



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**“EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE CONTROL PUSH Y PULL EN
UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN”**

INFORME DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previa la obtención de los Títulos de:

INGENIEROS INDUSTRIALES

Presentado por:

Ana Sofía Delgado Añazco

Renatto Edmundo Zerega Albán

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2010

AGRADECIMIENTO

A Nuestro Dios por todas sus bendiciones, a nuestras familias y amigos por su paciencia y apoyo, y a nuestros profesores por su confianza y ejemplo.

DEDICATORIA

PARA NUESTRO
CREADOR Y
SUSTENTADOR
QUIEN HIZO QUE
TODO FUERA
POSIBLE.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Msc. Francisco Andrade S.
PRESIDENTE
DECANO DE LA FIMCP



Msc. Marcos Buestán B.
DIRECTOR DE PROYECTO



Ph.D. Kléber Barcia V.
VOCAL PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Informe de Proyecto de Graduación, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación ESPOL)



Ana Sofía Delgado Añezco



Renatto Edmundo Zerega Albán

RESUMEN

El presente proyecto está basado en una empresa plástica denominada para efectos de estudio "PLÁSTICA S.A.", la cual presenta las características de las PYMES del Ecuador, incluyendo un elevado tiempo de respuesta y bajo nivel de servicio.

La empresa PLÁSTICA S.A., elabora únicamente cuatro familias de productos, esto permite una producción con altos volúmenes y baja variedad. Estos productos deben pasar por varios procesos como son: Extrusión, Impresión, Corte y Sellado.

El crecimiento de la oferta con tiempos de respuesta competitivos ha ocasionado que PLÁSTICA S.A. disminuya sus ventas y reduzca su nivel de servicio al no poder satisfacer la demanda en el tiempo que el cliente lo solicita. A lo largo de este proyecto se detallaron los principales problemas que la empresa tiene en su proceso de producción los mismos que le han impedido alcanzar un nivel de servicio del 100%.

Se diseñó un modelo de simulación de la situación inicial donde se analizaron las medidas de desempeño. A partir de estos resultados se obtuvo un diagnóstico y se planteó una propuesta de mejora.

Cabe recalcar que en el escenario inicial la empresa utiliza un Sistema de Control de Producción tipo Push, el escenario propuesto por otro lado, evaluó la implementación de un Sistema de Control tipo Pull. Finalmente, con los resultados obtenidos se realizó una comparación entre ambos Sistemas de Control para comprobar su validez y se obtuvo un incremento del nivel de servicio hasta del 100% con un tiempo de entrega en algunos casos inferior al ofrecido en el mercado.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|-------------------------|-----|
| RESUMEN..... | V |
| ÍNDICE GENERAL..... | VII |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS..... | XII |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | XVI |
| ÍNDICE DE PLANOS..... | XIX |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |

CAPÍTULO 1

| | |
|---------------------------------------|---|
| 1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA | 4 |
| 1.1. Planteamiento del problema | 5 |
| 1.2. Justificación del estudio..... | 6 |
| 1.3. Objetivos..... | 7 |
| 1.3.1. Objetivo general | 7 |
| 1.3.2. Objetivos específicos | 7 |
| 1.4. Metodología del estudio | 8 |

CAPÍTULO 2

| | |
|---|----|
| 2. SISTEMAS DE CONTROL DE PRODUCCIÓN | 11 |
| 2.1. Make to Order y los Sistemas Pull..... | 16 |

| | |
|--|----|
| 2.2. Sistema Pull KANBAN..... | 18 |
| 2.2.1. Reglas y Aplicaciones del Sistema Kanban..... | 23 |
| 2.2.2. Ventajas y Desventajas..... | 27 |

CAPÍTULO 3

| | |
|---|----|
| 3. MODELO DE SIMULACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA..... | 32 |
| 3.1. Objetivo del Modelo..... | 32 |
| 3.2. Fuentes de Información..... | 32 |
| 3.3. Información General de la Empresa..... | 33 |
| 3.3.1. Políticas de la Empresa..... | 33 |
| 3.3.2. Descripción de la Maquinaria de la Empresa..... | 36 |
| 3.3.3. Secuencia de Fabricación de los Productos..... | 37 |
| 3.4. Asunciones del Modelo..... | 43 |
| 3.5. Procedimiento para la Elaboración del Modelo Inicial..... | 44 |
| 3.5.1. Creación de Entidades..... | 44 |
| 3.5.2. Creación de Locaciones..... | 45 |
| 3.5.3. Creación de Atributos..... | 50 |
| 3.5.4. Creación de Variables..... | 50 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.5.5. | Breve resumen explicativo del Modelo | 51 |
| 3.5.6. | Programación del Modelo | 55 |
| 3.5.7. | Situaciones Relevantes del Proceso de Modelación | 57 |
| 3.6. | Validación del Modelo de Simulación | 60 |
| 3.6.1. | Parámetros de Comparación y Parámetros reales | 61 |
| 3.6.2. | Comprobación de la Ley de Little..... | 64 |

CAPÍTULO 4

| | | |
|--------|---|----|
| 4. | ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA UTILIZANDO LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA SIMULACIÓN. | 68 |
| 4.1. | Datos Generales..... | 68 |
| 4.2. | Evaluación de las Medidas de Desempeño..... | 71 |
| 4.2.1. | Tiempo de Ciclo Promedio por Tipo de Producto. | 72 |
| 4.2.2. | Producto en Proceso del Sistema y por Centros de Trabajo . | 73 |
| 4.2.3. | Throughput del Sistema y por Tipo de Producto..... | 74 |
| 4.3. | Utilización de las máquinas | 76 |
| 4.4. | Indicadores de Servicio | 81 |
| 4.4.1. | Órdenes atrasadas | 81 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 4.4.2. | Órdenes entregadas a tiempo y por adelantado | 84 |
| 4.4.3. | Análisis del tiempo de entrega de las órdenes por tipo de producto..... | 89 |
| 4.5. | Análisis de las políticas de la empresa | 96 |
| 4.6. | Diagrama Causa-Efecto | 99 |
| 4.7. | Propuestas de Mejora | 102 |

CAPÍTULO 5

| | | |
|--------|---|-----|
| 5. | MODELO DE SIMULACIÓN BASADO EN LAS PROPUESTAS DE MEJORA | 104 |
| 5.1. | Planteamiento de propuesta de mejora: Implementación de un Sistema Kanban y Push..... | 104 |
| 5.1.1. | Cálculo del número de kanbans..... | 106 |
| 5.1.2. | Definición de los niveles de inventario | 131 |
| 5.1.3. | Descripción de la tarjeta Kanban | 138 |
| 5.1.4. | Uso de la Pizarra Kanban | 140 |
| 5.2. | Cambios a incorporar en el Modelo de Simulación basado en la propuesta de mejora | 145 |
| 5.3. | Procedimiento para la Elaboración del Modelo Mejorado | 147 |
| 5.3.1. | Creación de Entidades..... | 148 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 5.3.2. | Creación de Locaciones..... | 148 |
| 5.3.3. | Creación de Atributos | 151 |
| 5.3.4. | Creación de Variables..... | 152 |
| 5.3.5. | Breve resumen explicativo del Modelo | 154 |
| 5.3.6. | Programación del Modelo | 156 |
| 5.3.7. | Situaciones Relevantes del Proceso de Modelación | 158 |
| 5.4. | Análisis de los resultados de la Simulación y comparación con los parámetros iniciales | 162 |
| 5.4.1. | Indicadores de servicio y Evaluación de las Medidas de Desempeño | 162 |
| 5.4.2. | Ajustes del Modelo..... | 163 |
| 5.4.3. | Evaluación del Sistema Push y Pull..... | 171 |

CAPÍTULO 6

| | | |
|----|--------------------------------------|-----|
| 6. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 180 |
|----|--------------------------------------|-----|

PLANOS

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 3.1. Descripción del Proceso de Elaboración de los Rollos Naturales | 39 |
| Gráfico 3.2. Descripción del Proceso de Elaboración de los Rollos Impresos | 40 |
| Gráfico 3.3. Descripción del Proceso de Elaboración de las Fundas Naturales | 41 |
| Gráfico 3.4. Descripción del Proceso de Elaboración de las Fundas Impresas | 42 |
| Gráfico 3.5. Entidades empleadas en el modelo de simulación inicial..... | 44 |
| Gráfico 3.6. Locaciones en el Área de Extrusión | 46 |
| Gráfico 3.7. Locaciones en el Área de Impresión | 47 |
| Gráfico 3.8. Locaciones en el Área de Corte | 48 |
| Gráfico 3.9. Locaciones en el Área de Sellado | 49 |
| Gráfico 3.10. Locación de Producto terminado | 50 |
| Gráfico 3.11. Programación del Modelo de Situación Inicial..... | 56 |
| Gráfico 4.1. Comportamiento de los tiempos de entrega de la Simulación actual | 70 |
| Gráfico 4.2. Tiempo de ciclo por tipo de producto en cada área de proceso. | 72 |
| Gráfico 4.3. Tiempo de Ciclo por Producto | 73 |

| | |
|---|-----|
| Gráfico 4.4. Tiempo de warm-up del sistema..... | 77 |
| Gráfico 4.5. Resultado de la Utilización de las máquinas suministrado por Promodel | 78 |
| Gráfico 4.6. % de la Utilización Real que incluye el Tiempo de Espera de la máquina. | 80 |
| Gráfico 4.7. Histograma de Días de atraso por Tipo de Producto..... | 82 |
| Gráfico 4.8. Diagrama de Pareto de las Órdenes Atrasadas | 84 |
| Gráfico 4.9. Distribución de órdenes entregadas a tiempo | 85 |
| Gráfico 4.10. Histograma de Días de adelanto por Tipo de Producto..... | 86 |
| Gráfico 4.11. Diagrama de Pareto de las órdenes entregadas por adelantado | 88 |
| Gráfico 4.12. Porcentaje de órdenes atrasadas por Tipo de Producto | 90 |
| Gráfico 4.13. Porcentaje de órdenes fabricadas por adelantado por Tipo de Producto | 92 |
| Gráfico 4.14. Porcentaje de órdenes atrasadas y fabricadas por adelantado por Tipo de Producto | 93 |
| Gráfico 4.15. Nivel de Servicio por Tipo de Producto | 95 |
| Gráfico 4.16. Comparación de las Medidas de Desempeño entre las pruebas hechas a partir de las políticas..... | 98 |
| Gráfico 4.17. Comparación del Nivel de Servicio de cada una de las pruebas realizadas | 98 |
| Gráfico 4.18. Diagrama Causa-Efecto | 101 |

| | | |
|---------------|--|-----|
| Gráfico 5.1 | Vista Frontal de la Tarjeta Kanban | 139 |
| Gráfico 5.2 | Vista del reverso de la Tarjeta Kanban..... | 139 |
| Gráfico 5.3. | Pizarra kanban | 143 |
| Gráfico 5.4. | Calendarización de la Producción | 144 |
| Gráfico 5.5. | Entidades empleadas en el modelo de simulación mejorado | 148 |
| Gráfico 5.6. | Locaciones en el Área de Extrusión | 149 |
| Gráfico 5.7. | Locaciones en el Área de Pedido y Entrega de Órdenes | 150 |
| Gráfico 5.8. | Locaciones en el Área de Pedido y Entrega del modelo de simulación mejorado | 151 |
| Gráfico 5.9. | Locación final | 151 |
| Gráfico 5.10. | Programación del Modelo con el Sistema Kanban | 157 |
| Gráfico 5.11. | Utilización Real de las máquinas en el modelo mejorado | 170 |
| Gráfico 5.12. | Comparación del Tiempo de ciclo entre los Sistemas Push y Pull | 172 |
| Gráfico 5.13. | Comparación de la cantidad de producto en proceso entre el Sistema Push y Pull | 173 |
| Gráfico 5.14. | Comparación de la tasa de producción entre los Sistemas Push y Pull | 174 |
| Gráfico 5.15. | Comparación del Nivel de Servicio entre los Sistemas Push y Pull | 175 |
| Gráfico 5.16. | Comparación del Tiempo de Ciclo por Tipo de Producto entre los Sistemas Push y Pull..... | 176 |

| | |
|---|-------|
| Gráfico 5.17. Tiempos de ciclo por área en el Sistema Push | 177 |
| Gráfico 5.18. Tiempos de ciclo por área en el Sistema Pull..... | 177 |
| Gráfico 5.19. Comparación de la Cantidad de Producto en Proceso de cada tipo de producto entre los Sistemas Push y Pull | 178 |
| Gráfico 5.20. Comparación de la Tasa de Producción por producto entre los Sistemas Push y Pull | 17880 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabla 1. | Balance de Maquinaria de Cada Centro de Trabajo | 36 |
| Tabla 2. | Velocidad y Complejidad de las Máquinas de cada Centro de Trabajo. | 37 |
| Tabla 3. | Atributos del producto en el modelo de simulación inicial | 53 |
| Tabla 4. | Variables del producto en el modelo de simulación inicial | 54 |
| Tabla 5. | Características generales de una orden | 62 |
| Tabla 6. | Resultados extraídos de la simulación del tiempo de proceso. | 63 |
| Tabla 7. | Cálculo del tiempo de proceso de una orden..... | 63 |
| Tabla 8. | Tiempo de Simulación del Modelo Inicial | 66 |
| Tabla 9. | Total de rollos y tiempo de ciclo por rollo | 66 |
| Tabla 10. | Cantidad de Producto en Proceso en cada Área y en el Sistema | 67 |
| Tabla 11. | Porcentaje de la cantidad de órdenes por tipo de producto procesados | 69 |
| Tabla 12. | Medidas de Desempeño del Modelo Inicial..... | 69 |
| Tabla 13. | WIP del Sistema y de cada Centro de Trabajo | 74 |
| Tabla 14. | Tasa de Producción por Tipo de Producto..... | 75 |
| Tabla 15. | Tiempos de espera de las máquinas de Impresión y Sellado .. | 79 |
| Tabla 16. | Utilización Real de las Máquinas | 79 |
| Tabla 17. | Frecuencia de órdenes clasificadas por días de atraso | 83 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| Tabla 18. | Frecuencia de órdenes clasificadas por días de adelanto | 87 |
| Tabla 19. | Porcentaje de órdenes atrasadas por Tipo de Producto | 89 |
| Tabla 20. | Porcentaje de órdenes fabricadas por adelantado por Tipo de Producto | 91 |
| Tabla 21. | Porcentaje de órdenes atrasadas y fabricadas por adelantado por Tipo de Producto | 93 |
| Tabla 22. | Tiempo de entrega promedio al cliente para cada Tipo de Producto | 96 |
| Tabla 23. | Identificación de las Políticas de Impresión y Sellado | 97 |
| Tabla 24. | Evaluación de las Medidas de Desempeño para cada una de las pruebas realizadas con y sin la implementación de las políticas. | 97 |
| Tabla 25. | Matriz de Cálculo de Kanbans Inicial | 107 |
| Tabla 26. | Consumo total de kg por tipo de Producto | 109 |
| Tabla 27. | Comparación del promedio de Kg consumidos por día..... | 112 |
| Tabla 28. | Tamaño de Lote de cada Tipo de Producto | 115 |
| Tabla 29. | Tiempo de Reposición por Tipo de Producto | 118 |
| Tabla 30. | Número de kanbans de Reposición por Tipo de Producto..... | 120 |
| Tabla 31. | Desviación estándar de la cantidad de kg por día | 121 |
| Tabla 32. | Número de kanbans de Variación del Cliente | 123 |
| Tabla 33. | Inventario de Seguridad en días | 127 |
| Tabla 34. | Número de kanbans de Inventario de Seguridad..... | 128 |
| Tabla 35. | Número Total de Kanbans para cada Tipo de Producto | 129 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| Tabla 36. | Número máximo de días de inventario..... | 130 |
| Tabla 37. | Tiempo de reposición de la demanda diaria por producto | 132 |
| Tabla 38. | Rango de Días de entrega actual por cada Tipo de Producto | 134 |
| Tabla 39. | Rango de Días de entrega propuesto para cada tipo de producto | 135 |
| Tabla 40. | Número de kanbans en el Nivel Rojo..... | 135 |
| Tabla 41. | Número de kanbas en el Nivel Amarillo | 136 |
| Tabla 42. | Número de kanbans en el Nivel Verde..... | 137 |
| Tabla 43. | Atributos del producto en el modelo de simulación mejorado | 152 |
| Tabla 44. | Variables del producto en el modelo de simulación mejorado | 153 |
| Tabla 45 | Medidas de desempeño del modelo mejorado sin ajustes..... | 163 |
| Tabla 46 | Recálculo del número y tamaño de Kanban y los niveles de inventario | 165 |
| Tabla 47 | Matriz de Cálculo de kanbans con ajustes..... | 166 |
| Tabla 48. | Medidas de Desempeño del Modelo Mejorado con ajustes.. | 167 |
| Tabla 49. | Identificación de las políticas implementadas en el modelo mejorado | 168 |
| Tabla 50. | Comparación de modelos con y sin la implementación de políticas en el modelo mejorado | 169 |
| Tabla 51. | Comparación de las Medidas de Desempeño de los Sistemas Push y Pull | 172 |

ÍNDICE DE PLANOS

| | |
|---|-----|
| Plano 1. Esquema de la Planta de Producción | 193 |
|---|-----|

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador las pequeñas y medianas industrias (PYMES) durante la última década se han concentrado en las ciudades de mayor desarrollo del país; en Quito y Guayaquil se asientan el 77% de los establecimientos; en Azuay, Manabí y Tungurahua el 15%; y el 8% corresponde al resto de provincias. Sin embargo, a pesar de su ubicación, no han contado con el apoyo suficiente para acelerar su crecimiento y desarrollar todas sus potencialidades, esto hace que su participación en PIB sea mucho menor que las grandes industrias (2).

Las características que definen la situación actual de la pequeña industria se resumen a continuación (2):

- Tiempos de entrega elevados.
- Baja calidad de la producción, ausencia de normas y altos costos.
- Falta de crédito, con altos costos y difícil acceso.
- Escaso nivel tecnológico.
- Mano de obra sin calificación.

- Incipiente penetración de PYMES al mercado internacional.
- Ausencia total de políticas y estrategias para el desarrollo del sector.
- Insuficientes mecanismos de apoyo para el financiamiento, capacitación, y uso de tecnología.
- Marco legal para el sector de la pequeña industria obsoleto.

Como se menciona anteriormente, la pequeña industria ecuatoriana cuenta con un sin número de potencialidades que son poco conocidas y aprovechadas. Principalmente se refieren a (2):

- Dinamizar la economía, la cual diluye los problemas y tensiones sociales, y mejorar la gobernabilidad. La pequeña industria es el factor clave para dinamizar la economía de regiones y provincias deprimidas.
- Requieren menores costos de inversión.
- La pequeña industria es el sector que mayormente utiliza insumos y materias primas nacionales.
- Posibilidades de obtener nichos de exportación para bienes no tradicionales generados en el sector.

- El alto valor agregado de su producción contribuye al reparto más equitativo del ingreso.
- Mantiene alta capacidad para proveer bienes y servicios a la gran industria (subcontratación).
- La pequeña industria es flexible para asociarse y enfrentar exigencias del mercado.

Por todas estas ventajas que tienen las PYMES es importante estudiar la forma de mejorar su desempeño. El presente estudio se desarrollará en una empresa con características de las PYMES ecuatorianas pertenecientes a la industria de manufactura de plásticos, considerando únicamente los productos de alto volumen y baja variedad.

PLÁSTICA S.A., elabora rollos y fundas plásticas bajo pedido, y emplea un sistema de control Push. Debido al crecimiento de la competencia, esta empresa debe mejorar su nivel de servicio de tal manera que pueda satisfacer las exigencias del mercado.

CAPÍTULO 1

1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

PLÁSTICA S.A. ha sido por muchos años una compañía referente en la elaboración de fundas y rollos de plástico con una gama de productos reconocidos en el mercado por su nivel de calidad. Desde hace un par de años sin embargo, la incursión de nuevas empresas en la industria ha puesto en riesgo este liderazgo, especialmente por una agresiva campaña en la disminución de los tiempos de entrega.

De este modo aunque PLÁSTICA S.A. mantiene sus estándares de calidad, sus niveles de ventas se han visto disminuidos, porque sus clientes optan por productos de la competencia con similar nivel de calidad pero con menores tiempos de entrega.

PLÁSTICA S.A. elabora 4 familias de productos como son: Rollos Naturales(RN), Rollos Impresos(RI), Fundas Naturales(FN) y Fundas

Impresas(FI). Dentro de cada familia existen diferencias con respecto por ejemplo al número de colores, el espesor, o el ancho de la funda, esto ha sido considerado en el desarrollo de la simulación y su análisis.

1.1. Planteamiento del problema

El principal problema de PLÁSTICA S.A., es el atraso en la entrega de los pedidos; además de la formación de cantidades elevadas de producto en proceso y tiempos de espera.

- **Alto índice de atraso en la entrega de los pedidos**

El porcentaje de órdenes atrasadas se ha visto incrementado debido al deficiente sistema de producción implementado y a las políticas establecidas.

- **Cantidades elevadas de productos en cola y tiempos de espera**

Esto sucede debido a que los centros de trabajo no tienen un sistema de priorización de órdenes adecuado, la implementación de la política de espera de órdenes en el área de impresión y sellado incrementa el tiempo que la orden debe

esperar antes de ser procesada lo que conlleva a la formación de cantidades elevadas de producto en proceso.

1.2. Justificación del estudio

El proceso de producción de la empresa “PLÁSTICA S.A.” muestra varios signos de ineficiencia operativa durante su desempeño, mismas que conllevan al principal problema de análisis de este proyecto: las órdenes atrasadas, que representan el 15% de los pedidos del mes de mayo y junio del presente año. Estos signos de ineficiencia mencionados son claramente apreciables dentro del sistema, a través de los altos niveles de producto en proceso (WIP) y las cantidades elevadas de productos en cola, principalmente en el cuello de botella así como también los tiempos ociosos muy elevados en algunas de las máquinas no cuellos de botella.

Identificar, corregir y mejorar las causas de estas ineficiencias en las operaciones permitirá asegurar un proceso productivo altamente confiable que garantice cumplir con las promesas de entrega realizadas, aumentando el nivel de servicio al cliente y asegurando la rentabilidad de la empresa.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar estrategias de control de producción de tipo push y pull en una línea de producción considerando las características de una empresa ecuatoriana.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico de la situación actual de la empresa utilizando un modelo de simulación que sirva como herramienta para la toma de decisiones.

- Implementar un sistema de producción Pull-Kanban, que permita mejorar su proceso productivo hasta alcanzar un nivel de servicio no menor al 99.9%.

- Desarrollar cambios en el modelo de simulación que reflejen la aplicación de un sistema de control de producción Kanban.

- Comparar un sistema de producción PUSH, manejado actualmente en la empresa, contra un sistema de

producción PULL en un escenario muy apegado a la realidad ecuatoriana, estableciendo claramente sus ventajas, desventajas y, resultados obtenidos.

1.4. Metodología del estudio

Se evaluará la situación inicial de la empresa a través de un modelo de simulación previamente validado, para identificar los problemas y plantear las posibles mejoras.

La información recopilada será a partir de órdenes del mes de mayo y junio del presente año incluyendo las características propias de las familias de productos que la empresa elabora.

A partir del capítulo dos se estudiarán los sistemas de control existentes, ventajas y desventajas de la implementación de un sistema de producción PULL, "KANBAN", el cual será utilizado para mejorar el sistema de producción de PLÁSTICA S.A. y reducir los tiempos de entrega de las órdenes.

En el Capítulo 3, se describirá el procedimiento que se llevó a cabo para la elaboración del modelo de simulación de la situación inicial de la empresa, específicamente se describirán las entidades empleadas

así como las locaciones, atributos, variables, y en general todos los elementos necesarios para el funcionamiento del modelo.

En el Capítulo 4, se mostrarán los resultados obtenidos del modelo de simulación de la situación actual de la empresa a través de gráficos, diagramas de Pareto, tablas de datos, para ser analizados y posteriormente sugerir mejoras en el sistema.

Además se llevará a cabo la validación del modelo para esto se empleará un modelo analítico como es la Ley de Little y se evaluarán como medidas de desempeño, los tiempos de ciclo, cantidad de producto en proceso y throughput.

Tiempo de ciclo: El tiempo de ciclo (también llamado tiempo promedio de ciclo, tiempo de flujo) de un proceso dado es el tiempo promedio desde la liberación del trabajo hasta el incremento del inventario al final del proceso (3).

Trabajo en Proceso: El inventario entre el comienzo del proceso y todos los puntos del proceso productivo es llamado trabajo en proceso. No incluye el inventario final (3).

Throughput: La tasa de producción promedio por unidad de tiempo es definida como el throughput del sistema, en algunos casos llamada la tasa throughput. A nivel de empresa, es definida como la producción por unidad de tiempo que es vendida. Sin embargo, los administradores de las líneas de producción controlan la cantidad de producto que se fabrica. Así, se define para una planta, una línea de producción, centros de trabajo, como la cantidad promedio de partes no defectuosas por unidad de tiempo (3).

En el Capítulo 5, se planteará la aplicación del sistema de control Kanban en el modelo de simulación y se analizarán los resultados. Se realizarán tablas y gráficos comparativos que demuestren las ventajas y mejoras obtenidas con la implementación del nuevo sistema de producción, así como las limitaciones, asunciones y elementos que se crearon para la programación.

En el Capítulo 6, se describirán las recomendaciones y conclusiones obtenidas a partir de los resultados del estudio.

CAPÍTULO 2

2. SISTEMAS DE CONTROL DE PRODUCCIÓN

Desde la época de la revolución industrial a mediados del siglo XVIII, las empresas han invertido mucho esfuerzo y recursos para encontrar la manera de producir más utilizando la menor cantidad de recursos posible. Sin embargo, es recién a principios de los años 60 que se da a conocer el primer sistema de control de la producción en EE.UU. conocido como MRP (Materials Requirements Planning). A partir de este punto los sistemas control irían evolucionando de acuerdo a las necesidades de cada industria (4).

Los sistemas de control y planificación de la producción están orientados principalmente a la programación de las operaciones, garantizando un manejo ordenado de los procesos productivos desde la generación del pedido hasta el despacho de los productos terminados.

Estos integran las diferentes funciones de planificación y ejecución de la producción; a partir de la utilización de técnicas, diagramas, gráficos y softwares, que se encargan de programar, remitir, rastrear, vigilar y controlar la producción en los diferentes centros de trabajo de la compañía, facilitando las decisiones en torno a la selección de las mejores variantes de producción.

Para programar y controlar la producción, un sistema de control debe permitir con facilidad desempeñar las siguientes funciones:

1. Asignar pedidos, equipo y personal a los centros de trabajo y otros lugares especificados. Es decir que debe realizar la planeación de la capacidad a corto plazo.
2. Establecer la secuencia de la ejecución de los pedidos (establecer prioridades).
3. Revisar el desempeño del trabajo programado. Normalmente llamado expeditar los pedidos.
4. Controlar la actividad productiva, lo que a su vez involucra:
 - a) Revisar la medida del avance de los pedidos y controlarlos mientras se trabaja en ellos.
 - b) Acelerar los pedidos atrasados y críticos.

En la actualidad existen diferentes alternativas de sistemas de gestión de la producción, acorde a las características propias del proceso productivo (variedad, volumen de producción, complejidad del producto, nivel técnico y tecnológico, etc.), y sus objetivos son principalmente el controlar el proceso de producción dentro del sistema implementado, mejorar la homogeneidad del producto, ahorrar en materias primas, acortar los tiempos de preparación y reducir los residuos de la empresa (5).

Los sistemas de producción pueden clasificarse basándose en su forma de administrar el flujo de producción en dos grandes categorías como son:

- Sistemas de Producción PUSH
- Sistemas de Producción PULL

Un sistema de producción PUSH es la metodología de producción tradicional aplicada hoy en día en casi todas las empresas. Cada proceso produce todo cuanto le permite su productividad y, luego, lo «empuja» (*push*) hacia el proceso siguiente y, éste, opera con el lote recibido para luego empujarlo hacia el siguiente proceso y así sucesivamente hasta

llegar al cliente final, el cual deberá elegir entre lo que se le ofrece o esperar a que lleguen productos que se ajusten más a sus necesidades. Un ejemplo de este tipo de sistemas PUSH son los conocidos sistemas de MRP y MRP II.

Un sistema de producción PULL por el contrario es una metodología que se ajusta en todo momento a la demanda de los clientes, produciendo únicamente los productos específicos que el cliente necesita en el tiempo y cantidad en que se los requiere, eliminando así los desperdicios de stock en caso de excesos y las pérdidas de venta en caso de que falte producto.

Es decir, que sea la misma demanda la que programe qué hay que entregar, ya sea que esta demanda proceda de un cliente externo y/o un cliente interno. En este último caso se refiere a otro proceso de la propia empresa, a quien hay que entregar lo que precisa en la cantidad y momento en que lo precisa.

Dentro de estos sistemas de producción (Push y Pull), se pueden mencionar algunos métodos y técnicas para la planificación y control de la producción, se suele hacer referencia a los siguientes:

- MRP/ MRP-II (Planeación de Requerimientos Materiales y de Recursos Productivos), surgido en los Estados Unidos en la empresa IBM.
- JIT (Just in Time), origen japonés y desarrollado inicialmente por Toyota Motor Co.
- OPT (Tecnología de Producción Optimizada), desarrollada inicialmente por Eliyahu M. Goldratt, que más tarde dio lugar al surgimiento de la Teoría de las Limitaciones(TOC) y a su aplicación en producción (sistema DBR: drum-buffer-rope)
- LOP (Load Oriented Production), control de Producción Orientado a la Carga, sistema desarrollado en Europa Occidental.

La técnica que se estudió y se aplicó en este proyecto pertenece al conjunto de técnicas desarrolladas por la Compañía Toyota a partir de 1950, “Lean Manufacturing”, que sirven para mejorar y optimizar los procesos operativos de cualquier compañía industrial, independientemente de su tamaño. Las técnicas “Lean Manufacturing” se están utilizando en la optimización de las operaciones de forma que se

puedan obtener tiempos de respuesta más cortos, mejor nivel de servicio al cliente, mejor calidad, costos más bajos. Una de estas técnicas es el Sistema Kanban que se describe más adelante en este capítulo.

2.1. Make to Order y los Sistemas Pull

En las compañías que manejan una alta variedad de productos y bajos volúmenes de producción, se maneja por lo general una política de MAKE TO ORDER, es decir “HACER BAJO PEDIDO”, en donde se fabrican los productos únicamente cuando el cliente los ordena. Hacerlo de otra forma podría conllevar a las empresas a manejar altos niveles de inventario y a incurrir en costos muy elevados por almacenamiento y obsolescencia de los mismos.

Un sistema de producción PULL logrará, de ser bien aplicado, reducciones en los costos de materia prima e insumos, trabajo en proceso (WIP) y en los costos de manejo de inventarios de productos terminados. Sin embargo, se deben tener algunas consideraciones para una correcta y eficiente aplicación de un sistema PULL en una compañía MAKE TO ORDER.

Dentro de un Sistema PUSH se tienen técnicas como el MRP, la cual es siempre la mejor forma de administrar los negocios cuando los pronósticos son precisos, lo que es muy difícil de lograr en compañías MAKE TO ORDER debido a la infinidad de productos que poseen y a la baja repetitividad de estos. Un sistema Pull en este tipo de compañías conllevaría a la creación de inventarios para cada uno de los productos, cuya demanda estimada tendrá una alta variabilidad debido a los errores en los pronósticos, esto a su vez desencadenaría en mayores niveles de inventarios. Es por ello que en este estudio se sugiere para la administración de estos negocios un método que consiste en manejar un Sistema Push sólo para administrar las partes menos frecuentes, de menor volumen, mientras que los productos que se producen en volúmenes altos (los runners), puedan ser administradas por un sistema PULL a través del Sistema Kanban de producción.

Durante este estudio se referirá a los productos de la siguiente manera (6):

- Runners: Son los productos que se fabrican con mayor frecuencia.
- Repeaters: Son productos ordenados periódicamente.

- Strangers: Son productos raramente ordenados.

De tal forma que los runners junto con algunos de los repeaters son perfectos candidatos para administrarse con sistemas PULL y los repeaters menos frecuentes junto a los strangers son perfectos para una administración con un Sistema Push.

2.2. Sistema Pull KANBAN

Antes de explicar lo que es el Sistema Kanban, es importante comprender bien en qué contexto se originó. Pues, como se observará más adelante, el Sistema Kanban únicamente funciona cuando un cierto número de principios han sido introducidos previamente, tal como lo hizo Toyota, cuando tuvo que modificar su sistema de producción al darse cuenta que adolecía de muchos problemas, principalmente, en cuanto a Desperdicio, Sobreproducción e Inventarios.

Para tratar de dar solución a este problema, Toyota estudió y clasificó el desperdicio (esto serviría para poder establecer, más adelante, las REGLAS KANBAN).

Hasta inicios de la década de los 50, muchas empresas japonesas, para producir, realizaban pronósticos sobre la demanda y, según los resultados, colocaban los productos. En muchas ocasiones producían más de lo exigido por el mercado (7).

El mercado no era capaz de consumir tales cantidades, y los clientes no se sentían satisfechos, puesto que sus gustos y preferencias no eran tenidos en cuenta. Se producía el denominado "efecto látigo": mayor producción, más stock y menor servicio.

Para hacer frente a este problema, Ingenieros japoneses hicieron un viaje de estudio en los Estados Unidos, allí observaron la forma de funcionar de los supermercados y descubrieron dos sucesos que les parecieron importantes (7):

- Las secciones del supermercado presentan una capacidad limitada de productos, puesta a disposición de los clientes.
- Cuando estos productos alcanzan un nivel mínimo, el responsable de la sección saca los productos del almacén y repone la cantidad que ha sido consumida.

Los japoneses interpretaron el hecho de que una sección de productos (o un contenedor) esté vacía, como una orden (orden de reposición de productos). Esto despertó en ellos la idea de una tarjeta o etiqueta de instrucción (en japonés: KANBAN) en la cual se muestre la tarea a efectuar; y posteriormente, la idea de una nueva técnica de producción, en la cual un producto es enviado hacia un puesto de trabajo sólo cuando la orden ha sido emitida por este puesto de trabajo.

Ampliando esta idea, satisfacer la demanda real del público consumidor sería el objetivo principal, al mismo tiempo que minimizar los tiempos de entrega, la cantidad de mercancías almacenadas y los costos. Permitir que sea el mercado quien "hale" las ventas: Que sea el pedido el que ponga en marcha la producción, y no la producción la que se ponga a

buscar un comprador. El fin es poder abastecer al cliente de su pedido previsto, el día previsto, y a un costo mínimo.

Desde entonces esta técnica se desarrolló muy rápidamente en Japón, específicamente en la empresa TOYOTA y comenzó a funcionar bien desde 1958. La generalización de esta idea al sistema de producción devendría en el sistema Kanban.

El sistema Kanban es una técnica del sistema PULL que como todos los demás, basa la administración del flujo de producción solamente en la demanda futura de los clientes. Este intenta reducir los inventarios, estableciendo niveles máximos y mínimos para limitarlo basados en el consumo, y así producir únicamente lo que el cliente necesita en el momento que lo necesita.

Existen dos tipos de Kanbans que son:

- **Kanban de instrucción de producción:** Este autoriza al operador a producir la cantidad especificada en la tarjeta una vez que la misma es retornada al proceso de producción.

- **Kanban de retiro de partes:** Este autoriza a la estación que recibe a reemplazar el material que ha sido consumido. Este tipo de tarjeta es utilizada frecuentemente entre un proveedor externo y el cliente.

Dentro de una compañía existen tres áreas importantes que pueden ser administradas con el sistema KANBAN-PULL.

