoras, pero esto depende de varios aspectos como: necesidades de entregas, disponibilidad de materias primas, disponibilidad de personal (recordando que solo se dispone de 2 tripulaciones para operar las 4 impresoras).

Se calcularon y utilizaron los tiempos unitarios de los pedidos con factor 1 como base para calcular los tiempos de alistamiento en cada máquina y conocer el porcentaje de participación que tiene el alistamiento en cada factor, demostrando que en los pedidos de factor 2 (montajes

parecidos) el porcentaje de alistamiento es bajo comparado con los pedidos de factor 3 (pedidos distintos) y factor 4 (primer pedido del turno) donde el montaje del pedido parte de cero, la siguiente tabla resume el cálculo de los porcentajes de alistamiento, los resultados de las celdas en color significan que no se tenían muchos datos disponibles o no había pedidos con factor 1 y fue necesario calcular el alistamiento de otra manera. Para la categoría 5 (varios, cajas troqueladas, archivo y lamina troquelada) los datos muestran variabilidad por ser pocos.

Tabla 9 Establecimiento de porcentajes de alistamiento por categoría

IMPRESORA	PROM FACTOR 1	%	TOTAL	ALETA	FACTOR 4	FACTOR 3	FACTOR 2	CATEGORIA	OBSERVACIONES
SYS	0,049	+ 5%	0,0515	DENTRO	50%	47%	37%	CATEGORIA 1	
	0,048	+ 5%	0,0504	FUERA	43%	39%	30%		
	0,048	+ 5%	0,0504	DENTRO	52%	40%	22%	CATEGORIA 2	POCAS CIFRAS
	0,052	+ 5%	0,0546	FUERA	48%	44%	35%		POCAS CIFRAS
	0,049	+ 5%	0,0515	NA	54%	46%	26%	CATEGORIA 3	
	0,06	+ 5%	0,0630	NA	24%	22%	13%	CATEGORIA 4	POCAS CIFRAS
	0,071	+ 5%	0,0746	NA	16%	13%	8%	CATEGORIA 5	POCAS CIFRAS
GANDOSI	0,066	+ 5%	0,0693	DENTRO	43%	40%	37%	CATEGORIA 2	
	0,119	- 30%	0,0833	FUERA	41%	14%	-		NO HAY FACTOR 1
	0,075	- 30%	0,0525	NA	57%	47%	-	CATEGORIA 3	NO HAY FACTOR 1
	0,066	- 30%	0,0462	NA	-	-	-	CATEGORIA 5	1 SOLO DATO, NO HAY FACTOR 1
WARD1	0,048	+ 5%	0,0504	NA	36%	34%	27%	CATEGORIA 4	
	0,055	+ 5%	0,0578	NA	16%	-	13%	CATEGORIA 5	NO HAY FACTOR 3
WARD2	0,05	+ 5%	0,0525	NA	46%	42%	32%	CATEGORIA 3	
	0,064	- 5%	0,0608	NA	24%	23%	22%	CATEGORIA 4	SE RESTA PORQUE DABAN % NEGATIVOS,
	0,02	+ 10%	0,0220	NA	31%	40%	32%	CATEGORIA 5	MUCHA VARIABILIDAD EN LOS DATOS

Autor: Elaboración propia

El factor de montaje 4 en la impresora S Y S en la categoría 1, 2 y 3, esta alrededor del 50 %, entonces se puede asegurar que un alistamiento desde cero dura la mitad del tiempo reportado y la otra mitad corresponde al procesamiento del pedido.

La aplicación del SMED implica el desarrollo de algunas etapas que pueden variar entre distintos autores, se resumieron y trabajaran los siguientes 4:

3.1.1 Observación y aplicación de 5S.

Se analizará y utilizara la Impresora S Y S por tener la mayor cantidad de datos y participación en los metros cuadrados procesados, como se explicó en la descripción del proceso para operar esta máquina se requiere una tripulación de trabajo de 3 personas así:

- Impresor Líder (1): responsable de dar las instrucciones a su equipo de trabajo, es quien monta los cyreles, troqueles o ajusta la cuchillería y revisa el cumplimiento de los parámetros solicitados por el cliente (colores, medidas, cierre, etc), durante la impresión está pendiente de la operatividad de la impresora y diligenciar los reportes de producción.

- Auxiliares de Impresión (2): Uno es el encargado de buscar la lámina a procesar y llevarla a la impresora, alimentación de la materia prima en la bandeja y su puesta a punto.
- El otro auxiliar es el responsable del cargue de tintas en las bandejas, mantenerlas llenas y de estar zunchando y apilando el producto terminado. Realiza el aseo en la parte final de la máquina y entrega en producto terminado a despachos.

En toda la planta se dispone de un auxiliar de bodega que si tiene tiempo disponible puede colaborar en la búsqueda y acercamiento de la materia prima a la máquina, a buscar los clises u otras tareas sencillas, también por cada turno de trabajo hay un auxiliar de calidad quien es el responsable de autorizar el procesamiento de los pedidos al aprobar las muestras del proceso y compararlas con la ficha técnica de cada referencia, este auxiliar de calidad es muy útil, conecedor del proceso y sabe preparar tintas e igualar colores. También hay un encargado de hacer los montajes de cyreles, de muestras para comercial y debería mantener el cuarto de cyreles organizado y actualizado.

Las 5 S es la técnica más utilizada de todas las Lean Manufacturing porque da soluciones a problemas específicos en poco tiempo y su costo es muy bajo, en este proyecto se pueden utilizar algunas de sus premisas para subsanar los inconvenientes reportados en el desarrollo del proceso, que generan retrasos y tiempos improductivos o muertos.

Al graficar los tiempos improductivos totales de todas las impresoras se denotan que los factores con mayor frecuencia y participación son:

Figura 23 Resumen de los tiempos improductivos



#	FACTORES IMPRODUCTIVOS	%	OCURRENCIAS
1	Preparacion de Tintas	16	36
6	Buscando Planchas	14	31
20	Arreglo Montaje de Planchas	12	26
13	Buscando Lamina	10	21
16	Lamina Ondulada	8	18
7	Armado Troqueles	7	13

Autor: Elaboración propia

La solución de cada factor reportado conlleva un análisis más profundo de su origen, por eso se realizó un Análisis de Modo Efecto y Falla (AMEF) para identificar las causas y efectos que hay en el proceso actualmente.

Tabla 10 AMEF del proceso de impresión / troquelado

AMEF	PROCESO: IMPRESIÓN / TROQUELADO	PRODUCTO: CAJAS DE CARTON CORRUGADO	CONDICIONES EXISTENTES				FECHA: DICIEMBRE DE 2019	
			ELABORADO POR: ING. JAIRO DUEÑAS	RESPONSABLE (S)	Ocurrencia	Detección		
FALLOS IDENTIFICADOS	EFEECTO POTENCIAL DEL FALLO	CAUSAS POTENCIALES DEL FALLO	CONTROLES ACTUALES	RESPONSABLE (S)	Ocurrencia	Detección	Indice Prioritario de Riesgo (IPR)	OBSERVACIONES
Preparación de Tintas	No se encuentren las tintas, o estén mal marcadas	Desorden en el cuarto de tintas, los cuñetes siguen en las impresoras	Revisión mensual Supervisor	Supervisor	5	7	6	210
	Al preparar la tinta puede que la igualación de tonos no se logre y sea necesario hacer varias pruebas hasta lograr la aprobación de Calidad.	Falta de capacitación del operario para la preparación de tintas	Igualación de tonos por pantonera o muestra física	Auxiliar de Calidad	6	5	6	180
	Toque desmontar el pedido porque no hay existencias de tinta y no se logre su preparación	No se solicito la compra de nuevas tintas con anterioridad por descuido en el inventario	Revisión mensual Supervisor	Supervisor	8	1	5	40
Búsqueda de Planchas	No se encuentren las planchas, o están mal archivadas	Desorden en cuarto de cyreles, los montajes estan en el area de lavado	Revisión mensual Supervisor	Supervisor	5	7	5	175
	Se encuentren varios montajes de la misma referencia y toque averiguar cual es el solicitado por el cliente	No se retiraron las planchas cuando se realizaron cambios en el diseño, teniendo montajes desactualizados y con el mismo nombre	Revisión mensual Supervisor	Supervisor	6	3	4	72
	Toque desmontar el pedido porque no se encuentren las planchas	No se encuentren las planchas	Revisión por el Encargado de montajes	Encargado de Montajes	8	2	4	64
Arreglo Montaje de Planchas	Toque desmontar el pedido porque las planchas estén deterioradas o rotas	No se informo el estado de las planchas cuando se utilizaron por ultima vez para asegurar su cambio	Formato de cambio de Cyreles	Impresor Líder	8	2	3	48
	Demoras en el inicio del procesamiento del pedido	Para arreglar un montaje en maquina: hay que desmontarlo, quitar las planchas, limpiar el adhesivo y volver a colocarlo	Procedimiento de Impresión / Troquelado	Auxiliares de impresión	4	5	4	80
	El montaje se mueva o desplace en el proceso y las cajas queden con la impresión torcida	La cinta doble faz esta desgastada, se desprende o mueve la plancha, falta revisar el estado del montaje	Procedimiento de Impresión / Troquelado	Auxiliares de Impresión	7	2	5	70
Buscando Lamina	Las planchas se desprendan en el proceso y dañen los anillox				8	1	3	24
	Demoras en el inicio del procesamiento del pedido	Por saturación de la bodega, mala acomodación de la materia prima o falta de su marcacion no se encuentra la lamina a procesar	No hay controles establecidos	NA	4	6	9	216
	Paradas de maquina por falta de MP	NO se encuentre la lamina y el pedido quede incompleto			7	4	9	252
Lamina Ondulada	Pedidos incompletos				6	3	9	162
	Paradas de maquina por clasificación de lamina buena y mala manualmente	Lamina ondulada por poco tiempo de secado o mal almacenamiento.	No hay controles establecidos	NA	6	4	9	216
	Pedidos incompletos				6	3	9	162
Armado Troqueles	Demoras en el inicio del procesamiento del pedido	Falta de cuchillas en cada maquina o por desorden no estan disponibles	Procedimiento de Impresión / Troquelado	Impresor Líder - Auxiliares	4	5	5	100
	Demoras en el inicio del procesamiento del pedido				4	5	6	120
	Pedidos incompletos				6	3	4	72
Problemas con las medidas de la lamina	Paradas de maquina por clasificación de lamina buena y mala manualmente	Por falta de inspeccion se recibe lamina de medidas NC, teniendo que ser clasificada manualmente	Procedimiento de Recepcion de MP	Supervisor	7	4	5	140

Autor: Elaboración propia

Tabla 11 Utilización de las 5S para solucionar las causas de los tiempos improductivos

	SEIRI	SEITON	SEISO	SEIKETSU	SHITSUKE
Horizontalmente se colocaron las causas identificadas en el AMEF, ordenadas según la puntuación que obtuvieron de mayor a menor.	Clasificar cada Objeto como necesario o innecesario				
	Liberar espacio al desechos lo innecesario				
	Inventariar los objetos necesarios y su estado				
	Separar los objetos necesarios de acuerdo a su uso, frecuencia, calidad y seguridad				
SEITON	Establecer la cantidad exacta que se debe tener disponible de cada objeto necesario				
	Colocar los objetos necesarios por orden según criterios de Seguridad: Que no se puedan caer, que no se puedan mover, que no estorben. Calidad: Que no se oxiden, que no se golpeen, que no se puedan mezclar, que no se deterioren. Eficacia: Minimizar el tiempo perdido.				
SEISO	Establecer los medios para garantizar que cada objeto retorne a su lugar				
	Programar jornadas de limpieza				
SEIKETSU	Establecer los métodos y materiales a utilizar en la limpieza				
	Asignar lugares adecuados para los implementos de limpieza				
SHITSUKE	Fijar normas de prevención para evitar ensuciar lo limpiado				
	Desarrollo de la limpieza				
SEIKETSU	Implementar como rutina las actividades de limpieza				
	Delegar responsabilidades				
SEIKETSU	Usar ANDON (símbolos, letreros, colores, etc), que faciliten el mantenimiento del sistema				
	Garantizar la continuidad del ciclo: seiri-seiton-seiso				
SEIKETSU	Establecer medidas preventivas y planes de mejora				
	Crear procedimientos, documentarios y socializarlos				
SEIKETSU	Realizar capacitaciones si es necesario				
	Establecer un Comité de Evaluación o Auditoría				
SHITSUKE	Elaboración de un programa de trabajo con responsabilidades, fechas, compromisos, etc				
	Realimentación periódica a los colaboradores sobre el Sistema de 5S				
SHITSUKE	Hacer visibles los resultados de las 5S				
	Motivar la participación de todos los colaboradores				
SHITSUKE	Realizar ajustes al sistema según los resultados o colocar nuevas metas				
	No se encuentra la lamina a procesar por saturación de la bodega, mala acomodación o falta de marcación de la lamina				
	Lamina ondulada por poco tiempo de secado o mal almacenamiento.				
	Desorden en el cuarto de tintas, los cuñetes siguen en las impresoras				
	Falta de capacitación del operario para la preparación de tintas				
	Desorden en cuarto de cyreles, los montajes están en el área de lavado				
	El pedido quede incompleto porque no se encontro la lamina				
	Por falta de inspeccion se recibe lamina de medidas NC, teniendo que ser clasificada manualmente				
	Falta de cuchillas en cada maquina o por desorden no estan disponibles				
	Para arreglar un montaje en maquina: hay que desmontarlo, limpiar el adhesivo y volver a colocarlo				
	No se retiraron las planchas cuando se realizaron cambios en el diseño, cuando se realizaron desactualizados y con el mismo nombre				
	La cinta doble faz esta desgastada, se desprende o mueve la plancha, falta revisar el estado del montaje				
	No se encuentran las planchas				
	No se informo el estado de las planchas cuando se utilizaron por ultima vez para asegurar su cambio				
	No se solicito la compra de nuevas tintas con anterioridad por descuido en el inventario				

Autor: Elaboración propia

En el manual de la General Motors Corporation (2008), explica detalladamente las etapas para la construcción de un AMEF de proceso, denotando su utilidad como minimizar o eliminar las fallas o sus causas antes de que sucedan disminuyendo el riesgo asociado que producirían. Se utilizó este documento como guía para realizar el AMEF de este proyecto.

Como se resume en la siguiente cita, “las 5S son una herramienta en pro de la eficacia y la eficiencia de las organizaciones; refiere a la creación y mantenimiento de áreas de trabajo más limpias, más organizadas y más seguras, es decir, se trata de imprimirle mayor calidad de vida al trabajo” (Pérez, 2017, pg. 414). La implementación de esta herramienta logra crear una cultura de mejora que garantiza la solución de los problemas más comunes que ocurren en una planta manufacturera como: desorden, búsqueda de herramientas, desplazamientos innecesarios, elementos y documentos obsoletos, por mencionar algunos.

Cada etapa de las 5S tiene diferentes pasos o componentes, se eligen cuales se utilizarán teóricamente para dar solución o minimizar las causas que originan cada factor reportado.

3.1.2 Identificar y separar las operaciones internas y externas.

A continuación, se detalla la lista de operaciones que se desarrollan para lograr el procesamiento de una Orden de Producción en la impresora S Y S, son 44 actividades en donde están mezcladas el alistamiento y proceso, el listado de actividades comprende desde la búsqueda de la MP o lamina a procesar hasta el orden y aseo de la impresora y sus alrededores, después de entregar el producto terminado al siguiente proceso.

La impresora se divide en varias unidades según su función y de esta forma se sintetizan las principales operaciones a desarrollar y las tareas que las componen, se deben realizar en secuencia en cada unidad.

Las actividades internas son las que se realizan con la máquina detenida y las actividades externas se pueden hacer con la máquina en funcionamiento, se pueden desarrollar actividades en paralelo al ser varias personas las que colaboran en el alistamiento, pero son muchas actividades a ejecutar para lograr la puesta a punto, deteniéndose la impresora por tareas que son externas, pero realmente se desarrollan como internas.

Se resaltaron con colores las actividades que se desarrollan en paralelo.

De las 44 actividades, 34 se desarrollan como actividad interna y 10 como externa, 41 actividades se identifican como alistamiento y están bien identificadas, se asignó un porcentaje de participación del desarrollo de las actividades dando como resultado un 85 % para todas las actividades internas y 15 % para las externas, siendo totalmente desarrolladas por la tripulación de la impresora.

Tabla 12 Clasificación actual de actividades internas y externas

UNIDAD	OPERACIÓN	No.	ACTIVIDADES	%	INTERNA	EXTERNA	%	RESPONSABLE	OBSERVACIONES
Bandeja de alimentación	Puesta a punto de la bandeja de alimentación	1	Búsqueda de la lamina y acercarla al área de alimentación de la impresora	5	X			Auxiliar 1	Dependiendo la cantidad del pedido y la congestión de la bodega puede ser una tarea sencilla o muy complicada
		2	Subir bandas prealimentadoras		X			Auxiliar 1	
		3	Aflojar los tornillos sujetadores de la bandeja alimentadora		X			Auxiliar 1	
		4	Cuadrar las medidas de la lámina en la banda		X			Auxiliar 1	
		5	Calibrar las guías laterales de la bandeja		X			Auxiliar 1	
		6	Calibrar las guías centrales de la bandeja	3	X			Auxiliar 1	
		7	Graduar los rodillos alimentadores de la bandeja		X			Auxiliar 1	
		8	Apretar los tornillos de la bandeja alimentadora		X			Auxiliar 1	
		9	Colocar en cero el contador		X			Auxiliar 1	
Unidad de Impresión	Montaje de Clises y tintas	10	Búsqueda de los clises a utilizar y revisión de su estado			X	3	Auxiliar 2	Por la gran cantidad de clises y el desorden del cuarto de clises puede ser demorado encontrarlos
		11	Hacer un prelavado del clise utilizado en el trabajo anterior y montado en el tambor para retirar el exceso de tinta			X	1	Auxiliar 2	
		12	Desmontar el clise utilizado y dejarlo en el área de lavado		X			Auxiliar 2	
		13	Montar el clise a utilizar en el nuevo procesamiento de OP	1	X			Impresor Lider	
		14	Ajustar el rodillo anillox	1	X			Impresor Lider	
		15	Graduar las medidas de los pisadores laterales de acuerdo a lo solicitado en la OP	1	X			Impresor Lider	
		16	Colocar las bandas de arrastre de acuerdo a las medidas de la lamina	1	X			Auxiliar 2	
		17	Lavar el clise utilizado en el anterior trabajo y guardarlo en el cuarto de montajes			X	1	Auxiliar 2	
		18	Búsqueda y acercamiento de las tintas a utilizar a la impresora			X	1	Auxiliar 1, Auxiliar 2	
		19	Desmontar las cubetas de tintas y vaciarlas en sus respectivos cuñetes	1	X			Auxiliar 1, Auxiliar 2	
		20	Lavar las cubetas			X	2	Auxiliar 1, Auxiliar 2	
		21	Lavar los rodillos anillox					Impresor Lider	
		22	Lavar el sistema de abastecimiento de tintas	1	X			Impresor Lider	
		23	Llenado de las cubetas con las tintas a utilizar en el nuevo procesamiento (preparación de tintas si no hay el color solicitado)	5	X			Impresor Lider, Auxiliar 2	Puede que la tinta necesite ser preparada porque no hay ese color disponible en el inventario
24	Graduado de presiones	1	X			Impresor Lider			
Unidad de Troquelado y Scoreado	Montaje de Scores, troqueles o cuadro de cuchillería	25	Retirar presiones de los cabezales escoriadores		X			Auxiliar 2	
		26	Aflojar los tornillos de los cabezales		X			Auxiliar 2	
		27	Graduar las nuevas medidas a los cabezales escoriadores		X			Impresor Lider	
		28	Graduación de los pisadores laterales	3	X			Impresor Lider	
		29	Ajustar el sistema a la altura de la lamina		X			Impresor Lider	
		30	Graduar la presión de los cabezales escoriadores		X			Impresor Lider	
		31	Búsqueda el troquel o cuchillería a utilizar			X	3	Auxiliar 2	
		32	Retirar la presión de las zapatas	1	X			Auxiliar 2	
		33	Desmontar el troquel o la cuchillería del rodillo porta	1	X			Impresor Lider	
		34	Colocar el troquel a utilizar o realizar el cuadro de cuchillería según las medidas de los cortes nuevo trabajo	3	X			Impresor Lider, Auxiliar 2	
		35	Colocar la presión a las zapatas	1	X			Auxiliar 2	
Sistema de pegue de aleta o pestaña	Graduación del pegue de la aleta o pestaña de la caja	36	Graduar los brazos del sistema doblador según las medidas del cierre de la caja	1	X			Auxiliar 2	
		37	Ubicar el sistema de pegue de la aleta o pestaña de la caja dependiendo si es por fuera o dentro	2	X			Impresor Lider, Auxiliar 2	
		38	Llenado con pegante del sistema de pegue de aleta o pestaña			X	1	Auxiliar 2	
Toda la impresora	Procesamiento del pedido	39	Pruebas de impresión, cortes y scores de dobles, pegue de la caja y su armado para aprobación de Calidad	3	X			Impresor Lider	La aprobación de las primeras muestras las realiza el Auxiliar de Calidad
		40	Realización de ajustes si es necesario para nuevas pruebas y aprobación	1	X			Impresor Lider	
		41	Procesamiento de la lamina del pedido		X			Tripulacion	
Zunchadora	Zunchado y finalización del proceso	42	Zunchado de los paquetes y acomodación en estibas	50	X			Auxiliar 2	
		43	Diligenciamiento de reportes operativos			X	1	Impresor Lider	
		44	Orden y aseo en la impresora y sus alrededores			X	2	Auxiliar 2	
TOTAL				85			15		

Autor: Elaboración propia

3.1.3 Convertir operaciones internas a externas.

Las disminuir las operaciones internas y pasarlas a operaciones externas se busca lograr mayor tiempo de procesamiento, “para reducir el tiempo que el operario dedica a la preparación externa, actuaremos sobre las búsquedas, desplazamientos y esperas:

- Eliminar las búsquedas.
- Minimizar los desplazamientos
- Eliminar los tiempos de espera” (Madariaga, 2020, p. 143).

Se realiza un análisis para proponer cambios que agilicen o disminuyan los tiempos de alistamiento, con la utilización de las 5S se eliminaron el origen de algunos de los inconvenientes de tiempos improductivos reportados, ahora se realizan cambios para mejorar el desarrollo de las actividades que componen el proceso, así:

- El listado de actividades a realizar en la puesta a punto de la máquina o alistamiento es extenso y cada una es muy puntual, no se pueden eliminar tareas y al ser las tripulaciones tan pequeñas, la única alternativa es asignar colaboradores de otras áreas para que ayuden en el desarrollo de algunas actividades específicas en donde tengan conocimientos previos, así se disminuye el tiempo de cambio de referencia.
- Uno de los beneficios de tener la secuenciación de trabajo desde el día anterior es conocer el orden de procesamiento de los pedidos y así alistar las materias primas e insumos que se requieren, esto no se ha logrado por los continuos cambios que se realizan diariamente por las necesidades del Departamento Comercial y la inadecuada comunicación con Producción, hay que impedir que los asesores comerciales llamen a los impresores y al personal de planta para dar instrucciones de que órdenes de producción necesitan, canalizando esta información por un solo medio, se recomienda hacer una reunión entre las dos Jefaturas después de mediodía para definir que pedidos son los que necesitan, las fechas de entrega proyectadas por producción y otros cambios que se planteen. Si no es posible realizar estas reuniones diariamente, se utilizará el correo corporativo para él envió de la información definiendo un horario límite para esta información.
- La búsqueda de lámina es una actividad realizada por el auxiliar 1 de la tripulación de trabajo y se dificulta dependiendo de la cantidad de lámina del pedido a procesar y lo llena que este la bodega, cada estiba mide en promedio 2 metros de alto y aunque están identificadas por un marbete, puede que por la congestión de materia prima no se pueda visualizar ni pasar entre ellas, siendo complicado identificar la lámina y en ocasiones hay que abrir espacio moviendo varias estibas para poder acceder al material, en cada estiba hay en promedio 500 láminas y si el pedido es grande es probable que no estén almacenadas juntas, siendo más demorada la búsqueda, por eso sucede que la máquina interrumpa su operación porque se terminó la lámina y hay que continuar su búsqueda. Al conocer con antelación la secuenciación de trabajo se puede desde el día o turno anterior identificar la lámina de cada pedido y acercarla a la correspondiente impresora, esto lo puede realizar el auxiliar de bodega si se le asigna un tiempo específico y se le retira el aseo de despachos. Pasando esta actividad de interna a externa.
- Igualmente, la búsqueda de las tintas y su preparación se pueden prever desde el turno anterior con la ayuda del auxiliar de calidad, se puede pasar el listado de las fichas

técnicas de los trabajos a procesar y buscarlas en el cuarto de tintas, revisando que alcance la tinta disponible, la calidad y limpieza de su tonalidad y si se requieren colores especiales prepararlas. Así se puede minimizar este tiempo improductivo reportado y contribuir con el alistamiento.

- La búsqueda de cyreles requiere primero hacer una revisión de que referencias ya no se trabajan o tuvieron cambios y deben ser retiradas, para ello hay que solicitar un listado actualizado a comercial y revisar todos los montajes que hay en el cuarto de clises, desechando los obsoletos, ordenarlos alfabéticamente por cliente separando cada referencia también, hacer un inventario y mantenerlo actualizado, hay una persona encargada de los montajes de clises pero el alcance de sus funciones llega hasta entregarlo a producción, hay que asignarle la tarea de mantener el orden en el cuarto de cyreles o planchas, así mismo puede colaborar con la búsqueda de los montajes que se necesitaran en la operación si se le proporciona un listado desde el día anterior, también se puede disminuir este tiempo improductivo y contribuir con el alistamiento.
- También hay que revisar, organizar y ordenar el cuarto de troqueles, se tienen muchos que ya no se usan o están dañados para quitarles las cuchillas y usarlas en nuevos montajes, hacer un inventario actual de los disponibles y dejar en los armarios de cada impresora las cuchillas, prisioneros, tornillos, llaves brístol y demás herramientas necesarias para hacer los cambios y ajustes de troqueles sin necesidad de perder tiempo, esto debe quedar inventariado y revisado semanalmente por los supervisores de turno, así mismo hay troqueles que solo se usan en una o dos impresoras, debe ser de conocimiento de las tripulaciones y su estado. La búsqueda de troqueles se asignará al supervisor de cada turno para que sean ellos los responsables de mantener el orden y buen estado de estas herramientas que son costosas y por la falta de cuidado se dañan frecuentemente.
- Básicamente para mejorar el desarrollo del proceso y sin incorporar más colaboradores directos a la tripulación de la máquina, se reorganizaron algunas funciones de otras personas que trabajan en piso y pueden colaborar en el alistamiento en tareas muy concretas, pero todo depende de tener mayor orden, organización en la planta y conocer con antelación la Secuenciación de Trabajo y no realizar cambios repentinos. Así la tripulación original se dedicará al desarrollo de las actividades internas y entre los tres lograran su culminación más rápidamente, en la siguiente tabla se realizan los cambios propuestos y se puede visualizar una disminución del porcentaje de tiempo de las actividades internas que pasan de 85 a un 67 %, teniendo un ahorro del 18 % que se utilizaran en tiempo de proceso de la impresora, las actividades externas se incrementaron en un 7 %.
- Es necesario capacitar al personal para dar solución a los tiempos improductivos de arreglo de montaje en máquina, que sucede cuando se realizan la pruebas para aprobación y la impresión no es conforme con la ficha técnica porque generalmente quedaron torcidos los textos o imágenes en las cajas porque el montaje de los clises quedo mal colocado o se movió en el tambor de impresión, esta actividad es responsabilidad del impresor líder por su conocimiento pero delega su ejecución a el segundo auxiliar, quedando mal realizada. También se hay que solicitar capacitación a

todo el personal con los proveedores de las tintas para su manejo y preparación más ágil.

- El problema más común con la materia prima o lamina a procesar son los largos y cortos, y delaminada o quebradiza, esto ocurre porque el proveedor por afán o falta de control en el corrugador le varia la medida de la cuchilla que corta la lámina, es común con medidas de más de dos metros, entonces al no tener la lámina la misma medida hay que escogerla manualmente teniendo que parar la máquina y gastando tiempo de proceso, una lámina quebradiza es cuando en la unión de los linner con pegante en la masa corrugadora, los cuerpos secadores están muy calientes o la velocidad es baja y sobrecalienta la lámina dañándola, visualmente no se percibe el problema, pero al momento de procesarla en las impresoras se separan los papeles linner, cuando surge este inconveniente es necesario detener la impresora y escoger manualmente que lamina sirve y cual no. Esto se informa como una No Conformidad al proveedor y generalmente se hace una nota crédito por el metraje que no sirvió, pero es un problema repetitivo y hay que generar medidas para impedir o disminuir este inconveniente, no se puede revisar totalmente la lámina cuando se recibe, además el proveedor certifica la calidad del material, entonces hay que solucionar el problema en el origen incluyendo el tiempo de revisión y arreglo dentro de la nota crédito, así el proveedor estará más pendiente del control de sus procesos.