- **Kanban interno:** Se usa dentro del área de manufactura y es movida desde la estación cliente una vez que consume las partes hasta la estación que la provee de material, de tal forma que el material consumido se reponga en el momento en que la tarjeta llega a la estación proveedora.
- **Kanban de proveedores:** Este es un ejemplo de kanban de retiro de partes, ya que autoriza a reemplazar la materia prima e insumos consumidos en la cantidad descrita en la tarjeta. Es usado en la bodega de materias primas e insumos.

- **Kanban de productos terminados:** Como su nombre lo indica es usado en la bodega de productos terminados, con el objetivo de reducir el nivel de inventario.

Este estudio cubrirá únicamente la administración de la producción dentro del área de manufactura, dejando de lado el sistema de inventarios de producto terminado y materia prima. Es decir, se utilizará el Kanban de instrucción de producción en el área interna de la empresa.

2.2.1. Reglas y Aplicaciones del Sistema Kanban

De acuerdo al estudio realizado por Toyota basado en los desperdicios, estableció seis reglas, resumidas a continuación:

Regla 1: No se debe mandar producto defectuoso a los procesos subsecuentes (8).

La producción de productos defectuosos implica costos tales como la inversión en materiales, equipo y mano de obra que no va a poder ser vendida. Este es el mayor desperdicio de todos. Si se encuentra un defecto, se deben tomar medidas antes que todo, para prevenir que este no vuelva a ocurrir.

Regla 2: Los procesos subsecuentes requerirán solo lo que es necesario (8).

Esto significa que el proceso subsiguiente pedirá el material que necesita al proceso anterior, en la cantidad necesaria y en el momento adecuado.

Regla 3: Producir solamente la cantidad exacta requerida por el proceso subsiguiente (8).

Esta regla fue hecha con la condición de que el mismo proceso debe restringir su inventario al mínimo, para esto se deben tomar en cuenta las siguientes observaciones:

- No producir más que el número de kanban.
- Producir en la secuencia en la que el kanban es recibido.

Regla 4: Balancear la producción (8).

De manera en que se pueda producir solamente la cantidad necesaria requerida por los procesos subsecuentes, se hace necesario para todos los procesos mantener al equipo y a los

trabajadores de tal manera que puedan producir materiales en el momento necesario y en la cantidad necesaria.

Regla 5: Kanban es un medio para evitar especulaciones (8).

De manera que para los trabajadores, Kanban, se convierte en su fuente de información para la producción y transportación, puesto que los trabajadores dependerán de Kanban para llevar a cabo su trabajo.

Regla 6: Estabilizar y racionalizar el proceso (8).

El trabajo defectuoso existe si el trabajo no está estandarizado y racionalizado, si esto no es tomado en cuenta seguirán existiendo partes defectuosas.

Por sus características, el Sistema Kanban sólo puede ser aplicado en sistemas de producción repetitiva, donde los productos son estandarizados y la producción es relativamente estable.

Además, el sistema Kanban es recomendado siempre y cuando los procesos no estén cercanos a su capacidad, debido que esto impediría que se formen pequeños inventarios o buffers entre locaciones o procesos y se corre el riesgo de no alcanzar a satisfacer la demanda ante grandes fluctuaciones.

Como ya se había mencionado, escoger un adecuado sistema de producción depende de las características del proceso que se tenga y de la política bajo la que se maneje la compañía. En las empresas donde no existe alta variedad de productos pero que manejan elevados volúmenes de producción, la aplicación de un sistema PULL a lo largo de toda la línea de producción no generaría inconvenientes y funcionaría de acuerdo a lo descrito anteriormente. Sin embargo en un ambiente en donde lo que predomina es la alta variedad en los productos y no así el volumen de producción, implementar un Sistema Pull implica crear pequeñas cantidades de cada producto a lo largo de la línea de producción para cuando el cliente externo o interno lo necesite, y esto es totalmente inconcebible en empresas de

este tipo, especialmente si el número de productos terminados y/o componentes es alto.

Este proyecto se enfoca en un tipo de industria Make to order con infinidad de productos, donde existen 4 productos clasificados como runners que serán objeto de este estudio, para lo cual se ha diseñado un modelo de simulación donde se aplicarán las técnicas de un sistema PULL.

2.2.2. Ventajas y Desventajas

Existen muchas empresas que han adoptado el Sistema de Producción Just-in-Time y aquellas otras que aún creen poder seguir existiendo mediante métodos de trabajo tradicionales. Empresas americanas de primer nivel lo han adoptado, logrando con ello no sólo salvar su existencia, sino además pasar a disputar en algunos casos palmo a palmo la supremacía en sus correspondientes segmentos de mercado, entre estas compañías están: Harley Davidson, Xerox, Hewlett Packard, Ford Motors, John Deere, General Motors, General Electric, NCR, Westinghouse, Nucor, Kentown Corp. y Eastman Kodak entre muchas otras.

Entre las principales ventajas de implementar y ejecutar un Sistema Kanban se encuentra lo siguiente: (9).

- Reducción en los niveles de inventario.
- Reducción del WIP (Work in Process).
- Reducción de tiempos de falla.
- Flexibilidad en la programación de la producción y la producción en sí.
- El rompimiento de las barreras administrativas (BAB) son archivadas por Kanban.
- Trabajo en equipo, Círculos de Calidad y Autonomía (Decisión del trabajador de detener la línea).
- Limpieza y Mantenimiento (Housekeeping)
- Provee información rápida y precisa
- Evita sobreproducción
- Minimiza Desperdicios
- El kanban hace visibles las situaciones anormales cuando se provocan por averías de máquinas y defectos del producto.
- Una reducción gradual en el número de kanban conduce a reducciones en el stock, lo que termina con el rol de stock como amortiguador frente a las inestabilidades de la producción. Esto pone al descubierto los procesos que

poseen poca capacidad y a los que generan anomalías y simplifica el descubrimiento de los puntos que requieren mejora.

Así mismo, el Sistema Kanban posee algunas desventajas, debido a que no se puede aplicar en todo tipo de industria, refiriéndose al sistema de producción y a las diferencias culturales de las mismas. Entre las desventajas del Sistema se encuentra lo siguiente: (9):

- Un plazo de abastecimiento o tiempo de reposición demasiado grande excluye la elección del Sistema Kanban, pues tendría muy desocupados a los trabajadores. Sin embargo una buena distribución y administración del personal puede solucionar esta desventaja.

- El Sistema no tiene ninguna anticipación en caso de fluctuaciones muy grandes e imprevisibles en la demanda. Puede anticiparse a ellas pero no solucionarlas. Es decir, este Sistema posee un stock de

seguridad; sin embargo si se trata de fluctuaciones muy grandes, el Sistema Kanban no podría responder.

- Es difícil de imponerles este Sistema a los proveedores, en caso de usar kanbans para administrar la bodega de materias primas.
- Las aplicaciones son limitadas (solamente para una producción continua o repetitiva). El Sistema Kanban es aplicable a producción es de tipo "masa" para las cuales el número de referencias no es muy elevado, y la demanda es regular o a reducidas variaciones.
- Reducir el número de Kanban sin aportar de mejoramientos radicales al sistema de producción, arrastrará retrasos de entrega y de espera entre operaciones y en consecuencia, pérdidas importantes.
- No ha tenido el éxito ni ha llegado al óptimo funcionamiento cuando ha sido implementado en organizaciones occidentales. Uno de las principales causas de ello, las enormes diferencias culturales.

A pesar de estas desventajas, a través de este estudio se pretende demostrar que las empresas ecuatorianas, pueden obtener un nivel de servicio no menor al 99.9% con tiempos de entrega por debajo o igual a lo ofrecido en el mercado aplicando el Sistema kanban, al menos para los productos con demanda repetitiva y estable.

CAPÍTULO 3

3. MODELO DE SIMULACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

3.1. Objetivo del Modelo

Conocer la situación inicial de la empresa y analizar su desempeño actual mediante el uso de un modelo de simulación que permita generar indicadores y resultados que a su vez concluyan en información necesaria para identificar diferentes falencias en el proceso, estableciendo con precisión mejoras que las eliminen, y así alcanzar un nivel de servicio no menor al 99.9%.

3.2. Fuentes de Información

La información obtenida para el proyecto fue tomada a partir de datos ficticios, los cuales se encuentran muy apegados a la situación actual de las empresas ecuatorianas.

La información dada incluye las políticas de la empresa, la descripción de la maquinaria y un esquema del proceso que sigue cada producto, lo cual se detalla más adelante en este capítulo.

3.3. Información General de la Empresa

3.3.1. Políticas de la Empresa

La empresa PLÁSTICA S.A presenta algunas políticas para la administración del flujo de producción. Estas políticas se encuentran en los procesos de impresión y sellado y se aplican, sin excepción, a todas las órdenes de productos que pasen por estos procesos. A continuación se describen cada una de las políticas para sus respectivos procesos:

Políticas del Área de Impresión:

Como se indica en el balance de maquinarias, el área de impresión cuenta con 2 máquinas para realizar este proceso y las dos políticas que se manejan son las siguientes:

- Política de espera en piso: Establece que toda orden mayor a 200 Kg del producto que fuere (rollo impreso o funda impresa) debe esperar a que al menos el 40% del

total de dicha orden esté listo en el piso de la impresora para comenzar dicho proceso.

- Política de espera de órdenes: Establece que si una orden, cualquiera que esta sea, se empieza a imprimir en una de las máquinas, esa orden deberá terminar su proceso completo en dicha máquina. Por ejemplo, si una orden de 1000 kg se empieza a imprimir en la máquina 1, entonces necesariamente los 1000 kg deberán de imprimirse en esta máquina, a pesar de que otra máquina esté disponible para ayudar a culminar esta cantidad. Esta política también establece que para empezar a imprimir una nueva orden, se debe haber terminado en su totalidad la anterior. Es decir que si se empezó a imprimir una orden de 1000 kg, de los cuales 600 kg ya están listos, pero los 400 kg restantes aun se encuentran en procesos anteriores por algún tipo de demora o cualquier otro motivo, no se deberá seguir con otra orden hasta que se procesen estos 400 kg faltantes.

Políticas del Área de Sellado:

El área de sellado también cuenta con dos selladoras para el proceso. Pero a diferencia del área de impresión, solo se maneja una de las políticas:

- Política de espera de órdenes: Establece que si una orden, cualquiera que esta sea, se empieza a sellar en una de las máquinas, esa orden deberá terminar su proceso completo en dicha máquina. Por ejemplo, si una orden de 1000 kg se empieza a sellar en la máquina 1, entonces necesariamente los 1000 kg deberán de sellarse en esta máquina, a pesar de que la otra máquina esté disponible para ayudar a culminar estos 1000 kg. Esta política también establece que para empezar a sellar una nueva orden, se debe haber terminado en su totalidad la anterior. Es decir que si se empezó a sellar una orden de 1000 kg, de los cuales 600 kg ya están listos, pero los 400 kg restantes aun se encuentran en procesos anteriores por algún tipo de demora o cualquier otro motivo, no se deberá seguir con otra orden hasta que se procesen estos 400 kg faltantes.

Las políticas mencionadas forman parte de la situación inicial de la empresa, por lo que deberán ser tomadas en cuenta para la realización del modelo inicial. Comprobar que funcionen correctamente será de gran ayuda para la validación del modelo.

3.3.2. Descripción de la Maquinaria de la Empresa

El área de planta de la empresa PLÁSTICA S.A. cuenta con las siguientes máquinas por área:

Tabla 1.

Balance de Maquinaria de Cada Centro de Trabajo

| BALANCE DE MAQUINARIA DE PLÁSTICA S.A. | | |
|---|---------------------------|-------------------------|
| ÁREA | Número de Máquinas | Tipos de Máquina |
| EXTRUSIÓN | 3 | Extrusoras |
| IMPRESIÓN | 2 | Impresoras |
| CORTE | 1 | Cortadora |
| SELLADO | 2 | Selladora |

Las máquinas del área de Extrusión e Impresión tienen velocidades distintas que varían de acuerdo a la complejidad de la orden, mientras que las máquinas del área de Corte y Sellado mantienen velocidades constantes, tal como se muestra en la siguiente Tabla 2:

Tabla 2.

Velocidad y Complejidad de las Máquinas de cada Centro de Trabajo.

| Área | Equipo | compext | Velocidad (kg/min) |
|------------------|-------------|---------|--------------------|
| Extrusión | Ext1 | 1 | 90 |
| | | 2 | 95 |
| | | 3 | 100 |
| | Ext2 | 1 | 95 |
| | | 2 | 100 |
| | | 3 | 105 |
| | Ext3 | 1 | 100 |
| | | 2 | 105 |
| | | 3 | 110 |
| Impresión | Imp1 | 1 | 61 |
| | | 2 | 49 |
| | | 3 | 37 |
| | Imp2 | 1 | 49 |
| | | 2 | 37 |
| | | 3 | 25 |
| Corte | Cortadora | - | 40 |
| Sellado | Selladora 1 | - | 80 |
| | Selladora 2 | - | 80 |

3.3.3. Secuencia de Fabricación de los Productos

La empresa PLÁSTICA S.A cuenta con 4 productos diferentes que se elaboran frecuentemente y que son:

- Rollos Naturales (RN)
- Rollos Impresos (RI)
- Fundas Naturales (FN)
- Fundas Impresas (FI)

Cada uno de estos productos tiene una secuencia de procesos distinta para llevar a cabo su producción. Los procesos que se tienen en la empresa son los siguientes:

- Proceso de Extrusión
- Proceso de Impresión
- Proceso de Corte
- Proceso de Sellado

Sin embargo algunos productos de la empresa no cumplen con todos estos procesos, debido a que no todos son necesarios para su fabricación. A continuación se presentan de manera gráfica la secuencia de procesos para cada uno de los productos de la empresa:



Gráfico 3.1. Descripción del Proceso de Elaboración de los Rollos Naturales

Como puede observarse en el **Gráfico 3.1**, los rollos naturales sólo requieren del proceso de extrusión para completar su fabricación y ser almacenados posteriormente en la bodega de productos terminados.

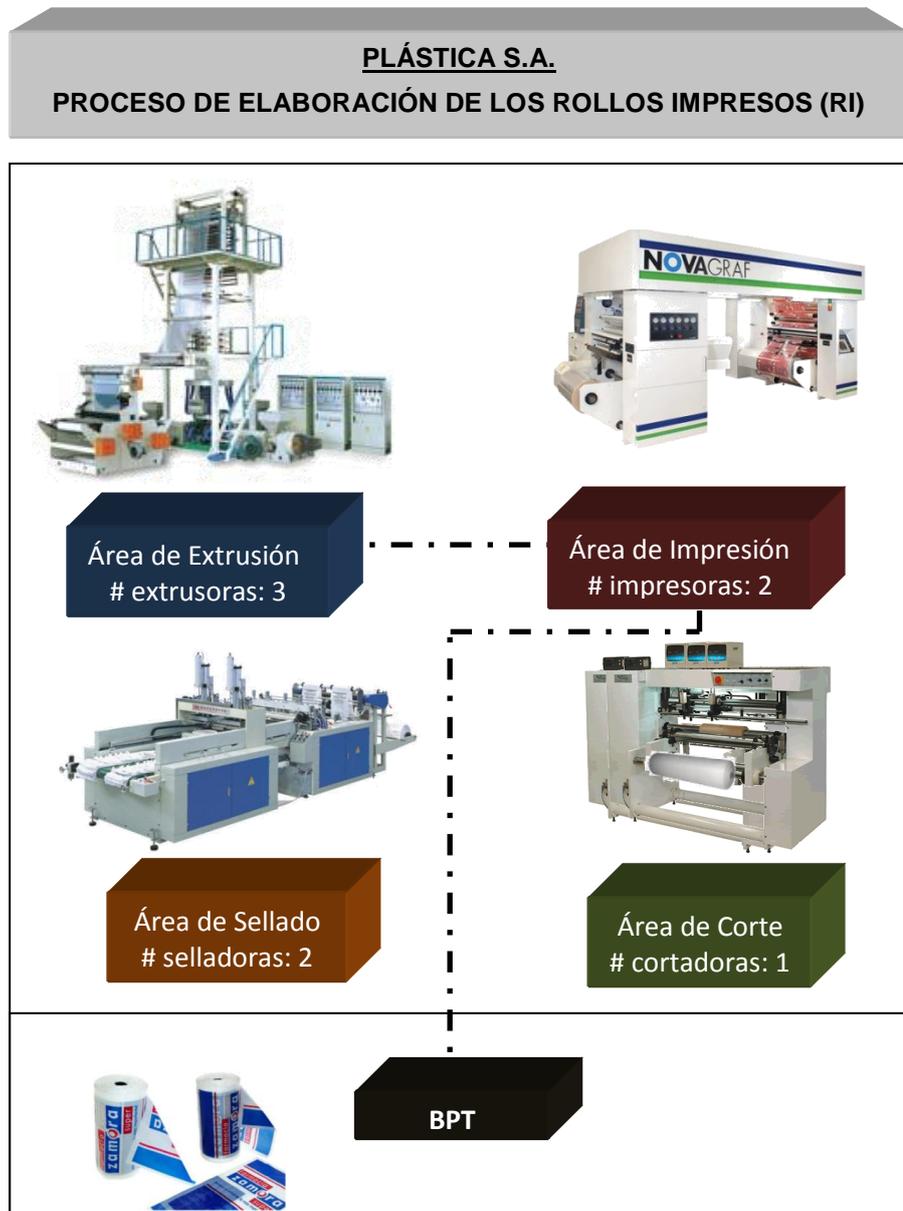


Gráfico 3.2. Descripción del Proceso de Elaboración de los Rollos Impresos

A diferencia de los rollos naturales, los rollos impresos requieren de un proceso adicional de impresión para culminar su fabricación y ser almacenados en la bodega de productos terminados.

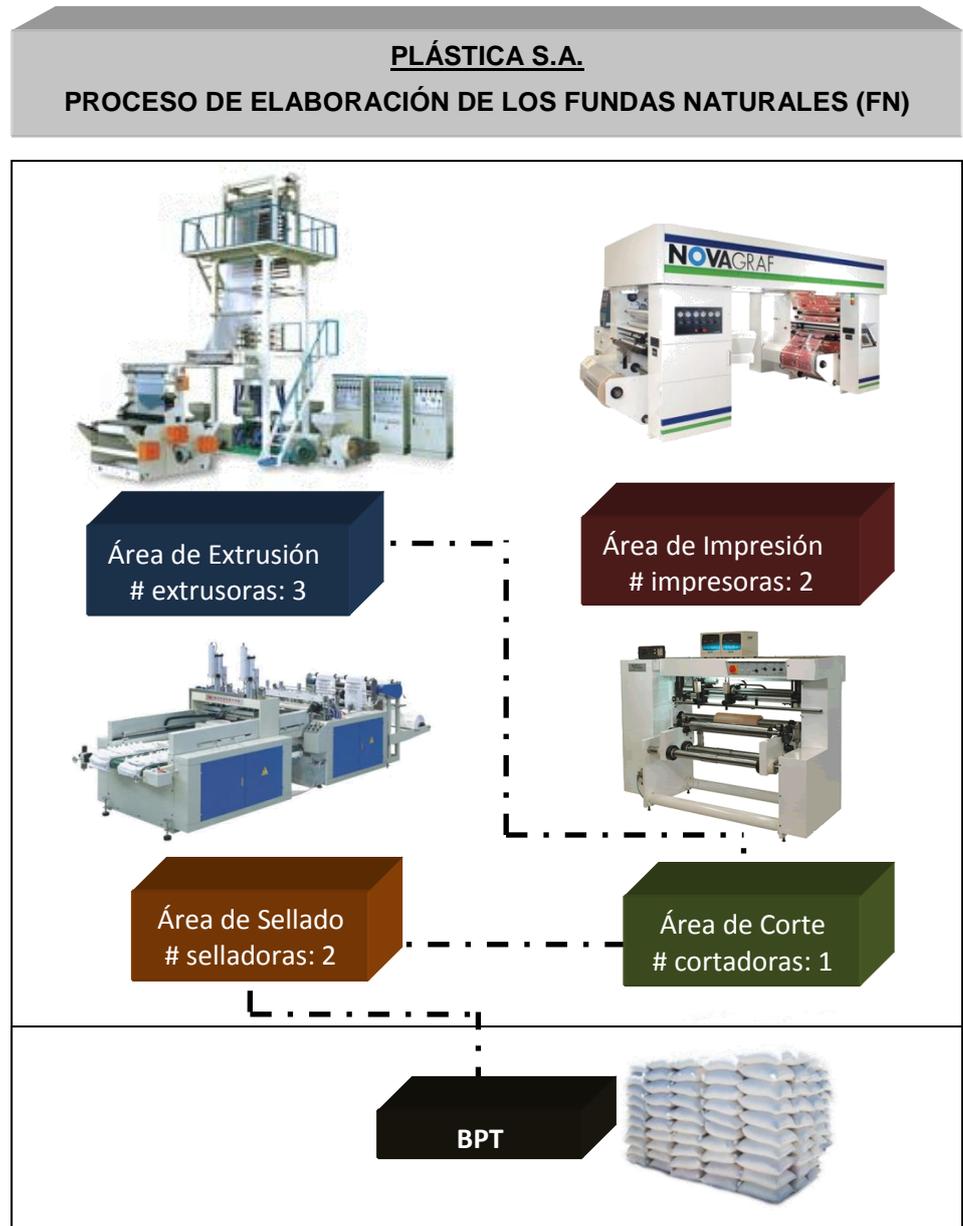


Gráfico 3.3. Descripción del Proceso de Elaboración de las Fundas Naturales

Las fundas naturales requieren pasar por 3 procesos distintos antes de terminar su fabricación, estos son: el proceso de extrusión, corte y sellado, para su posterior almacenamiento en la bodega de productos terminados.

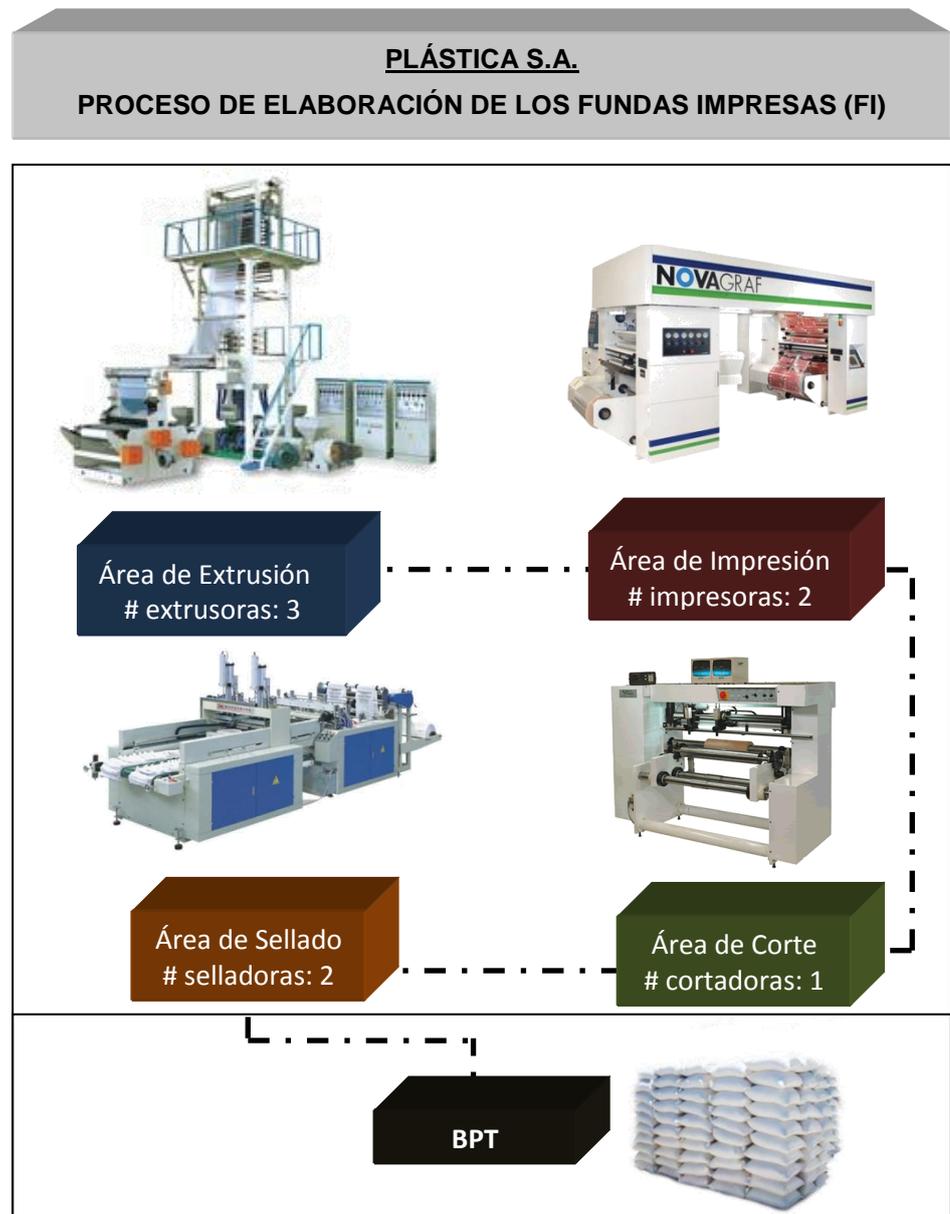


Gráfico 3.4. Descripción del Proceso de Elaboración de las Fundas Impresas

Las fundas impresas requieren pasar por los procesos de extrusión, impresión, corte y sellado convirtiéndose en el único producto de la empresa que requiere de todos los procesos

para completar su fabricación y luego ser almacenado en la bodega de productos terminados.

3.4. Asunciones del Modelo

Para efectuar este estudio, el modelo de simulación se ha basado en los siguientes supuestos:

- Se considera como tiempo de proceso de la orden únicamente al tiempo que se demore la orden en procesarse a través de los diferentes centros del trabajo según el tipo de producto y, no se considerará el tiempo de setup y fallas, debido a que el análisis de estos escenarios no son objeto del estudio. Los tiempos de traslado de rollos y preparación de materia prima se obviarán, debido a que son actividades que se realizan en forma paralela y no influyen en el tiempo de proceso de la orden.

- La empresa PLÁSTICA S.A. fabrica productos de alta y baja repetitividad, para efectos de este estudio se consideran los productos de de baja variedad y alto volumen, con 4 productos

clasificados como runners. En el capítulo 5 donde se aplican las mejoras, se describirá con mayor detalle este tema.

3.5. Procedimiento para la Elaboración del Modelo Inicial

3.5.1. Creación de Entidades

Se llaman entidades a cualquier parte o pieza que es procesada en el modelo de simulación. Las entidades pueden ser: personas, documentos, llamadas telefónicas, piezas, etc. (10). En este modelo las piezas que se encontrarán son descritas a continuación:

| | |
|---|---|
|  | <p>Orden</p> <ul style="list-style-type: none"> •Representa los pedidos de los clientes. Las órdenes de producción. |
|  | <p>Rollo</p> <ul style="list-style-type: none"> •Cada orden se divide en rollos de aproximadamente 100 kg. |
|  | <p>Grupolmp</p> <ul style="list-style-type: none"> •Esta entidad es utilizada para agrupar los rollos en el área de impresión con la finalidad de trasladarlos y que al desagruparlos se distribuyan con un sistema FIFO. |
|  | <p>GrupoSellado</p> <ul style="list-style-type: none"> •Esta entidad es utilizada para agrupar los rollos en el área de sellado. |

Gráfico 3.5. Entidades empleadas en el modelo de simulación inicial

3.5.2. Creación de Locaciones

Las locaciones representan lugares en el sistema donde las entidades son dirigidas para su procesamiento, almacenamiento, o alguna otra actividad en la toma de decisiones (10).

Las locaciones que se encuentran en el modelo fueron utilizadas para representar el proceso de elaboración de cuatro tipos de productos (RN, RI, FN, FI), en cuatro áreas de trabajo: Extrusión, Impresión, Corte, Sellado, donde cada una de ellas posee entre 1 y 3 máquinas y varias locaciones ficticias que fueron creadas para facilitar la programación del proceso de elaboración de los productos.

A continuación se detallan las locaciones existentes en cada área de trabajo:

Locaciones reales y ficticias en el Área de Extrusión



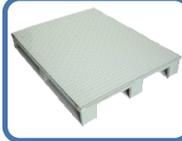
Gráfico 3.6. Locaciones en el Área de Extrusión

Locaciones reales y ficticias en el Área de Impresión



Gráfico 3.7. Locaciones en el Área de Impresión

Locaciones reales y ficticias en el Área de Corte



Wip_Cort

- Esta locación permite la entrada de cualquier tipo de producto y de cualquier número de orden sin restricción alguna.



Corte

- Esta área posee una máquina cortadora que trabaja a una sola velocidad.

Gráfico 3.8. Locaciones en el Área de Corte

Locaciones reales y ficticias en el Área de Sellado



Gráfico 3.9. Locaciones en el Área de Sellado

Locación final

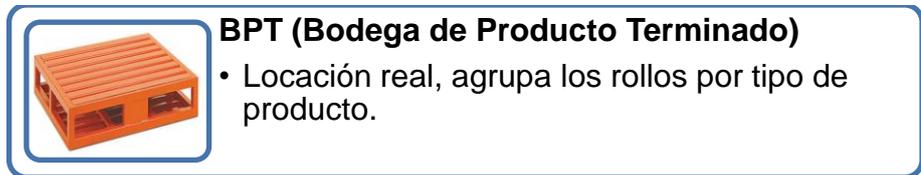


Gráfico 3.10. Locación de Producto terminado

3.5.3. Creación de Atributos

El Atributo es una propiedad o valor asociado con una entidad o componente de interés principal del sistema estudiado. Estas propiedades o características acompañan a la entidad durante todo el proceso desde el momento en que éste es asignado (10).

En la Tabla 3, se muestra un listado de los atributos utilizados en la programación y una breve explicación de su función.

3.5.4. Creación de Variables

Las variables pueden contener números reales o enteros, y se utilizan normalmente para la toma de decisiones o el registro de la información.

Las variables son de dos tipos: globales y locales. Las variables globales son definidas por el usuario para representar el cambio de valores numéricos y pueden hacer referencia a las expresiones numéricas en cualquier lugar del modelo. Las variables locales sólo están disponibles dentro de la lógica en donde se los declaró (10).

En la Tabla 4, se describe cada una de las variables utilizadas en la programación, ya sea para ejecutar un proceso o para la extracción de información.

3.5.5. Breve resumen explicativo del Modelo

Las órdenes arriban al modelo para ser convertidas en rollos de acuerdo a la cantidad de Kg de cada orden. Estos rollos pasan a las Extrusoras y dependiendo del tipo de producto que sea se dirigen a las áreas respectivas para finalmente llegar a la bodega de producto terminado.

En el caso de los rollos naturales se dirigen directamente a su respectiva Bodega. Los Rollos Impresos se dirigen al área de

Impresión donde deben obedecer a la política de espera en piso y la política de espera de órdenes.

Si se trata de una Funda Natural se dirige al área de corte, donde a medida que los rollos llegan se van procesando. Luego pasa al área de sellado donde obedece la política de espera de órdenes.

Finalmente, las Fundas Impresas se dirigen al área de Impresión donde deben obedecer a la política de espera en piso y la política de espera de órdenes, luego pasan por el área de corte y posteriormente a Sellado.

Al final de cada área existe una variable que controla el WIP por tipo de producto y otras que facilitan la toma de tiempos e indicadores.

Tabla 3.

Atributos del producto en el modelo de simulación inicial

| | |
|---------------|---|
| Tipo_producto | • Indica si el producto es RN, RI, FN o FI. |
| Cod_orden | • Indica el número de orden |
| Kg | • Indica la cantidad de Kilogramos de la orden. |
| RollosOrden | • Indica el número de rollos de la orden. |
| Rollox | • Indica la cantidad de kg que posee el último rollo de la orden cuando este es menor a 100kg |
| PesoRollo | • Indica la cantidad de kg del rollo. |
| Ext | • Indica el número de Extrusora a la que debe ir la orden. |
| Comp_Ext | • Indica la complejidad de la orden en extrusión. |
| Comp_Imp | • Indica la complejidad de la orden en Impresión. |

Tabla 4.

Variables del producto en el modelo de simulación inicial

| Variables | • Descripción |
|-----------------------|---|
| Pepa | Cuenta el número de rollos en extrusión para indicarle al atributo pesorollo el peso del último rollo en caso que este sea menor a 100kg. |
| Bloqueo_Imp | Toma el valor de 0 y 1 para indicar si la impresora está ocupada o no. |
| Entrada_Imp | Muestra la hora en que un rollo arriba al área de Impresión para posteriormente extraer y analizar estos resultados. |
| Salida_Imp | Muestra la hora en que un rollo sale del área de Impresión para posteriormente extraer y analizar estos resultados. |
| Control_Imp | Toma el valor de 0 y 1 para permitir el ingreso de los rollos al área de impresión luego de cumplir con las políticas del área. |
| Orden_Imp | Muestra las órdenes que han entrado al área de impresión y el orden de las mismas. |
| Bloqueo_Sell | Toma el valor de 0 y 1 para indicar si la selladora está ocupada o no. |
| Entrada_Sell | Muestra la hora en que un rollo arriba al área de Sellado para posteriormente extraer y analizar estos resultados. |
| Salida_Sell | Muestra la hora en que un rollo sale del área de Sellado para posteriormente extraer y analizar estos resultados. |
| Control_Sell | Toma el valor de 0 y 1 para permitir el ingreso de los rollos. |
| Orden_Sell | Muestra las órdenes que han entrado y el orden de las mismas. |
| Wip_Sistema | Muestra la cantidad de rollos que hay en promedio en la planta. |
| Wip_Extrusoras | Muestra la cantidad de rollos que hay en promedio en el área de Extrusión. |
| Wip_Impresoras | Muestra la cantidad de rollos que hay en promedio en el área de Impresión. |
| Wip_Cortadora | Muestra la cantidad de rollos que hay en promedio en el área de Corte. |
| Wip_Selladoras | Muestra la cantidad de rollos que hay en promedio en el área de Sellado. |
| TH | Muestra la tasa de producción de todos los productos en general, que posee la planta. |

3.5.6. Programación del Modelo

La programación del modelo involucra todos los procesos y actividades que se llevaron a cabo para su funcionamiento. Desde la creación de los elementos del modelo hasta la programación para la extracción de la información, así también las rutas de las entidades, la aplicación de variables, atributos, etc.

Para comprender el funcionamiento del modelo se muestra a continuación una pequeña parte de la programación del ruteo de las entidades durante el proceso de elaboración de los productos de PLÁSTICA S.A.

3.5.7. Situaciones Relevantes del Proceso de Modelación

Durante la programación de la situación actual de la empresa, aparecieron ciertas complicaciones, las cuales fueron resueltas a partir de la creación de variables, locaciones, entidades, etc., La programación que se utilizó se describirá a continuación para cada una de las situaciones que se han considerado relevantes.

- a. Las órdenes deben convertirse en rollos de acuerdo a la cantidad de kg que posean.
 - Para resolver esta situación se utilizó el comando “create” y la sentencia: “create (rollosorden)”, donde cada rollo debe pesar aproximadamente 100 kg. Si la orden llegara a tener un excedente inferior a 50 kg, ésta se añadirá al último rollo. Si la orden llegara a tener un excedente superior o igual a 50 kg, se contará como un rollo adicional.
- b. Los rollos son procesados de acuerdo a su peso, el cual debe ser aproximado a 100 kg.

- Cada rollo debe poseer un atributo que indique su peso, el cual varía puesto que el último rollo en algunos casos es diferente; o bien se le incrementa el excedente inferior o al excedente superior. La programación de esto se realiza en las extrusoras, donde se coloca un atributo llamado “pesorollo” que registra para cada rollo el peso que tiene y para el último rollo se creó una variable llamada “Pepa” en cada una de las extrusoras. Esta variable incrementa el número de rollos que se van procesando y se encera cuando se completa el valor de rollos por orden, esto sirve para saber el momento en que llega el último rollo, y es ahí donde el atributo pesorollo lo reconoce y registra el valor de rollox, un atributo dado a cada orden con el valor en kg del excedente inferior o del excedente superior.
- c. PLÁSTICA S.A., posee dos políticas: la política de espera en piso y la política de espera de órdenes. La política de espera en piso para las órdenes superiores a 200 kg requiere que el 40% de la orden se encuentre en espera,

sólo en ese momento los rollos pueden pasar a la siguiente locación.