Tabla 13 Reorganización de actividades

UNIDAD	OPERACIÓN	No.	ACTIVIDADES	%	INTERNA	EXTERNA	%	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	
Bandeja de alimentación	Puesta a punto de la bandeja de alimentación	1	Búsqueda de la lamina y acercarla al área de alimentación de la impresora			X	5	Auxiliar de bodega	Dependiendo la cantidad del pedido y la congestión de la bodega puede ser una tarea sencilla o muy complicada	
		2	Subir bandas prealimentadoras		X			Auxiliar 1		
		3	Aflojar los tornillos sujetadores de la bandeja alimentadora		X			Auxiliar 1		
		4	Cuadrar las medidas de la lámina en la banda		X			Auxiliar 1		
		5	Calibrar las guías laterales de la bandeja		X			Auxiliar 1		
		6	Calibrar las guías centrales de la bandeja	3	X			Auxiliar 1		
		7	Graduar los rodillos alimentadores de la bandeja		X			Auxiliar 1		
		8	Apretar los tornillos de la bandeja alimentadora		X			Auxiliar 1		
		9	Colocar en cero el contador		X			Auxiliar 1		
Unidad de Impresión	Montaje de Clises y tintas	10	Búsqueda de los clises a utilizar y revisión de su estado			X	1	Encargado de montajes		
		11	Hacer un prelavado del clise utilizado en el trabajo anterior y montado en el tambor para retirar el exceso de tinta			X	1	Auxiliar 1		
		12	Desmontar el clise utilizado y dejarlo en el área de lavado		X			Auxiliar 1		
		13	Montar el clise a utilizar en el nuevo procesamiento de OP		X			Impresor Lider, Auxiliar 2		
		14	Ajustar el rodillo anillox	1	X			Impresor Lider, Auxiliar 2		
		15	Graduar las medidas de los pisadores laterales de acuerdo a lo solicitado en la OP		X			Impresor Lider, Auxiliar 2		
		16	Colocar las bandas de arrastre de acuerdo a las medidas de la lamina	1	X			Auxiliar 2		
		17	Lavar el clise utilizado en el anterior trabajo y guardarlo en el cuarto de montajes			X		1	Auxiliar 2	
		18	Búsqueda y acercamiento de las tintas a utilizar a la impresora			X		1	Auxiliar de Calidad	
		19	Desmontar las cubetas de tintas y vaciarlas en sus respectivos cuñetes	1	X			Auxiliar 1, Auxiliar 2		
		20	Lavar las cubetas			X		2	Auxiliar 1, Auxiliar 2	
		21	Lavar los rodillos anillox					Impresor Lider		
		22	Lavar el sistema de abastecimiento de tintas	1	X			Impresor Lider		
		23	Validacion o preparacion de tintas a utilizar					4	Auxiliar de Calidad	
		24	Llenado de cubetas		X			Impresor Lider, Auxiliar 2		
25	Graduado de presiones	1	X			Impresor Lider, Auxiliar 2				
Unidad de Troquelado y Scoreado	Montaje de Scores, troqueles o cuadro de cuchillería	26	Retirar presiones de los cabezales escoriadores		X			Auxiliar 1, Auxiliar 2		
		27	Aflojar los tornillos de los cabezales		X			Auxiliar 1, Auxiliar 2		
		28	Graduar las nuevas medidas a los cabezales escoriadores	2	X			Impresor Lider		
		29	Graduación de los pisadores laterales		X			Impresor Lider		
		30	Ajustar el sistema a la altura de la lamina		X			Impresor Lider		
		31	Graduar la presión de los cabezales escoriadores		X			Impresor Lider		
		32	Búsqueda el troquel o cuchillería a utilizar			X		3	Supervisor de Turno	
		33	Retirar la presión de las zapatas	1	X			Auxiliar 1, Auxiliar 2		
		34	Desmontar el troquel o la cuchillería del rodillo porta troqueles		X			Impresor Lider		
		35	Colocar el troquel a utilizar o realizar el cuadro de cuchillería según las medidas de los cortes nuevo trabajo	1	X			Auxiliar 1, Auxiliar 2		
36	Colocar la presión a las zapatas		X			Auxiliar 1, Auxiliar 2				
Sistema de pegue de aleta o pestaña	Graduacion del pegue de la aleta o pestaña de la caja	37	Graduar los brazos del sistema doblador según las medidas del cierre de la caja	1	X			Auxiliar 2		
		38	Ubicar el sistema de pegue de la aleta o pestaña de la caja dependiendo si es por fuera o dentro	1	X			Impresor Lider, Auxiliar 2		
		39	Llenado con pegante del sistema de pegue de aleta o pestaña			X		1	Auxiliar 2	
Toda la impresora	Procesamiento del pedido	40	Pruebas de impresión, cortes y scores de dobles, pegue de la caja y su armado para aprobación de Calidad	2	X			Impresor Lider, Auxiliar de Calidad	La aprobación de las primeras muestras las realiza el Auxiliar de Calidad	
		41	Realización de ajustes si es necesario para nuevas pruebas y aprobación	1	X			Impresor Lider		
		42	Procesamiento de la lamina del pedido	50	X			Tripulacion		
Zunchadora	Zunchado y finalizacion del proceso	43	Zunchado de los paquetes y acomodación en estibas		X			Auxiliar 2		
		44	Diligenciamiento de reportes operativos			X		1	Impresor Lider	
		45	Orden y aseo en la impresora y sus alrededores			X		2	Auxiliar 2	
TOTAL				67			22			

Autor: Elaboración propia

3.1.4 Estandarizar y mejorar.

Para lograr la estandarización y mejorar el proceso es necesario hacer seguimiento y control en el desarrollo de los procesos, tomar tiempos, hacer partícipes a los colaboradores y realizar cambios que logren mejoras, dejarlos documentados y estarlos monitoreando.

Realizar Control Estadístico del Proceso (SPC) buscando disminuir la variabilidad, mostrando a los colaboradores sus indicadores productivos constantemente, escuchando sus sugerencias y logrando su participación con la realización de varias técnicas para identificar las causas de los inconvenientes que dificultan la aplicación del SMED como pueden ser los diagramas causa – efecto, desarrollo de un AMEF, diagrama de Pareto, entre otros.

Como no es posible por el alcance del proyecto se realizó una investigación teórica donde se recopilaron varias tesis de grado de pregrado donde aplicaba la técnica SMED en procesos de Flexografía sobre sustratos plásticos, siendo un proceso muy parecido técnicamente en la impresión sobre linner kraft como son las cajas de cartón; además finalizaron la implementación del SMED y muestran un porcentaje de disminución de tiempo de proceso entre el 29 y 75 %, dando a entender que en la estandarización y mejoras se logra perfeccionar y pulir más el proceso. Al analizar cada uno de los proyectos de grado, todos tienen en común la utilización del SMED, uno de los proyectos con un porcentaje alto (75 %) también implemento un estudio de métodos y tiempos, siendo lógico el ahorro de tiempo, en el otro caso (73 %) solo se implemento el SMED, pero lograr un resultado tan elevado puede dar a entender que la situación inicial de los procesos no estaba controlada. Al descartar ambas cifras se tienen un promedio de 40.62 % de disminución, así que para continuar con la simulación de escenarios se asignará una disminución de tiempos del **35 %** en el **Alistamiento**, puesto que lograr la implementación de todas las mejoras planteadas requieren demasiado tiempo, compromiso y seguimiento.

Generalmente para lograr mejoras considerables con el SMED se incluía un operario más para realizar las actividades que se convertían de internas a externas, incrementando el costo de la operación, pero aumentando la productividad

En el siguiente cuadro se resumen los nueve documentos recopilados que sirven como guía para la aplicación teórica del SMED en proceso de impresión/troquelado en el sector cartonero.

Tabla 14 Recopilación de trabajos de grado de aplicación de Lean Manufacturing

No	TITULO	AUTOR	UNIVERSIDAD	AÑO	PAG.	% DISMINUCIÓN	TÉCNICAS LEAN MANUFACTURING IMPLEMENTADAS	OBSERVACIONES
1	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SMED EN EL PROCESO DE IMPRESIÓN FLEXOGRÁFICA	LEIDY KATHERIN HUERTAS RAMÍREZ	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA	2.014	65	39,75 %	SMED Estandarización de Procesos	Esta tesis de grado aplicada se desarrolla en una empresa flexográfica sobre sustratos plásticos, siendo un proceso con las mismas bases técnicas que la impresión sobre cartón
2	DISEÑO DE PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN UNA EMPRESA CARTONERA	ORBI ARTURO ESPINOZA RAMÓN	UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTIAGO DE GUAYAQUIL	2.016	88	50%	5 S SMED Estandarización de los procesos Capacitaciones	Esta tesis de grado aplicada es totalmente desarrollada en una empresa cartonera, tiene datos muy puntuales sobre los procesos
3	APLICACIÓN DE LA TÉCNICA SMED EN EL PROCEDIMIENTO DE CAMBIO DE TINTAS DE LA REFERENCIA BOLSA KRAFT COLANTA ENTERA 3CA BOLSA KRAFF AMITEX TANNUS 2C	FERNANDO ULPIANO PANTOJA, JORGE HUMBERTO CASTRILLON	UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA	2.016	123	50,60%	SMED	Esta artículo científico se desarrolla en un proceso flexográfica sobre sustratos plásticos, siendo un proceso con las mismas bases técnicas que la impresión sobre cartón
4	CARACTERIZACIÓN TEÓRICA Y SU RELACIÓN EN LA IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS LEAN MANUFACTURING EN PROCESOS DE MANUFACTURA	CINDY VAINESA CANO CASTILLO, LAURA DANIELA ESCOBAR TORRES	UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS	2.019	64	29%	SMED	Esta tesis de grado investigativa recopila y analiza la implementación de varias técnicas LEAN MANUFACTURING en industrias
5	IMPLANTACION DEL SISTEMA SMED EN UN PROCESO DE IMPRESIÓN FLEXOGRÁFICA	FREDY SARANGO MARTINEZ, JORGE ABAD MORAN	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL	2.001	9	75%	Estudio de Tiempos y Movimientos SMED	Esta tesis de grado aplicada se desarrolla en una empresa flexográfica sobre sustratos plásticos, siendo un proceso con las mismas bases técnicas que la impresión sobre cartón
6	DESARROLLO DE UN PLAN PARA LA APLICACIÓN DE SMED EN EL AREA DE SELLADO DE UNA EMPRESA FLEXOGRÁFICA	NATHALY CALAD CASTAÑO, SEBASTIAN HINCAPIE	ESCUELA DE INGENIERIA DE ANTIOQUIA	2.014	111	43%	SMED	Esta tesis de grado aplicada se desarrolla en una empresa flexográfica sobre sustratos plásticos, siendo un proceso con las mismas bases técnicas que la impresión sobre cartón
7	MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE CONFIGURACION PARA IMPRENTAS FLEXOGRÁFICAS, BASADO EN LA METODOLOGIA SMED EN CONTRIBUCION A LA PRODUCTIVIDAD DE LAS EMPRESAS CARTONERAS	LUIS MIGUEL HIDALGO, DANNY ISAIAS VERA	UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILLAGRO	2.018	39	73%	SMED	Esta tesis de grado aplicada es totalmente desarrollada en una empresa cartonera, tiene datos muy puntuales sobre los procesos
8	DISEÑO DE UN PROTOCOLO PARA LA REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS IMPRODUCTIVOS EN EL ÁREA DE IMPRESIÓN DE UNA EMPRESA PRODUCTORA DE EMPAQUES FLEXIBLES	CLAUDIA JULIANA COLLAZOS	UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	2.016	105	43%	HOSHIN KANRI SMED	Esta tesis de grado aplicada se desarrolla en una empresa flexográfica sobre sustratos plásticos, siendo un proceso con las mismas bases técnicas que la impresión sobre cartón
9	MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD EN UNA EMPRESA DE EMPAQUES FLEXIBLES APLICANDO LA HERRAMIENTA SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE (SMED)	ANA LUCIA SIFUENTES SAMATELO	UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS	2.017	82	29%	SMED	Esta tesis de grado aplicada se desarrolla en una empresa flexográfica sobre sustratos plásticos, siendo un proceso con las mismas bases técnicas que la impresión sobre cartón

Autor: Elaboración propia

Se recalcularon los tiempos de alistamiento aplicándoles una disminución del 35 %, teniendo la siguiente tabla resumen para la impresora S Y S, con estos nuevos porcentajes se establecieron nuevos tiempos de proceso, siendo el resultado de la aplicación teórica de las herramientas Lean y se utilizaran en la simulación del segundo escenario. La disminución se efectuó sobre el alistamiento establecido en cada OP según las cifras de factor 1 para cada categoría de producto (ver tabla 13), realizándose para las OP de factor de montaje 2, 3 y 4, para factor 1 no se desarrolló porque no tiene alistamiento, es 100% tiempo de procesamiento.

Tabla 15 Nuevos tiempos de alistamiento después de mejoras en el proceso

IMPRESORA	FACTOR 4			FACTOR 3			FACTOR 2			FACTOR 1	TOTALES			CATEGORIA
	% despues de mejoras	Tiempo Proceso actual (min)	Tiempo Proceso despues mejoras (min)	% despues de mejoras	Tiempo Proceso actual (min)	Tiempo Proceso despues mejoras (min)	% despues de mejoras	Tiempo Proceso actual (min)	Tiempo Proceso despues mejoras (min)	Tiempo Proceso actual (min)	Tiempo Proceso actual (min)	Tiempo Proceso despues mejoras (min)		
S Y S	40%	6.565	5.405	39%	13.246	10.975	26%	20.520	18.012	805	41.136	35.197	CATEGORIA 1 aleta dentro-fuera	
	33%	4.590	3.973	30%	12.600	10.746	22%	11.365	9.983	1.315	29.870	26.017		
	41%	220	180	30%	130	112	16%	190	177	290	830	759	CATEGORIA 2 aleta dentro-fuera	
	38%	310	260	34%	680	558	27%	550	484	140	1.680	1.442		
	44%	550	449	36%	2.050	1.698	19%	1.250	1.131	150	4.000	3.428	CATEGORIA 3	
	16%	530	494	13%	280	257	8%	390	183	120	1.320	1.054	CATEGORIA 4	
	8%	2.885	2.744	7%	1.140	1.081	3%	881	827	920	5.826	5.572	CATEGORIA 5	
TOTALES	15.650	13.505		30.126	25.427		35.146	30.797	3.740	84.662	73.469			
DISMINUCION	2.145			4.699			4.349			11.193 min			186,5	
% DISMINUCION	13,7%			15,6%			12,4%			13,2%			HORAS	

Autor: Elaboración propia

Se comparan las cifras actuales de proceso y los nuevos datos después de las mejoras, dando un ahorro total de 186,5 horas después de la aplicación teórica de las técnicas Lean Manufacturing.

4. DESARROLLO DE UN SISTEMA PRODUCTIVO, UTILIZANDO ALGORITMOS DE SECUENCIACIÓN.

En el artículo de Acevedo, Carrillo, Paternina y Raish (2003) sobre un Modelo para la programación de operaciones en la fabricación de cajas de cartón, es importante resaltar la necesidad de aprovechar al máximo el cuello de botella en los procesos de impresión-troquelado y aplicando heurísticas se puede programar las tareas hacia adelante o atrás dependiendo de la capacidad productiva o de la carga de trabajo.

En su libro Análisis de la Producción, Nahmias (2007), en el capítulo octavo de programación de operaciones, detalla las jerarquías de las decisiones en la programación de talleres, sus objetivos, las reglas de secuencia específica, explica la teoría de secuenciación para una sola máquina por tiempo de procesamiento más corto (SPT), programación por fecha de entrega y finalmente la utilización de Algoritmos como el de Lawyer.

Díaz, Z., Fernández, J. y Martínez, P. (2014), en su artículo denotan, el algoritmo de Kaufmann

(1964), que consiste en comenzar por un lote cualquiera y elegir como siguiente aquél para el cual sea menor el tiempo de preparación y así sucesivamente. El inconveniente de este método, y de otros similares, es que proporciona un óptimo local que puede estar muy alejado del óptimo global. Otra técnica heurística muy utilizada en casos de optimización es la del Recocido Simulado, que consiste en recorrer de manera aleatoria un espacio configurado para identificar un punto donde su valor sea óptimo según la función objetivo a trabajar.

Existen otros métodos que también se emplean para solucionar problemas de optimización dando otro enfoque como es el enrutamiento, en donde el objetivo es lograr la ruta más corta u óptima entre distintos puntos. El problema más conocido es el del Vendedor Ambulante (TPS), que necesita visitar sus clientes en distintos puntos y regresar al comienzo. En estos casos se utiliza una técnica llamada Búsqueda Tabú (TS por sus siglas en inglés, Tabú Search), en su artículo Quevedo, D. y Ríos, J. (2010), muestran un ejemplo real de uso de esta técnica para solucionar un problema real de asignación cuadrática, dando antes la definición de este algoritmo como una búsqueda inteligente al tener memoria y aprender de lo sucedido, mejorando su nueva búsqueda. Técnicamente el programa realiza iteraciones para lograr el resultado más cercano al óptimo, para esto se debe ingresar los datos organizados como matrices para que lo pueda entender, siendo necesario asignar prioridades a cada pedido según las características que faciliten los alistamientos (categoría, tintas, pestaña, medidas de la lámina), así el sistema puede emitir una secuenciación de trabajo donde se disminuyen los tiempos de arreglo entre pedidos. Se disponen de 609 datos del procesamiento en la impresora S Y S en 4 meses, no se dispone de la fecha de ingreso a Producción ni del compromiso de entrega, entonces se agruparon en conjuntos de 15 días, porque esa es la política de entrega, teniendo 8 grupos así:

Tabla 16 Agrupación de los datos

No.	INTERVALO DE FECHA	CANTIDAD DE PEDIDOS
1	Agosto 1 al 15	70
2	Agosto 16 al 31	45
3	Septiembre 1 al 15	88
4	Septiembre 17 al 29	70
5	Octubre 1 al 13	72
6	Octubre 16 al 31	76
7	Noviembre 2 al 15	68
8	Noviembre 16 al 1 Diciembre	120
TOTAL PEDIDOS		609

Autor: Elaboración propia

Se trataron por separado cada uno de parámetros a considerar en la secuenciación, asignándoles un valor y consolidando una matriz con la suma de esos valores. Para las 5 categorías de familias de productos se dio una priorización de proceso a cada categoría partiendo de la que estaba procesando y de las características de la máquina, por ejemplo: si se está trabajando en categoría 1 lo ideal es continuar en pedidos de esa misma categoría o se debe pasar a un pedido de categoría 3 o 4 porque el alistamiento no es tan dispendioso como pasar a categoría 5 o 2. La siguiente tabla muestra esas prioridades y los pesos que se les asignaron

Tabla 17 Priorización por categoría y asignación de valores o peso

	CAT 1	CAT 2	CAT 3	CAT 4	CAT 5	Total
CAT 1	0	5	2	2	3	12
CAT 2	5	0	3	4	2	14
CAT 3	4	5	0	2	3	14
CAT 4	3	5	2	0	2	12
CAT 5	3	5	2	2	0	12

	CAT 1	CAT 2	CAT 3	CAT 4	CAT 5	Total
CAT 1	0,00	0,42	0,17	0,17	0,25	1,00
CAT 2	0,36	0,00	0,21	0,29	0,14	1,00
CAT 3	0,29	0,36	0,00	0,14	0,21	1,00
CAT 4	0,25	0,42	0,17	0,00	0,17	1,00
CAT 5	0,25	0,42	0,17	0,17	0,00	1,00

Autor: Elaboración propia

Para la medida de la lámina se trabajó con el largo porque influye en el alistamiento por el cuadro de la bandeja de alimentación, se creó una matriz en donde se relacionaba tanto vertical como horizontalmente, teniendo en valor absoluto su diferencia. Para los colores y la pestaña de la caja, también se relacionó matricialmente cada pedido y asignaron pesos si las tintas son iguales (0), si son distintas (1 o 2, dependiendo la cantidad). Los valores para todos los parámetros aumentan si la diferencia entre pedido y pedido es más grande, dificultando el alistamiento, en cambio si son iguales o parecidos el valor asignado es menor porque el alistamiento es más sencillo, en la matriz final que se utiliza con la programación se suman los 4 parámetros.

Se utilizó Google Colaborative, para compilar una programación usando distintos algoritmos como:

- **Búsqueda Tabú (Tabu Search):** “El nombre procede de la analogía entre el procedimiento y el tratamiento térmico que se aplica a diversos materiales. Dada una solución curso, se obtiene una vecina de la misma. Si es mejor (o igual), la sustituye como tal; si es peor, puede pasar a ser la solución en curso con una probabilidad que depende de la diferencia entre el valor de la solución en curso y el de la vecina y que decrece monótonamente a lo largo de la ejecución del algoritmo” (Fernández-Baños, 2003, p.21).
- **Recocido simulado (Simulated annealing):** “El nombre procede de la analogía entre el procedimiento y el tratamiento térmico que se aplica a diversos materiales. Dada una solución curso, se obtiene una vecina de la misma. Si es mejor (o igual), la sustituye como tal; si es peor, puede pasar a ser la solución en curso con una probabilidad que depende de la diferencia entre el valor de la solución en curso y el de la vecina y que decrece monótonamente a lo largo de la ejecución del algoritmo” (Fernández-Baños, 2003, p.21).
- **Búsqueda Local Guiada (Guided local search):** “es un método heurístico para resolver problemas de optimización computacionalmente difíciles. Los algoritmos de búsqueda locales se mueven de una solución a otra en el espacio de soluciones candidatas aplicando cambios locales, hasta que se encuentra una solución considerada óptima o transcurre un límite de tiempo” Wikipedia, búsqueda local (optimización).

Para cada uno de los 8 conjuntos de datos, para minimizar los tiempos de alistamiento al lograr una secuenciación de trabajos que aproveche las distintas características entre cada pedido y mantenga bajo el peso de la secuencia. En la siguiente tabla se resumen los resultados utilizando el peso de cada algoritmo de secuenciación.

Tabla 18 Resultados de los algoritmos de secuenciación

	Busqueda Tabú	Recocido simulado	Busqueda local guiada
1-15 Agosto	42	45	41
16-30 Agosto	44	45	43
1-15 Sept	46	49	49
16-30 Sept	49	49	49
1-15 Oct	30	30	30
16-30 Oct	46	46	46
1-15 Nov	47	47	47
16 Nov-a 1 Dic	92	92	92
TOTAL	396	403	397

Autor: Elaboración propia

Se puede concluir, que la búsqueda tabú parece ser el mejor algoritmo de los tres usados por que tienen un peso total de 396, pero en los resultados de los dos primeros grupos de datos el algoritmo de Búsqueda Local Guiada mostro pesos más bajos, del cuarto al octavo grupo de datos la secuenciación fue la misma para los tres algoritmos, para este caso se utilizaran las mejores secuenciaciones según el peso más bajo de los tres en cada periodo, así:

Tabla 19 Secuenciación de los pedidos en los ocho grupos de datos

GRUPOS	CANT. PEDIDOS	SECUENCIACIÓN DE LOS PEDIDOS
1-15 Agosto	70	69- 68- 64- 56- 55- 54- 53- 36- 35- 29- 28- 19- 16- 6- 12- 2- 3- 4- 7- 11- 26- 46- 52- 59- 47- 32- 14- 15- 40- 41- 45- 61- 49- 25- 20- 34- 10- 13- 48- 63- 37- 51- 50- 9- 8- 66- 65- 39- 38- 21- 5- 43- 24- 70- 67- 22- 44- 42- 23- 62- 1- 27- 31- 18- 17- 60- 33- 58- 57- 30
16-30 Agosto	45	45- 40- 39- 42- 11- 43- 44- 33- 15- 38- 2- 30- 27- 26- 23- 31- 21- 41- 25- 16- 36- 17- 9- 10- 35- 29- 34- 24- 1- 3- 14- 28- 32- 12- 22- 37- 20- 19- 8- 18- 13- 5- 4- 7- 6
1-15 Sept	88	63- 45- 48- 35- 18- 52- 72- 69- 39- 47- 70- 15- 16- 86- 6- 8- 29- 20- 36- 44- 10- 11- 12- 34- 33- 37- 13- 14- 21- 41- 42- 43- 58- 64- 75- 76- 77- 78- 81- 17- 85- 25- 26- 27- 28- 74- 50- 88- 66- 2- 3- 73- 65- 51- 4- 82- 5- 46- 87- 59- 54- 40- 80- 79- 61- 57- 56- 55- 53- 24- 22- 30- 9- 23- 62- 71- 67- 68- 19- 60- 84- 83- 38- 49- 32- 31- 7- 1
16-30 Sept	70	19- 20- 21- 11- 17- 50- 69- 3- 32- 53- 68- 18- 2- 13- 23- 24- 29- 43- 49- 67- 16- 28- 56- 65- 60- 70- 14- 15- 1- 45- 46- 47- 36- 25- 42- 61- 62- 30- 34- 66- 63- 27- 6- 5- 51- 12- 10- 40- 33- 26- 38- 64- 48- 7- 31- 44- 35- 22- 37- 4- 58- 9- 52- 8- 41- 57- 59- 55- 54- 39
1-15 Oct	72	29- 48- 11- 12- 13- 14- 28- 56- 57- 10- 45- 53- 1- 70- 68- 47- 46- 36- 35- 34- 20- 19- 18- 17- 4- 3- 2- 32- 27- 15- 5- 40- 50- 39- 38- 30- 72- 64- 63- 54- 49- 31- 65- 59- 58- 24- 33- 61- 60- 26- 25- 8- 21- 22- 55- 69- 44- 43- 67- 62- 51- 42- 7- 6- 16- 37- 41- 71- 9- 23- 66- 52
16-30 Oct	76	15- 24- 34- 23- 54- 9- 62- 73- 58- 10- 60- 65- 40- 41- 66- 67- 75- 76- 3- 39- 37- 6- 32- 51- 38- 26- 50- 7- 56- 72- 71- 70- 45- 44- 43- 42- 2- 5- 4- 61- 19- 20- 46- 47- 48- 49- 22- 31- 55- 74- 14- 13- 33- 30- 29- 63- 64- 1- 11- 25- 18- 8- 36- 35- 28- 27- 68- 69- 21- 53- 52- 17- 12- 59- 57- 16
1-15 Nov	68	65- 66- 61- 62- 68- 58- 57- 67- 60- 52- 51- 53- 54- 63- 64- 59- 50- 48- 30- 21- 39- 20- 19- 7- 6- 40- 42- 31- 5- 4- 3- 1- 12- 2- 13- 17- 43- 45- 46- 47- 49- 44- 18- 55- 56- 14- 15- 10- 11- 9- 8- 16- 22- 29- 38- 37- 36- 35- 34- 33- 32- 26- 25- 24- 23- 27- 41- 28
16 Nov-1 Dic	120	30- 6- 3- 79- 5- 117- 67- 35- 47- 68- 57- 14- 12- 17- 40- 4- 44- 41- 25- 88- 58- 84- 46- 116- 80- 72- 7- 82- 39- 81- 98- 59- 83- 85- 97- 75- 77- 32- 107- 106- 43- 2- 93- 76- 94- 95- 96- 69- 54- 21- 1- 27- 50- 92- 62- 56- 55- 42- 31- 22- 23- 86- 101- 100- 99- 19- 18- 10- 8- 89- 105- 108- 102- 15- 16- 13- 11- 114- 115- 70- 111- 49- 45- 48- 78- 110- 104- 24- 90- 91- 9- 53- 112- 113- 119- 20- 26- 29- 33- 34- 36- 37- 66- 38- 60- 28- 51- 52- 118- 63- 73- 74- 109- 71- 61- 64- 120- 65- 87- 103

Autor: Elaboración propia

Con los anteriores resultados para los 8 intervalos de tiempo, se reasignaron nuevos factores de montaje, también se recalcularon los tiempos de alistamiento utilizando los % de la tabla 19. Se utilizará la siguiente nomenclatura en las tablas y figuras:

- Escenario 1: Situación actual del proceso
- Escenario 2: Después de implementación teórica de técnicas Lean Manufacturing
- Escenario 3: Después de usar los algoritmos de secuenciación
- Escenario 3.1: Usando los algoritmos en el escenario 1
- Escenario 3.2: Usando los algoritmos en el escenario 2

Tabla 20 Variación de los factores entre montaje

Factor entre montajes	Escenario 1		Escenario 3		% Incremento/Disminución	
	Cant. Pedidos	% participación	Cant. Pedidos	% participación		
1	29	4,8%	69	11,3%	137,9%	Incremento
2	281	46,1%	457	75,0%	62,6%	Incremento
3	207	34,0%	73	12,0%	64,7%	Disminución
4	92	15,1%	10	1,6%	89,1%	Disminución
Total general	609	1	609	1		

Autor: Elaboración propia

Como muestra la anterior tabla, se logro con los algoritmos de secuenciacion un aumento en los factores de montaje 1 (0 alistamiento) y 2 (alistamiento bajo porque las características de los pedidos son muy similares), pasando de 29 pedidos a 69 en factor 1 y de 281 a 457 en factor 2, por consiguiente los factores 3 y 4 disminuyeron, logrando cumplir una de las prioridades del proyecto al incrementar los factores 1 y 2.

Tabla 21 Composición de los nuevos factores entre montaje

		Factor de montaje 1		Factor de montaje 2		Factor de montaje 3		Factor de montaje 4	
		Escenario 3		Escenario 3		Escenario 3		Escenario 3	
		Escenario 1	Escenario 3						
Escenario 1	Factor 1	2	➔ 69	23	➔ 457	4	➔ 73	0	➔ 10
	Factor 2	34		217		26		4	
	Factor 3	24		147		33		3	
	Factor 4	9		70		10		3	
TOTAL		294							
TOTAL		60							

Autor: Elaboración propia

Al analizar la secuenciacion de trabajo propuesta con los algoritmos, se identifica como aumento el factor 1 y 2, que son buenas decisiones porque retiran pedidos de factor 3 y 4 (celdas con color verde en la grafica), pero tambien se encontraron disminucion de pedidos con

factor 1 y 2 para pasar a factor 2, 3 y 4 (celdas con color rojo) que técnicamente incrementan el alistamiento.

Al examinar puntualmente estos casos de color rojo se encontro que los pedidos de factor 1 que pasaron a factor 2 sucedieron porque la programacion da un peso mayor al parametro de largo de la lamina y hace cambiar el factor, al mismo tiempo muchos de los pedidos que pasaron de factor 2 a factor 1 (34 pedidos) tienen asociado en factor 2 los que cambiaron de factor 1 a factor 2.