- La política de espera en piso para las órdenes superiores a 200 kg, se efectuó empleando la opción de arrays, para lo cual se utilizó un archivo de Excel donde el 40% de los rollos de cada orden debe llegar a la locación de Espera_Imp para poder continuar a la siguiente locación. Cada vez que entra un rollo a Espera_Imp se resta la cantidad de rollos hasta completar el 40% de los rollos y una vez que este valor llega a cero entonces los rollos de dicha orden pueden pasar a la siguiente locación y si los rollos de esta orden ya están en la impresora, se les permite el paso directamente hasta la locación de espera junto a la Impresora.
- d. La política de espera de órdenes indica que una vez que un rollo entre a la máquina, ésta se bloquea y reconoce únicamente los rollos que pertenezcan al mismo número de orden hasta que la cantidad de rollos por orden se haya

procesado en su totalidad. El orden de entrada se debe respetar utilizando un sistema FIFO.¹

- Esta política está un poco relacionada a la anterior debido a que también se utilizan arrays para restar el número de rollos que se producen de cada orden y una vez que se llega a cero, existe una variable que “desbloquea” la máquina con valores de 0 y 1 (donde 0 indica que la máquina está disponible y 1 indica que la máquina está ocupada procesando una pieza), y permite el paso de una nueva orden.

3.6. Validación del Modelo de Simulación

La validación permite comparar el modelo con respecto a los resultados reales. En este caso, se validó el modelo empleando la ley de Little, es decir con respecto a un modelo analítico y además se calculó el tiempo de proceso de la primera orden, basados en los tiempos de entrada, características de la orden y velocidades de las

¹ La forma de programación de esta situación fue utilizada en el área de Impresión y Sellado, debido a que dichas áreas trabajan con la misma política de prioridades.

máquinas para obtener mediante displays los resultados y realizar las respectivas comparaciones.

3.6.1. Parámetros de Comparación y Parámetros reales

Los parámetros de comparación son datos que nos ayudan a comprobar la validez del modelo.

Para lograr modelar correctamente la demanda de los clientes (el arribo de pedidos a la empresa), se construyó una tabla de Excel que contiene toda la información de los tiempos de arribo de las órdenes que demandan los clientes dentro del periodo que se desea simular. Luego esta hoja se vinculó al programa de simulación, como un archivo externo, para que el arribo de órdenes se comportara de la forma descrita en la hoja de Excel.

Comparación con los Parámetros Reales

Los parámetros reales son aquellos valores conocidos y correctos con los que se puede comprobar la validez del modelo.

Un ejemplo puede ser, el total de órdenes que se obtuvo en el periodo de la simulación, el cual fue de 495 órdenes de producción. Este dato así como los que se registran en el archivo de ingreso de órdenes (cantidad kg, número de rollos, etc) son importantes para la validación del modelo, en este ejemplo, si arriban 495 órdenes para ser procesadas, entonces la cantidad de órdenes que salen del modelo también debe ser igual a 495. La realización de esta prueba dio resultados exitosos así como la utilización de displays para verificar los tiempos de proceso de la primera orden, tal como se muestra a continuación:

Tabla 5.

Características generales de una orden

| Características generales de la Orden | | |
|--|-----------|-------------------------|
| Orden | kg | Tipo de Producto |
| 1 | 118 | FI |

En la tabla 3.6 se muestran los tiempos de proceso de la orden N° 1 en cada una de las áreas, estos datos fueron obtenidos a partir del uso de atributos y displays utilizados durante la simulación del modelo inicial.

Tabla 6.

Resultados extraídos de la simulación del tiempo de proceso

| Área de Trabajo | Tiempo (min) |
|--|----------------|
| Extrusión | 70.659 |
| Impresión | 192.653 |
| Corte | 85.507 |
| Sellado | 88.722 |
| Tiempo Total del Proceso (Simulación) | 437.541 |

En la Tabla 7, se observan los cálculos realizados para obtener el tiempo de proceso de la orden, a partir de la información inicial.

Tabla 7.

Cálculo del tiempo de proceso de una orden

| Extrusión | | | |
|-----------|----------|--------------------|----------------------|
| Ext | Comp_Ext | Velocidad (kg/min) | Tiempo proceso (min) |
| 1 | 3 | 1.67 | 70.659 |

| Impresión | | | |
|-----------|----------|--------------------|----------------------|
| Imp | Comp_Imp | Velocidad (kg/min) | Tiempo proceso (min) |
| 1 | 3 | 0.6125 | 192.653 |

| Corte | | |
|-----------|--------------------|----------------------|
| Cortadora | Velocidad (kg/min) | Tiempo proceso (min) |
| | 1.38 | 85.507 |

| Sellado | | |
|-----------|--------------------|----------------------|
| Selladora | Velocidad (kg/min) | Tiempo proceso (min) |
| 1 | 1.33 | 88.722 |

| | |
|---|----------------|
| Tiempo Total del Proceso (Calculado) | 437.541 |
|---|----------------|

| | |
|--|----------------|
| Tiempo Total del Proceso (Simulación) | 437.541 |
|--|----------------|

Como se aprecia en la parte inferior de la

Tabla 7, los resultados son iguales a los extraídos en la simulación, esto se debe a que el proceso no tiene variabilidad, ni setups, ni fallas, lo cual facilita su comprobación.

3.6.2. Comprobación de la Ley de Little

Entre los parámetros fundamentales que el modelo de la situación inicial debe cumplir para garantizar su validación es la denominada LEY DE LITTLE.

Este es uno de los principios fundamentales en la administración de manufactura.

Ley de Little: *Es la relación fundamental a largo plazo entre el Trabajo en Proceso (WIP), tiempo de ciclo, y la tasa de producción de un sistema de producción en estado estable es*
(3):

Trabajo en Proceso= Tiempo de Ciclo × Tasa de Producción

La Ley de Little se aplica a estaciones sencillas, líneas de producción, fábricas y cadenas enteras de suministros, a sistemas con y sin variabilidad y a sistemas de productos sencillos y múltiples, incluso aplica a sistemas no productivos donde el inventario representa gente, órdenes financieras, u otras entidades. La aplicación de esta ley es muy amplia y se aplica a cualquier tipo de sistema, por lo que el modelo de la situación inicial que se plantea no debe ser la excepción; sin embargo existe un solo requisito básico para que esta ley surta efecto:

- El Trabajo en Proceso, la tasa de producción y el tiempo de ciclo deben representar promedios a largo plazo de un sistema estable.

Para su aplicación se creó dentro de la lógica del modelo una variable que mida la cantidad promedio de rollos dentro del sistema, es decir el WIP promedio del sistema. Al finalizar la simulación, esta variable indicó un valor promedio de 263 rollos dentro del sistema, al usar la LEY DE LITTLE para calcular el WIP, se debería obtener el mismo resultado. Y, para comprobar este resultado, se debe obtener la tasa de producción promedio

del sistema y el tiempo de ciclo promedio del total de rollos. Estos datos son entregados en un reporte de resultados generado por el programa de simulación utilizado una vez que ha finalizado la corrida (el reporte se puede apreciar en la sección de anexos). Los datos obtenidos fueron los siguientes:

Datos

Tabla 8.

Tiempo de Simulación del Modelo Inicial

| Name | Value |
|----------------------|-------------------|
| Model Title | Situación Inicial |
| Warmup Time (HR) | 0 |
| Simulation Time (HR) | 805,98 |

Tabla 9.

Total de rollos y tiempo de ciclo por rollo

| Name | Total Exits | Avg Time in System (MIN) |
|-------------|--------------------|---------------------------------|
| Orden | 495 | 0 |
| Rollo | 1419 | 2589,08 |

Tabla 10.

Cantidad de Producto en Proceso en cada Área y en el Sistema

| Name | Maximum Value | Avg Value |
|----------------|---------------|-----------|
| WIP Sistema | 159 | 75,97 |
| WIP Extrusoras | 93 | 23,96 |
| WIP Impresoras | 87 | 37,9 |
| WIP Cortadora | 39 | 13,01 |
| WIP Selladoras | 5 | 1,1 |

Como se aprecia en la tabla 3.6.6, el resultado es el mismo que se obtuvo calculando el WIP a través de la Ley de Little. Por lo que, la ley de Little se cumple y el modelo de la situación inicial de la empresa queda validado.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA UTILIZANDO LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA SIMULACIÓN.

4.1. Datos Generales

En esta sección se presenta un resumen que proporciona una idea más clara de la situación en la que se encuentra inicialmente la empresa, los resultados fueron obtenidos del modelo de simulación de la situación actual.

Las órdenes de los clientes suman un total de 495, las cuales comprenden 1419 rollos de los cuatro tipos de familias, es decir, que la distribución de estas órdenes para cada familia de productos está dada de la siguiente manera:

Tabla 11.

Porcentaje de la cantidad de órdenes por tipo de producto procesados

| Tipo de Familia de Productos | % de Órdenes |
|-------------------------------------|---------------------|
| RN | 33% |
| RI | 22% |
| FN | 18% |
| FI | 26% |

El tiempo de la simulación fue de 34 días aproximadamente, la cantidad de WIP en el sistema fue de 76 rollos con un tiempo de ciclo promedio de procesamiento de 1.8 días en general y una tasa de producción de 4673 kg por día, tal como se muestra en la Tabla 12. Estos datos consideran el tiempo de simulación desde que ingresan la primera orden hasta que la última orden ha sido procesada.

Tabla 12.

Medidas de Desempeño del Modelo Inicial

| | |
|-----------------------------|----------------|
| TIEMPO DE SIMULACIÓN | 33.58 días |
| CT | 1.80 días |
| WIP | 75.97 rollos |
| TH | 4672.63 kg/día |
| Nivel de Servicio | 85% |

Para realizar un análisis en cuanto a los tiempos de entrega se realizó un gráfico que muestre el comportamiento de las órdenes de acuerdo a las fechas que fueron entregadas. En este gráfico se puede observar la cantidad de días de atraso (a la derecha del 0) con que

se entregó el pedido o la cantidad de días de adelanto (a la izquierda del 0). Siendo estos dos casos no favorables para la empresa.

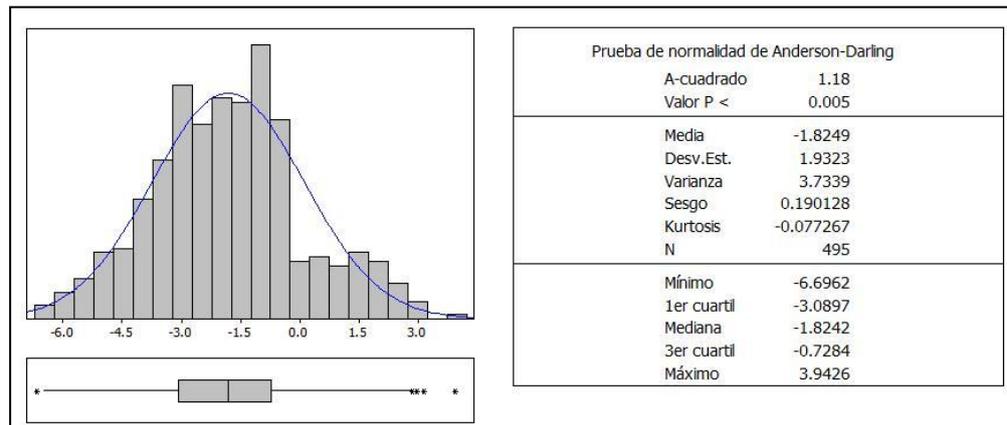


Gráfico 4.1. Comportamiento de los tiempos de entrega de la Simulación actual

Además, a través de un diagrama de cajas se pudo comprobar que la mayoría de las órdenes son entregadas por adelantado. El 25% de las órdenes son entregadas con 3 días de anticipación y más del 75% de las órdenes son entregadas por adelantado, donde se puede encontrar entregas por adelantado de hasta 6 días. Sin embargo, también se observa que los pedidos son entregados hasta con un máximo de 4 días de atraso. Ninguno de estos escenarios es favorable para la empresa, en el primer caso debido a que esto repercute en niveles de inventario innecesarios.

En resumen, las órdenes son entregadas con una media de 1.8 días de adelanto y una desviación de 3.7 días, lo cual es un rango muy grande que conlleva en el caso de órdenes fabricadas por adelantado, altos niveles de inventario innecesarios y en caso de órdenes fabricadas con algunos días de atraso, que significa un pobre nivel de servicio.

4.2. Evaluación de las Medidas de Desempeño

El tiempo de simulación dependerá del tiempo de fabricación de las órdenes, a través de un sencillo cálculo entre el tiempo de entrega de la primera y última orden, se obtiene que el tiempo de simulación aproximado para cumplir los plazos de entrega es de 26 días.

Actualmente el tiempo de simulación tal como se muestra en la Tabla 12, indica un tiempo de simulación mucho mayor de lo que realmente debe ser. Es por ello que durante este estudio se analizarán las diferentes opciones que se encuentren para mejorar el proceso de PLÁSTICA S.A.

En esta sección se analizará el tiempo de ciclo de la orden, y el tiempo de ciclo por producto, así como los niveles de wip en las

diferentes áreas de proceso y la tasa de producción que mantiene la empresa. Todo esto con la finalidad de identificar puntos de mejora y de definir el centro de trabajo cuello de botella.

4.2.1. Tiempo de Ciclo Promedio por Tipo de Producto.

El tiempo promedio de ciclo por rollo de acuerdo a los resultados de la simulación es de 1.80 días. A continuación se muestra en el Gráfico 4.2, el Tiempo de Ciclo promedio de acuerdo al tiempo que se demora cada orden en los diferentes Centros de Trabajo por cada familia o tipo de producto.

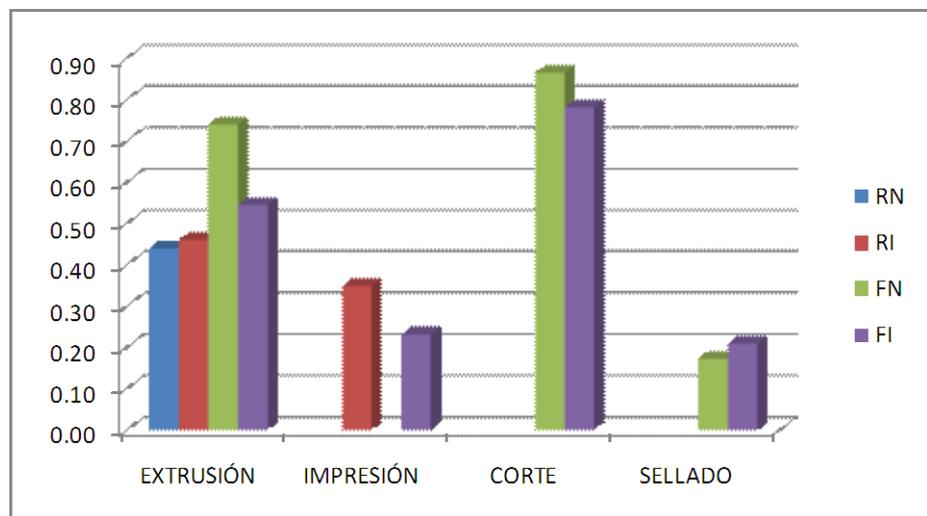


Gráfico 4.2. Tiempo de ciclo por tipo de producto en cada área de proceso

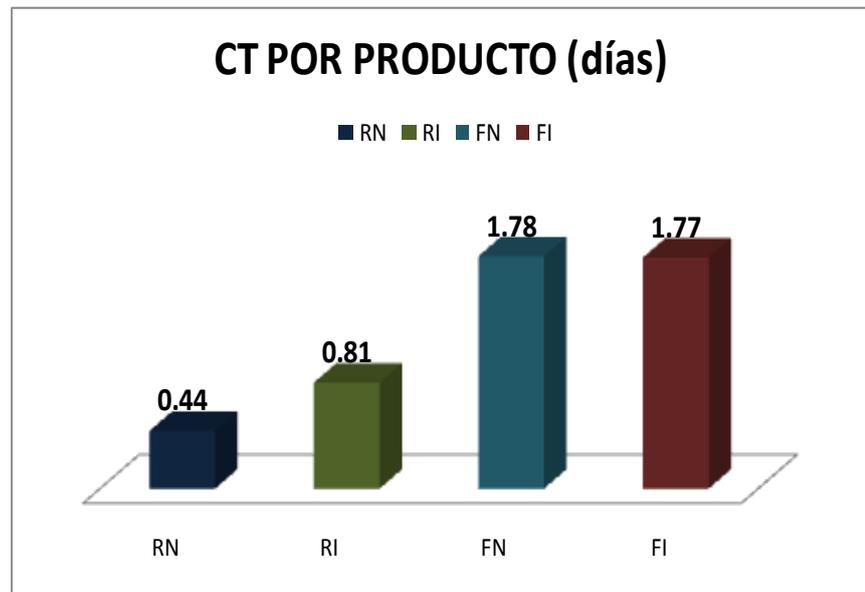


Gráfico 4.3. Tiempo de Ciclo por Producto

En el Gráfico 4.3, se puede observar que las FN y las FI poseen tiempos de ciclo muy similares. Esto se puede dar debido a que ambos productos deben pasar por un proceso con capacidad restringida como es el área de corte.

4.2.2. Producto en Proceso del Sistema y por Centros de Trabajo

Para continuar analizando las medidas de desempeño y conocer el centro de trabajo cuello de botella se identificó el nivel de WIP del sistema y de cada centro de trabajo, tal como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13.

WIP del Sistema y de cada Centro de Trabajo

| Nombre | Valor promedio |
|----------------|----------------|
| Wip Sistema | 75.97 |
| Wip Extrusoras | 23.96 |
| Wip Impresoras | 37.90 |
| Wip Cortadora | 13.01 |
| Wip Selladora | 1.10 |

Estos datos fueron tomados de los resultados que arrojó el modelo de simulación y como se puede observar el Centro de Trabajo de Impresión es el que posee un mayor nivel de wip en comparación con los demás Centros de Trabajo. Es por eso, que en primera instancia se puede concluir que el cuello de botella es el Centro de Trabajo Impresión. Más adelante, esto será confirmado a través del análisis de la utilización de los centros de trabajo.

4.2.3. Throughput del Sistema y por Tipo de Producto

La tasa de producción del sistema, como se observó anteriormente en la Tabla 12, es de aproximadamente 4700 kg por día. Sin embargo esto no es suficiente para satisfacer la demanda actual y peor aún sus fluctuaciones. Con el objetivo de responder más rápido al mercado se requiere realizar un

análisis a cada tipo de producto, desde estudiar su comportamiento ante la demanda hasta su comportamiento dentro del proceso de elaboración. Es por ello que a continuación se muestra en la Tabla 14, la tasa de producción por día para cada tipo de producto comparándola con la cantidad de kg promedio que se demanda por día.

Tabla 14

Tasa de Producción por Tipo de Producto

| Tipo de Producto | TH (kg/día) | Demanda diaria (kg) |
|-------------------------|--------------------|----------------------------|
| RN | 1602.53 | 1737.27 |
| RI | 1232.43 | 1343.12 |
| FN | 1104.42 | 1263.50 |
| FI | 701.92 | 784.38 |

En la Tabla 14, se observa que la diferencia entre la demanda requerida y la tasa de producción obtenida en el modelo inicial no es muy grande, es decir que sí es posible satisfacer la demanda actual con un mejor control del inventario por cada tipo de producto.

Para el cálculo del throughput es necesario utilizar únicamente datos que consideren la simulación en estado estable, es decir se deben tomar los datos a partir de un tiempo T donde los

datos sean similares, eliminando así el sesgo inicial conocido como warm-up time de acuerdo al comportamiento de los tiempos de salida de cada rollo del sistema. El warm-up time es de 6169 minutos que constituyen 50 rollos, como se muestra en el Gráfico 4.4.

Además se calculó el warm-up time para cada tipo de producto (Véase Anexo 2), con la finalidad de obtener resultados de un sistema estable.

4.3. Utilización de las máquinas

Debido a la política de espera de órdenes, la cual indica que una vez que una orden es asignada a una de las máquinas impresoras o selladoras, toda la orden debe ser concluida en estas; la utilización de las máquinas que muestra la simulación considera el tiempo en que estas se encuentran esperando por la totalidad de la orden que comenzaron a procesar como tiempo de espera y parte del tiempo ocioso, "idle". De tal manera que los resultados que muestra la simulación se muestran en el Gráfico 4.5.

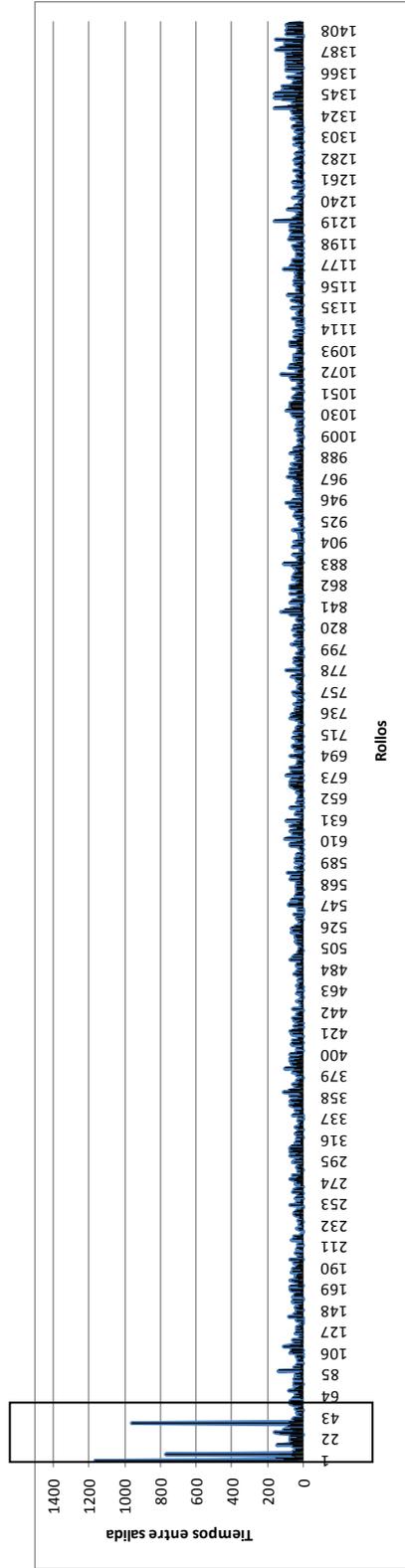


Gráfico 4.4. Tiempo de warm-up del sistema

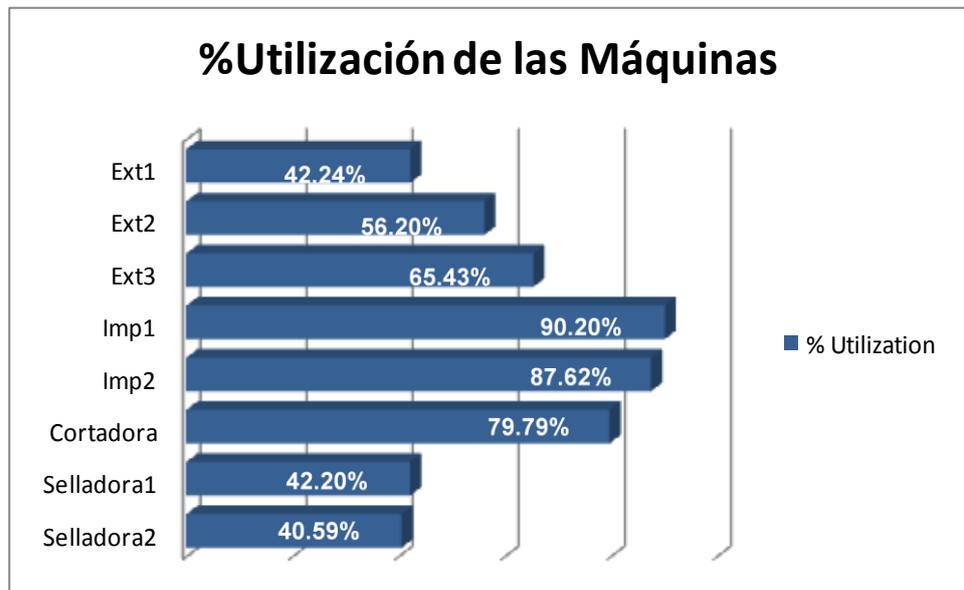


Gráfico 4.5. Resultado de la Utilización de las máquinas suministrado por Promodel

La gráfica anterior muestra que las impresoras poseen una alta utilización seguidas de la cortadora.

Para determinar el tiempo de espera que las máquinas de Impresión y Sellado les toma completar una orden, se utilizaron los tiempos de arribo y salida del primer y último rollo de cada orden, se comparó los tiempos de proceso de cada orden con el tiempo de proceso teórico y se calculó el tiempo que la máquina estuvo esperando hasta completar de procesar la orden en curso.

Los resultados obtenidos en el área de Impresión y Sellado se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15.

Tiempos de espera de las máquinas de Impresión y Sellado

| Máquinas | Tiempo Espera (días) |
|-------------|----------------------|
| Impresora 1 | 0.00 |
| Impresora 2 | 0.00 |
| Selladora 1 | 7.41 |
| Selladora 2 | 5.91 |

Considerando el tiempos que las máquinas deben esperar hasta procesar el último rollo de la orden, la utilización de las máquinas se muestra de la siguiente manera en el Gráfico 4.6, y se describe en la Tabla 16.

Tabla 16.

Utilización Real de las Máquinas

| | %Utilización Real | | % Idle | %Total |
|------------|-------------------|----------|--------|--------|
| | % Utilization | % Espera | | |
| Ext1 | 42.24% | 0.00% | 57.76% | 100% |
| Ext2 | 56.20% | 0.00% | 43.80% | 100% |
| Ext3 | 65.43% | 0.00% | 34.57% | 100% |
| Imp1 | 90.20% | 0.00% | 9.80% | 100% |
| Imp2 | 87.62% | 0.00% | 12.38% | 100% |
| Cortadora | 79.79% | 0.00% | 20.21% | 100% |
| Selladora1 | 42.20% | 22.06% | 35.74% | 100% |
| Selladora2 | 40.59% | 17.59% | 41.82% | 100% |

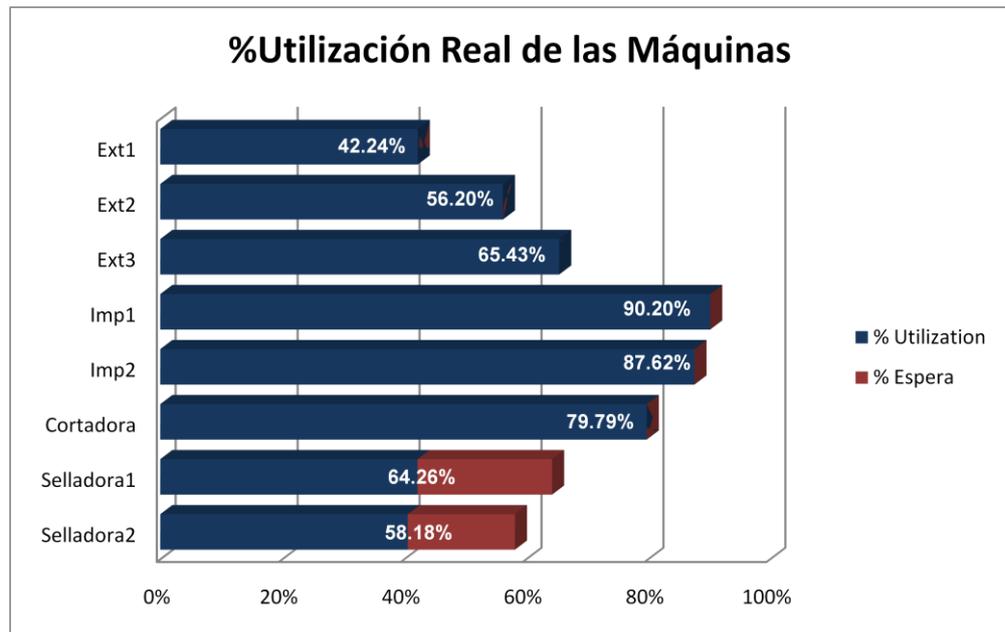


Gráfico 4.6. % de la Utilización Real que incluye el Tiempo de Espera de la máquina.

El tiempo que la máquina espera por completar de procesar una orden, es considerado parte de la operación de la máquina, y se muestra de color rojo en el gráfico.

Finalmente, se confirma que el cuello de botella es el área de Impresión y se considera además a la cortadora como un recurso con capacidad restringida por tener de igual manera un porcentaje de utilización elevado, esto, a pesar que la selladora incrementó su utilización con el % tiempo de espera que fue añadido manteniéndose con un % de utilización manejable.

4.4. Indicadores de Servicio

4.4.1. Órdenes atrasadas

Los resultados de la simulación arrojaron un total de 73 órdenes atrasadas, las cuales corresponden al 15% del total de las órdenes:



Dentro del 15% de órdenes atrasadas se encuentran los Rollos Impresos, Fundas Naturales y Fundas Impresas.

Se realizó un histograma de frecuencias, donde se puede observar los días de atraso con que se fabricaron estas órdenes por tipo de producto, con respecto al tiempo de entrega estipulado entre 1 y 7 días a partir de la liberación de las órdenes.

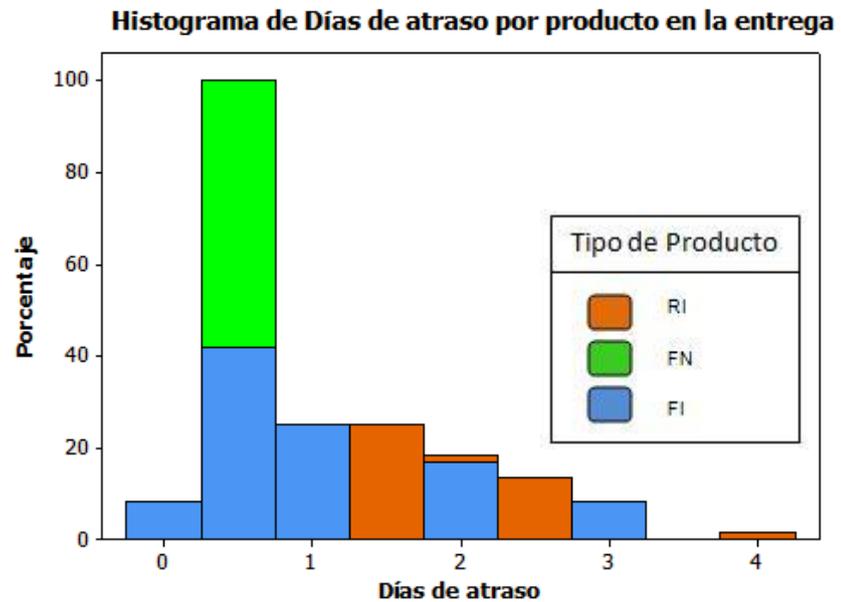


Gráfico 4.7. Histograma de Días de atraso por Tipo de Producto

Del 15% de las órdenes que se entregaron atrasadas, el Gráfico 4.7, muestra aproximadamente la cantidad de días de atraso por producto. Las observaciones relevantes a partir de este gráfico fueron las siguientes:

- Los Rollos Impresos se entregan hasta con 4 días de atraso en un mayor porcentaje que el resto de los productos.

- Las Fundas Naturales en un pequeño porcentaje de los pedidos se entregan atrasados entre 0 y 1 día aproximadamente.
- Las Fundas Impresas entregan pedidos con un atraso de hasta 3 días aproximadamente.

A partir del Gráfico 4.7, se elaboró la siguiente tabla que distribuye la cantidad de órdenes para un rango de días de atraso determinado.

Tabla 17.

Frecuencia de órdenes clasificadas por días de atraso

| DIAGRAMA DE PARETTO DE LAS ÓRDENES ATRASADAS | | |
|---|------------------------------|------------------------------|
| Rango de Días | Frecuencia de Órdenes | Porcentaje de Órdenes |
| (1/2] | 29 | 39.73% |
| (0/1] | 27 | 36.99% |
| (2/3] | 15 | 20.55% |
| (3/4] | 2 | 2.74% |

De esta manera, utilizando el diagrama de Pareto se obtiene lo siguiente:

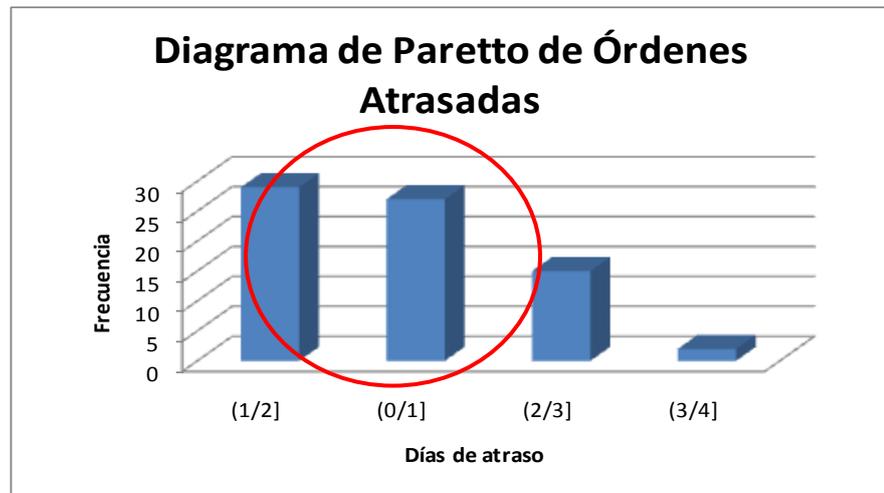


Gráfico 4.8. Diagrama de Pareto de las Órdenes Atrasadas

Aproximadamente el 75% de las órdenes atrasadas se entregan con días de atraso de hasta 2 días, y en menor porcentaje hasta 4 días. En la sección 4.4.3, se analizarán las órdenes atrasadas por tipo de producto dentro del rango de días resaltado en la Gráfico 4.8, donde se encuentra el mayor volumen de órdenes atrasadas.

4.4.2. Órdenes entregadas a tiempo y por adelantado

Para determinar el nivel de servicio al cliente, se utilizó el número de órdenes que fueron fabricadas en la fecha fijada de entrega y con anticipación. De esta manera se obtuvo un total

de 422 órdenes, las cuales representan el 85% del total de órdenes.



Del 85% de las órdenes que comprenden los cuatro tipos de producto: Rollos Naturales, Rollos Impresos, Fundas Naturales y Fundas Impresas, el 77% son fabricadas antes de la fecha fijada de entrega y el 23% se culmina en el día establecido por el cliente. (Véase Gráfico 4.9)

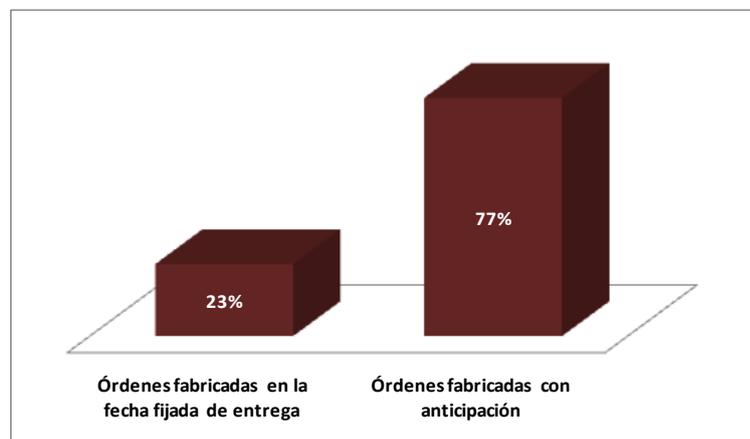


Gráfico 4.9. Distribución de órdenes entregadas a tiempo

Se elaboró un histograma que permita observar por tipo de producto la cantidad de días de adelanto con que se entregaron algunas órdenes en relación al tiempo de entrega estipulado entre 1 y 7 días a partir de la liberación de las órdenes.