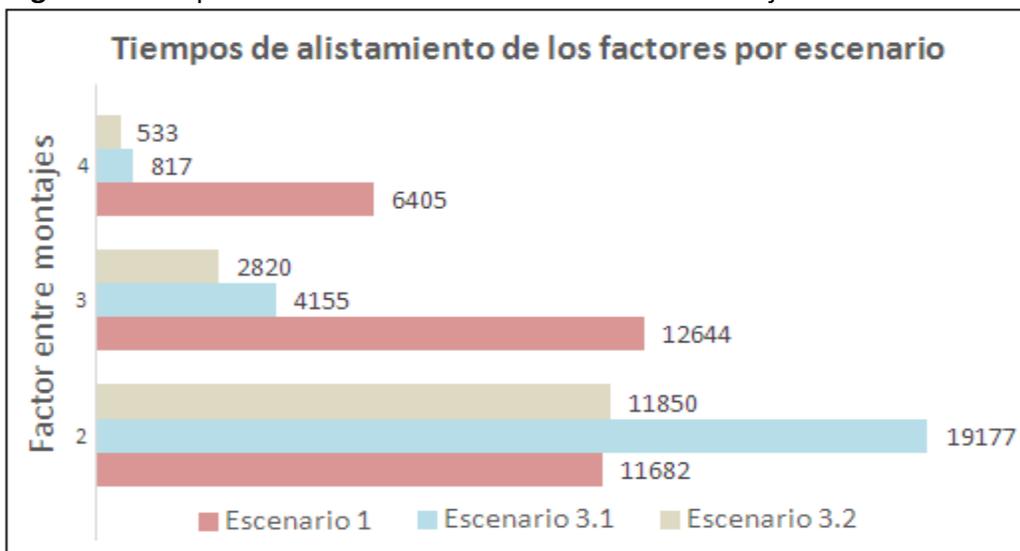
Los 26 pedidos que pasaron de factor 2 a factor 3, técnicamente se pueden evitar si se incluyen mas parametros en la programacion como el nombre de la referencia del pedido y cambiar el peso entre cambios de categoria.

Algo beneficioso que se identifico es que el factor 4 (primer pedido del turno) disminuyo considerablemente, porque la nueva secuenciacion de trabajo al organizar los pedidos por sus características similares, permite que el siguiente trabajo sea parecido y así cambien de turno no es necesario desmontar la cuchilleria, o mover la bandeja de alimentacion, las tintas se pueden dejar en las cubetas desde que se dejen tapadas e impida que el ambiente las seque, en general solo se desmontan cyreles, iniciando el turno con un pedido de factor 2.

La siguiente figura muestra como cambiaron los totales de tiempo de alistamiento en los factores 2, 3 y 4 entre los diferentes escenarios, siendo considerable la disminución del factor 3 del escenario 1, igualmente del factor 4 en el escenario 1.

El factor 2 tiene un análisis más detallado porque en escenario 1 tiene 281 pedidos y para los otros escenarios paso a 457 pedidos, lo que hace la diferencia entre el escenario 3.1 (con mejoras Lean) y el 3.2 (con mejoras Lean y uso de algoritmos de secuenciación), son las distintas mejoras que se implementaron, concluyendo que el escenario 3.2 casi dobla en pedidos al escenario 1, pero en la sumatoria de tiempos de alistamiento solo está por encima en un 1%.

Figura 24 Composición de los nuevos factores entre montaje



Autor: Elaboración propia

Se muestran los nuevos resultados finales de la sumatoria de los tiempos de proceso (alistamiento mas impresión).

Tabla 22 Nuevos tiempos totales de proceso

Escenario 3			
Escenario 3.1		Escenario 3.2	
(min)	(horas)	(min)	(horas)
78.080	1.301	69.134	1.152

Autor: Elaboración propia

En la discusión de resultados se analizará el ahorro que se logró con la utilización de los algoritmos de secuenciación.

En los anexos se muestra la programación empleada en este caso de estudio.

5. SIMULACIÓN DE LOS PROCESOS EN CADA ESCENARIO.

Se simulará el escenario 1, escenario 2, escenario 3.1 y escenario 3.2.

Flexsim es un software de simulación de procesos muy versátil que permite parametrizar el proceso, visualizarlo y muestra resultados de su ejecución para ser analizados.

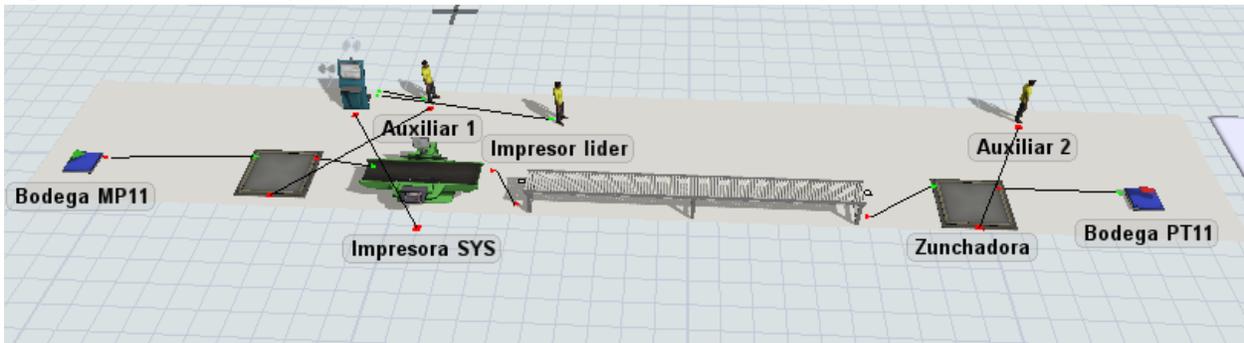
Se utilizó la versión estudiantil de Flexsim 2020, con los siguientes parámetros:

- Source con disponibilidad constante de recursos, es la representación de la bodega de MP.
- Queue con capacidad de 2500 unidades o láminas, siendo la zona de alimentación de la impresora S Y S en donde se colocan las estibas antes de su procesamiento.
- Processor1 (Impresora S Y S) con su tripulación conformada por tres operarios, los tiempos de procesos están dados por una tabla global de tiempos que contiene las 609 cifras de los pedidos a simular, correspondientes a los 4 meses recopilados en la base de datos del primer objetivo.
- Conveyor o banda transportadora en donde se colocan las cajas terminadas después de salir de la impresora y son llevadas a la zunchadora.
- Queue 2 (Zunchadora), realiza el proceso de zunchar los paquetes de 12 cajas cada uno para entregarlos al zink, se parametrizó con una velocidad que no genere demoras ni cuellos de botella.
- Zink, representa la finalización del proceso y es la entrega del producto terminado al área de almacenamiento para despacho.
- Operario 1 (Impresor Líder), es quien opera la impresora.
- Operario 2 (auxiliar 1), es el encargado de alimentar la impresora.
- Operario 3 (auxiliar 2), organiza el producto terminado, lo zuncha en paquetes y acomoda en el área de despacho.

Se parametrizó el modelo con las siguientes características:

- Flujo constante de MP en el source.
- Los tiempos de proceso en el processor corresponden a los tiempos reportados en minutos en cada uno de los escenarios, siendo 609 datos o pedidos que se simularan.
- El impresor Líder y auxiliar 1 (operarios 1 y 2) se conectan al processor por medio de un dispatcher.

Figura 25 Modelo del proceso

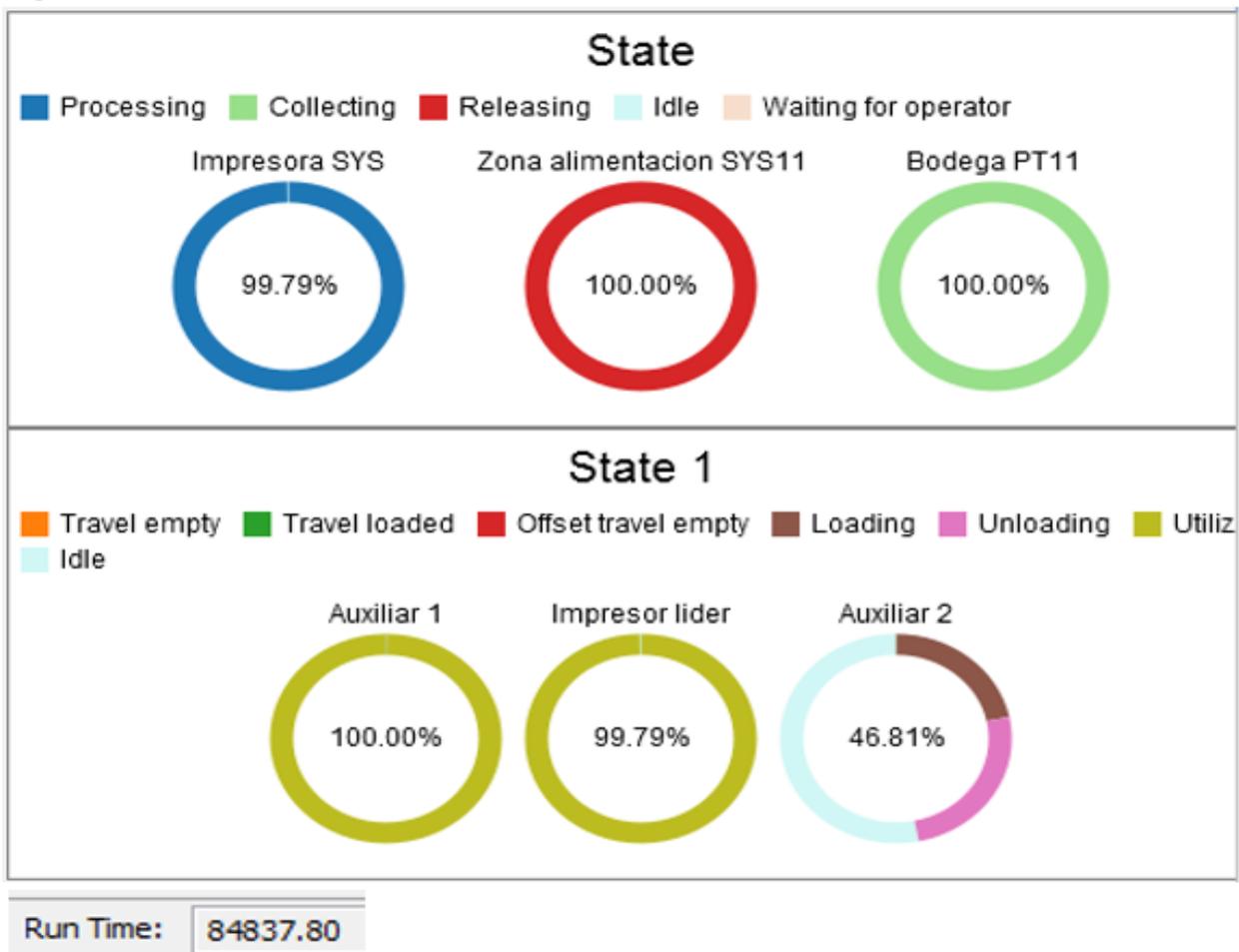


Autor: Elaboración propia

5.1 SIMULACIÓN DEL ESCENARIO 1.

Se obtuvieron los siguientes resultados después de simular los datos de la condición actual del proceso.

Figura 26 Resultados simulación escenario 1

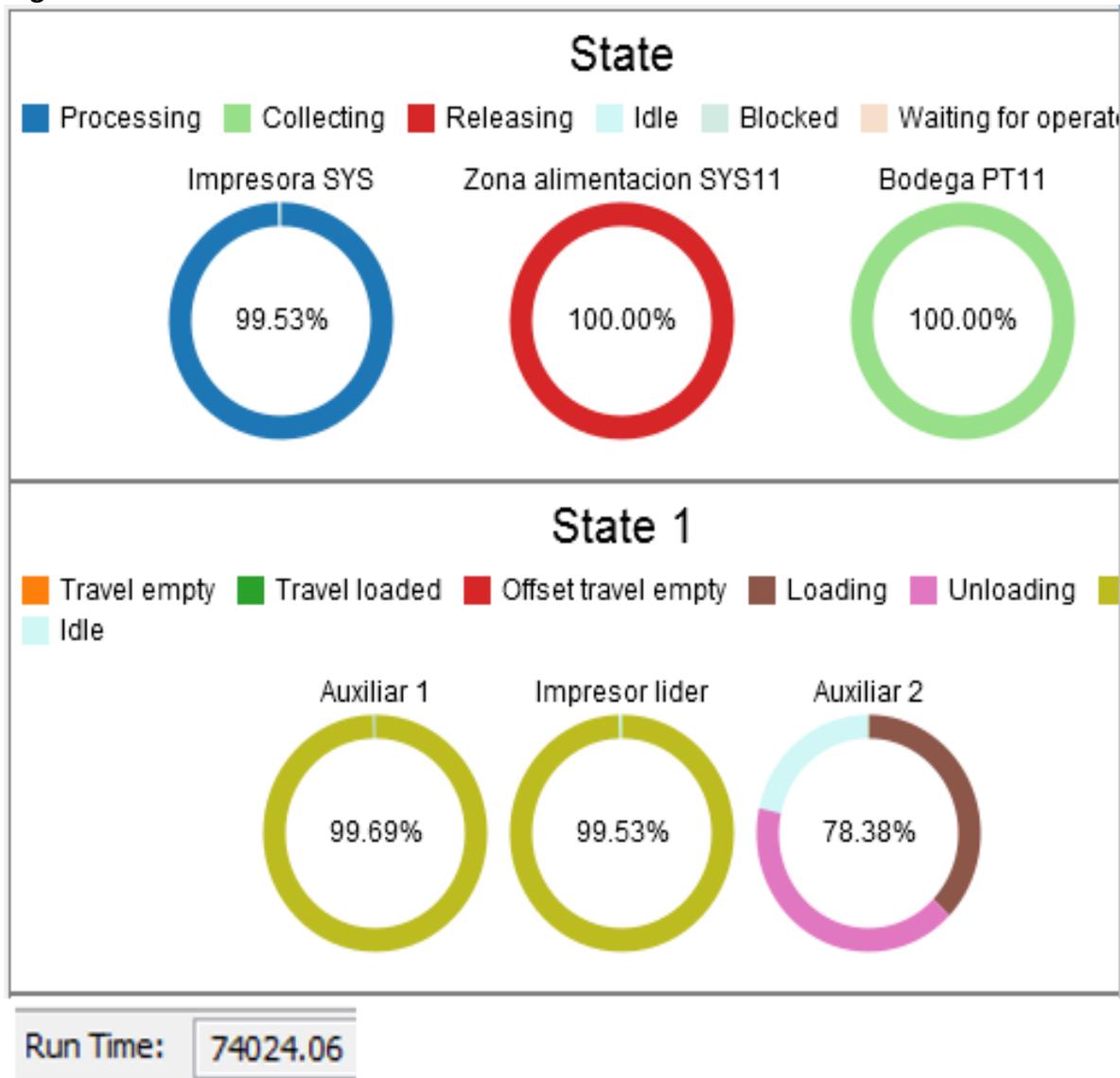


Autor: Elaboración propia

El tiempo total de la simulación fue de 58.8 días, procesando los 609 pedidos, la impresora tiene una ocupación del 99.79% igual que el impresor Líder que es quien la ópera, el auxiliar 1 junto con la zona de alimentación están 100% cargando de materia prima de máquina, el auxiliar 2 tiene un 53.19% de tiempo ocioso, el resto de tiempo está dividido entre la operación de la zunchadora y la acomodación del producto terminado, la bodega de producto terminado está recibiendo material constantemente.