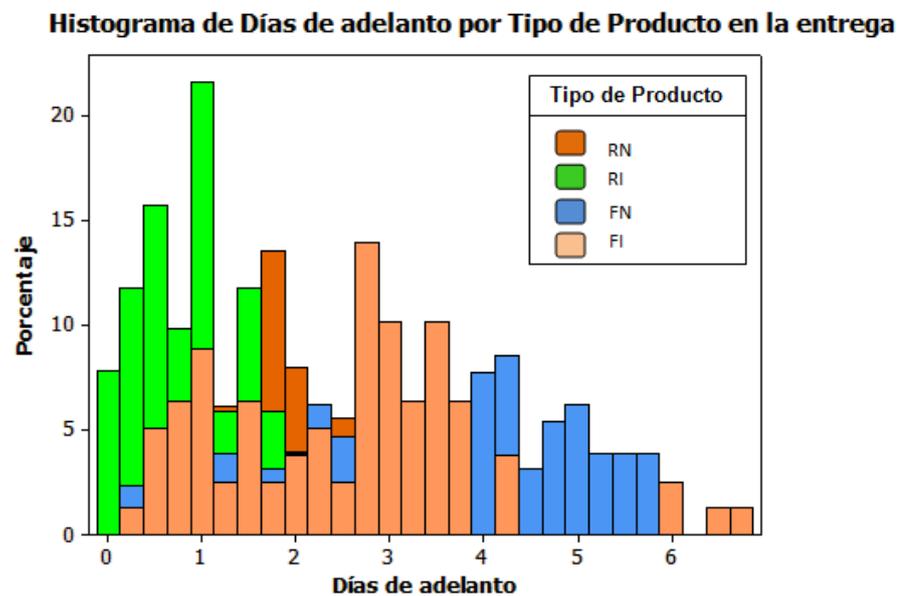


Gráfico 4.10. Histograma de Días de adelanto por Tipo de Producto

Las observaciones relevantes a partir de este gráfico fueron las siguientes:

- Las Fundas Naturales y los Rollos Naturales se entregan por adelantado hasta con 7 días.

- Los Rollos Impresos se entregan por adelantado entre 0 y 2 días aproximadamente.
- Las Fundas Impresas se entregan por adelantado en su mayoría, hasta con más de 6 días de adelanto.

Las órdenes fabricadas con algunos días de anticipación generan en la empresa mayores costos de inventario y administración. Se realizó un diagrama de Pareto identificando el volumen de órdenes entregadas por adelantado en un rango de días determinado y posterior a esto se identificó el tipo de producto que tiene mayor influencia.

La siguiente Tabla 18, muestra de mayor a menor la cantidad de órdenes que son entregadas por adelantado en el rango de días señalado.

Tabla 18.

Frecuencia de órdenes clasificadas por días de adelanto

| DIAGRAMA DE PARETO DE LAS ÓRDENES ENTREGADAS POR ADELANTADO | | |
|--|------------------------------|------------------|
| Rango de Días | Frecuencia de Órdenes | % Órdenes |
| (1/2] | 100 | 30.96% |
| (2/3] | 90 | 27.86% |
| (3/4] | 70 | 21.67% |
| (4/5] | 40 | 12.38% |
| (5/6] | 20 | 6.19% |
| [6/7] | 3 | 0.93% |



Gráfico 4.11. Diagrama de Pareto de las órdenes entregadas por adelantado

En la Tabla 18, (zona sombreada), se observa que el 80.50% de las órdenes fabricadas por adelantado se entregan entre 1 y 4 días de adelanto y que un 19.50% de órdenes son entregadas hasta con 7 días de adelanto. En la siguiente sección se realizará un análisis más profundo sobre este tema que muestre la cantidad de órdenes entregadas por adelantado de acuerdo al tipo de producto dentro del rango de días que se resalta en el Gráfico 4.11.

4.4.3. Análisis del tiempo de entrega de las órdenes por tipo de producto

Las órdenes son fabricadas en su mayoría por adelantado, sin embargo, se empezará analizando las órdenes atrasadas debido a que el interés de este estudio es determinar las causas de entregas atrasadas para alcanzar un nivel de servicio no menor a 99.9% y posteriormente se analizarán las órdenes fabricadas por adelantado debido a que estas repercuten en altos niveles de inventario y por ende en costos de almacenamiento.

Órdenes Atrasadas por Tipo de Producto

Del 15% de órdenes atrasadas, se detalla en la siguiente tabla el porcentaje de órdenes atrasadas para cada tipo de producto, así:

Tabla 19.

Porcentaje de órdenes atrasadas por Tipo de Producto

| Órdenes Atrasadas por Tipo de Producto | | |
|---|--------------------------|----------------------------|
| Tipo de Producto | Órdenes Atrasadas | % Órdenes Atrasadas |
| Rollos Naturales | 0 | 0% |
| Rollos Impresos | 60 | 54% |
| Fundas Naturales | 1 | 1% |
| Fundas Impresas | 12 | 13% |

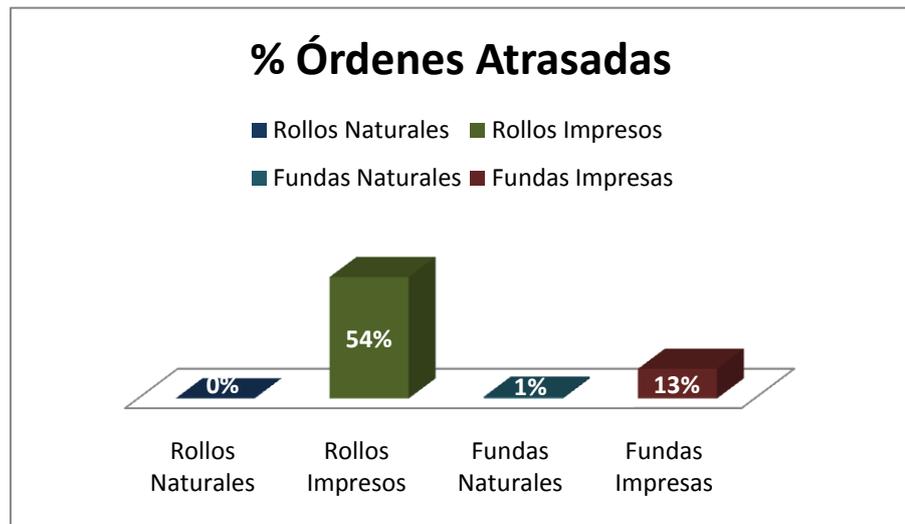


Gráfico 4.12. Porcentaje de órdenes atrasadas por Tipo de Producto

El producto con mayor porcentaje de órdenes atrasadas es el rollo impreso con un 54%. De acuerdo al diagrama de Pareto realizado anteriormente que se muestra en la Gráfico 4.8, estas órdenes atrasadas se fabrican en su mayoría entre el primero y segundo día. Y de acuerdo al Gráfico 4.12, son los rollos impresos los que son fabricados en su mayoría durante estos días.

El Gráfico 4.12, muestra que los rollos impresos y las fundas impresas tienen un mayor porcentaje de entregas con algunos días de atraso, la causa puede ser debido a que en su proceso

de elaboración deben pasar por el área de impresión, el cual en la **Sección 4.3**, se reconoció como cuello de botella.

Órdenes entregadas por Adelantado por Tipo de Producto

Los resultados de estas órdenes, se analizaron con mayor exactitud para comprobar las observaciones descritas anteriormente alrededor del Gráfico 4.10, obteniendo lo siguiente:

Tabla 20.

Porcentaje de órdenes fabricadas por adelantado por Tipo de Producto

| Órdenes Fabricadas por Adelantado | | | | |
|--|--|--|----------------------|------------------------------|
| Tipo de Producto | Cantidad de Órdenes de 1 a 4 días | Cantidad de Órdenes de 4 a 7 días | Total Órdenes | % Órdenes adelantadas |
| Rollos Naturales | 113 | 7 | 120 | 74% |
| Rollos Impresos | 20 | 0 | 20 | 18% |
| Fundas Naturales | 70 | 49 | 119 | 92% |
| Fundas Impresas | 57 | 7 | 64 | 70% |

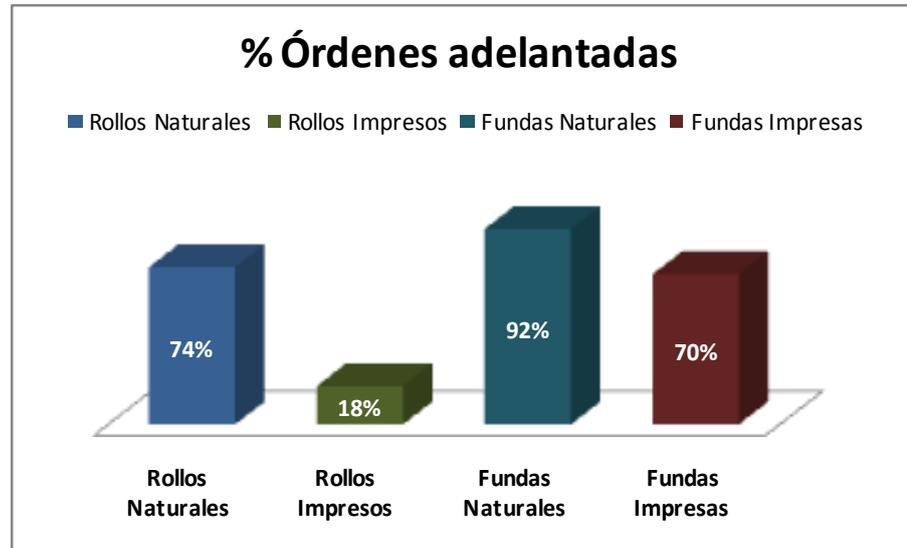


Gráfico 4.13. Porcentaje de órdenes fabricadas por adelantado por Tipo de Producto

De acuerdo al Gráfico 4.13, se observa que la mayor cantidad de entrega de órdenes por adelantado ocurre en las Fundas Naturales, las cuales son entregadas por adelantado en un 92%, seguidas de los Rollos Naturales y las Fundas Impresas en un 74% y 70% respectivamente.

De esta forma, se demuestra que las Fundas Naturales son las órdenes cuyo porcentaje de adelanto es el más elevado dentro del rango de 1 a 4 días, que es donde se concentra el mayor volumen de inventario y por ende los mayores costos.

En resumen, se muestra a continuación un diagrama que unifica por tipo de familia o producto el porcentaje de órdenes atrasadas, las órdenes fabricadas en la fecha fijada de entrega y las órdenes fabricadas por adelantado.

Tabla 21.

Porcentaje de órdenes atrasadas y fabricadas por adelantado por Tipo de Producto

| DISTRIBUCIÓN DEL TIEMPO DE FABRICACIÓN DE ÓRDENES POR TIPO DE PRODUCTO | | | |
|---|----------------------------|------------------------------|--------------------|
| Tipo de Producto | % Órdenes Atrasadas | % Órdenes Adelantadas | Órdenes JIT |
| Rollos Naturales | 0,00% | 73,62% | 26,38% |
| Rollos Impresos | 54,05% | 18,02% | 27,93% |
| Fundas Naturales | 0,77% | 91,54% | 7,69% |
| Fundas Impresas | 13,19% | 71,43% | 15,38% |

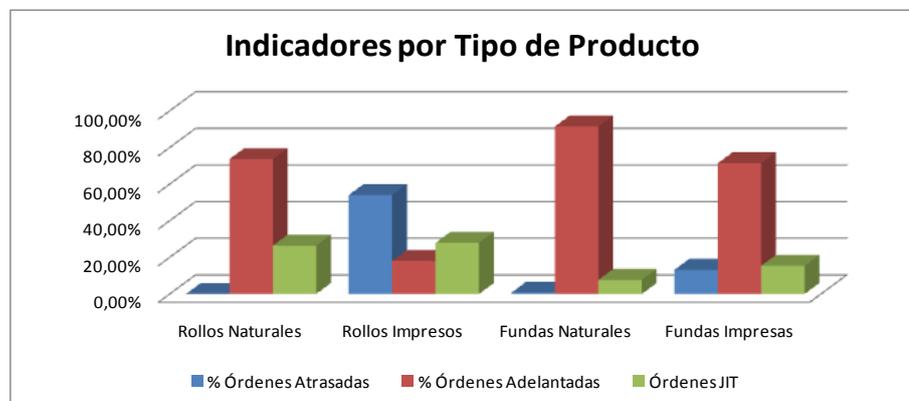


Gráfico 4.14. Porcentaje de órdenes atrasadas y fabricadas por adelantado por Tipo de Producto

De esta manera se puede apreciar mejor las conclusiones obtenidas en las gráficas realizadas anteriormente.

Las observaciones a partir de esta gráfica son:

- Las órdenes correspondientes a Rollos Naturales, fueron fabricadas por adelantado en un 74% y justo en la fecha de entrega alrededor del 26% de las órdenes.
- Los Rollos Impresos contienen el mayor número de órdenes que se entregan atrasadas con un 54%, un 18% de órdenes fabricadas por adelantado y el 28% fabricadas justo a tiempo.
- Casi el 1% de las Fundas Naturales fueron entregadas atrasadas, aproximadamente el 92% se fabricó por adelantado y cerca del 8% se fabricó justo en la fecha prometida al cliente.
- Aproximadamente el 13% de las Fundas Impresas fueron entregadas atrasadas, el 71% se fabricó por

adelantado mientras que el 15% se fabricó en la fecha fijada de entrega.

Entonces, el nivel de servicio por tipo de producto está dado por la cantidad de órdenes fabricadas y entregadas a tiempo sobre el total de órdenes, así:

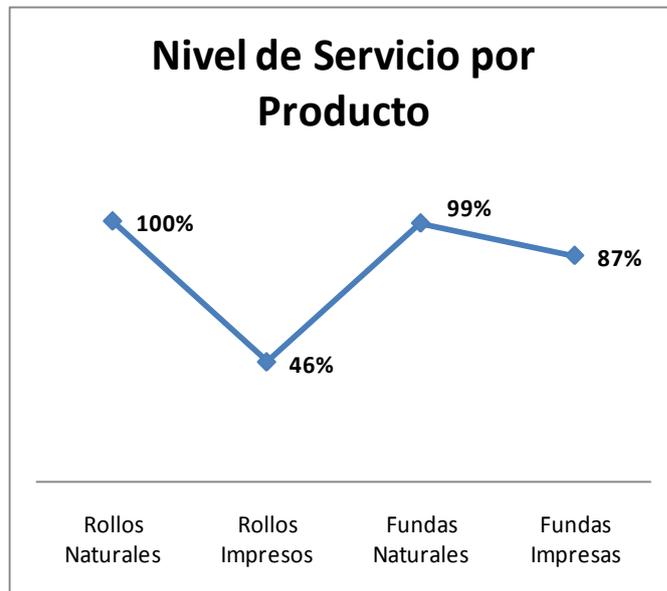


Gráfico 4.15. Nivel de Servicio por Tipo de Producto

Tabla 22.

Tiempo de entrega promedio al cliente para cada Tipo de Producto

| Tipo de Producto | Lead Time (promedio) |
|------------------|----------------------|
| RN | 2 |
| RI | 2 |
| FN | 2 |
| FI | 3 |

Como se muestra en la Gráfico 4.15, los Rollos Naturales y las Fundas Naturales tienen un mejor nivel de servicio, la diferencia radica en el proceso a seguir, debido a que estos no dependen del cuello de botella de la empresa a pesar de contar con un tiempo de entrega igual o inferior a los demás productos, como es el caso de los Rollos Impresos y las Fundas Impresas.

4.5. Análisis de las políticas de la empresa

La empresa cuenta actualmente con ciertas políticas que “mejoran el desempeño de su proceso” para cumplir a tiempo con la entrega de las órdenes. Para confirmar la validez y/o mejora que representan estas políticas en el Sistema de Producción actual, en esta sección se evaluarán cada una de ellas.

Para facilitar este análisis se definieron las políticas de la siguiente manera:

Tabla 23.

Identificación de las Políticas de Impresión y Sellado

| Impresión | |
|-------------------------------|---|
| Política de espera de órdenes | a |
| Política de espera en piso | b |

| Sellado | |
|-------------------------------|---|
| Política de espera de órdenes | c |

A continuación se comprobará si estas políticas verdaderamente contribuyen al mejoramiento del proceso, o por el contrario, hacen que las medidas de desempeño y el nivel de servicio al cliente se deterioren. Los resultados de las pruebas realizadas se muestran en la siguiente tabla y gráfico:

Tabla 24.

Evaluación de las Medidas de Desempeño para cada una de las pruebas realizadas con y sin la implementación de las políticas.

| PRUEBAS | CT POR ROLLO | WIP SISTEMA (rollos) | TH (rollos/día) |
|-------------------|---------------------|-----------------------------|------------------------|
| Política a, b y c | 1.80 | 75.97 | 46.73 |
| Política a y c | 1.77 | 75.3 | 46.99 |
| Política a y b | 1.96 | 82.83 | 46.73 |
| Política a | 1.93 | 81.89 | 46.99 |
| Política b | 5.59 | 147.31 | 27.63 |
| Política c | 5.58 | 147.03 | 27.63 |
| Política b y c | 5.57 | 146.87 | 27.63 |
| Ninguna política | 5.59 | 147.36 | 27.63 |

Dentro del análisis de las políticas también se calculó el nivel de servicio con cada una de las políticas y sus combinaciones, como se muestra en el

Gráfico 4.17.

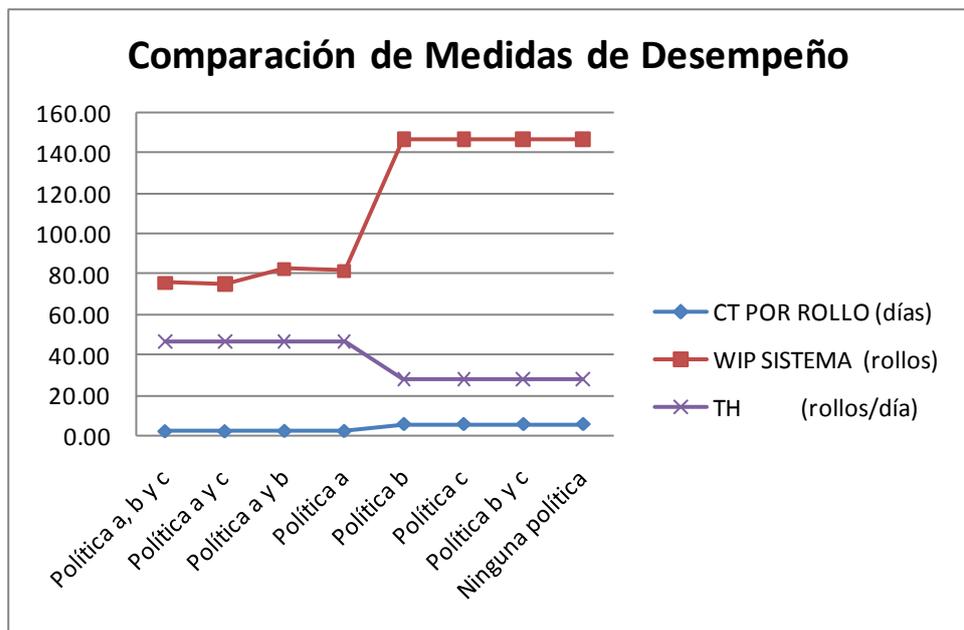


Gráfico 4.16. Comparación de las Medidas de Desempeño entre las pruebas hechas a partir de las políticas

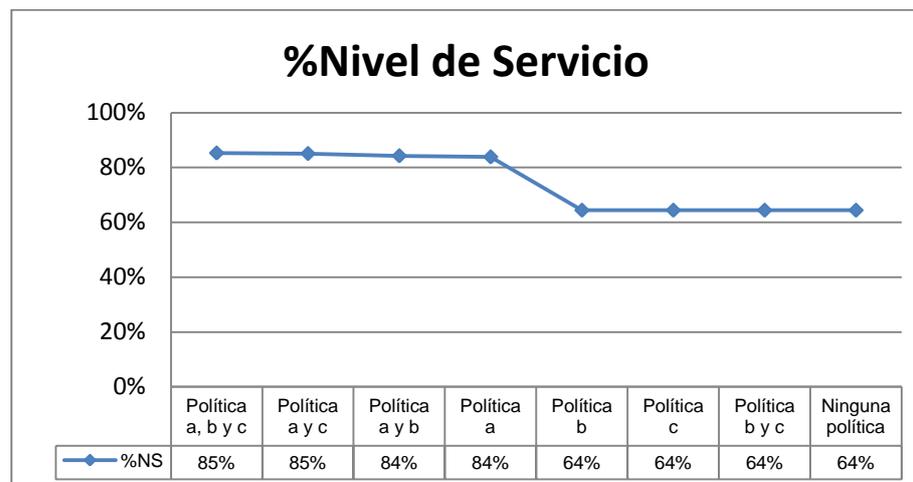


Gráfico 4.17. Comparación del Nivel de Servicio de cada una de las pruebas realizadas

Las políticas implementadas actualmente muestran una tasa de producción relativamente más pequeña en comparación con las pruebas donde se implementó únicamente una política y también en el caso de la prueba donde no se implementó ninguna política; sin embargo el tiempo de ciclo, así como el nivel de inventario promedio en el sistema son un poco más altos que la Política que se muestra en segundo lugar (de arriba hacia abajo) en la Tabla 24. Esta diferencia resulta insignificante, pero ello demuestra que la implementación de estas políticas ha dado efectos positivos, a pesar de ello este estudio pretende demostrar el mejoramiento de las medidas de desempeño y el nivel de servicio utilizando otras técnicas de mejora de la producción.

4.6. Diagrama Causa-Efecto

El Diagrama de causa y Efecto (o Espina de Pescado) es una técnica gráfica ampliamente utilizada, que permite apreciar con claridad las relaciones entre un tema o problema y las posibles causas que pueden estar contribuyendo para que él ocurra.

Este diagrama fue elaborado a partir del problema planteado en el Capítulo 1. Esta técnica gráfica se relaciona con otros métodos de mejora de la calidad como es la lluvia de ideas que en este caso fue de vital importancia para reunir todas las posibles causas al problema señalado.

Finalmente, como se muestra en el Gráfico 4.18, se recopiló y ordenó esta información para colocarla en las espinas del diagrama de acuerdo a tres categorías definidas como: Métodos, Medio y Máquinas. Luego de acuerdo a la importancia o relevancia de las causas se ponderó cada una de ellas con valores del 1 al 12, siendo 10 de mayor relevancia y 1 de poca relevancia.

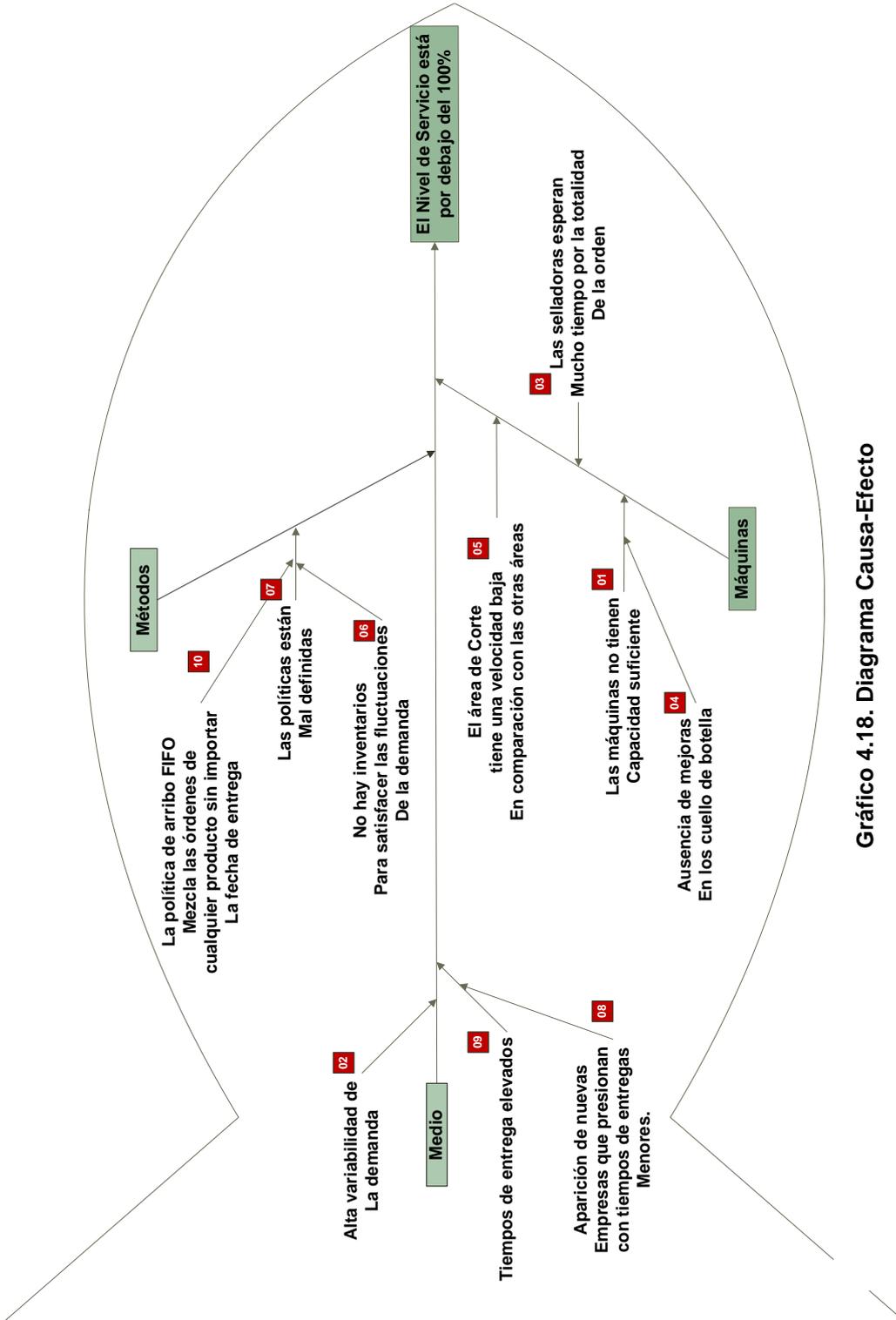


Gráfico 4.18. Diagrama Causa-Efecto

El diagrama anterior muestra que la causa más relevante del problema planteado es la política de arribo, FIFO, debido a que la secuenciación de la producción mal definida envía a producir productos que por su menor tiempo de proceso pueden ser liberados con menos días de anticipación como es el caso de los rollos naturales.

El Sistema de Control Pull considera la demanda y variabilidad de los productos en estudio, de tal manera que plantea niveles de inventario óptimos para satisfacer la demanda y mejorar los tiempos de respuesta.

4.7. Propuestas de Mejora

Las propuestas de mejora que se plantean en esta sección tienen la finalidad de satisfacer los pedidos de los clientes en un tiempo de entrega igual o inferior al del mercado.

- a) Identificar el día o los días de antelación en que se debe conocer la orden de acuerdo a la familia de productos para

comenzar a producir de tal manera que el pedido sea entregado a tiempo.

- b) Cambiar la secuenciación de los productos debido a que los Rollos Naturales tienen un tiempo de producción muy corto; por lo tanto pueden esperar un poco más, a diferencia de las Fundas Impresas.
- c) Utilizar un sistema Pull, para mejorar el tiempo de respuesta a través de niveles adecuados de inventario.

En el siguiente capítulo se analizará esta última propuesta, debido a que al implementar un sistema Pull, este analiza la demanda y distribuye de mejor manera la producción, reduciendo inventarios y aumentando el tiempo de respuesta, es decir que a través de la implementación de esta propuesta de mejora indirectamente son incluidas las anteriores.

CAPÍTULO 5

5. MODELO DE SIMULACIÓN BASADO EN LAS PROPUESTAS DE MEJORA

5.1. Planteamiento de propuesta de mejora: Implementación de un Sistema Kanban y Push

La empresa PLÁSTICA S.A. posee actualmente un sistema de producción PUSH, se ha considerado una propuesta de mejora que permita incrementar su desempeño actual, en donde se analizará la implementación de un sistema de producción PULL. Una vez terminado el nuevo modelo, se llevará a cabo un análisis de los resultados y se procederá a realizar la comparación de ambos Sistemas de Producción.

El modelo propuesto utiliza el Sistema Kanban únicamente en el primer proceso, Extrusión, debido a que todos los productos deben ser procesados en esta área y luego dividirse a los diferentes centros

de trabajo de acuerdo al tipo de producto. En todas las demás áreas se mantendrán el Sistema Push. Este sistema híbrido PULL-PUSH se utiliza porque no resulta práctico emplear un sistema PULL en todos los procesos, debido a que esto requeriría de inventarios en cada punto de los procesos para cada uno de los productos. En este estudio se contempla una situación de baja variedad y alto volumen, puesto que se consideran únicamente los productos runners de la empresa (6).

Para calcular el número de kanbans se toma en cuenta cuatro aspectos:

- El tiempo de reposición de inventario
- La variación de la demanda
- La variación en la manufactura (incluyendo problemas de calidad y escasez de material)
- Inventario de Emergencia o Seguridad

Se requiere obtener un número de kanbans que permitan responder a todas estas variaciones. Para lograrlo, se propone un método muy conservador y seguro que no solo toma en cuenta los cuatro

aspectos listados anteriormente, sino que también está diseñado para asignar un número de kanbans mayor al que realmente se necesita, y así dar más seguridad al sistema; sin embargo una vez que se alcance la suficiente experiencia con la implementación de los kanbans, se podrá reducir al nivel correcto la cantidad de kanbans, el tamaño de la tarjeta kanban o la cantidad que se autoriza producir, lo que a su vez reducirá el inventario. El sistema Kanban es un método de prueba y error que requiere de la realización de algunos experimentos hasta alcanzar el tamaño y número de kanbans óptimo, es por eso que en este estudio, el modelo de simulación es una herramienta clave para implementar este sistema.

5.1.1. Cálculo del número de kanbans

Los cálculos del número de kanbans son realizados para cada tipo de producto, a continuación se muestra en la Tabla 25, el detalle de los datos requeridos para el cálculo de kanbans.

Tabla 25

| Matriz de Cálculo de Kanbans Inicial | | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q |
|--------------------------------------|------------------|-----------------|--------------------------|---|--|--|---|---|---|---|--|---------------------------------|---|---|----------------------------------|--|---|--|
| COLUMNA | FILA | NÚMERO DE PARTE | USO PROMEDIO DIARIO (Kg) | TAMANO DEL LOTE (CANTIDAD DE KILOGRAMOS POR TARJETA KANBAN) | MÍNIMA CANTIDAD DE KANBANS POR LOTE DE PRODUCCIÓN (EN KANBANS) | TIEMPO PARA LA REPOSICIÓN DE INVENTARIO (DIAS) | CÁLCULO DE LOS KANBANS NECESARIOS PARA EL TIEMPO DE REPOSICIÓN (EN KANBANS) | VARIACIÓN DEL CLIENTE (EN DESV. ESTÁNDAR) | CÁLCULO DE LOS KANBANS NECESARIOS PARA LA VARIACIÓN DE CLIENTE (EN KANBANS) | VARIACIÓN EN LA MANUFACTURA (INDICADOR ETE COMO UN NÚMERO ENTERO) | CÁLCULO DE LOS KANBANS NECESARIOS PARA LA VARIACIÓN EN LA MANUFACTURA (EN KANBANS) | INVENTARIO DE EMERGENCIA (DIAS) | CÁLCULO DE LOS KANBANS NECESARIOS PARA INVENTARIO DE EMERGENCIA | TOTAL DE KANBANS REQUERIDO PARA LA PARA LA PARTE (EN KANBANS) | INVENTARIO MÁXIMO POSIBLE (DIAS) | CÁLCULO DEL NIVEL DE INVENTARIO EN ROJO (SE ASUME ROJO CUANDO QUEDAN "n" DÍAS DE INVENTARIO) (EN KANBANS, DEFINIDO POR EL PROGRAMADOR DE PRODUCCIÓN) | CÁLCULO DEL NIVEL DE INVENTARIO EN AMARILLO (SE ASUME ROJO CUANDO QUEDAN "n" DÍAS DE INVENTARIO) (EN KANBANS DEFINIDO POR EL PROGRAMADOR DE PRODUCCIÓN) | CÁLCULO DEL NIVEL DE INVENTARIO EN VERDE (RESTO DE LOS KANBANS) (EN KANBANS) |
| 1 | Rollos Naturales | 1737 | 1737 | 1737 | 1 | 1.58 | 2 | 1278.89 | 2 | 100% | 0 | 1 | 1 | 5 | 5.00 | 1 | 2 | 2 |
| 2 | Rollos Impresos | 1343 | 1343 | 1343 | 1 | 3.99 | 4 | 1009.55 | 3 | 100% | 0 | 1 | 1 | 9 | 8.00 | 2 | 3 | 3 |
| 3 | Fundas Naturales | 1264 | 1264 | 1264 | 1 | 2.74 | 3 | 1018.50 | 3 | 100% | 0 | 1 | 1 | 8 | 7.00 | 2 | 2 | 3 |
| 4 | Fundas Impresas | 784 | 784 | 784 | 1 | 4.30 | 5 | 727.12 | 4 | 100% | 0 | 1 | 1 | 11 | 10.00 | 3 | 3 | 4 |

En esta sección se explicará en detalle cada una de las columnas de esta matriz de cálculo. Como ejemplo en la Tabla 25, se muestran los resultados obtenidos para cada tipo de producto.

Columna A: Productos Runners

Lo primero a realizar, es determinar los productos y procesos apropiados para ser administrados bajo el sistema KANBAN (los runners). Para hacerlo se debe clasificar los productos en función de su consumo, desde el más utilizado hasta el que represente un menor consumo promedio (se debe usar un periodo de 3 a 6 meses de consumo real, sin uso de pronósticos). Para efecto de estudio, el periodo para el que se determinó el consumo de los productos fue únicamente de 26 días.

De acuerdo a los criterios para determinar los runners, como la alta repetitividad y consumo de kg promedio, la empresa PLÁSTICA S.A. posee cuatro tipos de productos runners:

- Rollos Naturales

- Rollos Impresos
- Fundas Naturales
- Fundas Impresas

El consumo total de estos productos dentro del periodo de entrega de pedidos se muestra en la Tabla 26.

Tabla 26

Consumo total de kg por tipo de Producto

| Runners | # órdenes | Consumo total kg |
|----------------|------------------|-------------------------|
| RN | 163 | 45169 |
| RI | 111 | 34921 |
| FN | 130 | 32851 |
| FI | 91 | 20394 |

A partir de los resultados mostrados en la Tabla 26, se puede considerar que, debido a que todos los productos tienen un número elevado de órdenes dentro del periodo de estudio, junto con una cantidad elevada de kilogramos de consumo, se pueden administrar a través del sistema el KANBAN-PULL.

En caso de que algún producto sea consumido por una sola vez en cantidades elevadas, iguales o mayores a las alcanzadas por los productos en estudio, no debe considerarse para ser

administrado con el sistema Kanban, puesto que este producto es definido como “stranger”, el cual que deber ser administrado con un sistema Push.

Una vez determinados los productos runners que serán administrados bajo el sistema kanban, se debe identificar los procesos que se manejarán con este sistema. Estos deben ser únicamente los primeros de la secuencia de fabricación de cada producto seleccionado. En el capítulo 3 se ilustraron gráficamente cada una de las secuencias de fabricación de los 4 productos de la empresa considerados para el estudio y se pudo observar que todos inician su proceso de producción en el área de extrusión, por lo tanto es este el proceso que se manejará con el sistema PULL, los demás (impresión, corte y sellado) serán administrados con un sistema de producción Push y así formar el sistema híbrido PULL-PUSH.