5.2 SIMULACIÓN DEL ESCENARIO 2.

Figura 27 Resultados simulación escenario 2



Autor: Elaboración propia

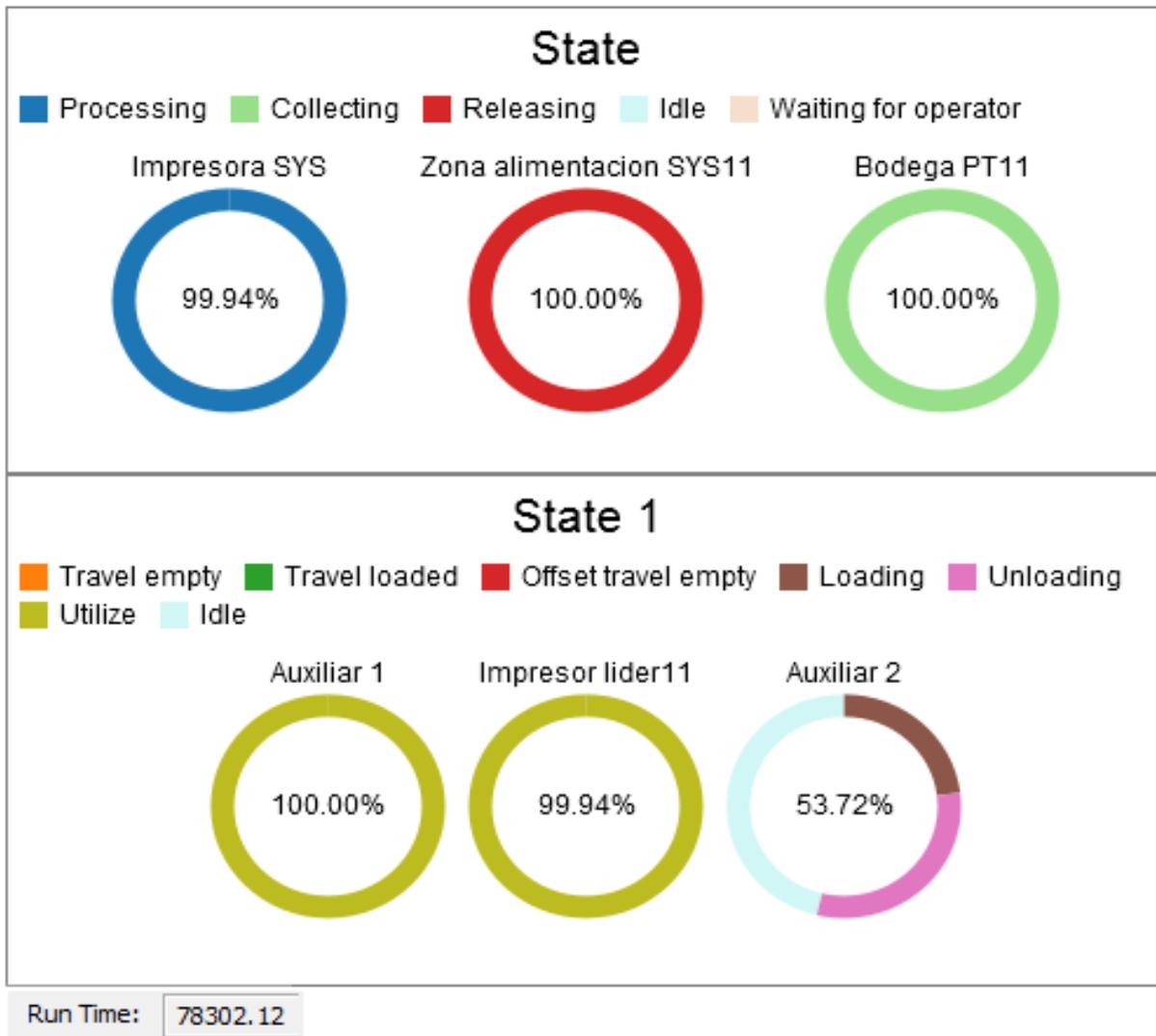
La simulación dio 51.4 días de proceso después de la implementación teórica de herramientas Lean y de la disminución del 35% de los tiempos de proceso, al incorporar las mejoras se

reassignaron nuevas tareas a los auxiliares 1 y 2, disminuyendo el tiempo ocioso del auxiliar 2 a un 21.62%, la ocupación de la impresora continuo sobre el 99%.

5.3 SIMULACIÓN DEL ESCENARIO 3.

El escenario 3 está compuesto por la simulación de los datos actuales (escenario 3.1) y la simulación después de la utilización teórica de técnicas Lean (escenario 3.2).

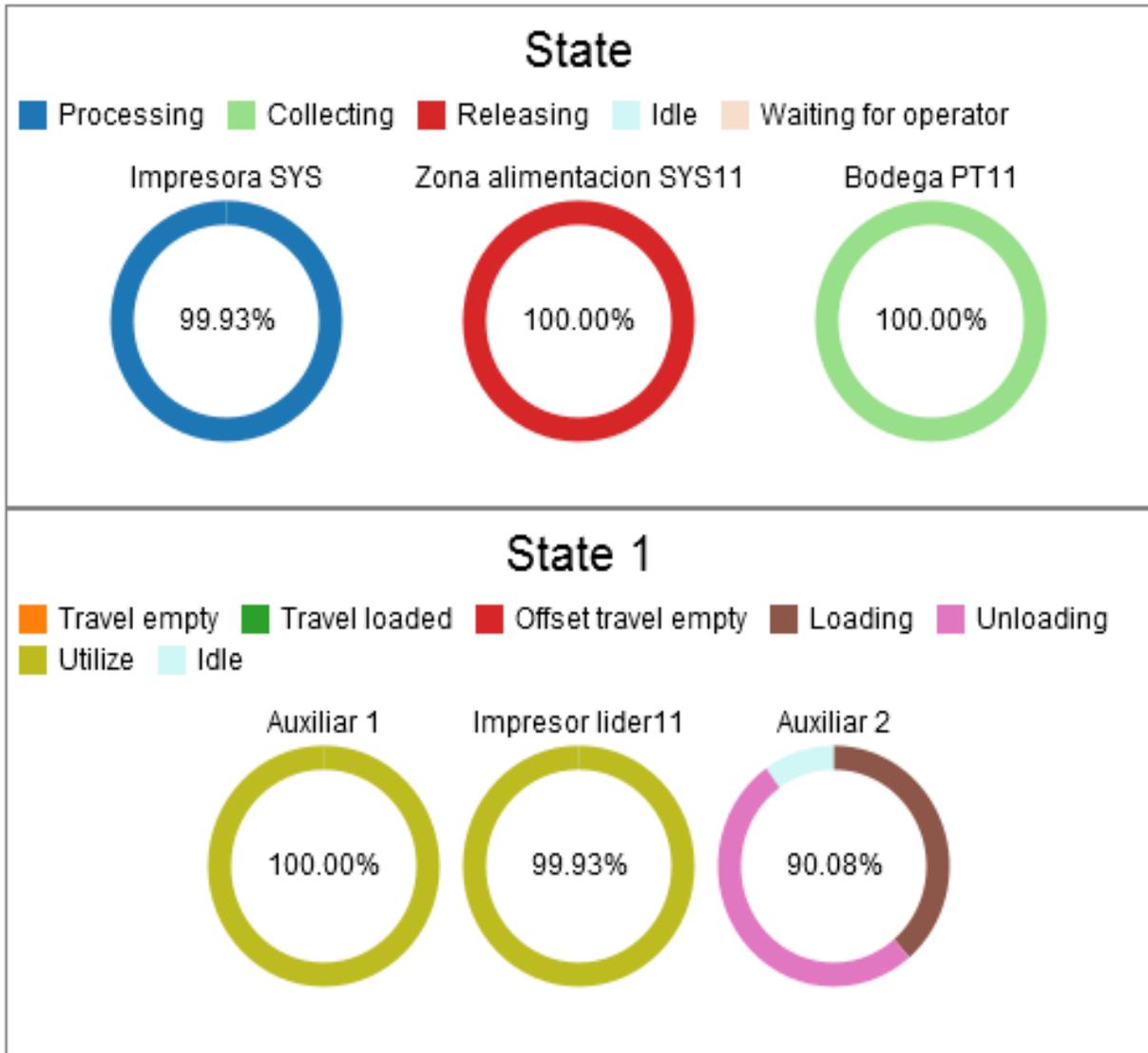
Figura 28 Resultados simulación escenario 3.1



Autor: Elaboración propia

Se evidencia una disminución en el tiempo de corrida respecto al primer escenario de 6.535 min (109 horas), esta disminución se logró después de reorganizar la secuenciación de los pedidos con los algoritmos, también se aumentó el % de ocupación del auxiliar 2 en un 7% porque los tiempos de proceso aprovechan mejor los alistamientos.

Figura 29 Resultados simulación escenario 3.2



Run Time: 69367.09

Autor: Elaboración propia

La diferencia del tiempo de corrida con la simulación del segundo escenario es de 4.657 min (77.6 horas), que se ahorraron al aplicar los algoritmos de secuenciación, se incrementó el porcentaje de utilización del auxiliar 2 en un 11.7%.

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Al desarrollar cada uno de los objetivos específicos en este proyecto se consiguieron diferentes resultados y al resumirlos se tiene:

Tabla 23 Resumen de los resultados de cada objetivo

No.	Objetivo	Resultado
1	Compilar una base de datos operacionales para organizar los productos por categorías según sus características de proceso similares.	Categorización de los pedidos procesados en 5 familias de productos, base de datos operacional de los meses de Agosto, Septiembre, Octubre y Noviembre, con tiempos de proceso, factor entre montaje, demás datos cuantificados y la secuenciación de trabajo actual.
2	Aplicación teórica de técnicas Lean Manufacturing para mejorar los procesos y análisis de resultados.	Investigación teórica de las herramientas Lean Manufacturing más implementadas, aplicación del SMED, 5S y AMEF que permitieron solucionar teóricamente los inconvenientes más representativos que se reportaron en la ejecución del proceso, definiendo una disminución de 35% en los tiempos de alistamiento
3	Desarrollar un sistema productivo sencillo de aplicar, utilizando algoritmos de secuenciación.	Nueva secuenciación de trabajo para los 609 pedidos, con nuevos factores entre montajes que garantizan una reducción en los tiempos de alistamiento
4	Determinar mediante la simulación de los procesos las características operativas de cada escenario	Nuevos tiempos de proceso totales para cada escenario que incluyen otros factores que tienen en cuenta el software Flexsim

Autor: Elaboración propia

En el primer objetivo se establecieron los factores entre montaje, que están directamente relacionados con el tiempo de alistamiento, se han empleado en el desarrollo del proyecto y se pueden usar para mostrar la disminución de los tiempos de alistamiento en cada uno de los objetivos, así:

Con el desarrollo de la implementación teórica de técnicas Lean Manufacturing se logró un ahorro de 11.193 min o 186.6 horas al asignar un porcentaje de disminución teórica de 35% a los factores entre montajes iniciales, este ahorro corresponde a un 13.2% de disminución en los tiempos de alistamiento del escenario 1.

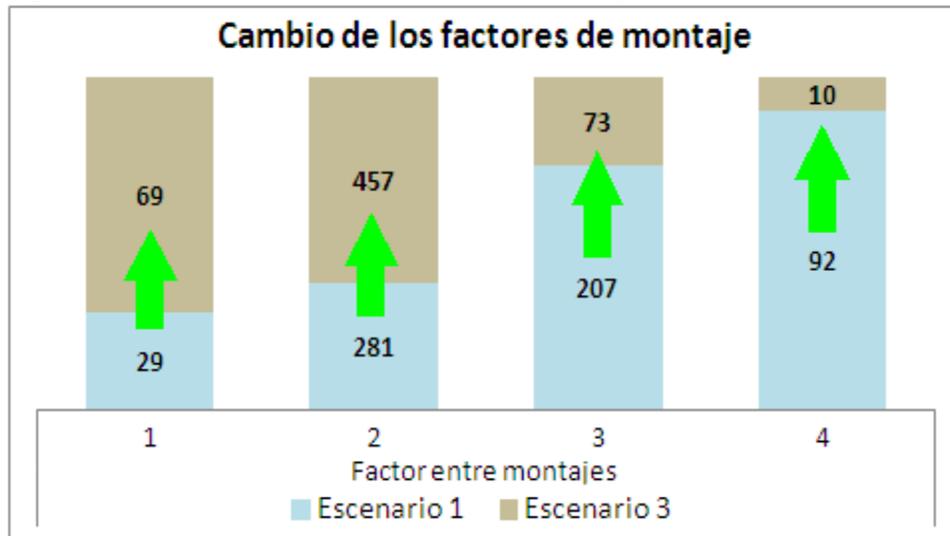
Tabla 24 Comparación escenario 1 con escenario 2

	FACTOR 1	FACTOR ENTRE MONTAJE 2				FACTOR ENTRE MONTAJE 3				FACTOR ENTRE MONTAJE 4				TOTALES Σ	
		% dentro	Σ	% fuera	Σ	% dentro	Σ	% fuera	Σ	% dentro	Σ	% fuera	Σ		
Categoria 1	Escenario 1	2120	37	20.520	30	11.365	47	13.246	39	12.600	50	6.565	43	4.590	71.006
	Escenario 2		26	18.012	22	9.983	39	10.975	30	10.746	40	5.405	33	3.973	61.214
Categoria 2	Escenario 1	430	22	190	35	550	40	130	44	680	52	220	48	310	2.510
	Escenario 2		16	177	27	484	30	112	34	558	41	180	38	260	2.201
			%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ			TOTALES Σ		
Categoria 3	Escenario 1	150	26	1.250	46	2.050	54	550	4.000						
	Escenario 2		19	1.131	36	1.698	44	449	3.428						
Categoria 4	Escenario 1	120	13	390	22	280	24	530	1.320						
	Escenario 2		8	183	13	257	16	494	1.054						
Categoria 5	Escenario 1	920	8	881	13	1.140	16	2.885	5.826						
	Escenario 2		3	827	7	1.081	8	2.744	5.572						
TOTAL Σ PROCESO ESCENARIO 1 (min)						84.662		DISMINUCIÓN DEL 35% ENTRE LOS % DEL ESCENARIO 1 PARA EL ESCENARIO 2, LAS 183,6 HORAS DAN UNA DISMINUCION DE 13,22%							
TOTAL Σ PROCESO ESCENARIO 2 (min)						73.469									
TOTAL TIEMPO DIFERENCIA ENTRE ESCENARIOS (min)						11.193									
TOTAL TIEMPO DIFERENCIA ENTRE ESCENARIOS (Horas)						186,6									

Autor: Elaboración propia

Los factores de montaje están ligados directamente a los tiempos de alistamiento de cada pedido y después de aplicar los algoritmos de secuenciación del tercer objetivo, se reasignaron dichos factores, logrando aumentar la cantidad de pedidos con factor de montaje 1 en un 137,9% y factor de montaje 2 en un 62,6% respecto a los iniciales del escenario 1, como se evidencia en la siguiente figura.