Columna B: Uso Promedio Diario

En una empresa de alta variedad y bajo volumen puede ser complicado estimar el consumo promedio diario, ya que podrían

existir muchos días en los que el consumo del producto sea cero y otros en los que se consumen lotes muy grandes (6).

El periodo de días que se utilizará en esta sección para calcular el consumo promedio diario es de 26 días, los cuales representan la diferencia entre los tiempos de entrega de la primera y última orden, excluyendo sin problema cualquier tipo de orden excepcional que se considere de poca repetición. Se toma un promedio de estos datos incluyendo todos los días en que hubo un consumo de cero kg para luego compararlo con el promedio sin contar con los días en los que el consumo fue de cero. Si se encuentra que la diferencia entre ambos es significativa (ejm: si una es cuatro veces mayor que la otra), entonces este producto no es factible para ser administrado con el Sistema Kanban, debido a que esto significa que por un tiempo se tendrían altos niveles de inventario del producto y luego sería consumido todo simultáneamente.

Entonces, partiendo de lo anterior, se determinó: la cantidad total de veces que cada producto fue demandado (# de órdenes totales por producto), la cantidad promedio total de kilos

consumidos incluyendo los días de cero consumo de kg y luego sin incluirlos obteniendo lo siguiente:

Tabla 27
Comparación del promedio de Kg consumidos por día

| Runners | # órdenes | Promedio kg/día (incluye ceros) | Promedio kg/día (excluye ceros) | Diferencia |
|-----------|-----------|------------------------------------|------------------------------------|------------|
| RN | 163 | 1737,27 | 2258,45 | 0,77 |
| RI | 111 | 1343,12 | 1746,05 | 0,77 |
| FN | 130 | 1263,50 | 1729,00 | 0,73 |
| FI | 91 | 784,38 | 1073,37 | 0,73 |

Puesto que las diferencias de los consumos diarios promedio con y sin ceros es pequeña (valores de 0.77) todos los productos considerados en la Tabla 27 son ideales para un Sistema kanban.

El consumo diario promedio de cada producto se calculó dividiendo el total de kg consumidos dentro del periodo de estudio para el tiempo en días que se debe entregar la última orden, así:

Y así sucesivamente para cada uno de los productos de la empresa.

Para el cálculo de kanbans se considera el consumo promedio de kilogramos con los días cero consumo, pues con estos valores se obtiene un valor más real del consumo en promedio. Estos valores se muestran en la Tabla 27.

Columna C: Tamaño de Lote (Cantidad de kg por Kanban)

Para determinar el número de unidades que autoriza producir una tarjeta kanban se deben considerar el tamaño de lote, el tamaño de caja y el uso de la pieza. Esta cantidad debe ser lo más pequeña posible, ya que entre más pequeña, se administra menor cantidad de inventario. Es por esto que es más recomendable utilizar el tamaño de la caja, especialmente si el proceso siguiente o el cliente consumen el producto en caja (6).

Si se tienen tamaños de lote muy elevados y los tiempos de setup son largos, se debe reducir este tiempo de setup utilizando la técnica SMED de Shigeo Shingo (Lane), el cual provee un buen enfoque de esta técnica en empresas de alta variedad y bajo volumen (6).

En la empresa PLÁSTICA S.A. no se manejan lotes ni cajas, en la planta se maneja un comportamiento de tipo "SPLIT", lo que significa que si se terminó de procesar un rollo en cualquiera de los procesos, este pasa al siguiente sin necesidad de esperar hasta la formación de un lote o caja. Por lo tanto lo único que se debe tener en consideración para determinar la cantidad de kg por kanban es el consumo promedio de los productos.

En la sección anterior, se calculó el uso promedio diario de cada uno de los productos (Véase Tabla 27). Considerando que la cantidad de kg por producto es un poco elevada se decidió que cada kanban autorice a producir el consumo diario de cada uno

de los productos. Obteniéndose de esta forma los siguientes tamaños de lote para cada uno de los productos:

Tabla 28.

Tamaño de Lote de cada Tipo de Producto

| Runners | Tamaño del lote (kg) |
|----------------|-----------------------------|
| RN | 1738 |
| RI | 1344 |
| FN | 1264 |
| FI | 785 |

Es decir que cada vez que se envíe un kanban de rollos naturales al proceso de extrusión (centro de trabajo administrado con el sistema Kanban), este procesará la materia prima necesaria para fabricar 1737.27 kg en el caso de los rollos naturales. Lo mismo ocurre con los demás productos que deben ser procesados en el área de Extrusión. Sin embargo, considerar el tamaño del lote como la cantidad de consumo de kg diario es un poco exagerado, el resultado sería altos niveles de inventario, es por eso que en la Sección 5.4.2 se realizarán algunos ajustes en cuanto al tamaño de lote y cantidad de tarjetas kanban que permitirán alcanzar niveles de inventario más bajos y un nivel de servicio no menor al 99.9%..

Columna D: Mínima Cantidad de Kanbans por Lote de Producción

La mínima cantidad de kanbans para autorizar la producción de un lote, es decidida normalmente por el gerente de producción, mientras menos kanbans sean, es siempre mejor (6). Una vez tomada la decisión respecto a esta cantidad, se debe comparar con la cantidad total de kanbans requeridos para la fabricación del producto (ver columna M). Si la cantidad total de kanbans requeridos para el producto es menor que la mínima cantidad de kanbans requeridos para autorizar la fabricación del lote, nunca se tendrán suficientes tarjetas retornadas a la pizarra para empezar la producción. Se debe tener en cuenta que una situación como esta es muy peligrosa, puesto que quiere decir que se tienen tiempos de setup tan largos, que se deben producir lotes demasiado grandes, lo que incrementa el tiempo de ciclo, para solucionar este problema es necesario hacer uso de la técnica SMED que ayuda a reducir este tiempo de setup y luego reducir el tamaño de lote.

Para la empresa PLÁSTICA S.A. se decidió que la producción del lote comience cuando se tenga una tarjeta colocada en la

pizarra kanban del proceso de extrusión (las pizarras kanbans son explicadas más adelante en este capítulo) esto es debido a que el promedio de kg por orden es de aproximadamente 300kg lo cual no representa un volumen elevado y además, la producción inmediata de un lote autorizado por la tarjeta kanban, permite entregar las órdenes con tiempos de respuesta inmediatos. Entonces, la mínima cantidad de tarjetas kanban que se tendrá por cada producto para autorizar la producción de los lotes es de 1 kanban.

Columna E: Tiempo de Reposición de Inventario

El tiempo de reposición de inventario incluye, el tiempo de espera de una tarjeta mientras se completa el proceso de otras tarjetas, mas el tiempo requerido para fabricar el lote registrado en la tarjeta y tenerlo disponible al final del proceso, en este caso cada kanban posee un tamaño de lote igual a ala demanda diaria. Se puede incluir, adicional al tiempo de proceso, cualquier otro tiempo que se considere necesario antes de que el lote sea puesto en la respectiva bodega. Si existen problemas por déficit de materias primas o de calidad por parte de los proveedores también deberían ser

considerados en este punto o a su vez se podría añadir un inventario de seguridad en la columna K.

Para estimar el tiempo de reposición de inventario de cada uno de los productos de PLÁSTICA S.A., se tomaron los tiempos de proceso de cada uno, desde que ingresan al sistema hasta que son depositados en las respectivas bodegas de producto terminado, estos datos fueron extraídos del modelo de simulación de la situación inicial considerando el número de rollos por lote con se que trabaja en el modelo bajo el sistema kanban. A partir de estos datos, se calculó el promedio de los tiempos de proceso de cada lote por tipo de producto dentro del periodo de simulación de 26 días, obteniéndose así los siguientes resultados:

Tabla 29.

Tiempo de Reposición por Tipo de Producto

| Runners | Tiempo reposición (días) |
|----------------|---------------------------------|
| RN | 1.58 |
| RI | 3.99 |
| FN | 2.74 |
| FI | 4.30 |

El tiempo de reposición por lote más elevado es el de las fundas impresas y esto es, debido a que este producto es el único que

debe pasar por todos los centros de trabajo para su elaboración, seguidamente están las fundas naturales, debido a que en el área de corte existen elevados tiempos de espera, lo cual es fácilmente apreciable en las corridas del modelo.

Columna F: Cálculo de los Kanbans de Reposición

En esta columna se calcula el número de kanbans necesarios para cubrir el periodo de tiempo en el que los kanbans se han enviado a producir. Esto se realiza tomando el número de días que se estimó para reponer el inventario y se multiplica por el consumo promedio respectivamente para cada producto y luego se divide para la cantidad de producto que autoriza producir cada uno de los kanbans y así obtener el resultado en kanbans. Este resultado obtenido siempre se redondea al inmediato superior. A continuación se muestra la fórmula utilizada y el cálculo correspondiente al número de kanbans de reposición de los Rollos Naturales:

Para la empresa PLÁSTICA S.A. el número de kanbans de reposición necesarios para cada producto se presenta a continuación:

Tabla 30.

Número de kanbans de Reposición por Tipo de Producto

| Runners | Kanbans de reposición |
|----------------|------------------------------|
| RN | 2 |
| RI | 4 |
| FN | 3 |
| FI | 5 |

Columna G: Variación del Cliente

La mejor forma de medir la variación de la demanda del cliente es con la desviación estándar de los kilogramos por cada orden. Se deberá entonces calcular las desviaciones estándar para cada uno de los productos de la empresa. Estas desviaciones cuantificarán la cantidad en la que puede variar el tamaño de la orden de un cliente para cada uno de los tipos de producto. Al igual que en la columna B, se realizará una comparación entre las desviaciones estándar considerando los días de consumo

de cero kg y la desviación estándar excluyéndolos; si la diferencia es considerable, significa que se deberá llevar un inventario extra para compensar cualquier comportamiento irregular en la demanda. Para reducir esta variación se recomienda investigar los aspectos que obligan a los clientes a ordenar en altas cantidades y de forma poco frecuente.

Para determinar las desviaciones estándar con cero días de consumo y sin ellos, de cada uno de los productos de la empresa, se listó todas las órdenes que se tienen dentro del periodo en estudio, clasificadas por tipo de producto identificando la cantidad requerida en kilos y los días de cero días de consumo. Se calculó la desviación estándar de los kilos de todas las órdenes para cada uno de los productos de la empresa, y se obtuvo lo siguiente:

Tabla 31.

Desviación estándar de la cantidad de kg por día

| Runners | Desviación estándar kg/día (incluyendo ceros) | Desviación estándar kg/día (excluyendo ceros) | Diferencia |
|----------------|--|--|-------------------|
| RN | 1278.89 | 955.53 | 1.34 |
| RI | 1009.55 | 774.89 | 1.30 |
| FN | 1018.50 | 842.35 | 1.21 |
| FI | 727.12 | 665.65 | 1.09 |

Se puede observar que las relaciones entre las desviaciones estándar no son muy grandes, por lo que no es necesario incrementar el nivel de inventario para satisfacer la demanda. Las desviaciones estándar que se utilizaron en este estudio incluyen los días de cero consumo, lo cual proporciona cifras más reales en cuanto al comportamiento de consumo del cliente.

Columna H: Cálculo de los Kanbans de Variación del Cliente

En esta columna se calcula el número de kanbans necesarios para abastecer la variación de los clientes. Inicialmente se toma la desviación estándar calculada y se multiplica por el número de días necesarios para reabastecer el inventario y luego se divide para la cantidad de piezas que autoriza producir un kanban (el tamaño de lote). Una vez obtenido el resultado, este es redondeado al inmediato superior y asegurar que se tenga inventario suficiente para satisfacer la demanda, la fórmula utilizada fue la siguiente:

El número de kanbans para cada tipo de producto a partir de la desviación estándar calculada previamente, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 32.

Número de kanbans de Variación del Cliente

| Runners | Kanbans de Variación del Cliente |
|----------------|---|
| RN | 2 |
| RI | 3 |
| FN | 3 |
| FI | 4 |

Columna I: Variación en la manufactura

Las posibles variaciones en la manufactura se cuantifican con el indicador conocido como ETE (Eficiencia Total del Equipo), en caso de que el proceso sea realizado con una máquina, caso contrario se debe ingresar el tiempo máximo del proceso. De tal manera que se añadan tarjetas kanban para compensar

posibles fallas en la manufactura que impidan fabricar los productos que el cliente ha demandado.

El ETE es un indicador que considera la disponibilidad del equipo, la tasa de rendimiento y la calidad de la producción del equipo y se calcula de la siguiente forma:

(6).

El proceso de extrusión, posee 3 máquinas extrusoras, por lo que se debe calcular el ETE de cada máquina y realizar un promedio de los mismos para usarse en la matriz de cálculos (Véase Tabla 25). Sin embargo, debido a que en esta simulación no se consideraron fallas en los equipos, ni tiempos de setups, ni problemas con la calidad de los productos, las eficiencias de calidad y de disponibilidad de equipo equivalen al 100%. Así mismo, como no existen fallas ni demoras de ningún tipo, la producción teórica siempre será igual a la real de tal manera que la eficiencia de rendimiento sea también del 100%.

Columna J: Cálculo de los Kanbans de Variación en la Manufactura

En esta columna se calcula el número de kanbans necesarios para abastecer las posibles variaciones en la manufactura. La experiencia ha demostrado que si el proceso tiene un ETE del 95% o más, no es necesario añadir kanbans por variaciones en la manufactura (6). Esto se debe, a que no existen situaciones como tiempo de paras no planificadas, en las cuales el proceso se vea afectado e impida la elaboración de la producción. Si en la fórmula que se presenta en la matriz de cálculos se introduce un valor de 95 o más, el resultado que se obtenga será negativo, por lo que se debería descartar.

Sólo cuando exista un bajo rendimiento en las máquinas, es necesario añadir kanbans, debido a que estos compensan las fallas y/o demoras de las máquinas.

Debido a que el ETE en este estudio es del 100%, no se requieren kanbans de variación en la manufactura.

Columna K: Inventario de Seguridad

Tener inventario de seguridad significa añadir kanbans para cubrir cualquier tipo de problema que impida satisfacer la demanda, que no esté relacionado con el tiempo de reposición de inventario, la variación de los clientes y la variación en la manufactura. El número de días de inventario adicional que se quiera añadir en la matriz de cálculo debe estar basado por lo general en la experiencia del negocio si no se tiene un pronóstico de la demanda exacto. Si se desea añadir un inventario de seguridad, se debe pensar en términos de días en los que se deba tener inventario para cubrir algún tipo de daño y/o atraso.

En este estudio se decidió llevar solamente 1 día de inventario de seguridad para cada uno de los productos, con la finalidad de compensar los tiempos de entrega que en algunos casos son de 1 día, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 33.

Inventario de Seguridad en días

| Runners | Inventario de Seguridad |
|----------------|--------------------------------|
| RN | 1 |
| RI | 1 |
| FN | 1 |
| FI | 1 |

Columna L: Cálculo de los Kanbans para el Inventario de Seguridad

En esta columna se calcula el número de kanbans necesarios para abastecer los días de inventario de seguridad para cada producto en estudio.

El número de kanbans se calcula tomando la cantidad de días de inventario adicional (columna K), se multiplica por el uso promedio diario del respectivo producto y se divide para la cantidad que autoriza producir cada kanban (tamaño de lote) y finalmente se obtienen los resultados en kanbans. El resultado es redondeado al inmediato superior para brindar más seguridad.

La cantidad de kanbans de inventario de seguridad de cada uno de los productos de la empresa PLÁSTICA S.A se muestra a continuación:

Tabla 34.

Número de kanbans de Inventario de Seguridad

| Runners | Kanban Inventario de Seguridad |
|----------------|---------------------------------------|
| RN | 1 |
| RI | 1 |
| FN | 1 |
| FI | 1 |

Se requiere solamente un kanban por producto, debido a que en este caso cada kanban autoriza producir la cantidad diaria de consumo promedio. Una vez que se implementen los ajustes en el tamaño del lote y cantidad de kanbans este valor puede variar.

Columna M: Cálculo del Total de Tarjetas Kanban

En esta columna se calcula el número total de tarjetas kanban que se deben utilizar por cada producto. Este se calcula simplemente sumando lo siguiente:

Este será el número total de tarjetas con que la empresa trabajará por cada uno de los productos y por consiguiente la cantidad de espacios que se pondrán en la pizarra kanban, lo cual se explicará más adelante. Este número de kanbans representa el máximo inventario posible de cada uno de los productos.

La cantidad de kanbans totales por cada tipo de producto de la empresa PLÁSTICA S.A. es la siguiente:

Tabla 35.

Número Total de Kanbans para cada Tipo de Producto

| Runners | Total kanbans |
|----------------|----------------------|
| RN | 5 |
| RI | 8 |
| FN | 7 |
| FI | 10 |

Columna N: Cálculo de los Días de Inventario por Producto

Esta columna calcula los máximos días de inventario que los kanbans pueden abastecer a la demanda promedio diaria, es decir asumiendo que todas las tarjetas kanban han sido fabricadas. Para realizar el cálculo se tomó la cantidad total de kanbans necesarios por tipo de producto, se multiplicó por la

cantidad que autoriza producir cada kanban (el tamaño de lote) y luego se dividió este valor para el consumo promedio diario, como muestra la fórmula en la matriz de cálculo. Como resultado la cantidad máxima de días de inventario de cada uno de los productos fue la siguiente:

Tabla 36.

Número máximo de días de inventario

| Runners | Días Máximos de Inventario |
|----------------|-----------------------------------|
| RN | 5.0 |
| RI | 8.0 |
| FN | 7.0 |
| FI | 10.0 |

Columnas de la O a la Q: Niveles Rojo, Amarillo y Verde

En estas columnas se realizan cálculos que ayudan a facilitar la administración de la producción utilizando un código de colores en la pizarra kanban. La idea es estimar qué cantidad de cartas del total de kanbans definido se administrarán dentro de un nivel rojo, amarillo o verde. La importancia de estas columnas así como su utilización se detallan en la siguiente sección.

5.1.2. Definición de los niveles de inventario

Los niveles de inventario están mostrados en la pizarra kanban a través de un código de colores definido como: Rojo, amarillo y verde. Estos colores están en función de la cantidad actual de inventario que existe de cada producto y será la base para la priorización de las órdenes de producción.

Si se tiene un producto cuyos kanbans se encuentran todos en bodega, significa que el inventario está en su nivel máximo. Si la demanda ocasiona una disminución de la cantidad de este producto en la bodega, el inventario puede continuar hacia un nivel verde, en caso de continuar su descenso, se alcanzará cantidades de inventario correspondientes al nivel amarillo, lo cual significa una señal de alerta para producción y que dicho producto debería empezarse a fabricar lo más pronto posible. Si por alguna razón no se pudo fabricar el producto en el estado de alerta, su inventario alcanzará el nivel rojo, indicando al personal de producción que se debe fabricar inmediatamente, puesto que sólo quedan unos pocos días de inventario para abastecer la demanda. En la programación del modelo esta característica está definida por números, donde el color rojo representa el número 3, el color amarillo el número 2 y el color

verde el número 1; la priorización consiste en permitir el ingreso al área de extrusión de acuerdo al lote que posea el número más alto.

En caso de llegar a un estado de emergencia, defínase como el nivel de inventario igual a 0, el tiempo que le tomará a cada producto en satisfacer la demanda diaria se muestra en la siguiente Tabla 37:

Tabla 37.

Tiempo de reposición de la demanda diaria por producto

| Tipo de Producto | Tiempo reposición de la demanda diaria (días) |
|-------------------------|--|
| RN | 1.58 |
| RI | 3.99 |
| FN | 2.74 |
| FI | 4.30 |

A continuación se describen los cálculos para el número de kanbans, o cantidad de inventario, que conforma cada nivel.

Columna O: Nivel Rojo

Indica que la cantidad en inventario del producto ha alcanzado un nivel crítico y existe el peligro de quedar sin inventario para abastecer la demanda, por lo que se deberá dar prioridad de producción a los kanbans de los productos que hayan alcanzado este nivel en la pizarra.

Para calcular el número de kanbans que deben ir en el nivel rojo, se puede hacer de dos maneras: la primera consiste en utilizar el tiempo de reposición para calcular el número de días con anticipación que se debe conocer la orden para entregarla a tiempo, considerando en el peor de los casos el menor número de días para realizar la entrega (Véase Tabla 38). Por ejemplo, los rollos naturales tienen 5 kanbans y cada tarjeta representa la demanda diaria y ésta es fabricada en aproximadamente 2 días, es por eso que la señal debe estar cuando todavía exista un kanban en la pizarra es decir cuando exista 1 día de inventario², de tal manera que la nueva tarjeta se demore en producir el mismo tiempo en que se consuma la cantidad de inventario que existe actualmente más 1 día adicional de

² Esto puede variar, en este ejemplo se considera el peor de los casos. Si se quiere tener una mayor holgura, la señal de advertencia puede estar cuando existan 2 días de inventario.

proceso. Y así el producto se entrega en el peor de los casos 1 día después de haberlo solicitado, lo cual se encuentra dentro del rango establecido.

Tabla 38.

Rango de Días de entrega actual por cada Tipo de Producto

| Tipo de Producto | Rango de Días de entrega actual |
|-------------------------|--|
| RN | 1-5 |
| RI | 1-5 |
| FN | 2-7 |
| FI | 2-7 |

La segunda forma de cálculo es a través del método de prueba y error, empleando el modelo de simulación. En este caso, se empleó el primer método a partir del tiempo de reposición de cada producto y se comprobó a través de la simulación que la cantidad expuesta en este nivel puede satisfacer la demanda actual.

Para el cálculo del número de kanbans de los demás productos se realizó un ajuste en el rango de días que se tiene para la entrega de los productos, considerando el tiempo de ciclo de los productos y la cantidad máxima de días de entrega que ofrece el mercado (Véase Tabla 39).

Tabla 39.

Rango de Días de entrega propuesto para cada tipo de producto

| Tipo de Producto | Rango de Días de entrega propuesto |
|------------------|------------------------------------|
| RN | 1-5 |
| RI | 2-5 |
| FN | 2-5 |
| FI | 2-5 |

El mismo razonamiento es utilizado en los demás productos de la empresa obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 40.

Número de kanbans en el Nivel Rojo

| Runners | Level Red |
|---------|-----------|
| RN | 1 |
| RI | 2 |
| FN | 2 |
| FI | 3 |

Columna P: Nivel Amarillo

Este nivel sirve como una advertencia cuando el inventario de determinado producto se reduce, e indica que se debe empezar la producción rápidamente, antes de alcanzar el nivel rojo. Para determinar el número de kanbans que deben constituir la zona amarilla de la pizarra por cada uno de los productos de la empresa, se debe definir, al igual que se hizo para determinar la zona roja, los días de inventario con anticipación que se debe

conocer para liberar la producción del lote. El número de kanbans que se establezcan en esta zona pueden ser iguales o mayores a los definidos en el nivel rojo dependiendo de la holgura que se quiera obtener. Tomando el ejemplo de los rollos naturales, se debe liberar el lote con 2 días de anticipación para que el cliente solicite el pedido e inmediatamente lo encuentre disponible.

Así mismo este cálculo puede ser realizado empleando el modelo de simulación con el método de prueba y error.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los productos de la empresa:

Tabla 41.

Número de kanbas en el Nivel Amarillo

| Runners | Level yellow |
|----------------|---------------------|
| RN | 2 |
| RI | 3 |
| FN | 2 |
| FI | 3 |

Columna Q: Nivel Verde

Este nivel es un rango de trabajo adecuado. Cuando las tarjetas se encuentran en esta zona de la pizarra kanban, estas pueden esperar a que se produzcan otros lotes que se encuentren en los niveles amarillos o rojos, si es el caso.

El número de kanbans se obtiene realizando la diferencia entre el número de kanbans totales (columna k) y los kanbans asignados a los niveles rojo y amarillo de la pizarra.

Para los productos de la empresa PLÁSTICA S.A. los resultados son los siguientes:

Tabla 42.

Número de kanbans en el Nivel Verde

| Runners | Level green |
|-----------|-------------|
| RN | 2 |
| RI | 3 |
| FN | 3 |
| FI | 4 |

Completándose de esta forma el total de kanbans por producto calculado en la columna M de la matriz de cálculo (Véase Tabla 25).

5.1.3. Descripción de la tarjeta Kanban

Las tarjetas kanban cuentan normalmente con la siguiente información descrita en la parte frontal (6):

- Descripción del producto.
- Número del producto.
- Proceso de producción al que la carta debe retornarse (Importante cuando hay más de una pizarra en la planta).
- Tamaño del kanban (Cantidad que autoriza producir).
- Nombre del siguiente proceso al que el producto finalizado debe llevarse.
- Tiempo de manufactura necesario para completar la producción de la cantidad total especificada en la tarjeta.
- Programador responsable (o comprador, dependiendo del caso) y sus respectivos datos.
- Número de tarjeta en forma secuencial, como por ejemplo 1 de 5, 2 de 5, 3 de 5, 4 de 5, y 5 de 5.
- Nombre del proveedor de la materia prima

El tiempo de manufactura es colocado en la tarjeta para que cada kanban pueda ser calendarizado en la pizarra (Véase Gráfico 5.1). El número de secuencia (1 de 5, 2 de 5, 3 de 5, 4

de 5, y 5 de 5) es colocado para que se realicen auditorías periódicas y controlar que no se pierdan las tarjetas, si no se lleva un control ocasionaría un problema porque se podría pensar que las tarjetas están en inventario cuando en realidad, no es así.

| KANBAN DE PRODUCCIÓN | | | |
|--------------------------------------|---------------|---------------------------------|------------------|
| Código del Producto | 1 | Descripción del Producto | Rollos Naturales |
| Proceso de Producción | Extrusión | Tamaño de lote | 1738 Kg |
| Siguiente Proceso | Bodega | Tiempo de Proceso | 17h 24 min |
| Planeador Responsable | José Pérez | Número de Carta | 1 de 5 |
| Proveedor de la Materia Prima | PLÁSTICA S.A. | | |

Gráfico 5.1 Vista Frontal de la Tarjeta Kanban

| RUTA DE PROCESO | |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| Area de Produccion | Proceso |
| 1) Extrusion (Proceso Pull) | Extrusion de los rollos |
| 2) Bodega de Productos Terminados | Almacenamiento de productos |
| | |
| | |

Gráfico 5.2 Vista del reverso de la Tarjeta Kanban

El reverso de las tarjetas kanban contiene la información con respecto a la ruta que debe seguir el producto dentro de la planta para completar su fabricación. Esta información de ruteo debe ser especificada si los runners tienen operaciones adicionales a través de las cuales deben ser empujados. La información de ruteo debe especificarse como se muestra en el Gráfico 5.2.

El kanban deberá viajar con la caja o lote a través de todo el proceso de manufactura y será removido y/o llevado a la pizarra únicamente cuando las partes sean consumidas por el proceso final, descrito al reverso de las tarjetas.

5.1.4. Uso de la Pizarra Kanban

En la empresa PLÁSTICA S.A., cuando una caja o lote de productos arriba a la bodega de producto terminado, el kanban correspondiente es removido de dicho lote y retorna al área de arribo kanban hasta que el lote es consumido y la tarjeta regresa a la pizarra, colocándose de izquierda a derecha, llenando primero los espacios de la zona verde, luego los de la zona amarilla y finalmente los de la zona roja. Cuando los

kanbans son reabastecidos, las tarjetas son retiradas de derecha a izquierda.

La empresa PLÁSTICA S.A. maneja su producción con una pizarra kanban ubicada en el proceso de extrusión, ya que como se explicó en la Sección 5.1, este es el proceso que se manejará con el sistema PULL, debido a que es el primero en la cadena de fabricación de todos los productos y así se evita la generación de pequeñas cantidades de inventarios en cada proceso.

Una tarjeta en la pizarra kanban significa un espacio vacío en inventario, por lo que sería correcto ver la pizarra como una imagen reversa del inventario. Una pizarra vacía representa un inventario lleno, mientras que una pizarra llena representa un inventario completamente vacío.

La pizarra que se muestra en el Gráfico 5.3 muestra que existe un gancho o espacio por cada kanban calculado para cada uno de los diferentes productos de la empresa, tomando como

ejemplo los rollos naturales, se tienen 5 ganchos disponibles en la pizarra. Se observa que 1 de las 5 tarjetas de los rollos naturales se encuentran colocadas en la pizarra, lo que significa que las 4 tarjetas que sobran se encuentran en el inventario final o en proceso de ser retornadas a la pizarra.

Una vez que se ha alcanzado la zona amarilla para cualquiera de los productos de la empresa, la producción de dicha parte debería de comenzar lo antes posible. La meta del departamento de producción es lograr mantener los inventarios fuera de la zona amarilla y verde de la pizarra.

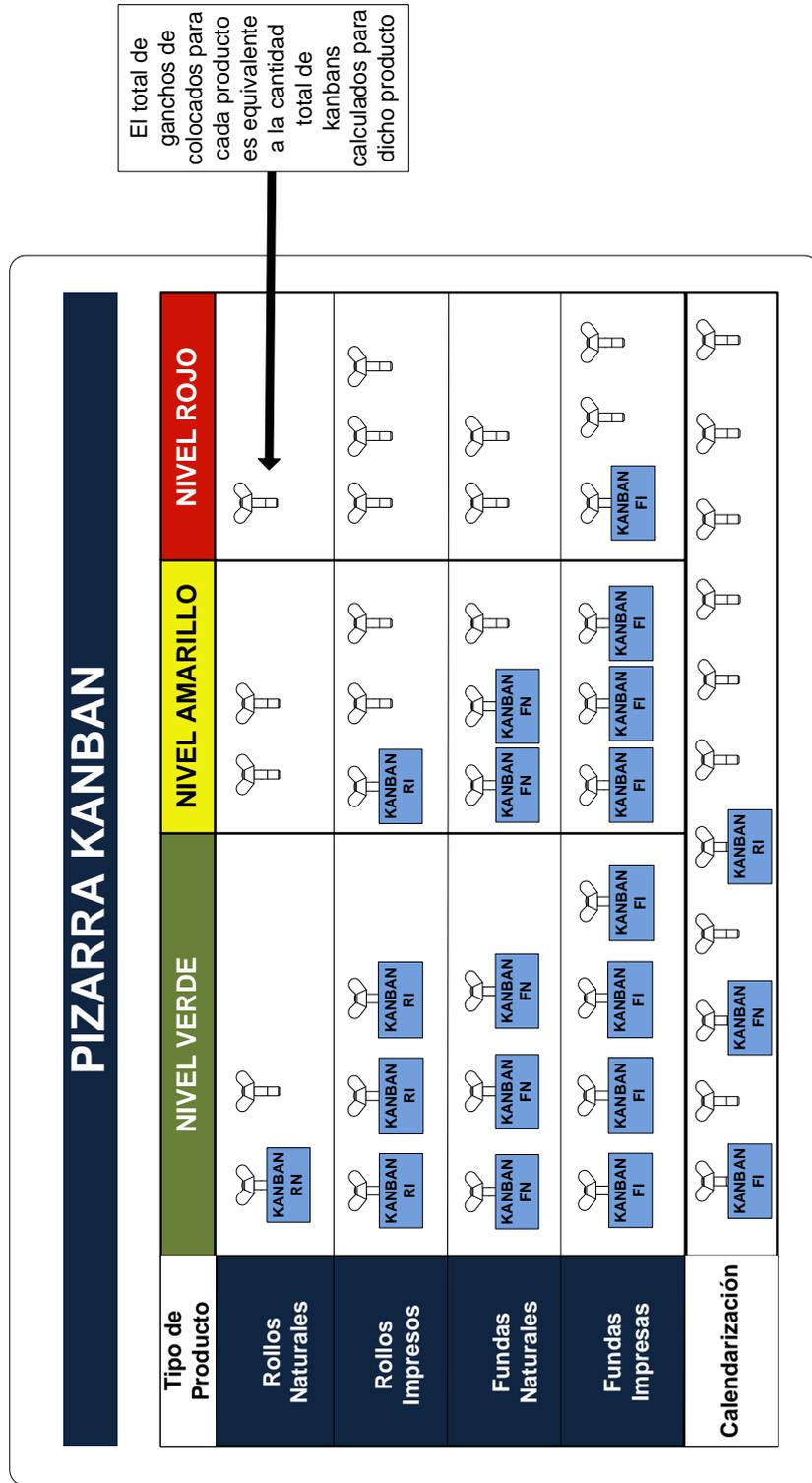


Gráfico 5.3. Pizarra kanban

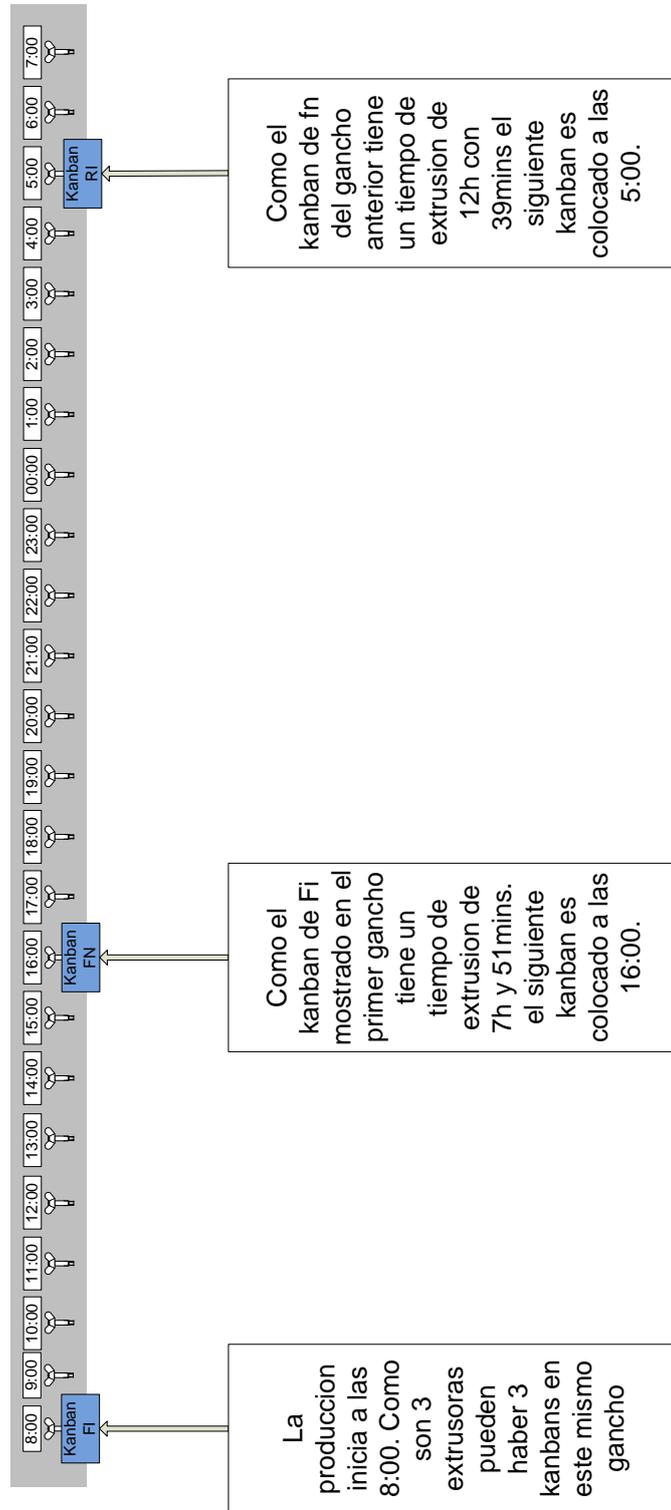


Gráfico 5.4. Calendarización de la Producción

La pizarra kanban también muestra una zona de calendarización de la producción en el Gráfico 5.3, en donde el programador de la producción establece la secuencia de producción de acuerdo a las prioridades que se tenga, mismas que se establecen de acuerdo a un sencillo código de colores. En el caso mostrado en el Gráfico 5.4, la producción de fundas impresas debería comenzar inmediatamente, seguida de la de fundas naturales y luego los rollos impresos.