Figura 30 Resumen de los factores entre montaje



Autor: Elaboración propia

Después se recalcularon los nuevos tiempos de alistamiento según los porcentajes de cada factor de montaje (tabla 13 y tabla 19) conformando los escenarios 3.1 y 3.2, a continuación, se resumen los resultados obtenidos, con la simulación en Flexsim se obtiene un incremento en cada uno de los tiempos que oscila entre 300 y 400 minutos por la inclusión de factores como el cansancio o monotonía, estos resultados son académicos no se utilizaran para las comparaciones con otros escenarios.

Tabla 25 Resultados de todos los escenarios

		Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	
				Escenario 3.1	Escenario 3.2
Cant. Pedidos		609	609	609	609
Total Minutos		84.662	73.469	78.080	69.134
Total horas		1.411,0	1.224,5	1.301,3	1.152,2
Flexsim	Total Minutos	84.837	74.024	78.302	69.367
	Total horas	1.414	1.234	1.305	1.156

Autor: Elaboración propia

Tabla 26 Ahorro de tiempos entre los escenarios

Comparación	Minutos	Horas Máquina	%	Turnos de trabajo economizado	Horas Hombre (6 personas, 2 tripulaciones)
Escenario 1 con Escenario 2	11.193	186,6	13,2%	22,9	1.100,2
Escenario 1 con Escenario 3.1	6.582	109,7	7,8%	13,7	658,2
Escenario 1 con Escenario 3.2	15.528	258,8	18,3%	32,3	1.552,8

Autor: Elaboración propia

Después de interrelacionar los escenarios se evidencian los ahorros en tiempo y porcentaje en cada caso:

- La aplicación teórica de técnicas Lean logra un ahorro de 186.6 horas máquina y 1.100 horas hombre, su implementación no es costosa y requiere básicamente una persona capacitada que lidere el proceso y el compromiso de toda la organización, en este caso solo se utilizó el SMED y 5S por ser las técnicas que se requerían por la situación actual del proceso, pero también son aplicables ANDON, TPM, Kaizen, VSM, entre otras herramientas Lean. Con las 5S se solucionan las causas de muchos de los inconvenientes reportados por el personal, principalmente la falta de organización en los insumos y materiales a emplear (ver tabla 15).
- La reorganización de la secuencia de trabajo con la utilización de algoritmos de secuenciación sobre la situación actual (escenario 1) permite un ahorro de tiempo de 109.7 horas máquina y 658.2 horas hombre,

- Al aplicar los algoritmos de secuenciación después de las mejoras Lean (escenario 2) se consigue un ahorro de tiempo de 258.8 horas máquina, 1.552 horas hombre, siendo en total un 18.3% menos que en la condición inicial (escenario 1), son 32.3 turnos de trabajo menos que se pueden utilizar para procesar otros pedidos.
- No se cuantifican en dinero estas horas hombre porque los salarios no son iguales para todos los colaboradores, pero si es un ahorro considerable en cuatro meses de operación al ser más de un mes de trabajo de una tripulación.
- En el desarrollo de los algoritmos de secuenciación de este proyecto no se tenían los datos de la fecha de entrega al cliente en cada pedido, por eso se agruparon en conjuntos de 15 días por ser la política de entrega, pero este dato si es un aspecto clave que se debe tener en cuenta porque afecta directamente la secuenciación.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de la discusión de resultados se concluye y recomienda:

- La implementación de técnicas Lean Manufacturing en cualquier proceso, promueve una cultura de auto mejora, de orden, de cuidado con las herramientas y equipos, y demás aspectos que benefician al trabajador como a la organización, además estas técnicas son muy variadas y promueven la participación de todos los involucrados, motivándolos a proponer ideas o nuevos métodos para facilitar sus actividades, no requieren una gran inversión monetaria, pero si un alto compromiso.
- La técnica de las 5S es la más utilizada en todo proceso, es el punto de partida para lograr una organización adecuada de los puestos de trabajo, solucionando así inconvenientes muy comunes como el tiempo muerto por búsqueda de herramientas, falta de espacio por acumulación de obsoletos, insumos o materias primas dañadas, etc, además es indispensable si se quieren implementar otras herramientas Lean.
- Teóricamente con la implementación teórica de las 5S y SMED se logró una disminución del 13.2% de los tiempos de alistamiento originales, dando solución a los inconvenientes reportados en la ejecución de la operación, para este tipo de proceso manufacturero se pueden aplicar una gran cantidad de técnicas Lean (como se enuncia en la discusión de resultados) que permitirían un ahorro mayor.
- Flexsim es un software con muchas aplicaciones industriales, pero es más empleado con fines académicos, los resultados que arrojo la simulación de cada escenario muestran un incremento del tiempo total de proceso entre el 3% y 4%, lo más representativo son los porcentajes de utilización de cada recurso empleado y como después de las mejoras Lean Manufacturing aumento dicho porcentaje para el Auxiliar 2 por la redistribución de funciones.
- La aplicación de los algoritmos de secuenciación requiere de un conocimiento muy específico en lenguaje de programación y teoría en investigación de operaciones, pero sus resultados aseguran el manejo adecuado de los recursos físicos y humanos disponibles (no el óptimo, pero si un valor cercano), como resultado se obtuvo un ahorro de 658.2 horas hombre respecto a la situación inicial y de 1.552 horas hombre después del uso de Lean Manufacturing en una sola máquina. Si se hubiera dado alcance con las

otras 3 impresoras los resultados serían más impactantes, pero por falta de datos se planteó desde el comienzo solo analizar una impresora.

- La investigación de operaciones es una ciencia muy amplia y que está en desarrollo constante por los amplios requerimientos de la industria, tristemente los métodos para su implementación son poco conocidos en las pequeñas y medianas empresas.
- Toda organización debe buscar constantemente como mejorar la ejecución de sus procesos para ser más competitivos en el mercado al lograr una mejor utilización de sus recursos, que permita manejar precios más bajos sin afectar la calidad del producto ni las utilidades.
- La falta de una comunicación adecuada entre las áreas comercial y producción en cualquier organización afecta la ejecución de los procesos, causando sobrecostos por malas decisiones o afanes, que finalmente asume la empresa porque no se transfieren al cliente, se recomienda tener definidos los canales de comunicación, las jerarquías, el flujo de información adecuado a cada nivel, que permita el cumplimiento de los requisitos del cliente y el desarrollo de los procesos según lo planificado.
- Estar actualizado en los conocimientos de nuevas técnicas, software y demás herramientas de ingeniería es obligatorio en el mercado laboral actual, el desarrollo de este caso de estudio me obligo a investigar, consultar y aprender conceptos nuevos que estoy seguro volveré a usar en el contexto académico y del sector industrial real.

BIBLIOGRAFÍA

- Arrieta, J., Muñoz, J., Salcedo, A. y Sossa, S. (2011). Aplicación Lean Manufacturing en la Industria Colombiana. Revisión de Literatura en Tesis y Proyectos de Grado. Recuperado de: http://www.laccei.org/LACCEI2011-Medellin/RefereedPapers/PE298_Arrieta.pdf
- Acevedo, N., Carrillo, A., Paternina, D. y Raish, J. (2003). Modelo para la programación de las operaciones en la fabricación de cajas de cartón corrugado. Recuperado de: <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/viewArticle/2322>
- Aranibar, M. (2016). Aplicación del Lean Manufacturing para la mejora de la Productividad en una empresa manufacturera. Recuperado de: http://cybertesis.unmsm.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/cybertesis/5303/Aranibar_gm.pdf?sequence=1
- Bello, C. (2006). Manual de Producción aplicado a las PYMES (2. ed.), Colombia, Ecoe Ediciones.
- Cano, C y Escobar, L. (2018). Caracterización teórica y su relación en la implementación de herramientas Lean Manufacturing en Procesos de Manufactura, Recuperado de: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/14824/1/CanoCastilloCindyVanesa2018.pdf>
- Casadiago, R. (2015). Guía de usuario para el modelamiento y análisis con el software Flexsim. Colombia, Grupo de Investigación en Productividad y Competitividad de la Universidad Francisco de Paula Santander.
- Castaño, H. y Hincapié, S. (2014). Desarrollo de un plan para la aplicación de SMED en el área de sellado de una empresa flexográfica. Recuperado de: <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/2121>
- Chase, R, Jacobs, R y Aquilano, N. (2005). Administración de la Producción y las Operaciones para una Ventaja Competitiva (10a. ed.), México, Mc Graw Hill.
- Colaboradores de Wikipedia. (2019, 29 de noviembre). Búsqueda local (optimización). En Wikipedia, la enciclopedia libre. Recuperado de: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Local_search_\(optimization\)&oldid=928471895](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Local_search_(optimization)&oldid=928471895)
- Collazos, C. (2016). Diseño de un protocolo para la reducción de los tiempos improductivos en el área de impresión de una empresa productora de empaques flexibles. Recuperado de: <http://bdigital.unal.edu.co/51184/1/1026261558-2015.pdf>

- Correa, A., Gómez, R. y Botero, C. (2012). La Ingeniería de Métodos Y Tiempos como Herramienta en la Cadena de Suministro, Recuperado de: <https://revistas.eia.edu.co/index.php/SDP/article/view/356/349>
- Cuevas, H., Camacho, G. y Solís, C. (2019). Estadística computacional con Julia. Ventajas de su enseñanza en la universidad, Recuperado de: https://tecdigital.tec.ac.cr/revistamatematica/Secciones/Didactica_y_Software/RevistaDigital_Hcuevas_V20_n2_2020/RevistaDigital_HCuevas_V20_n2_2020.pdf
- Díaz, Z., Fernández, J. y Martínez, P. (2014). Secuenciación de Tareas en el ámbito de la Producción: una aplicación del Algoritmo del Recocido Simulado. Recuperado de: <https://eprints.ucm.es/6832/1/04008.pdf>
- Espinoza, O. (2016). Diseño de propuesta de un sistema de control y mejoramiento de la productividad en una empresa cartonera. Recuperado de: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/5665/1/T-UCSG-PRE-ECO-MD-ADM-50.pdf>
- Fernández-Baños, I. (2003). Programación de la secuencia de fabricación en una máquina, con tiempos de preparación variables, mediante la aplicación de Algoritmos Genéticos. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3638/31132-1.pdf>
- García, F. (2013). Dirección y Gestión de la Producción una aproximación mediante la simulación (1a. ed.), México, Editorial Alfaomega.
- García, I. y Villanueva, J. (2009), Reducción de tiempos de Fabricación con el sistema SMED. Recuperado de: <http://www.tecnicaindustrial.es/TIAdmin/Numeros/55/40/a40.pdf>
- General Motors Corporation, (2008). Análisis de Modos y Efectos de Fallas Potenciales AMEF, Manual de Referencia (4a. ed), Recuperado de: https://www.academia.edu/36657842/Manual_AIAG_AMEF
- Giraldo, J., Toro, C., y Jaramillo, F. (2013). Aprendiendo sobre la Secuenciación de Trabajos en un Job Shop mediante el Uso de Simulación. Recuperado de: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50062013000400004
- Hernández, J. y Vizán, A. (2013). Lean Manufacturing Conceptos, técnicas e implantación (1a. ed.), Madrid, Editorial de la Universidad Politécnica de Madrid Grupo Ingeniería de Fabricación.
- Hidalgo, L. y Vera, D. (2018). Mejoramiento de los procesos de comparación para imprentas flexográficas basado en la metodología SMED en contribución a la productividad de las empresas cartoneras. Recuperado de: <http://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/4391>

- Huertas, L. (2014). Aplicación de la Metodología SMED en el proceso de impresión Flexográfica. Recuperado de: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1804/2/RAE.pdf>
- López, J., (2017). Incremento de Productividad en Copamex Corrugados México S.A. de C.V. utilizando la Manufactura Esbelta, Recuperado de: <http://repositorio.upiicsa.ipn.mx/handle/20.500.12271/812>
- López, M., Martínez, G., Quirós, A. y Sosa, J., (2011). Balanceo de Líneas utilizando Herramientas de Manufactura Esbelta, Recuperado de: https://www.itson.mx/publicaciones/pacioli/Documents/no74/21.-_balanceo_de_lineas_utilizando_herramientas_de_manufactura_esbelta.pdf
- Madariaga, F. (2020). Lean Manufacturing Exposición adaptada a la fabricación repetitiva de familias de productos mediante procesos discretos. Recuperado de: <https://libros-lean-manufacturing.blogspot.com/2013/11/libro-lean-manufacturing.html>
- Marmolejo, I., Santana, F., Granillo, F. y Piedra, V. (2013). La simulación con Flexsim, una fuente alternativa para la toma de decisiones en las operaciones de un sistema híbrido. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=233146290011>
- Martínez, F., y Moran, J. (2001). Implantación del sistema SMED en un proceso de impresión flexográfica. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/28793294_Implantacion_Del_Sistema_Smed_En_Un_Proceso_De_Impresion_Flexografica/citation/download
- Meyers, F. (2000). Estudio de tiempos y Movimientos para la Manufactura Ágil (2a. ed.), México, Prentice Hall.
- Nahmias, S. (2007). Análisis de la producción y las operaciones (5a. ed.), McGraw- Hill Interamericana.
- Niebel, B y Freivalds, A. (2009). Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo (12a. ed.), México, Mc Graw Hill.
- Ordoñez, C., (2004). Incremento de la Eficiencia del Proceso de Corrugado en la Industria Cartonera Ecuatoriana SA, Recuperado de: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/5508/1/industrial%20%203033.pdf>
- Pantoja, U., y Castrillón, J. (2017). Aplicación de la técnica SMED en el procedimiento de cambio de tintas de la referencia bolsa kraft Colanta entera 3c a bolsa kraft amtex tannus 2c. Recuperado de: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/2256>

- Pérez, V., (2017). Metodología Dinámica para la implementación de 5'S en el Área de Producción de las Organizaciones, Recuperado de: <https://revistas.upb.edu.co/index.php/cienciasestrategicas/article/viewFile/8014/7307>
- Puche, J., Costas, J. y Arranz, P. (2016). Simulación como Herramienta de ayuda para la toma de decisiones empresariales. Un caso práctico. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=233146290011>
- Quevedo, D. y Ríos, J. (2010). Uso de búsqueda tabú en la solución del problema de asignación cuadrática, Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/47537167_Uso_de_busqueda_tabu_en_la_solucion_del_problema_de_asignacion_cuadratica
- Riggs, James L. (2005). Sistemas de Producción: Planeación, Análisis y Control (3a. ed.), México, Editorial Limusa Wiley.
- Sifuentes, A. (2017). Mejora de la productividad en una empresa de empaques flexibles aplicando la herramienta Single Exchange of Die (SMED). Recuperado de: <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/5/browse?type=author&value=Sifuentes+Samatelo%2C+Ana+Luc%C3%ADa>
- Verdecho, M y Alfaro, J. (2011). Ejercicios resueltos mediante el Software Flexsim, Valencia, Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Villaseñor, A y Galindo, E. (2009). Manual de Lean Manufacturing Guía Básica (2a. ed.), México, Editorial Limusa Wiley.