El uso de este tipo de pizarras presenta ventajas tales como la mejora de la comunicación entre todas las personas del área de producción debido a que facilita la comprensión del sistema, y de esta manera la toma de decisiones relacionadas al tipo de producto que se debe producir primero, no son hechas en las oficinas, como en los sistemas Push, sino en la planta.

5.2. Cambios a incorporar en el Modelo de Simulación basado en la propuesta de mejora

Para garantizar el funcionamiento del modelo de simulación aplicando en la empresa un sistema kanban fue necesario realizar algunos cambios en el modelo inicial, los cuales se detallan a continuación:

- Se implementó el sistema Kanban, el cual consiste en la utilización de tarjetas que sirven como señal para iniciar la producción, es por ello que se creó el área kanban, en esta área se muestran los tableros o pizarras donde arriban las tarjetas luego que el lote ha sido fabricado y consumido por el cliente.

- Se creó el área de Pedido y Entrega de órdenes, donde se muestra el arribo de las órdenes que solicita el cliente, y posteriormente su despacho. Dentro de ella se encuentra la programación que medirá el nivel de inventario actual y de acuerdo a eso enviará una señal a través de la tarjeta kanban para la producción de lotes.

- Se crearon locaciones que representen la bodega de producto terminado para cada tipo de producto. Cada centro de trabajo tiene un buzón de tarjetas, donde los kanban circulan a medida que el lote se fabrica y es consumido por la operación siguiente sea esta interna o el cliente final.

- Se consideró únicamente la política de espera de órdenes en impresión y sellado, y no se considera la política de espera en piso, la cual establece que toda orden mayor a 200 Kg del producto que fuere (rollo impreso o funda impresa) debe esperar al menos el 40% del total de la orden esté lista en el piso de la impresora para comenzar dicho proceso, debido a que esta última política como se analizó en el capítulo 4, no representa mejoras en las medidas de desempeño.
- Se estableció un sistema de priorización de producción de lotes a través de un código de colores relacionado a los niveles de inventario: rojo, amarillo y verde, donde el color rojo tiene prioridad seguido del color amarillo y finalmente el color verde.

5.3. Procedimiento para la Elaboración del Modelo Mejorado

A partir de los cambios señalados anteriormente, se utilizaron algunos elementos en la programación que se describirá en esta sección.

5.3.1. Creación de Entidades

En este modelo se encontrarán algunas entidades que fueron utilizadas en el modelo inicial, pero en esta sección únicamente se mostrarán las nuevas entidades creadas para la programación en este modelo mejorado, las cuales se describen a continuación:



Ficticio

- Representa para cada tipo de producto una pieza ficticia que entra y sale del proceso con la finalidad de activar la variable que muestra el nivel de inventario.



Kanban

- Representa una tarjeta de instrucción para cada tipo de producto. Esta tarjeta es la encargada de autorizar la producción de los lotes.



Lote

- Representa el lote de producción que envía la tarjeta kanban para cada tipo de producto.

Gráfico 5.5. Entidades empleadas en el modelo de simulación mejorado

5.3.2. Creación de Locaciones

Las locaciones que se muestran en esta sección son creadas adicionalmente a las locaciones del modelo inicial.

A continuación se describirán las locaciones reales y ficticias en las respectivas áreas; cabe señalar que debido al tema de mejora, se creó el área kanban y el área de pedido y entrega de órdenes descritas anteriormente en la [Sección 5.2](#).

Locaciones reales y ficticias en el Área de Extrusión con capacidad infinita



Gráfico 5.6. Locaciones en el Área de Extrusión

Locaciones reales y ficticias en el Área de pedido y entrega de órdenes.



Gráfico 5.7. Locaciones en el Área de Pedido y Entrega de Órdenes

Locaciones reales y ficticias en el Área kanban

| | |
|---|---|
|  | <p>Arribo_kanban</p> <ul style="list-style-type: none"> • Locación ficticia, muestra el arribo de tarjetas kanban. |
|  | <p>Pizarra_kanban (RN, RI, FN, FI)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Locación real, muestra las tarjetas kanban que se deben procesar o los espacios de las tarjetas que faltan porque están procesándose. |

Gráfico 5.8. Locaciones en el Área de Pedido y Entrega del modelo de simulación mejorado

Locación final

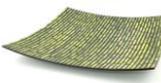
| | |
|---|---|
|  | <p>Bodega (RN, RI, FN, FI)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Locación real, con capacidad infinita almacena los rollos que se producen de acuerdo a cada tipo de producto. |
|  | <p>BPT</p> <ul style="list-style-type: none"> • Locación ficticia, almacena todos los productos. Esta locación tiene como objetivo facilitar la extracción de información. |

Gráfico 5.9. Locación final

5.3.3. Creación de Atributos

A continuación se describen los atributos utilizados en la programación de este modelo de mejora, cabe indicar que la mayoría de atributos presentados en el modelo inicial sí se

consideran en este modelo y es por esa razón que en esta sección sólo se describirán los nuevos atributos creados.

Tabla 43.

Atributos del producto en el modelo de simulación mejorado

| | |
|-------------|--|
| Tipo_lote | •Indica si el lote es RN, RI, FN o FI. |
| Cod_lote | •Indica el número de lote para llevar un orden de proceso en el área de impresión y sellado.. |
| Tamaño_lote | •Indica la cantidad de Kilogramos que cada kanban debe enviar a producir del tipo de producto. |
| Rollos_lote | •Indica el número de rollos de cada lote. Se lo utiliza para controlar el número de rollos procesados por cada lote. |
| Lotex | •Indica la cantidad de kg que posee el último rollo del lote (si este es <100 kg). |
| Color | •Indica un número del 1 al 3 de acuerdo al nivel de inventario en que encuentre cada producto para priorizar la entrada a Extrusión. |

5.3.4. Creación de Variables

A continuación se describe cada una de las variables utilizadas en la programación de este modelo de mejora, cabe indicar que

la mayoría de las variables utilizadas en el modelo inicial se aplican en este modelo de simulación.

Tabla 44.

Variables del producto en el modelo de simulación mejorado

| Variables | • Descripción |
|--------------------------|--|
| Inv | Acumula la cantidad de kg de cada rollo que ingresa a la Bodega final de cada tipo de producto. |
| Tamano_orden | Muestra la cantidad de kg que posee la orden que arriba a la locación. |
| Control_orden | Toma el valor de 0 y 1 para permitir el ingreso de una nueva orden. |
| Nivel | Muestra la cantidad de kg que posee la Bodega final en el momento que arriba una orden. |
| Acum_tamano_orden | Acumula la cantidad de kg de cada orden que ingresa para cada tipo de producto. |
| WIP | Muestra la cantidad de WIP por cada tipo de producto desde que ingresa el primer rollo hasta justo antes de ingresar a la Bodega final. |
| Num_lote | Muestra el número de lote al que pertenece cada rollo. |
| Rollos | Muestra el número de rollos procesados de cada tipo de producto al terminar su proceso en cada área. |
| Órdenes | Muestra el número de órdenes que fueron entregadas. |
| RN_v, RN_a, RN_r | Muestra el número de kanbans que se envían de acuerdo al nivel de inventario en que se encuentre cada producto para identificar posteriormente a través del atributo color, el color de la zona a la cual pertenece. |
| RI_v, RI_a, RI_r | |
| FN_v, FN_a, FN_r | |
| FI_v, FI_a, FI_r | |

Se crearon además, variables por cada tipo de producto para la exportación de datos y su posterior análisis. Entre ellas:

- Variables para determinar la cantidad promedio de producto en proceso por tipo de producto.

W_RN

W_RI

W_FN

W_FI

- Variables para determinar la tasa de producción por tipo de producto.

R_RN

R_RI

R_FN

R_FI

Esta variable contabiliza la cantidad de rollos que ingresan a la bodega de producto terminado por cada tipo de producto, luego este valor es utilizado para calcular la tasa de producción para cada uno de los productos.

5.3.5. Breve resumen explicativo del Modelo

Inicialmente se mantiene un inventario para cada tipo de producto. Cuando las órdenes arriban, el programa identifica si existe inventario suficiente para abastecer dicha orden, además de verificar de acuerdo a los niveles de inventario, el color de

zona en la que se encuentra y, de esta manera enviar la cantidad de kanbans y lotes para alcanzar la zona verde. Si no existe inventario la orden esperará hasta que nuevamente se incremente el inventario.

Una vez que se envían los kanbans, la bodega de lotes permite la salida de la cantidad solicitada para que se procesen en el área de Extrusión. Cuando el lote que se envió a producir esté listo, un contador de rollos ubicado en las bodegas y wip de cada área, indicará que la tarjeta kanban debe regresar a la pizarra o al proceso siguiente dependiendo del tipo de producto. Por ejemplo, cuando un rollo natural sea extruido y pase a la bodega de producto terminado, la variable en esta bodega se incrementa hasta alcanzar el total de rollos por lote, y en ese momento la tarjeta kanban regresa a la pizarra.

Al salir del área de Extrusión los rollos se dividirán de acuerdo al tipo de lote a las diferentes áreas de proceso. Tal como se observó en el modelo inicial, los RN salen de extrusión y se dirigen a la bodega de producto terminado. Los RI van a Impresión para luego ir a la bodega de producto terminado. Las

FN pasan a corte, luego a sellado y finalmente a la bodega de producto terminado. Finalmente, las FI se dirigen a impresión, luego a corte, a sellado para terminar en la bodega de producto terminado.

En cada una de las bodegas se encuentra una variable que indica la cantidad de kg producidos, esta variable se irá restando hasta indicar el nivel de inventario que existe al momento. Mientras exista inventario suficiente las órdenes serán satisfechas y saldrán del sistema.

5.3.6. Programación del Modelo

La programación del modelo involucra los procesos de elaboración de los productos así como el proceso que se lleva a cabo con la implementación del sistema kanban.

Para comprender el funcionamiento del modelo se muestra a continuación una pequeña parte de la programación de ruteo de las entidades durante el proceso de elaboración de los productos de PLÁSTICA S.A.

```

*****
*                               Processing                               *
*****

```

| | | Process | | Routing | | | |
|--------|----------------|---|-----|---------|-------------|---------|--|
| Entity | Location | Operation | Blk | Output | Destination | Rule | Move Logic |
| orden | arribo_ordenes | BEGIN if ext=1 then route 1 else if ext=2 then route 2 else route 3 END | 1 | orden | Bodega1 | FIRST 1 | |
| orden | Bodega1 | | 2 | orden | Bodega2 | FIRST 1 | |
| orden | Bodega2 | | 3 | orden | Bodega3 | FIRST 1 | |
| orden | Bodega3 | | 1 | orden | Explot1 | EMPTY 1 | |
| orden | Explot1 | | 1 | orden | Explot2 | EMPTY 1 | |
| | | CREATE (rollosorden) as rollo | | | | | |
| orden | Explot2 | | 1 | orden | EXIT | FIRST 1 | |
| | | CREATE (rollosorden) as rollo | | | | | |
| orden | Explot3 | | 1 | orden | EXIT | FIRST 1 | |
| | | CREATE (rollosorden) as rollo | | | | | |
| rollo | Explot1 | | 1 | orden | EXIT | FIRST 1 | |
| | | if cod_orden=1 then graphic 1 if cod_orden=2 then graphic 2 if cod_orden=3 then graphic 3 if cod_orden=4 then graphic 4 if cod_orden=5 then graphic 5 if cod_orden=6 then graphic 6 if cod_orden=7 then graphic 7 | | | | | |
| | | | 1 | rollo | WIP_ext1 | FIRST 1 | if tipo_producto=1 then inc w_fn if tipo_producto=2 then inc w_ri if tipo_producto=3 then inc w_fn if tipo_producto=4 then inc w_fi |

Gráfico 5.10. Programación del Modelo con el Sistema Kanban

La programación en su totalidad se puede revisar en el [anexo 2](#).

5.3.7. Situaciones Relevantes del Proceso de Modelación

Durante la programación del modelo de simulación con la implementación de las mejoras, aparecieron ciertas complicaciones, las cuales fueron resueltas a partir de la creación de variables, locaciones, entidades, etc., La programación que se utilizó se describirá a continuación para cada una de las situaciones que se han considerado relevantes.

- a. Cuando los rollos ingresan al área de Impresión o Sellado deben obedecer la política de espera de órdenes.
 - Cada rollo ingresa a las máquinas con un número de lote, una vez que esto ocurre la máquina no podrá procesar ningún otro lote hasta que concluya con el que empezó. La programación de esta situación involucra la creación de variables que acumulen la cantidad de rollos que se procesan y una vez que alcancen valores iguales a la cantidad de rollos por lote, la máquina se desbloquea, de tal manera que permita el ingreso de otro lote. Por ejemplo, en el caso de una Funda Natural (FN) en el área de Sellado, la Selladora1, así:

```
If tipo_lote=3 then  
Inc lot_sell1_fn  
If lot_sell1_fn=2 then  
Bloqueosella1=0  
If lot_sell1_fn<>13 or lot_sell1_fi<>8 then  
Cod_sell1=cod_lote
```

Además, se crearon algunas locaciones ficticias que ayudan a mantener un orden de llegada FIFO de cada rollo y a respetar la política de espera de órdenes a través de condiciones que autorizan o dirigen su paso a la siguiente locación utilizando el comando “if else”.

b. Para identificar en qué zona se encuentra el inventario se debe conocer el nivel de inventario actual.

- El nivel de inventario involucra lo que hay en bodega y lo que se está procesando, esto es para no enviar a producir más de lo que indica la zona verde. Se crearon dos variables, una que acumule la cantidad de kg que entran en la bodega, “Inv”, otra que calcule el “wip” desde que entra el rollo al sistema hasta justo antes que entre a la bodega. Este valor debe ser restado con otra variable que acumula los

kg de las órdenes que han ingresado, “acum_tamano_orden” y han sido despachadas. La lógica es la siguiente:

$$\text{- Nivel_Inv} = \text{Inv} - \text{acum_tamano_orden}$$

$$\text{- Nivel Inventario actual} = \text{Nivel_Inv} + \text{wip}$$

c. Una guía visual del buen funcionamiento del modelo que ayudará a identificar posibles errores, es conocer el inventario actual al momento.

- Se conoce el inventario actual cada vez que una orden ingresa al sistema, y esto ocurre en algunos casos luego de varias horas o días. Es por ello que se creó una locación ficticia “arribo_ficticio” y una pieza “ficticia” que arriba a la locación con una frecuencia de 1 minuto. En dicha locación se ha colocado la variable que muestra el nivel de inventario actualizado. Esta entidad activa cada minuto a la variable de tal manera que minuto a minuto se puede conocer el estado del inventario.

d. Cada vez que se identifica un nivel de inventario por debajo de la zona verde, se debe enviar “n” kanban al buzón para que se envíen a producir “n” lotes.

- La programación de esta situación se realizó utilizando reglas de salida “send” y el comando if else, de tal manera que luego de identificar la zona de inventario en que se encuentra el producto, se envíe la cantidad de kanban necesarios, así:
 - Send 1 kanban to Pizarra_Kanban

La locación de arribo_kanban posee la regla de send, la cual se activa al momento que se envía un kanban. Esta locación permite el paso de 1 kanban a la pizarra_kanban, la tarjeta es enviada al buzón y se envía 1 lote a producir. Así mismo la Bodega de lotes “BMP” posee la regla send la cual se activa una vez que el kanban da la señal y envía a producir el lote.

e. Las tarjetas kanban acompañan al lote durante todo el proceso y una vez que finaliza, la tarjeta retorna al tablero o pizarra kanban.

- Para realizar esta lógica se crearon variables contadoras al final de cada proceso para cada tipo de producto en unas locaciones llamadas “Buzón” y bodegas finales.

Los contadores registran la entrada de los rollos de acuerdo al tipo de producto, una vez que estos alcancen el número de rollos que debe tener cada lote registrado en la tarjeta, ésta avanzará al siguiente centro de trabajo o retornará a la pizarra según sea el caso.

5.4. Análisis de los resultados de la Simulación y comparación con los parámetros iniciales

5.4.1. Indicadores de servicio y Evaluación de las Medidas de Desempeño

De acuerdo al cálculo del número y tamaño del kanban descritos en la Tabla 25, se utilizó un tamaño de lote igual a la

demanda diaria de consumo y se corrió el modelo de simulación. Los resultados obtenidos en esta corrida de simulación dieron como resultado un nivel de servicio esperado igual al 100%. En la Tabla 45 se muestran las medidas de desempeño, tiempo de simulación y nivel de servicio obtenido.

Tabla 45

Medidas de desempeño del modelo mejorado sin ajustes

| | |
|-----------------------------|----------------|
| TIEMPO DE SIMULACIÓN | 31.00 días |
| CT | 1.60 días |
| WIP | 52.50 rollos |
| TH | 4971.72 kg/día |
| Nivel de Servicio | 100.00 % |

A pesar de haber logrado una reducción en las medidas de desempeño y un nivel de servicio óptimo en comparación con los resultados obtenidos de la simulación inicial (Véase Tabla 12), se pueden alcanzar valores mucho mejores si se reduce el tamaño de lote actual, es por ello que en la siguiente sección se muestran algunos ajustes que se realizaron al modelo en cuanto al tamaño de lote y número de kanbans.

5.4.2. Ajustes del Modelo

Se realizaron algunas pruebas reduciendo el tamaño del lote en un 50%, luego un 25% hasta llegar al 15%. Además se redujo la

cantidad de tarjetas hasta un valor mínimo en el cual se mantenga el nivel de servicio del 100%, esta cantidad de kanbans depende de: el consumo promedio diario de kg, la variabilidad de la demanda y el tiempo de entrega de cada uno de los productos tal como se mostró a lo largo de la Sección 5.1.

En el caso de las fundas impresas se redujo el tamaño del lote hasta llegar al 25% de la demanda diaria, el principal factor que influyó en esta decisión fue el tamaño de lote muy pequeño con el 15%. Este producto tiene un bajo consumo promedio diario en comparación con los otros productos, a pesar de ello, la alta variabilidad del tamaño en kg de los pedidos, genera un incremento en el número de kanbans superior a los demás productos, con el fin de evitar utilizar un número de kanbans elevado se incrementó el tamaño de lote en un valor similar al que poseen los demás productos.

Las tarjetas kanban se distribuyen en los niveles de inventario descritos con los colores verde, amarillo y rojo, las tarjetas se ajustaron de tal manera que se solicite la mayor cantidad de

kanbans en el nivel verde y la menor cantidad de tarjetas en el nivel rojo, con ello la planta se asegura de satisfacer siempre la demanda del producto y mantener la mayor parte del tiempo el inventario en la zona amarilla o verde.

Entonces, el número y tamaño de kanbans, así como los rangos para cada nivel de inventario se establecieron así:

Tabla 46

Recálculo del número y tamaño de Kanban y los niveles de inventario

| Tipo de Producto | Tarjetas kanban | Tamaño Kanban | Nivel Verde | Nivel Amarillo | Nivel Rojo |
|------------------|-----------------|---------------|-------------|----------------|------------|
| RN | 6 | 261 | 1564 - 783 | 783 - 261 | ? 261 |
| RI | 7 | 202 | 1411 - 810 | 810 - 404 | ? 404 |
| FN | 7 | 190 | 1330 - 760 | 760 - 380 | ? 380 |
| FI | 10 | 196 | 1963 - 1176 | 1176 - 588 | ? 588 |

Para tener una visión más clara de los ajustes que se realizaron, en la Tabla 47, se muestra la matriz de cálculo actualizada. Con estos datos, se procede a correr la simulación y a realizar el respectivo análisis de los resultados.

Análisis de los Resultados

Se obtuvieron los resultados esperados con un nivel de servicio del 100% y en general medidas de desempeño favorables para la empresa, es decir, niveles bajos de producto en proceso, tiempos de ciclo y una tasa de producción aceptable que le permite a PILÁSTICA S.A. satisfacer la demanda.

A continuación se muestra la Tabla 48 de resultados:

Tabla 48.

Medidas de Desempeño del Modelo Mejorado con ajustes

| | |
|-----------------------------|----------------|
| TIEMPO DE SIMULACIÓN | 31.00 días |
| CT | 0.76 días |
| WIP | 28.31 rollos |
| TH | 5231.45 kg/día |
| Nivel de Servicio | 100 % |

Más adelante se mostrarán estos resultados mediante una comparación con el Sistema Push descrito en el modelo de simulación inicial.

Análisis de las Políticas

Así como se realizó en el modelo de simulación inicial un análisis de las políticas implementadas con el sistema de

producción Push, se consideró en este modelo bajo el sistema de producción Pull realizar el mismo análisis con la diferencia que en este modelo se implementaron únicamente las políticas de espera de órdenes en el área de Impresión y Sellado, la cual consiste en que si una orden, en este caso un lote, cualquiera que este sea, se empieza a procesar en una de las máquinas de impresión o sellado, deberá terminar su proceso en dicha máquina.

Para una mejor comprensión se describen las políticas tal y como se muestra a continuación:

Tabla 49.

Identificación de las políticas implementadas en el modelo mejorado

| Política | Área | |
|-------------------------------|-------------|---|
| Política de espera de órdenes | Impresión | a |
| Política de espera de órdenes | Sellado | b |

La Tabla 50, muestra los valores obtenidos a partir de las pruebas realizadas, donde la diferencia existente entre las medidas de desempeño de cada una de las pruebas es despreciable siendo el nivel de servicio, la tasa de producción y el tiempo de ciclo igual en todos los casos, por lo que se puede

decir que las políticas en este caso de estudio no afectan al sistema de producción, y tampoco representan una mejora significativa. Sin embargo al considerar tiempos de setup, fallas y/o demoras, la implementación de estas políticas es indispensable para reducir estos tiempos así también técnicas como SMED.

Tabla 50.

Comparación de modelos con y sin la implementación de políticas en el modelo mejorado

| PRUEBAS | CT POR ROLLO (días) | WIP SISTEMA (rollos) | TH (kg/días) |
|------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Política a y b | 0.76 | 28.31 | 5231.45 |
| Política a | 0.76 | 28.45 | 5231.45 |
| Política b | 0.76 | 28.33 | 5231.45 |
| Ninguna política | 0.76 | 28.26 | 5231.45 |

Finalmente, el modelo de simulación bajo el Sistema kanban ha sido ajustado para alcanzar los resultados esperados. En la siguiente sección se comprobará la validez del sistema Pull frente al sistema de control Push con el que ha venido trabajando PLÁSTICA S.A.

Utilización de las máquinas

La implementación de las políticas ocasiona que las máquinas en algunos casos tengan que esperar que arribe la totalidad del

lote para permitir el ingreso de uno nuevo. Este tiempo de espera es considerado por Promodel como un tiempo ocioso. Sin embargo, debe ser considerado como parte de su utilización. Es por eso que a continuación se presenta la utilización real de cada máquina, es decir incluyendo el tiempo de espera en las máquinas impresoras y selladoras, generado por la implementación de la política de espera de órdenes.

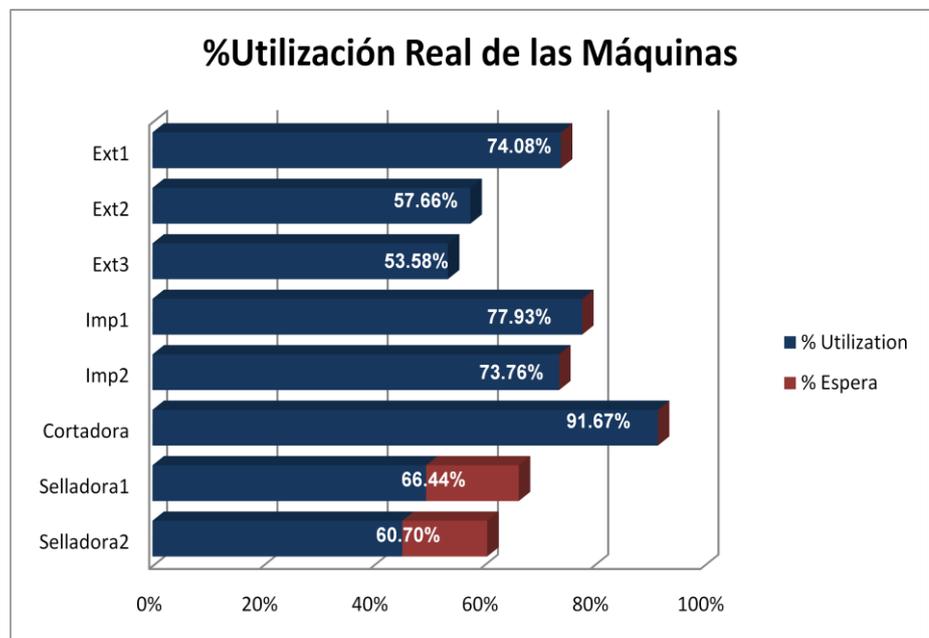


Gráfico 5.11. Utilización Real de las máquinas en el modelo mejorado

Bajo el Sistema de Control Push el cuello de botella fue el área de Impresión, en el Gráfico 5.11 se puede observar que el mayor porcentaje de utilización lo tiene la cortadora, por lo que

es necesario plantear mejoras que minimicen el riesgo de quedarse sin capacidad para satisfacer la demanda.

5.4.3. Evaluación del Sistema Push y Pull

El Sistema Push es considerado muchas veces la mejor opción para administrar la producción, en la mayoría de las empresas, debido a que se considera un sistema muy útil para la producción en cuanto a la administración de partes. Sin embargo en este tipo de industrias donde el menor tiempo de respuesta es la ventaja competitiva, es necesario implementar un Sistema de Control y Planificación de la Producción que satisfaga este requerimiento, es por ello que gracias a esta ventaja del Sistema Pull, PLÁSTICA S.A. ha implementado a través de un modelo de simulación el Sistema Kanban, que como se observó en la sección anterior se pudo alcanzar un nivel de servicio del 100%.

Para comprobar su validez se llevarán a cabo algunas comparaciones en cuanto a las medidas de desempeño como se muestra en la Tabla 51.

Tabla 51.

Comparación de las Medidas de Desempeño de los Sistemas Push y Pull

| SISTEMA DE CONTROL | PUSH | PULL | |
|----------------------|---------|---------|--------|
| Tiempo de Simulación | 33.58 | 31.00 | días |
| CT | 1.80 | 0.76 | días |
| WIP | 75.97 | 28.31 | rollos |
| TH | 4672.63 | 5231.45 | kg/día |
| Nivel de Servicio | 85.00 | 100.00 | % |

Se puede observar que las medidas de desempeño han sufrido variaciones con el Sistema Pull y como resultado se ha mejorado el nivel de servicio de la empresa. A continuación se describe con más detalle las mejoras alcanzadas:

Tiempo de Ciclo por rollo

Con la implementación del Sistema Pull-Kanban se obtuvo una reducción del 57.95% en el tiempo promedio de proceso de elaboración de un rollo a lo largo del sistema.

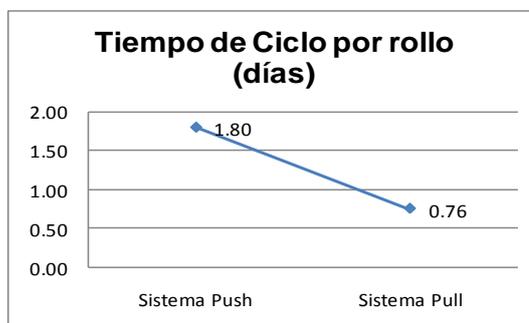


Gráfico 5.12. Comparación del Tiempo de ciclo entre los Sistemas Push y Pull

Cantidad de Producto en Proceso

Así mismo, la cantidad de Producto en proceso bajo el sistema Kanban se redujo en un 62.74%, lo cual acarrea una serie de ventajas a la empresa en cuanto a costos y espacio de la planta.

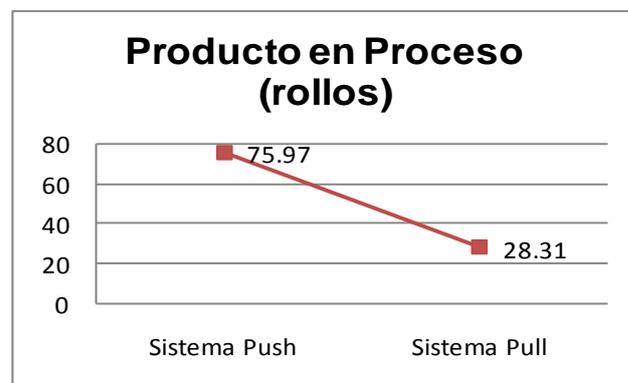


Gráfico 5.13. Comparación de la cantidad de producto en proceso entre el Sistema Push y Pull

Throughput

La tasa de producción se incrementó en un 11.96%. A pesar de no considerarse un cambio representativo, este resultado es comprensible debido a que la velocidad de producción sigue siendo la misma, y se asume que la diferencia se debe a que en el modelo de simulación bajo el Sistema Kanban se produce únicamente cuando se necesita el producto y así se evitan las

colas o la producción de cantidades innecesarias, es decir los rollos tienen una mayor tasa de salida porque no incurren en tiempos de espera por colas.

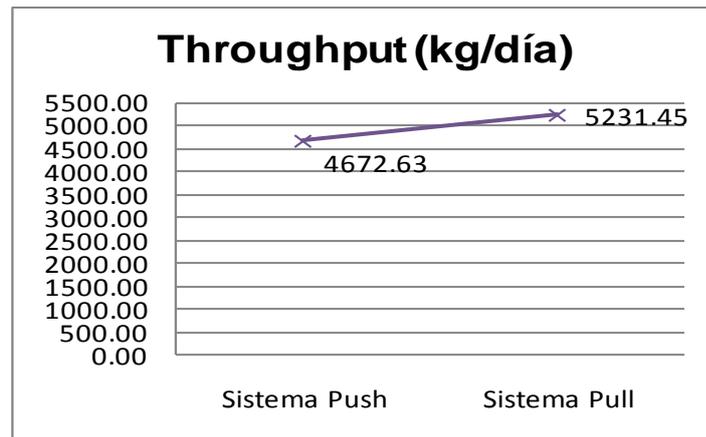


Gráfico 5.14. Comparación de la tasa de producción entre los Sistemas Push y Pull

Para calcular la tasa de producción se estableció un tiempo de warm-up empleado en el modelo inicial, con la finalidad de comparar resultados bajo las mismas condiciones. En este modelo con la implementación del Sistema kanban, no se calculó un tiempo de warm-up porque se asume que el modelo es estable, debido a que la producción se rige a los niveles de inventario, los cuales fueron calculados a partir de la demanda actual de los productos, es por ello que la cantidad y tiempo de producción será similar en todos los tiempos.

Nivel de Servicio

Finalmente, se obtuvieron los resultados esperados, con un aumento del 15% en nivel de servicio, tiempos de respuesta muy rápidos con un máximo de 3 días de espera desde que el cliente solicita su pedido hasta que es fabricado.

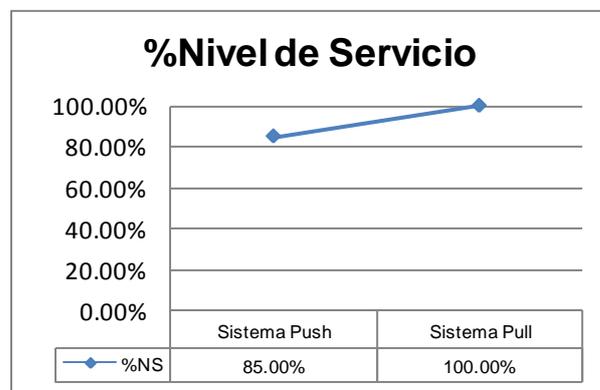


Gráfico 5.15. Comparación del Nivel de Servicio entre los Sistemas Push y Pull

Tiempo de Ciclo por Producto y por área

El tiempo de Ciclo de cada rollo se redujo entre un 2% y 46% entre todos los productos.

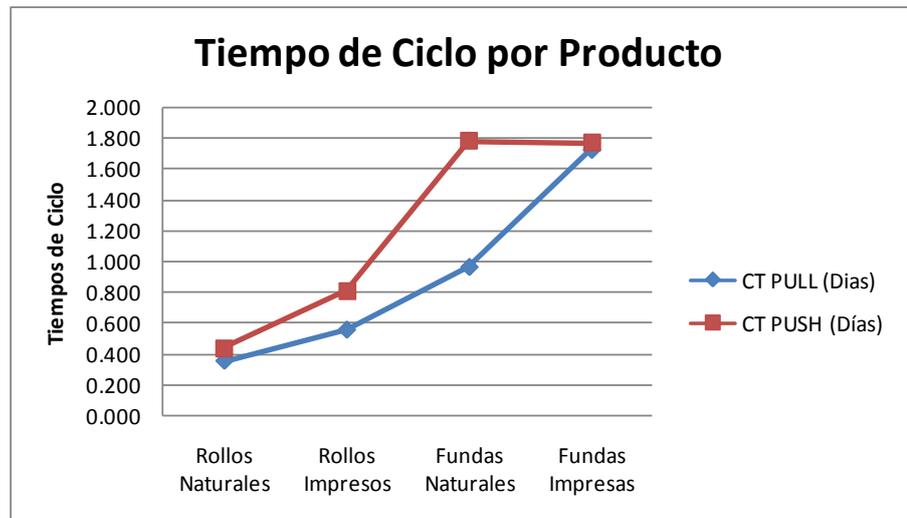


Gráfico 5.16. Comparación del Tiempo de Ciclo por Tipo de Producto entre los Sistemas Push y Pull

En el caso de los Rollos Naturales y Fundas Impresas no hubo un cambio significativo en el tiempo de ciclo debido a que en el primer caso los rollos naturales deben pasar sólo por el primer proceso, con respecto a las fundas impresas se asume que el tiempo en que los rollos están en cola es muy reducido o igual al modelo inicial. A continuación se comparará el tiempo de permanencia de cada rollo o lote por tipo de producto por cada una de las áreas en los dos sistemas de control.

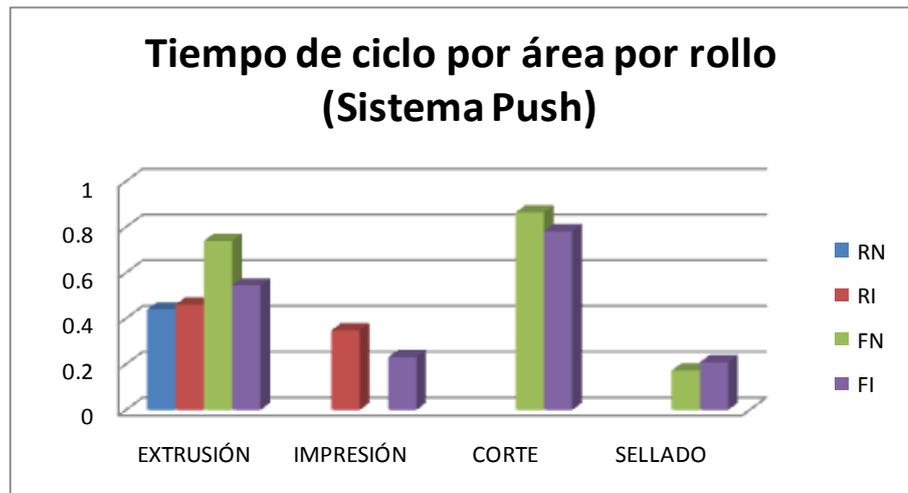


Gráfico 5.17. Tiempos de ciclo por área en el Sistema Push

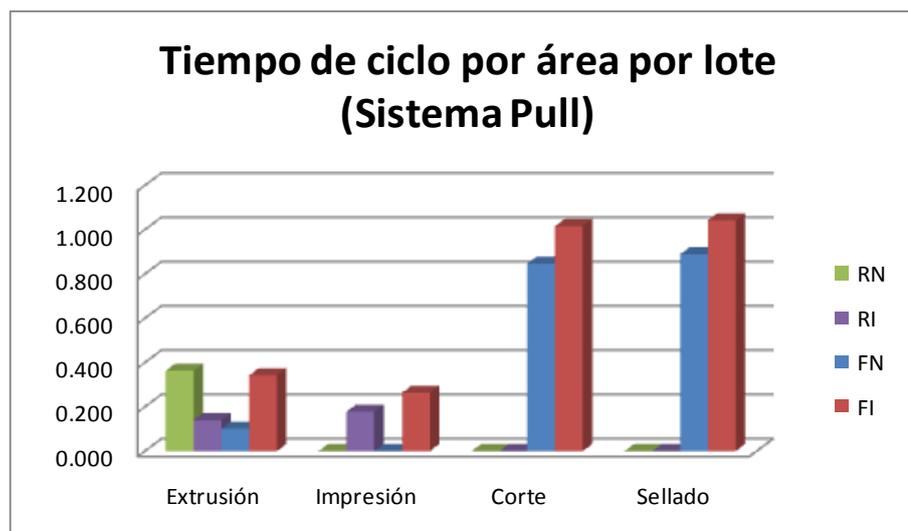


Gráfico 5.18. Tiempos de ciclo por área en el Sistema Pull

Al comparar ambos sistemas de producción a través de estos gráficos, se puede observar que en el primer caso, bajo el sistema Push, no existe un control en el área de extrusión, es por eso que se observa un incremento en el tiempo de ciclo en

dicha área a diferencia que en el sistema Pull se controla este primer proceso obteniendo un incremento en los procesos finales donde no hay control. Esto ocasiona que en algunos productos como las fundas Impresas tengan el mismo tiempo de ciclo total o cantidades similares.

Cantidad de Producto en Proceso por Tipo de Producto

En el Gráfico 5.19, se observa una disminución del producto en proceso, siendo el más relevante el caso de los Rollos Impresos que en el modelo inicial representó el mayor porcentaje de órdenes atrasadas. Bajo el Sistema Pull, este producto redujo la cantidad promedio en proceso, en un 80% y con un nivel de servicio del 100% al igual que los demás productos.

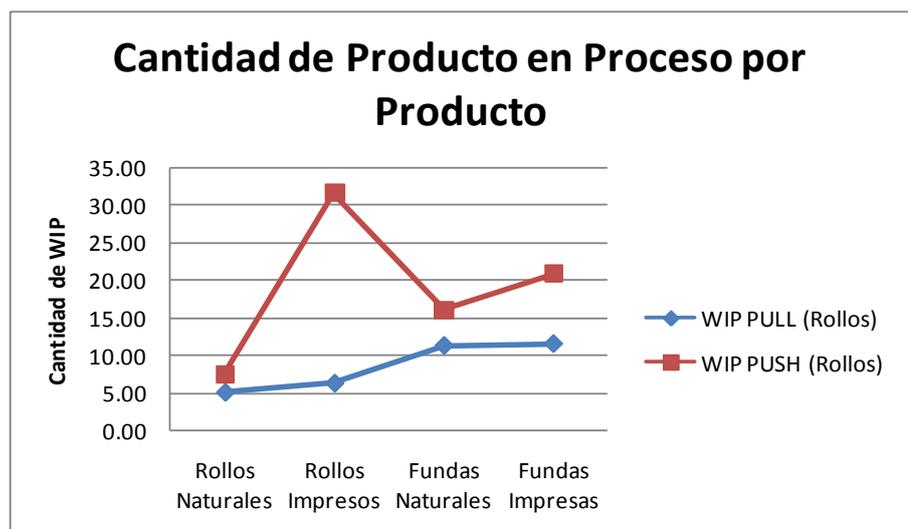


Gráfico 5.29. Comparación de la Cantidad de Producto en Proceso de cada tipo de producto entre los Sistemas Push y Pull

Throughput por Tipo de Producto

El gráfico 5.4.8 muestra la tasa de producción de cada uno de los productos en ambos sistemas de producción, existiendo una reducción hasta del 17% en el caso de las Fundas Naturales.

Como se dijo anteriormente, la reducción de la tasa de producción no es trascendental debido a que la velocidad de las máquinas sigue siendo la misma, se asume que las causas de la pequeña reducción se deben a la disminución de los tiempos en cola o espera de los productos en las diferentes áreas de trabajo.

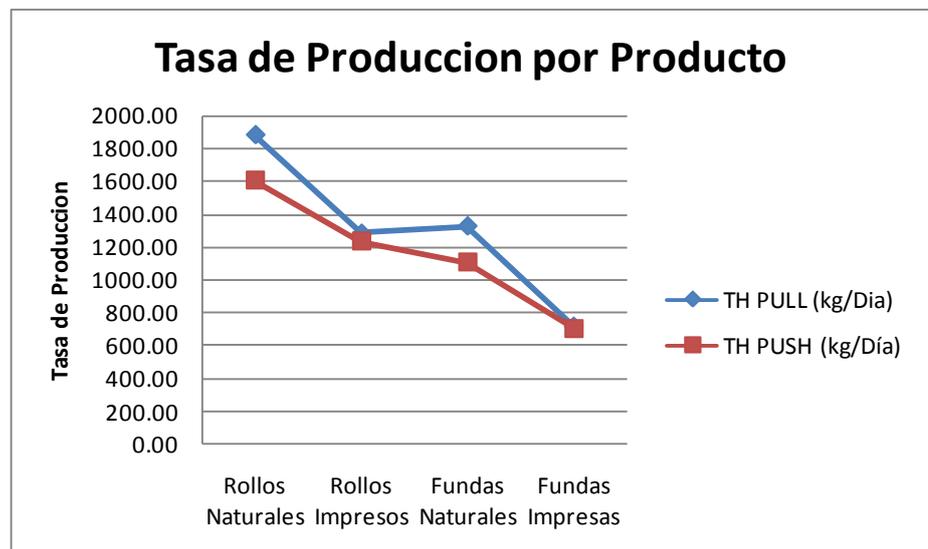


Gráfico 5.20. Comparación de la tasa de Producción por producto entre los Sistemas Push y Pull

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- **Conclusiones**

En el Ecuador existe una gran inclinación por los sistemas Push, debido a que se prefiere contar con el respaldo de los inventarios para poder responder ante la variabilidad en la demanda. Sin embargo esta solución no es la más óptima, debido a que es necesario invertir mucho dinero en el manejo y almacenamiento de los productos en las bodegas. Los sistemas Pull o Híbridos pueden disminuir exitosamente estos costos, y como se ha expuesto a lo largo de este proyecto, estos sistemas se aplican perfectamente a la realidad de la pyme ecuatoriana.

La producción de la empresa PLÁSTICA S.A. es manejada en su situación inicial con un sistema Push, bajo este sistema la empresa cuenta con un nivel de servicio del 85%, es decir que el 15% de los

pedidos de la empresa se entregan en fechas posteriores a las prometidas a los clientes. Esto se debe a los niveles de WIP elevados que se manejan, lo cual genera altos tiempos de espera en colas, aumentando los tiempos de ciclo por producto.

La mayoría de Pymes del Ecuador poseen problemas en cuanto al elevado tiempo de respuesta, este estudio está enfocado a una pyme de plásticos, donde en general producen infinidad de productos dentro de las cuales siempre se puede encontrar con el o los productos “estrella”, que son aquellos que tienen mayor repetitividad y volumen de consumo. Para este tipo de industrias lo más recomendado es el Sistema Híbrido Push-Pull.

Con el objetivo de mejorar el nivel de servicio de la empresa PLÁSTICA S.A. alcanzando un desempeño del 100%, es decir lograr que ninguno de los pedidos se entregue tarde, se propuso que la empresa maneje su producción con un sistema de control híbrido Push-Pull, para evitar así la formación de pequeñas cantidades de inventario en cada uno de los diferentes procesos, que involucraría el hecho de utilizar un sistema PULL puro. Este sistema logró disminuir el nivel de WIP de la planta en un 62.74% y el tiempo de fabricación por producto en un 57.95%, inclusive se alcanzó una mejora en la tasa

de producción (throughput) del 11.96%, obteniendo así el resultado esperado del 100% en el nivel de servicio.

La aplicación de los Sistemas de Control de la Producción depende del tipo de industria y de los productos que fabriquen o diseñen. Además, son fácilmente ajustables a las empresas para lograr satisfacer una demanda con óptimos niveles de servicio y con niveles de inventario que no generen sobrecostos en su operación, que optimicen los puntos de reorden y que den el soporte adecuado a los sistemas logísticos de las organizaciones.

Los sistemas híbridos Push-Pull, se recomiendan utilizar para Sistemas de producción en masa, es decir donde existan productos runners. Como se vio a lo largo de este estudio, el método propuesto no involucra ninguna herramienta excepcional con la que no se cuente actualmente en cualquiera de nuestros países, o procedimientos que sólo puedan ser llevados a cabo por empresas del primer mundo, simplemente se necesita un poco de buen criterio y conocimiento de los sistemas Pull y Push.

Para la ejecución de escenarios y análisis de los modos de comportamiento de los diferentes sistemas de producción que permitan tomar decisiones acertadas, es necesario utilizar un programa de simulación como herramienta fundamental, y evitar un excesivo consumo de recursos humanos y materiales por largos períodos de tiempo que suelen incurrirse durante la experimentación.

La simulación no sólo es útil para comprobar la validez de sistemas de producción como se muestra en este proyecto, además puede ser utilizada para conocer la capacidad de la planta y justificar la adquisición de nueva maquinaria. Se requiere únicamente una adecuada validación del modelo que demuestre el funcionamiento lo más cercano posible a la realidad.

- **Recomendaciones**

En relación al funcionamiento del sistema se realizó un análisis de la validez de las políticas implementadas y se consideró que estas eran innecesarias en el estudio debido a la falta de variabilidad por tiempos de set up, fallas y/o mantenimiento, es por ello que se recomienda para posteriores pruebas en cuanto a la robustez de este sistema híbrido la aplicación de estas políticas, específicamente la política de

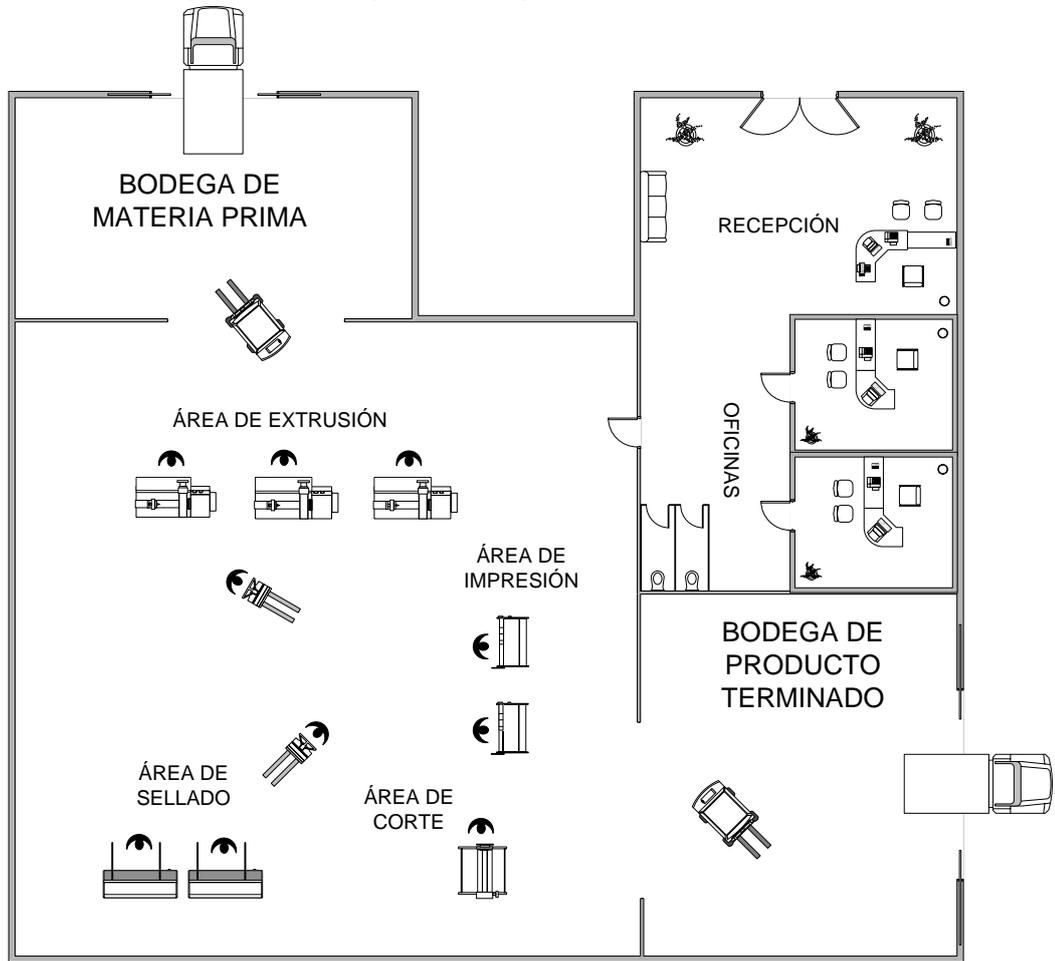
espera de órdenes, no sólo en el área de impresión y sellado si no también en el área de extrusión y corte, debido a que estas contribuyen a disminuir tiempos de set up así mismo conjuntamente se puede aplicar técnicas como SMED.

La cantidad de producto en proceso e inventarios finales de los productos se puede reducir aún más si se establece una política de fechas de entrega donde se acentúe la diferencia entre los productos que deben pasar por impresión y corte, debido a que estas áreas poseen el mayor tiempo de proceso.

Finalmente, se recomienda la revisión periódica de la demanda diaria de los productos debido a que esta afecta al número y tamaño de las tarjetas kanban.

PLANOS

Plano 1. Esquema de la planta de producción



ANEXOS

Anexo 1. Programación de la Situación Inicial de Plástica S.A.

```
*****
*****
*
*                               Processing
*
*****
*****
```

```

                                         Process
Routing
Entity      Location      Operation      Blk  Output
Destination Rule      Move Logic
-----
orden      arribo_ordenes
          BEGIN
          if ext=1 then route 1
          else if ext=2 then route 2
          else route 3
          END
          1   orden
Bodega1    FIRST 1
          2   orden
Bodega2    FIRST 1
          3   orden
Bodega3    FIRST 1
orden      Bodega1    1   orden
Explot1    EMPTY 1
orden      Bodega2    1   orden
Explot2    EMPTY 1
orden      Bodega3    1   orden
Explot3    EMPTY 1
orden      Explot1
          CREATE (rollosorden) as rollo
          1   orden
EXIT      FIRST 1
orden      Explot2
          CREATE (rollosorden) as rollo
          1   orden
EXIT      FIRST 1
orden      Explot3
          CREATE (rollosorden) as rollo
          1   orden
EXIT      FIRST 1
rollo      Explot1
          if cod_orden=1 then graphic 1
          if cod_orden=2 then graphic 2

```

```

if cod_orden=3 then graphic 3
if cod_orden=4 then graphic 4
if cod_orden=5 then graphic 5
if cod_orden=6 then graphic 6
if cod_orden=7 then graphic 7
1 rollo
WIP_ext1 FIRST 1 if tipo_producto=1 then
inc w_rn

if tipo_producto=2 then
inc w_ri

if tipo_producto=3 then
inc w_fn

if tipo_producto=4 then
inc w_fi

rollo Explot2 if cod_orden=1 then graphic 1
if cod_orden=2 then graphic 2
if cod_orden=3 then graphic 3
if cod_orden=4 then graphic 4
if cod_orden=5 then graphic 5
if cod_orden=6 then graphic 6
if cod_orden=7 then graphic 7
1 rollo
WIP_ext2 FIRST 1 if tipo_producto=1 then
inc w_rn

if tipo_producto=2 then
inc w_ri

if tipo_producto=3 then
inc w_fn

if tipo_producto=4 then
inc w_fi

```

```

    rollo          Explot3          if cod_orden=1 then graphic 1
                                if cod_orden=2 then graphic 2
                                if cod_orden=3 then graphic 3
                                if cod_orden=4 then graphic 4
                                if cod_orden=5 then graphic 5
                                if cod_orden=6 then graphic 6
                                if cod_orden=7 then graphic 7
                                1      rollo
WIP_ext3          FIRST 1  if tipo_producto=1 then
inc w_rn

if tipo_producto=2 then
inc w_ri

if tipo_producto=3 then
inc w_fn

if tipo_producto=4 then
inc w_fi

    rollo          WIP_ext1          inc wip_sistema
                                inc wip_extrusoras
                                1      rollo
Ext1              FIRST 1
    rollo          WIP_ext2          inc wip_sistema
                                inc wip_extrusoras
                                1      rollo
Ext2              FIRST 1
    rollo          WIP_ext3          inc wip_sistema
                                inc wip_extrusoras
                                1      rollo
Ext3              FIRST 1
    rollo          Ext1              if rollox=0 then

                                BEGIN
                                pesorollo=100

                                if comp_ext=1 then
                                begin
                                wait (pesorollo/1.5)
                                end

                                else if comp_ext=2 then
                                begin

```

```

wait (pesorollo/1.58)
end

else if comp_ext=3 then
begin
wait (pesorollo/1.67)
end
END

if kg<150 and rollox<>0 then
BEGIN
pesorollo=rollox

if comp_ext=1 then
begin
wait (pesorollo/1.5)
end

else if comp_ext=2 then
begin
wait (pesorollo/1.58)
end

else if comp_ext=3 then
begin
wait (pesorollo/1.67)
end
END

rollox<>0 then

if (comp_ext=1) and (kg>=150) and
{
inc Pepal
if Pepal<rollosorden then
begin
pesorollo=100
wait (pesorollo/1.5)
end
else
begin
pesorollo=rollox
wait (pesorollo/1.5)
Pepal=0
end
}

rollox<>0 then

if (comp_ext=2) and (kg>=150) and

```

```

{
    inc Pepal
    if Pepal<rollosorden then
    begin
    pesorollo=100
    wait (pesorollo/1.58)
    end
    else
    begin
    pesorollo=rollox
    wait (pesorollo/1.58)
    Pepal=0
    end
    }

rollox<>0 then

    if (comp_ext=3) and (kg>=150) and

    {
    inc Pepal
    if Pepal<rollosorden then
    begin
    pesorollo=100
    wait (pesorollo/1.67)
    end
    else
    begin
    pesorollo=rollox
    wait (pesorollo/1.67)
    Pepal=0
    end
    }

    //display "peso del rollo "
    $pesorollo, " cod_orden" $cod_orden

    BEGIN
    if tipo_producto=1 then route 3
    else if tipo_producto=2 then route
1
    else if tipo_producto=3 then route
2
    else if tipo_producto=4 then route
1
    END
Espera_imp FIRST 1 dec wip_extrusoras 1 rollo

```

```

write ordenesext1, "orden"

writeline ordenesext1, cod_orden

write horasalidaext1, "tiempo"

writeline horasalidaext1, clock(min)
Wip_cort          FIRST 1  dec wip_extrusoras          2      rollo

write ordenesext1, "orden"

writeline ordenesext1, cod_orden

write horasalidaext1, "tiempo"

writeline horasalidaext1, clock(min)
BPT              FIRST 1  dec wip_extrusoras          3      rollo

write ordenesext1, "orden"

writeline ordenesext1, cod_orden

write horasalidaext1, "tiempo"

writeline horasalidaext1, clock(min)
  rollo          Ext2          if rollox=0 then
                                BEGIN
                                pesorollo=100
                                if comp_ext=1 then
                                begin
                                wait (pesorollo/1.58)
                                end

                                else if comp_ext=2 then
                                begin
                                wait (pesorollo/1.67)
                                end

                                else if comp_ext=3 then
                                begin
                                wait (pesorollo/1.75)
                                end

```

```

END

if kg<150 and rollox<>0 then
BEGIN
pesorollo=rollox
if comp_ext=1 then
begin
wait (pesorollo/1.58)
end

else if comp_ext=2 then
begin
wait (pesorollo/1.67)
end

else if comp_ext=3 then
begin
wait (pesorollo/1.75)
end
END

rollox<>0 then

if (comp_ext=1) and (kg>=150) and
{
inc Pepa2
if Pepa2<rollosorden then
begin
pesorollo=100
wait (pesorollo/1.58)
end
else
begin
pesorollo=rollox
wait (pesorollo/1.58)
Pepa2=0
end
}

rollox<>0 then

if (comp_ext=2) and (kg>=150) and
{
inc Pepa2
if Pepa2<rollosorden then
begin
pesorollo=100
wait (pesorollo/1.67)

```

```

end
else
begin
pesorollo=rollox
wait (pesorollo/1.67)
Pepa2=0
end
}

rollox<>0 then
if (comp_ext=3) and (kg>=150) and
{
inc Pepa2
if Pepa2<rollosorden then
begin
pesorollo=100
wait (pesorollo/1.75)
end
else
begin
pesorollo=rollox
wait (pesorollo/1.75)
Pepa2=0
end
}

//display "peso del rollo "
$pesorollo, " cod_orden" $cod_orden

BEGIN
if tipo_producto=1 then route 3
else if tipo_producto=2 then route
1
else if tipo_producto=3 then route
2
else if tipo_producto=4 then route
1
END
Espera_imp FIRST 1 dec wip_extrusoras 1 rollo

write ordenesext2, "orden"

writeline ordenesext2, cod_orden

```

```

write horasalidaext2, "tiempo"

writeline horasalidaext2, clock(min)
Wip_cort          FIRST 1  dec wip_extrusoras          2      rollo

write ordenesext2, "orden"

writeline ordenesext2, cod_orden

write horasalidaext2, "tiempo"

writeline horasalidaext2, clock(min)
BPT              FIRST 1  dec wip_extrusoras          3      rollo

write ordenesext2, "orden"

writeline ordenesext2, cod_orden

write horasalidaext2, "tiempo"

writeline horasalidaext2, clock(min)
  rollo          Ext3          if rollox=0 then
                        BEGIN
                        pesorollo=100
                        if comp_ext=1 then
                        begin
                        wait (pesorollo/1.67)
                        end

                        else if comp_ext=2 then
                        begin
                        wait (pesorollo/1.75)
                        end

                        else if comp_ext=3 then
                        begin
                        wait (pesorollo/1.83)
                        end
                        END

                        if kg<150 and rollox<>0 then
                        BEGIN
                        pesorollo=rollox

```

```

if comp_ext=1 then
begin
wait (pesorollo/1.67)
end

else if comp_ext=2 then
begin
wait (pesorollo/1.75)
end

else if comp_ext=3 then
begin
wait (pesorollo/1.83)
end
END

rollox<>0 then

if (comp_ext=1) and (kg>=150) and
{
inc Pepa3
if Pepa3<rollosorden then
begin
pesorollo=100
wait (pesorollo/1.67)
end
else
begin
pesorollo=rollox
wait (pesorollo/1.67)
Pepa3=0
end
}

rollox<>0 then

if (comp_ext=2) and (kg>=150) and
{
inc Pepa3
if Pepa3<rollosorden then
begin
pesorollo=100
wait (pesorollo/1.75)
end
else
begin
pesorollo=rollox
wait (pesorollo/1.75)
Pepa3=0
end
}

```

```

    }

rollox<>0 then
    if (comp_ext=3) and (kg>=150) and
    {
    inc Pepa3
    if Pepa3<rollosorden then
    begin
    pesorollo=100
    wait (pesorollo/1.83)
    end
    else
    begin
    pesorollo=rollox
    wait (pesorollo/1.83)
    Pepa3=0
    end
    }

    //display "peso del rollo "
    $pesorollo, " cod_orden" $cod_orden

    BEGIN
    if tipo_producto=1 then route 3
    else if tipo_producto=2 then route
1
    else if tipo_producto=3 then route
2
    else if tipo_producto=4 then route
1
    END
Espera_imp FIRST 1 dec wip_extrusoras 1 rollo

write ordenesext3, "orden"
writeline ordenesext3, cod_orden

write horasalidaext3, "tiempo"
writeline horasalidaext3, clock(min)
Wip_cort FIRST 1 dec wip_extrusoras 2 rollo

```

```

write ordenesext3, "orden"

writeline ordenesext3, cod_orden

write horasalidaext3, "tiempo"

writeline horasalidaext3, clock(min)
                                     3      rollo
BPT          FIRST 1  dec wip_extrusoras

write ordenesext3, "orden"

writeline ordenesext3, cod_orden

write horasalidaext3, "tiempo"

writeline horasalidaext3, clock(min)
  rollo      Espera_imp      //display "llego a espera imp orden
no" $cod_orde

                                     inc wip_impresoras

                                     write ordenesimp, "orden"
                                     writeline ordenesimp, cod_orden

                                     writeline horaentradaimp,
clock(min)

                                     IF arr1[cod_orden,2]<=200 AND
arr1[cod_orden,6]>0 then
                                     begin

arr1[cod_orden,6]=arr1[cod_orden,6]-1
                                     WAIT UNTIL arr1[cod_orden,6]=0 and
controlimp=0
                                     end

                                     IF arr1[cod_orden,2]>200 AND
arr1[cod_orden,3]>0 then
                                     begin

arr1[cod_orden,3]=arr1[cod_orden,3]-1
                                     WAIT UNTIL arr1[cod_orden,3]=0 and
controlimp=0
                                     end

```

```

orden no" $cod_orden //display "salio de espera imp

Wip_imp FIRST 1 1 rollo
rollo Wip_imp //display "llego a wip imp orden"
$cod_orden

wip_imp_unidad FIRST 1 1 rollo
rollo ficticio1 WAIT UNTIL (bloqueoimp1=0 OR
bloqueoimp2=0)
BEGIN
controlimp=1
group contents(ficticio1) as
grupoimp
END
grupoimp ficticio1 1 grupoimp
Wip_imp FIRST 1
grupoimp Wip_imp ungroup
rollo wip_imp_unidad begin
if bloqueoimp1=1 and bloqueoimp2=1
and cod_orden<>equis1 and cod_orden<>equis2 then route 3
else if bloqueoimp1=0 and
bloqueoimp2=1 and cod_orden<>equis2 then route 1
else if bloqueoimp2=0 and
bloqueoimp1=1 and cod_orden<>equis1 then route 2
else if cod_orden=equis1 and
bloqueoimp1=1 then route 1
else if cod_orden=equis2 and
bloqueoimp2=1 then route 2
else if bloqueoimp1=0 and
bloqueoimp2=0 then route 1
end
controlimp=0

Wip_imp1 FIRST 1 1 rollo
Wip_imp2 FIRST 1 2 rollo
ficticio1 FIRST 1 3 rollo
rollo Wip_imp1 //display "llego a wip imp1 orden"
$cod_orden

Imp1 FIRST 1 inc wipimp1 1 rollo
rollo Wip_imp2 //display "llego a wip imp2 orden"
$cod_orden

```

```

Imp2                                1    rollo
    rollo                            FIRST 1
    Imp1                             bloqueoimp1=1
                                        equis1=cod_orden

                                        writeline horaentradaimp1,

clock(min)

                                        BEGIN
                                        if comp_imp=1 then
                                        begin
                                        wait (pesorollo/1.02)
                                        end

                                        else if comp_imp=2 then
                                        begin
                                        wait (pesorollo/0.82)
                                        end

                                        else if comp_imp=3 then
                                        begin
                                        wait (pesorollo/0.6125)
                                        end

                                        END

                                        //display "imp1_peso del rollo "
$pesorollo,$" cod_orden " $cod_orden

                                        BEGIN

arr1[cod_orden,4]=arr1[cod_orden,4]-1
                                        If arr1[cod_orden,4]=0 then
                                        bloqueoimp1=0
                                        else
                                        equis1=cod_orden
                                        END

                                        BEGIN
                                        if tipo_producto=2 then route 1
                                        else if tipo_producto=4 then route
2
                                        END
BPT                                FIRST 1    dec wip_impresoras                                1    rollo

write ordenesimp1, "orden"

writeline ordenesimp1, cod_orden

```

```

writeline horasalidaimp1, clock(min)

Wip_cort          FIRST 1  dec wip_impresoras          2      rollo

write ordenesimp1, "orden"

writeline ordenesimp1, cod_orden

writeline horasalidaimp1, clock(min)
  rollo          Imp2          bloqueoimp2=1
                                   equis2=cod_orden

                                   writeline horaentradaimp2,
clock(min)

                                   BEGIN
                                   if comp_imp=1 then
                                   begin
                                   wait (pesorollo/0.82)
                                   end

                                   else if comp_imp=2 then
                                   begin
                                   wait (pesorollo/0.6125)
                                   end

                                   else if comp_imp=3 then
                                   begin
                                   wait (pesorollo/0.41)
                                   end

                                   END

                                   //display "imp2_peso del rollo "
$pesorollo,$" cod_orden " $cod_orden

                                   BEGIN

arr1[cod_orden,4]=arr1[cod_orden,4]-1
                                   If arr1[cod_orden,4]=0 then
                                   bloqueoimp2=0
                                   else
                                   equis2=cod_orden
                                   END

```

```

                BEGIN
                if tipo_producto=2 then route 1
                else if tipo_producto=4 then route
2
                END
BPT                FIRST 1  dec wip_impresoras                1  rollo

write ordenesimp2, "orden"

writeline ordenesimp2, cod_orden

writeline horasalidaimp2, clock(min)
Wip_cort                FIRST 1  dec wip_impresoras                2  rollo

write ordenesimp2, "orden"

writeline ordenesimp2, cod_orden

writeline horasalidaimp2, clock(min)
    rollo                Wip_cort                inc wip_cortadora

                writeline horaentradacorte,
clock(min)                1  rollo
Cortadora                FIRST 1
    rollo                Cortadora
                //display "corte_peso del rollo "
$pesorollo,$" cod_orden " $cod_orden

                wait (pesorollo/1.38)

                /*BEGIN
                if rollox=0 then
                begin
                wait (100/1.38)
                end
                END

                BEGIN
                if (kg<150) and rollox<>0  then
                begin
                wait (kg/1.38)
                end
                END

```

```

                                BEGIN
                                if (kg>=150) and rollox<>0 then
                                {
                                inc Pepa_cort
                                if Pepa_cort<rollosorden then
                                wait (100/0.67)
                                else
                                begin
                                wait (rollox/1.38)
                                Pepa_cort=0
                                end
                                }
                                END*/
                                1      rollo
Espera_sell      FIRST 1  dec wip_cortadora

write ordenescorte, "orden"

writeline ordenescorte, cod_orden

writeline horasalidacorte, clock(min)
    rollo      Espera_sell      inc wip_selladoras

                                WAIT UNTIL controlsell=0

                                write ordenessell, "orden"
                                writeline ordenessell, cod_orden

                                writeline horaentradasell,
clock(min)
                                1      rollo
Wip_sell      FIRST 1
    rollo      Wip_sell      1      rollo
wip_sell_unidad FIRST 1
    rollo      ficticio2
bloqueosella2=0)
                                WAIT UNTIL (bloqueosella1=0 OR

                                BEGIN
                                controlsell=1
                                group contents(ficticio2) as

gruposellado
                                END
    gruposellado ficticio2      1
gruposellado Wip_sell      FIRST 1
gruposellado Wip_sell      ungroup
    rollo      wip_sell_unidad begin

```

```

                                if bloqueosella1=1 and
bloqueosella2=1 and cod_orden<>equis11 and cod_orden<>equis22
then route 3
                                else if bloqueosella1=0 and
bloqueosella2=1 and cod_orden<>equis22 then route 1
                                else if bloqueosella2=0 and
bloqueosella1=1 and cod_orden<>equis11 then route 2
                                else if cod_orden=equis11 and
bloqueosella1=1 then route 1
                                else if cod_orden=equis22 and
bloqueosella2=1 then route 2
                                else if bloqueosella1=0 and
bloqueosella2=0 then route 1
                                end
                                controlsell=0

Wip_sella1      FIRST 1          1      rollo
Wip_sella2      FIRST 1          2      rollo
ficticio2       FIRST 1          3      rollo
  rollo         Wip_sella1       1      rollo
Selladora1      FIRST 1          1      rollo
  rollo         Wip_sella2       1      rollo
Selladora2      FIRST 1
  rollo         Selladora1       bloqueosella1=1
                                equis11=cod_orden

                                writeline horaentradasell1,
clock(min)

                                BEGIN
                                wait (pesorollo/1.33)
                                END

                                BEGIN

arr1[cod_orden,5]=arr1[cod_orden,5]-1
                                If arr1[cod_orden,5]=0 then
                                bloqueosella1=0
                                else
                                equis11=cod_orden
                                END          1      rollo
BPT              FIRST 1  dec wip_selladoras

write ordenessell1, "orden"

writeline ordenessell1, cod_orden

```

```

writeline horasalidasell1, clock(min)

    rollo          Selladora2      bloqueosella2=1
                                      equis22=cod_orden

                                      writeline horaentradasell1,
clock(min)

                                      BEGIN
                                      wait (pesorollo/1.33)
                                      END

                                      BEGIN

arr1[cod_orden,5]=arr1[cod_orden,5]-1
                                      If arr1[cod_orden,5]=0 then
                                      bloqueosella2=0
                                      else
                                      equis22=cod_orden
                                      END
BPT          FIRST 1  dec wip_selladoras          1      rollo

writeline ordenessell2, "orden"

writeline ordenessell2, cod_orden

writeline horasalidasell2, clock(min)

    rollo          BPT          if tipo_producto=1 then
                                      inc rollos_RN

                                      if tipo_producto=2 then
                                      inc Rollos_RI

                                      if tipo_producto=3 then
                                      inc rollos_FN

                                      if tipo_producto=4 then
                                      inc rollos_FI          1      rollo
EXIT          FIRST 1  Dec Wip_Sistema

writeline wipsistema, wip_sistema

write resultados, "orden"

writeline resultados, cod_orden

```

```
writeline result, clock(min)
```

```
if tipo_producto=1 then
```

```
dec w_rn
```

```
if tipo_producto=2 then
```

```
dec w_ri
```

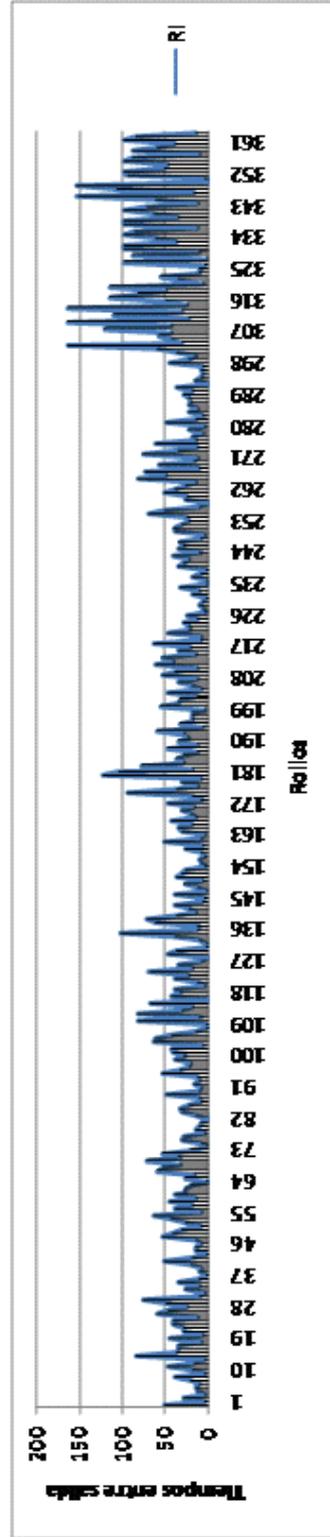
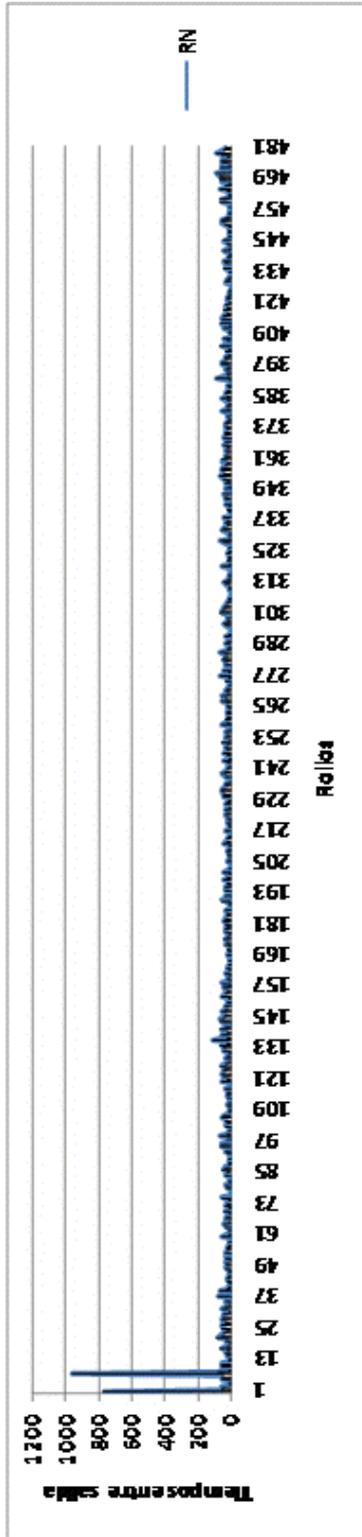
```
if tipo_producto=3 then
```