ANEXO B. DATOS DE PROCESO IMPRESORA GANDOSI

GANDOSI																								
AGOSTO																								
CATEGORIA	No OP	Σ METROS CUADRADOS TOTALES (m2)	% ENTREGADAS	Σ de UNIDADES ENTREGADAS	Σ horas	%	Σ Tiempo Improd (min)	FACTOR ENTRE MONTAJES				δ												
								1		2			3		4									
	# OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ								
2	42	167.719	99,2%	78.610	147	98,6%	245	0,057	0,003	17	2,045	0,120	0,041	9	1,215	0,135	0,054	13	1,660	0,128	0,027			
5	1	1.355	0,8%	1.000	2	1,4%				1	0,125	0,125												
Total MES	43	169.074	1	79.610	149	1	245			18				9	1,215			13	1,660					
SEPTIEMBRE																								
CATEGORIA	No OP	Σ METROS CUADRADOS TOTALES (m2)	% ENTREGADAS	Σ de UNIDADES ENTREGADAS	Σ horas	%	Σ Tiempo Improd (min)	FACTOR ENTRE MONTAJES				δ												
								1		2			3		4									
	# OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ								
2	49	204.101	1	103.410	186	1	215	0,358	0,072	19	2,022	0,106	0,020	8	0,875	0,109	0,022	17	2,260	0,133	0,032			
Total MES	49	204.101	1	103.410	186	1	215			19	2,301			8	0,875			17	2,341					
OCTUBRE																								
CATEGORIA	No OP	Σ METROS CUADRADOS TOTALES (m2)	% ENTREGADAS	Σ de UNIDADES ENTREGADAS	Σ horas	%	Σ Tiempo Improd (min)	FACTOR ENTRE MONTAJES				δ												
								1		2			3		4									
	# OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ								
1	1	445	0,4%	480	2	0,7%	15			1	0,219	0,219												
2	35	116.990	99,6%	70.900	128	98,6%	130	0,128	0,064	14	1,522	0,109	0,021	7	0,952	0,136	0,065	12	1,527	0,127	0,036			
Total general	36	117.434	1	71.380	129	1	145			15	1,740			7	0,952			12	1,527					
NOVIEMBRE																								
CATEGORIA	No OP	Σ METROS CUADRADOS TOTALES (m2)	% ENTREGADAS	Σ de UNIDADES ENTREGADAS	Σ horas	%	Σ Tiempo Improd (min)	FACTOR ENTRE MONTAJES				δ												
								1		2			3		4									
	# OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ								
2	32	102.574	97,4%	59.220	112	87,2%	95			10	1,041	0,104	0,042	14	1,623	0,116	0,027	8	1,102	0,138	0,011			
3	5	12.781	12,1%	10.070	16	12,8%	10			2	0,150	0,075	0,035	1	0,099	0,099		2	0,245	0,123	0,009			
Total general	37	115.356	1	69.290	128	1	105			12	1,722			15	1,347			10	4,260					
TOTAL 4 MESES																								
CATEGORIA	No OP	Σ METROS CUADRADOS TOTALES (m2)	% ENTREGADAS	Σ de UNIDADES ENTREGADAS	Σ horas	%	Σ Tiempo Improd (min)	FACTOR ENTRE MONTAJES				δ												
								1		2			3		4									
	# OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ								
1	1	445	0,1%	480	2	0,30%	15			1	0,219	0,219												
2	158	591.384	97,6%	312.140	572	96,6%	685	0,657	0,066	60	6,630	0,110	0,031	38	4,666	0,123	0,042	50	6,548	0,131	0,029			
3	5	12.781	2,1%	10.070	16	2,76%	10			2	0,150	0,075	0,035	1	0,099	0,099		2	0,245	0,123	0,009			
5	1	1.355	0,2%	1.000	2	0,35%				1	0,125	0,125												
Total general	165	605.965	1	323.690	592	1	710			10	6,557			64	7,123			39	4,765				52	6,793

ANEXO C. DATOS DE PROCESO IMPRESORA WARD 1

WARD 1																								
AGOSTO																								
CATEGORIA	No OP	Σ METROS CUADRADOS TOTALES (m2)	Σ de UNIDADES ENTREGADAS	Σ horas	%	Σ Tiempo Improd (min)	FACTOR ENTRE MONTAJES																	
							1			2			3			4								
	# OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ								
4	37	87.211	92,1%	83.600	93,2%	109	93,4%	115	0,275	0,055	0,006	0,398	0,080	0,020	15	1,542	0,103	0,041	12	0,980	0,082	0,018		
5	1	7.444	7,9%	6.100	6,8%	8	6,6%		5										1	0,075	0,075			
total genera	38	94.655	1	89.700	1	117	1	115	5	0,398		15	1,542		13	1,055								
SEPTIEMBRE																								
CATEGORIA	No OP	Σ METROS CUADRADOS TOTALES (m2)	Σ de UNIDADES ENTREGADAS	Σ horas	%	Σ Tiempo Improd (min)	FACTOR ENTRE MONTAJES																	
							1			2			3			4								
	# OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ								
4	30	68.113	85,9%	76.370	89,2%	85	88,2%	60	0,344	0,043	0,010	0,429	0,071	0,011	10	0,703	0,070	0,015	6	0,433	0,072	0,016		
5	3	11.161	14,1%	9.200	10,8%	11	11,8%		1	0,071	0,071	0,073							1	0,077	0,077			
total gene	33	79.274	1	85.570	1	96	1	60	9	0,415		7	0,502		10	0,703			7	0,511				
OCTUBRE																								
CATEGORIA	No OP	Σ METROS CUADRADOS TOTALES (m2)	Σ de UNIDADES ENTREGADAS	Σ horas	%	Σ Tiempo Improd (min)	FACTOR ENTRE MONTAJES																	
							1			2			3			4								
	# OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ								
4	18	46.836	58,4%	50.320	64,6%	61	66,6%	40				2	0,150	0,075	0,021	9	0,670	0,074	0,015	7	0,518	0,074	0,014	
5	4	33.378	41,6%	27.600	35,4%	31	33,4%	55				3	0,196	0,065	0,001					1	0,071	0,071		
total gen	22	80.215	1	77.920	1	92	1	95				5	0,670		9	0,988			8	1,605				
NOVIEMBRE																								
CATEGORIA	No OP	Σ METROS CUADRADOS TOTALES (m2)	Σ de UNIDADES ENTREGADAS	Σ horas	%	Σ Tiempo Improd (min)	FACTOR ENTRE MONTAJES																	
							1			2			3			4								
	# OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ								
4	21	45.715	78,3%	50.410	82,8%	64	80,8%	90				3	0,187	0,062	0,012	12	0,926	0,077	0,013	6	0,483	0,080	0,009	
5	2	12.640	21,7%	10.450	17,2%	15	19,2%					1	0,088	0,088						1	0,087	0,087		
total gen	23	58.354	1	60.860	1	79	1	90				4	0,926		12	0,969			7	1,770				
TOTAL 4 MESES																								
CATEGORIA	No OP	Σ METROS CUADRADOS TOTALES (m2)	Σ de UNIDADES ENTREGADAS	Σ horas	%	Σ Tiempo Improd (min)	FACTOR ENTRE MONTAJES																	
							1			2			3			4								
	# OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ	No OP	Σ	X̄	δ								
4	106	247.875	79,3%	260.700	83,0%	319	83,1%	305	13	0,619	0,048	0,010	16	1,164	0,073	0,015	46	3,842	0,084	0,029	31	2,413	0,078	0,015
5	10	64.623	20,7%	53.350	17,0%	65	16,9%	55	1	0,071	0,071	0,010	5	0,357	0,071	0,010					4	0,310	0,078	0,007
total gen	116	312.499	1	314.050	1	384	1	360	14	0,690		21	1,521		46	3,842			35	2,723				

ANEXO D. DATOS DE PROCESO IMPRESORA WARD 2

CATEGORIA		No OP	Σ METROS CUADRADOS TOTALES (m2)	Σ de UNIDADES ENTREGADAS	Σ horas	%	Σ Tiempo Improd (min)	FACTOR ENTRE MONTAJES																		
								1			2			3			4									
		#OP	Σ	X̄	δ	NoOP	Σ	X̄	δ	NoOP	Σ	X̄	δ	NoOP	Σ	X̄	δ									
AGOSTO		3	54	97,972	69,6%	98,030	68,1%	143	75,5%	240	3	0,161	0,054	0,010	15	1,320	0,088	0,022	22	2,270	0,103	0,039	14	1,564	0,112	0,043
		4	10	20,949	14,9%	23,770	16,5%	28	14,6%	35					3	0,272	0,091	0,015	6	0,391	0,065	0,015	1	0,062	0,062	
		5	4	21,838	15,5%	22,100	15,4%	19	9,9%	55	1	0,066	0,066		1	0,032	0,032						2	0,121	0,060	0,036
total genera		68	68	140,759	1	143,900	1	190	1	330	4	0,226			19	1,624			28	2,661			17	1,747		
SEPTIEMBRE		3	51	91,233	59,9%	96,410	58,8%	142	69,7%	110	6	0,301	0,050	0,015	16	1,278	0,080	0,014	13	1,458	0,112	0,048	16	1,807	0,113	0,025
		4	18	36,258	23,8%	37,750	23,0%	48	23,4%	45	2	0,129	0,064	0,012	8	0,620	0,077	0,017	6	0,584	0,097	0,025	2	0,128	0,064	0,000
		5	6	24,799	16,3%	29,690	18,1%	14	6,9%	50	1	0,020	0,020		2	0,056	0,028	0,015	1	0,160	0,160		2	0,064	0,032	0,007
Total gene		75	75	152,290	1	163,850	1	204	1	205	9	0,450			26	1,954			20	2,203			20	1,999		
OCTUBRE		3	51	98,683	65,4%	109,020	68,4%	158	71,7%	150					19	1,487	0,078	0,021	20	1,888	0,094	0,017	12	1,244	0,104	0,034
		4	22	52,150	34,6%	50,310	31,6%	62	28,3%	90					3	0,205	0,068	0,019	13	1,096	0,084	0,029	6	0,433	0,072	0,013
Total gen		73	73	150,833	1	159,330	1	220	1	240					22	2,984			33	3,677			18	6,353		
NOVIEMBRE		3	57	98,312	64,8%	102,090	60,9%	146	64,1%	145	2	0,086	0,043	0,011	23	2,102	0,091	0,041	23	2,549	0,111	0,054	9	0,808	0,090	0,024
		4	31	59,682	39,3%	65,640	39,1%	82	35,9%	85					8	0,532	0,066	0,007	16	1,262	0,079	0,014	7	0,505	0,072	0,014
Total gen		88	88	157,994	1	167,730	1	228	1	230	2	0,086			31	2,634			39	3,811			16	1,313		
TOTAL 4 MESES		3	213	386,201	64,2%	405,550	63,9%	590	70,0%	645	11	0,548	0,050	0,013	73	6,187	0,085	0,028	78	8,165	0,105	0,041	51	5,423	0,106	0,033
		4	81	169,038	28,1%	177,470	28,0%	219	26,1%	255	2	0,129	0,064	0,012	22	1,628	0,074	0,016	41	3,334	0,081	0,023	16	1,128	0,071	0,012
		5	10	46,637	7,7%	51,790	8,2%	33	3,9%	105	2	0,086	0,043	0,033	3	0,088	0,029	0,011	1	0,160	0,160		4	0,184	0,046	0,027
Total gen		304	304	601,876	1	634,810	1	842	1	1,005	15	0,762			98	7,903			120	11,659			71	6,735		

WARD 2

ANEXO E. PROGRAMACIÓN EMPLEADA PARA COMPILAR LOS ALGORITMOS DE SECUENCIACIÓN

```
from __future__ import print_function
from ortools.constraint_solver import routing_enums_pb2
from ortools.constraint_solver import pywrapcp
from numpy import genfromtxt
import time
start_time = time.time()
m = genfromtxt('matrizd.csv', delimiter=';')
# [END import]
# [START data_model]
def create_data_model():
    """Stores the data for the problem."""
    data = {}
    data['distance_matrix'] = m
    data['num_vehicles'] = 1
    # [START starts_ends]
    data['starts'] = [0]
    data['ends'] = [0]
    # [END starts_ends]
    return data
# [END data_model]
# [START solution_printer]
def print_solution(data, manager, routing, solution):
    """Prints solution on console."""
    max_route_distance = 0
    for vehicle_id in range(data['num_vehicles']):
        index = routing.Start(vehicle_id)
        plan_output = 'Secuencia de maquina SyS {}:\n'.format(vehicle_id)
        route_distance = 0
        while not routing.IsEnd(index):
            plan_output += ' {} - '.format(manager.IndexToNode(index))
            previous_index = index
            index = solution.Value(routing.NextVar(index))
            route_distance += routing.GetArcCostForVehicle(
                previous_index, index, vehicle_id)
        plan_output += '{}\n'.format(manager.IndexToNode(index))
        plan_output += 'Peso de la secuencia: {}'\n'.format(route_distance)
        print(plan_output)
        max_route_distance = max(route_distance, max_route_distance)
    print('Minimo peso de la secuencia: {}'.format(max_route_distance))
# [END solution_printer]
def main():
    """Entry point of the program."""
```

```

# Instantiate the data problem.
# [START data]
data = create_data_model()
# [END data]

# Create the routing index manager.
# [START index_manager]
manager = pywrapcp.RoutingIndexManager(len(data['distance_matrix']),
                                       data['num_vehicles'], data['starts'],
                                       data['ends'])
# [END index_manager]
# Create Routing Model.
# [START routing_model]
routing = pywrapcp.RoutingModel(manager)
# [END routing_model]
# Create and register a transit callback.
# [START transit_callback]
def distance_callback(from_index, to_index):
    """Returns the distance between the two nodes."""
    # Convert from routing variable Index to distance matrix NodeIndex.
    from_node = manager.IndexToNode(from_index)
    to_node = manager.IndexToNode(to_index)
    return data['distance_matrix'][from_node][to_node]
transit_callback_index = routing.RegisterTransitCallback(distance_callback)
# [END transit_callback]
# Define cost of each arc.
# [START arc_cost]
routing.SetArcCostEvaluatorOfAllVehicles(transit_callback_index)
# [END arc_cost]
# Add Distance constraint.
# [START distance_constraint]
dimension_name = 'Distance'
routing.AddDimension(
    transit_callback_index,
    0, # no slack
    2000, # vehicle maximum travel distance
    True, # start cumul to zero
    dimension_name)
distance_dimension = routing.GetDimensionOrDie(dimension_name)
distance_dimension.SetGlobalSpanCostCoefficient(100)
# [END distance_constraint]
# Setting first solution heuristic.
# [START parameters]
search_parameters = pywrapcp.DefaultRoutingSearchParameters()

```

```

search_parameters.first_solution_strategy = (
    routing_enums_pb2.FirstSolutionStrategy.PATH_CHEAPEST_ARC)
search_parameters.local_search_metaheuristic = (
    routing_enums_pb2.LocalSearchMetaheuristic.TABU_SEARCH)
search_parameters.time_limit.seconds = 30
search_parameters.log_search = True
# [END parameters]
# Solve the problem.
# [START solve]
solution = routing.SolveWithParameters(search_parameters)
# [END solve]
# Print solution on console.
# [START print_solution]
if solution:
    print_solution(data, manager, routing, solution)
# [END print_solution]
if __name__ == '__main__':
    main()
print("--- %s seconds ---" % (time.time() - start_time))

```