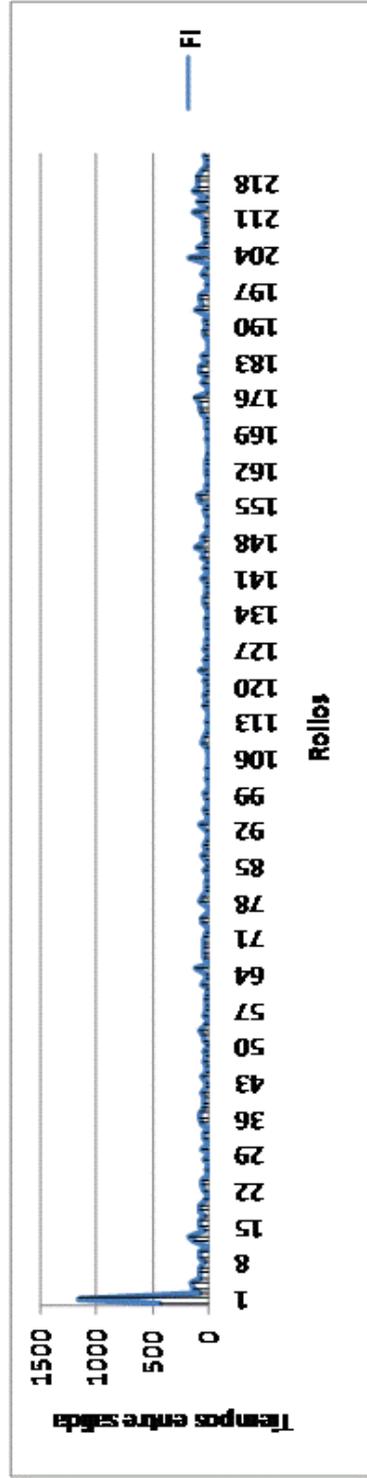
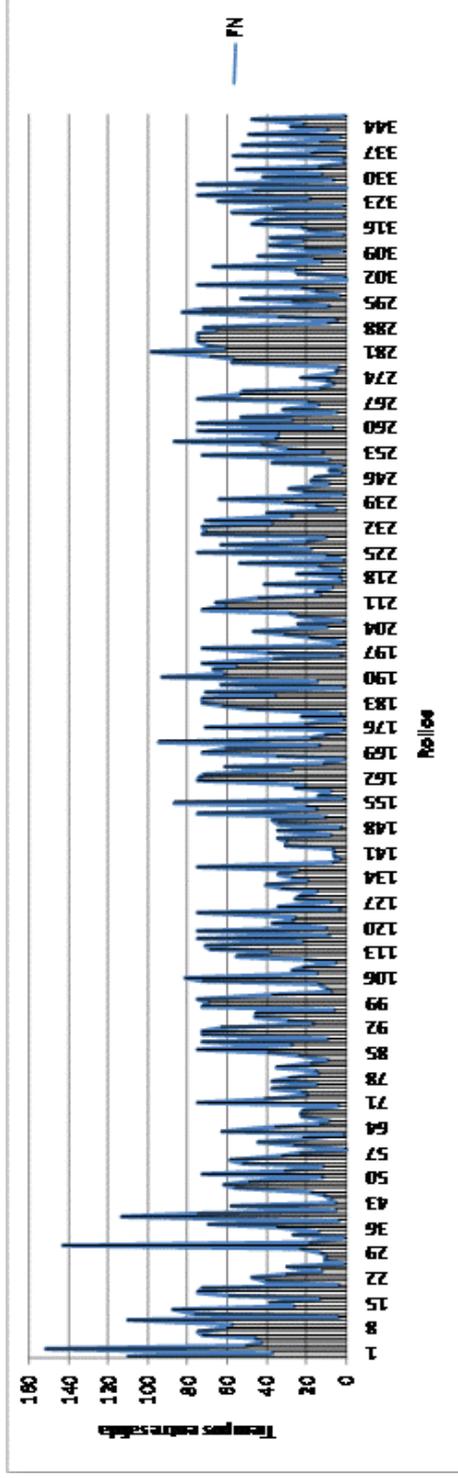
```
dec w_fn
```

```
if tipo_producto=4 then
```

```
dec w_fi
```

Anexo 2. Tiempos de warm-up por tipo de producto.





Anexo 3. Programación del Modelo ajustado con la implementación del Sistema Kanban

```
*****
*****
*
*                               Processing
*
*****
*****
```

| Routing | | | Process | | |
|--------------------|---------------------|-------------------------|---------|-------|-------|
| Entity | Location | Operation | Blk | | |
| Output | Destination | Rule | Move | Logic | |
| ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| orden | arribo_ordenes | if tipo_producto=1 then | | | |
| route 1 | | | | | |
| | | if tipo_producto=2 then | | | |
| route 2 | | | | | |
| | | if tipo_producto=3 then | | | |
| route 3 | | | | | |
| | | if tipo_producto=4 then | | | |
| route 4 | | | | | |
| orden | Ordenes_RN | FIRST 1 | | | 1 |
| orden | Ordenes_RI | FIRST 1 | | | 2 |
| orden | Ordenes_FN | FIRST 1 | | | 3 |
| orden | Ordenes_FI | FIRST 1 | | | 4 |
| orden | Ordenes_RN | wait until | | | |
| orden | Ordenes_RN | | | | |
| control_orden_RN=0 | | | | | |
| orden | Comprobación_inv_RN | FIRST 1 | | | 1 |
| orden | Ordenes_RI | wait until | | | |
| control_orden_RI=0 | | | | | |
| orden | Comprobación_inv_RI | FIRST 1 | | | 1 |
| orden | Ordenes_FN | wait until | | | |
| control_orden_FN=0 | | | | | |

```

orden          Comprobación_inv_FN          FIRST 1          1
orden          Ordenes_FI                    wait until
control_orden_FI=0

orden          Comprobación_inv_FI          FIRST 1          1
orden          Comprobación_inv_RN         control_orden_RN = 1
                                                Tamano_Orden_RN = kg

acum_tamano_orden_RN=acum_tamano_orden_RN+Tamano_Orden_RN

                                                Nivel_RN=inv_RN-
acum_tamano_orden_RN

                                                if (Nivel_RN + wip_rn) >
1564 then route 1
                                                if (Nivel_RN + wip_RN)<=
1564 then route 2

orden          Inv_disponible_RN          FIRST 1          1
                                                2
orden          Verificación_niv_inv_RN     FIRST 1
orden          Comprobación_inv_RI         control_orden_RI = 1
                                                Tamano_Orden_RI = kg

acum_tamano_orden_RI=acum_tamano_orden_RI+Tamano_Orden_RI

                                                Nivel_RI=inv_RI-
acum_tamano_orden_RI

                                                if (Nivel_RI + wip_ri) >
1411 then route 1
                                                if (Nivel_RI + wip_RI)<=
1411 then route 2

orden          Inv_disponible_RI          FIRST 1          1
                                                2
orden          Verificación_niv_inv_RI     FIRST 1
orden          Comprobación_inv_FN         control_orden_FN = 1
                                                Tamano_Orden_FN = kg

acum_tamano_orden_FN=acum_tamano_orden_FN+Tamano_Orden_FN

                                                Nivel_FN=inv_FN-
acum_tamano_orden_FN

                                                if (Nivel_FN + wip_fn) >
1330 then route 1
                                                if (Nivel_FN + wip_fn) <=
1330 then route 2

```

```

orden          Inv_disponible_FN          FIRST 1          1
                                                    2
orden          Verificación_niv_inv_FN FIRST 1
orden          Comprobación_inv_FI      control_orden_FI = 1
                                                    Tamano_Orden_FI = kg

acum_tamano_orden_FI=acum_tamano_orden_FI+Tamano_Orden_FI

                                                    Nivel_FI=inv_FI-
acum_tamano_orden_FI

                                                    if (Nivel_FI + wip_fi) >
1963 then route 1
                                                    if (Nivel_FI + wip_fi) <=
1963 then route 2

orden          Inv_disponible_FI          FIRST 1          1
                                                    2
orden          Verificación_niv_inv_FI FIRST 1
orden          Inv_disponible_RN

orden          Despacho_órdenes_RN      FIRST 1          1
orden          Inv_disponible_RI

orden          Despacho_órdenes_RI      FIRST 1          1
orden          Inv_disponible_FN

orden          Despacho_órdenes_FN      FIRST 1          1
orden          Inv_disponible_FI

```

```
orden          Despacho_órdenes_FI      FIRST 1
orden          Verificación_niv_inv_RN if (Nivel_RN +
wip_RN)<=1564 and (Nivel_RN + wip_RN)>1305 then
begin
Pizarra_kanban_RN          send 1 kanban_RN to
                             Rn_v=1
                             end
                             if (Nivel_RN +
wip_RN)<=1305 and (Nivel_RN + wip_RN)>1044 then
begin
Pizarra_kanban_RN          send 2 kanban_RN to
                             Rn_v=2
                             end
                             if (Nivel_RN +
wip_RN)<=1044 and (Nivel_RN + wip_RN)> 783 then
begin
Pizarra_kanban_RN          send 3 kanban_RN to
                             Rn_v=3
                             end
                             if (Nivel_RN + wip_RN)<=783
and (Nivel_RN + wip_RN)> 522 then
begin
Pizarra_kanban_RN          send 4 kanban_RN to
                             Rn_a=4
                             end
                             if (Nivel_RN + wip_RN)<=522
and (Nivel_RN + wip_RN)> 261 then
begin
Pizarra_kanban_RN          send 5 kanban_RN to
                             rn_a=5
                             end
                             if (Nivel_RN + wip_RN)<=261
then
begin
Pizarra_kanban_RN          send 6 kanban_RN to
                             rn_r=6
```



```

then
    Pizarra_kanban_RI
orden      Despacho_órdenes_RI
orden      Verificación_niv_inv_FN
wip_fn) <= 1330 and (Nivel_FN + wip_fn) > 1140 then
    Pizarra_kanban_FN
wip_fn) <= 1140 and (Nivel_FN + wip_fn) > 950 then
    Pizarra_kanban_FN
and (Nivel_FN + wip_fn) > 760 then
    Pizarra_kanban_FN
and (Nivel_FN + wip_fn) > 570 then
    Pizarra_kanban_FN
and (Nivel_FN + wip_fn) > 380 then
    Pizarra_kanban_FN

if (Nivel_RI + wip_RI) <= 202
begin
send 7 kanban_RI to
ri_r=7
end
FIRST 1
if (Nivel_FN +
wip_fn) <= 1330 and (Nivel_FN + wip_fn) > 1140 then
begin
send 1 kanban_FN to
fn_v=1
end
if (Nivel_FN +
wip_fn) > 1140 and (Nivel_FN + wip_fn) > 950 then
begin
send 2 kanban_FN to
fn_v=2
end
if (Nivel_FN + wip_fn) <= 950
begin
send 3 kanban_FN to
fn_v=3
end
if (Nivel_FN + wip_fn) <= 760
begin
send 4 kanban_FN to
fn_a=4
end
if (Nivel_FN + wip_fn) <= 570
begin
send 5 kanban_FN to
fn_a=5
end
end

```

```

and (Nivel_FN + wip_fn)>190 then
Pizarra_kanban_FN

then
Pizarra_kanban_FN

orden          Despacho_órdenes_FN      FIRST 1
orden          Verificación_niv_inv_FI
wip_fi)<=1963 and (Nivel_FN + wip_fn)>190 then
Pizarra_kanban_FN

wip_fi)<=1764 and (Nivel_FN + wip_fn)>1568 then
Pizarra_kanban_FN

wip_fi)<=1568 and (Nivel_FN + wip_fn)>1372 then
Pizarra_kanban_FN

wip_fi)<=1372 and (Nivel_FN + wip_fn)>1176 then
Pizarra_kanban_FN

wip_fi)<=1176 and (Nivel_FN + wip_fn)>980 then

```

```

if (Nivel_FN + wip_fn)<=380
begin
send 6 kanban_FN to

fn_r=6
end

if (Nivel_FN + wip_fn)<=190
begin
send 7 kanban_FN to

fn_r=7
end
1

if (Nivel_FI +
Verificación_niv_inv_FI if (Nivel_FI +
wip_fi)>1764 then
begin
send 1 kanban_FI to

fi_v=1
end

if (Nivel_FI +
wip_fi)>1568 then
begin
send 2 kanban_FI to

fi_v=2
end

if (Nivel_FI +
wip_fi)>1372 then
begin
send 3 kanban_FI to

fi_v=3
end

if (Nivel_FI +
wip_fi)>1176 then
begin
send 4 kanban_FI to

fi_v=4
end

if (Nivel_FI +
wip_fi)>980 then
begin

```

```

Pizarra_kanban_FI
send 5 kanban_FI to
fi_a=5
end

and (Nivel_FI + wip_fi)>784 then
Pizarra_kanban_FI
if (Nivel_FI + wip_fi)<=980
begin
send 6 kanban_FI to
fi_a=6
end

and (Nivel_FI + wip_fi)>588 then
Pizarra_kanban_FI
if (Nivel_FI + wip_fi)<=784
begin
send 7 kanban_FI to
fi_a=7
end

and (Nivel_FI + wip_fi)>392 then
Pizarra_kanban_FI
if (Nivel_FI + wip_fi)<=588
begin
send 8 kanban_FI to
fi_r=8
end

and (Nivel_FI + wip_fi)>196 then
Pizarra_kanban_FI
if (Nivel_FI + wip_fi)<=392
begin
send 9 kanban_FI to
fi_r=9
end

then
Pizarra_kanban_FI
if (Nivel_FI + wip_fi)<=196
begin
send 10 kanban_FI to
fi_r=10
end
end
1

orden Despacho_órdenes_FI FIRST 1
orden Despacho_órdenes_RN wait until nivel_Rn >= 0

orden EXIT FIRST 1 control_orden_RN=0
1

```

```
inc ordenes
```

```
writeline Result_tipo, tipo_producto
```

```
writeline Result_orden, cod_orden
```

```
writeline Result_horasal, clock(min)
```

```
if ordenes=495 then STOP
```

```
orden          Despacho_ordenes_RI      wait until Nivel_RI >= 0  
                                                    1
```

```
orden          EXIT                      FIRST 1 control_orden_RI=0
```

```
inc ordenes
```

```
writeline Result_tipo, tipo_producto
```

```
writeline Result_orden, cod_orden
```

```
writeline Result_horasal, clock(min)
```

```
if ordenes=495 then STOP
```

```
orden          Despacho_ordenes_FN      wait until Nivel_FN >= 0  
                                                    1
```

```
orden          EXIT                      FIRST 1 control_orden_FN=0
```

```
inc ordenes
```

```
writeline Result_tipo, tipo_producto
```

```
writeline Result_orden, cod_orden
```

```
writeline Result_horasal, clock(min)
```

```
if ordenes=495 then STOP
```

```
orden          Despacho_ordenes_FI      wait until Nivel_FI >= 0  
                                                    1
```

```
orden          EXIT                      FIRST 1 control_orden_FI=0
```

```
inc ordenes
```

```
writeline Result_tipo, tipo_producto
```

```

writeline Result_orden, cod_orden

writeline Result_horasal, clock(min)

if ordenes=495 then STOP
  ficticio_1  arribo_ficticio_1      Nivel_RN=inv_RN-
  acum_tamano_orden_RN
                                                    1

  ficticio_1  EXIT                    FIRST 1
  ficticio_2  arribo_ficticio_2      Nivel_RI=inv_RI-
  acum_tamano_orden_RI
                                                    1

  ficticio_2  EXIT                    FIRST 1
  ficticio_3  arribo_ficticio_3      Nivel_FN=inv_FN-
  acum_tamano_orden_FN
                                                    1

  ficticio_3  EXIT                    FIRST 1
  ficticio_4  arribo_ficticio_4      Nivel_FI=inv_FI-
  acum_tamano_orden_FI
                                                    1

  ficticio_4  EXIT                    FIRST 1
  Lote        arribo_lote
  inc num_lote
  cod_lote=num_lote

  if tipo_lote=1 then route 1
  if tipo_lote=2 then route 2
  if tipo_lote=3 then route 3
  if tipo_lote=4 then route 4

  writeline tipo_lote_input,
  writeline cod_lote_input,
  writeline

  hora_entrada_input, clock(min)

Lote_RN      BMP                    FIRST 1
                                                    1
Lote_RI      BMP                    FIRST 1
                                                    2
Lote_FN      BMP                    FIRST 1
                                                    3
Lote_FI      BMP                    FIRST 1
                                                    4
Lote_RN      BMP                    FIRST 1
Lote_RN      BMP                    FIRST 1
                                                    1
Lote_RN      Bodegal                SEND 1

```

| | | | |
|-----------|-------------------|--|---|
| Lote_RI | BMP | | 1 |
| Lote_RI | Bodega2 | SEND 1 | |
| Lote_FN | BMP | | 1 |
| Lote_FN | Bodega3 | SEND 1 | |
| Lote_FI | BMP | | 1 |
| Lote_FI | Bodega4 | SEND 1 | |
| kanban_RN | Arribo_kanban | | 1 |
| kanban_RN | Pizarra_kanban_RN | SEND 1 | |
| kanban_RI | Arribo_kanban | | 1 |
| kanban_RI | Pizarra_kanban_RI | SEND 1 | |
| kanban_FN | Arribo_kanban | | 1 |
| kanban_FN | Pizarra_kanban_FN | SEND 1 | |
| kanban_FI | Arribo_kanban | | 1 |
| kanban_FI | Pizarra_kanban_FI | SEND 1 | |
| kanban_RN | Pizarra_kanban_RN | | 1 |
| kanban_RN | Buzón_Ext_RN | FIRST 1 | |
| kanban_RI | Pizarra_kanban_RI | | 1 |
| kanban_RI | Buzón_Ext_RI | FIRST 1 | |
| kanban_FN | Pizarra_kanban_FN | | 1 |
| kanban_FN | Buzón_Ext_FN | FIRST 1 | |
| kanban_FI | Pizarra_kanban_FI | | 1 |
| kanban_FI | Buzón_ext_FI | FIRST 1 | |
| kanban_RN | Buzón_Ext_RN | send 1 lote_RN to bodega1 wait until rollos_RN=3 Rollos_RN=0 | 1 |
| kanban_RN | Arribo_kanban | FIRST 1 | |
| kanban_RI | Buzón_Ext_RI | send 1 lote_RI to bodega2 wait until rollo_imp_RI=2 rollo_imp_RI=0 | |
| | | | 1 |
| kanban_RI | Buzón_imp_RI | FIRST 1 | |
| kanban_FN | Buzón_Ext_FN | send 1 lote_FN to bodega3 wait until rollo_cort_FN=2 rollo_cort_FN=0 | |
| | | | 1 |
| kanban_FN | Buzón_cort_FN | FIRST 1 | |
| kanban_FI | Buzón_ext_FI | send 1 lote_FI to bodega4 wait until rollo_imp_FI=2 rollo_imp_FI=0 | |
| | | | 1 |
| kanban_FI | Buzón_imp_FI | FIRST 1 | |
| kanban_RI | Buzón_imp_RI | wait until rollos_RI=2 rollos_RI=0 | 1 |
| kanban_RI | Arribo_kanban | FIRST 1 | |
| kanban_FN | Buzón_cort_FN | wait until rollo_sell_FN=2 | |

| | | | |
|-----------|---------------|----------------------------|---|
| kanban_FN | Buzón_sell_FN | rollo_sell_FN=0 | 1 |
| kanban_FI | Buzón_imp_FI | FIRST 1 | |
| | | wait until rollo_cort_FI=2 | |
| | | rollo_cort_FI=0 | 1 |
| kanban_FI | Buzón_cort_FI | FIRST 1 | |
| kanban_FN | Buzón_sell_FN | wait until rollos_FN=2 | |
| | | rollos_FN=0 | 1 |
| kanban_FN | Arribo_kanban | FIRST 1 | |
| kanban_FI | Buzón_cort_FI | wait until rollo_sell_FI=2 | |
| | | rollo_sell_FI=0 | 1 |
| kanban_FI | Buzón_sell_FI | FIRST 1 | |
| kanban_FI | Buzón_sell_FI | wait until rollos_FI=2 | |
| | | rollos_FI=0 | 1 |
| kanban_FI | Arribo_kanban | FIRST 1 | |
| Lote_RN | Bodegal | | 1 |
| Lote_RN | color_1 | FIRST 1 | |
| Lote_RN | color_1 | if rn_v=1 then | |
| | | begin | |
| | | color=1 | |
| | | rn_v=0 | |
| | | end | |
| | | if rn_v=2 then | |
| | | begin | |
| | | color=1 | |
| | | inc rn_v1 | |
| | | if rn_v1=2 then | |
| | | rn_v=0 | |
| | | rn_v1=0 | |
| | | end | |
| | | if rn_v=3 then | |
| | | begin | |
| | | color=1 | |
| | | inc rn_v1 | |
| | | if rn_v1=3 then | |
| | | rn_v=0 | |
| | | rn_v1=0 | |
| | | end | |
| | | if rn_a=4 then | |
| | | begin | |
| | | color=2 | |
| | | inc rn_a1 | |
| | | if rn_a1=4 then | |
| | | rn_a=0 | |
| | | rn_a1=0 | |
| | | end | |
| | | if rn_a=5 then | |
| | | begin | |

```

color=3
inc rn_a1
if rn_a=5 then
rn_a=0
rn_a1=0
end

if rn_r=6 then
begin
color=3
inc rn_r1
if rn_r1=6 then
rn_r=0
rn_r1=0
end

Lote_RN          B_explot1          FIRST 1          1
  Lote_RN          B_explot1          create (rollos_lote) as
rollo

Lote_RN          EXIT          FIRST 1 //si no pongo          1
explots no se puede hacer la politica del 40%

// tampoco se puede extruir ni nada
rollo          B_explot1          if lotex<>0 then
{
inc Pepal
if Pepal<rollos_lote then
begin
pesorollo=100
end
else
begin
pesorollo=lotex
Pepal=0
end
}          1

rollo          pre_ext1          FIRST 1
wip_rn=wip_rn+pesorollo

rollo          pre_ext1          writeline cod_lote_ext1,
cod_lote          writeline tipo_lote_ext1,
tipo_lote

```

```

hora_entrada_ext1, clock(min)          writeline
rollo          TODOS                    FIRST 1                                1

Lote_RI      Bodega2
Lote_RI      color_2
Lote_RI      color_2                    FIRST 1                                1
if ri_v=1 then
begin
color=1
ri_v=0
end

if ri_v=2 then
begin
color=1
inc ri_v1
if ri_v1=2 then
ri_v=0
ri_v1=0
end

if ri_v=3 then
begin
inc ri_v1
color=1
if ri_v1=3 then
ri_v=0
ri_v1=0
end

if ri_a=4 then
begin
inc ri_a1
color=2
if ri_a1=4 then
ri_a=0
ri_a1=0
end

if ri_a=5 then
begin
inc ri_a1
color=2
if ri_a1=5 then
ri_a=0
ri_a1=0
end

```

```

if ri_r=6 then
begin
inc ri_r1
color=3
if ri_r1=6 then
ri_r=0
ri_r1=0
end

if ri_r=7 then
begin
inc ri_r1
color=3
if ri_r1=7 then
ri_r=0
ri_r1=0
end

Lote_RI      B_explot2          FIRST 1
Lote_RI      B_explot2          create (rollos_lote) as
rollo

Lote_RI      EXIT              FIRST 1
rollo        B_explot2          if lotex<>0 then
{
inc Pepa2
if Pepa2<rollos_lote then
begin
pesorollo=100
end
else
begin
pesorollo=lotex
Pepa2=0
end
}

rollo        pre_ext2          FIRST 1
wip_ri=wip_ri+pesorollo
rollo        pre_ext2          writeline cod_lote_ext2,
cod_lote                                           writeline tipo_lote_ext2,
tipo_lote                                           writeline
hora_entrada_ext2, clock(min)

rollo        TODOS             FIRST 1
Lote_FN      Bodega3

```

```
Lote_FN      color_3
Lote_FN      color_3
```

```
FIRST 1
if fn_v=1 then
begin
color=1
fn_v=0
end
```

```
if fn_v=2 then
begin
inc fn_v1
color=1
if fn_v1=2 then
fn_v=0
fn_v1=0
end
```

```
if fn_v=3 then
begin
inc fn_v1
color=1
if fn_v1=3 then
fn_v=0
fn_v1=0
end
```

```
if fn_a=4 then
begin
inc fn_a1
color=2
if fn_a1=4 then
fn_a=0
fn_a1=0
end
```

```
if fn_a=5 then
begin
inc fn_a1
color=2
if fn_a1=5 then
fn_a=0
fn_a1=0
end
```

```
if fn_r=6 then
begin
inc fn_r1
color=3
if fn_r1=6 then
fn_r=0
```

```

fn_r1=0
end

if fn_r=7 then
begin
inc fn_r1
color=3
if fn_r1=7 then
fn_r=0
fn_r1=0
end

Lote_FN      B_explot3      FIRST 1
Lote_FN      B_explot3      create (rollos_lote) as
rollo

Lote_FN      EXIT          FIRST 1
rollo        B_explot3     if lotex<>0 then
{
inc Pepa3
if Pepa3<rollos_lote then
begin
pesorollo=100
end
else
begin
pesorollo=lotex
Pepa3=0
end
}

rollo        pre_ext3      FIRST 1
wip_fn=wip_fn+pesorollo
rollo        pre_ext3     writeline cod_lote_ext3,
cod_lote     writeline tipo_lote_ext3,
tipo_lote   writeline
hora_entrada_ext3, clock(min)

rollo        TODOS        FIRST 1
Lote_FI      Bodega4      FIRST 1
Lote_FI      color_4      FIRST 1
Lote_FI      color_4      if fi_v=1 then
begin
color=1
fi_v=0
end

if fi_v=2 then

```

```
begin
color=1
inc fi_v1
if fi_v1=2 then
fi_v=0
fi_v1=0
end
```

```
if fi_v=3 then
begin
inc fi_v1
color=1
if fi_v1=3 then
fi_v=0
fi_v1=0
end
```

```
if fi_v=4 then
begin
inc fi_v1
color=1
if fn_v1=4 then
fi_v=0
fi_v1=0
end
```

```
if fi_a=5 then
begin
inc fi_a1
color=2
if fi_a1=5 then
fi_a=0
fi_a1=0
end
```

```
if fi_a=6 then
begin
inc fi_a1
color=2
if fi_a1=6 then
fi_a=0
fi_a1=0
end
```

```
if fn_a=7 then
begin
inc fn_a1
color=2
if fi_a1=7 then
fi_a=0
fi_a1=0
```

```

end

if fi_r=8 then
begin
inc fi_r1
color=3
if fi_r1=8 then
fi_r=0
fi_r1=0
end

if fi_r=9 then
begin
inc fi_r1
color=3
if fi_r1=9 then
fi_r=0
fi_r1=0
end

if fi_r=10 then
begin
inc fi_r1
color=3
if fi_r1=10 then
fi_r=0
fi_r1=0
end
1
Lote_FI      B_explot4
Lote_FI      B_explot4
rollo
FIRST 1
create (rollos_lote) as
1

Lote_FI      EXIT
rollo        B_explot4
FIRST 1
if lotex<>0 then
{
inc Pepa4
if Pepa4<rollos_lote then
begin
pesorollo=100
end
else
begin
pesorollo=lotex
Pepa4=0
end
}
1

rollo        pre_ext4
wip_fi=wip_fi+pesorollo
FIRST 1

rollo        pre_ext4
cod_lote     writeline cod_lote_preext4,

```

```

tipo_lote_preext4, tipo_lote          writeline
hora_entrada_preext4, clock(min)      writeline
                                     1
rollo      TODOS                      FIRST 1
  rollo      TODOS                    writeline cod_lote_preext4,
cod_lote
                                     writeline
tipo_lote_preext4, tipo_lote          writeline
hora_entrada_preext4, clock(min)
                                     wait 1/(color*100)
                                     1
rollo      WIP_ext1                   FIRST 1
rollo      WIP_ext2                   FIRST
rollo      WIP_ext3                   FIRST
  rollo      WIP_ext1                 inc wip_sistema
                                     inc wip_extrusoras
                                     1
rollo      Ext1                       FIRST 1
  rollo      WIP_ext2                 inc wip_sistema
                                     inc wip_extrusoras
                                     1
rollo      Ext2                       FIRST 1
  rollo      WIP_ext3                 inc wip_sistema
                                     inc wip_extrusoras
                                     1
rollo      Ext3                       FIRST 1
  rollo      Ext1                     wait (pesorollo/1.58)
                                     if tipo_lote=1 then route 1
                                     else if tipo_lote=3 then
route 2
                                     else if tipo_lote=2 or
tipo_lote=4 then route 3

```

```

                                                                    1
rollo          Bodega_RN          FIRST 1  dec wip_extrusoras
writeline hora_salida_ext1,clock(min)
writeline cod_lote_salida_ext1, cod_lote
writeline tipo_lote_salida_ext1, tipo_lote
```

```

                                                                    2
rollo          Wip_cort            FIRST 1  dec wip_extrusoras
writeline hora_salida_ext1,clock(min)
writeline cod_lote_salida_ext1, cod_lote
writeline tipo_lote_salida_ext1, tipo_lote
```

```

                                                                    3
rollo          Espera_imp          FIRST 1  dec wip_extrusoras
writeline hora_salida_ext1,clock(min)
writeline cod_lote_salida_ext1, cod_lote
writeline tipo_lote_salida_ext1, tipo_lote
```

```

rollo          Ext2                wait (pesorollo/1.67)
                                                                    if tipo_lote=1 then route 1
                                                                    else if tipo_lote=3 then
route 2
                                                                    else if tipo_lote=2 or
tipo_lote=4 then route 3
```

```

                                                                    1
rollo          Bodega_RN          FIRST 1  dec wip_extrusoras
writeline hora_salida_ext2,clock(min)
writeline cod_lote_salida_ext2, cod_lote
writeline tipo_lote_salida_ext2, tipo_lote
```

```
                2
rollo          Wip_cort          FIRST 1  dec wip_extrusoras
writeline hora_salida_ext2,clock(min)
writeline cod_lote_salida_ext2, cod_lote
writeline tipo_lote_salida_ext2, tipo_lote
```

```
                3
rollo          Espera_imp        FIRST 1  dec wip_extrusoras
writeline hora_salida_ext2,clock(min)
writeline cod_lote_salida_ext2, cod_lote
writeline tipo_lote_salida_ext2, tipo_lote
```

```
rollo          Ext3              wait (pesorollo/1.75)
                                     if tipo_lote=1 then route 1
                                     else if tipo_lote=3 then
route 2
                                     else if tipo_lote=2 or
tipo_lote=4 then route 3
```

```
                1
rollo          Bodega_RN        FIRST 1  dec wip_extrusoras
writeline hora_salida_ext3,clock(min)
writeline cod_lote_salida_ext3, cod_lote
writeline tipo_lote_salida_ext3, tipo_lote
```

```
                2
rollo          Wip_cort          FIRST 1  dec wip_extrusoras
writeline hora_salida_ext3,clock(min)
writeline cod_lote_salida_ext3, cod_lote
writeline tipo_lote_salida_ext3, tipo_lote
```

```
                3
rollo          Espera_imp        FIRST 1  dec wip_extrusoras
writeline hora_salida_ext3,clock(min)
writeline cod_lote_salida_ext3, cod_lote
```

```

writeline tipo_lote_salida_ext3, tipo_lote

    rollo          Espera_imp          inc wip_impresoras

                                if tipo_lote=2 then
                                inc rollo_imp_ri
                                if tipo_lote=4 then
                                inc rollo_imp_fi

                                wait until controlimp=0
                                1

rollo          Wip_imp          FIRST 1
    rollo          Wip_imp          //display "llego a wip imp
orden" $cod_orden

                                1

rollo          wip_imp_unidad          FIRST 1
    rollo          ficticio1          WAIT UNTIL (bloqueoimp1=0
OR bloqueoimp2=0)

                                BEGIN
                                controlimp=1
                                group contents(ficticio1)

as grupoimp

                                END

    grupoimp          ficticio1          1
grupoimp          Wip_imp          FIRST 1
    grupoimp          Wip_imp          ungroup
    rollo          wip_imp_unidad          begin
                                if bloqueoimp1=1 and
bloqueoimp2=1 and cod_lote<>Cod_Imp1 and cod_lote<>Cod_Imp2 then
route 3

                                else if bloqueoimp1=0 and
bloqueoimp2=1 and cod_lote<>Cod_Imp2 then route 1
                                else if bloqueoimp2=0 and
bloqueoimp1=1 and cod_lote<>Cod_Imp1 then route 2
                                else if cod_lote=Cod_Imp1
and bloqueoimp1=1 then route 1
                                else if cod_lote=Cod_Imp2
and bloqueoimp2=1 then route 2
                                else if bloqueoimp1=0 and
bloqueoimp2=0 then route 1

                                end
                                controlimp=0

                                1

rollo          Wip_imp1          FIRST 1
                                2

rollo          Wip_imp2          FIRST 1

```

```

rollo          ficticio1
rollo          Wip_imp1
orden" $cod_orden

rollo          Imp1
rollo          Wip_imp2
orden" $cod_orden

rollo          Imp2
rollo          Imp1
cod_imp1 $" "$ tipo_lote

cod_lote

tipo_lote

hora_entrada_lote_imp1, clock()

FIRST 1
//display "llego a wip imp1

bloqueoimp1=1
Cod_Imp1=cod_lote
1
FIRST 1 inc wipimp1
//display "llego a wip imp2

bloqueoimp2=1
Cod_Imp2=cod_lote
1
FIRST 1
//display "tipo de lote ",

writeline cod_lote_imp1,
writeline tipo_lote_imp1,
writeline

begin
wait (pesorollo/0.82)
end

if tipo_lote=2 then
inc lot_imp1_ri
if tipo_lote=4 then
inc lot_imp1_fi

if lot_imp1_ri=2 then
begin
bloqueoimp1=0
lot_imp1_ri=0
end

if lot_imp1_fi=2 then
begin
//display "entró a

bloqueoimp1=0
//display "desbloqueo

lot_imp1_fi=0
end
desbloqueo"

imp1", bloqueoimp1

```

```

lot_imp1_fi<>2 then
    if lot_imp1_ri<>2 or
    cod_imp1=cod_lote

    BEGIN
    if tipo_lote=2 then route 1
    else if tipo_lote=4 then

route 2
    END

    rollo          Bodega_RI          FIRST 1  dec wip_impresoras          1

writeline hora_salida_lote_imp1, clock()

    rollo          Wip_cort          FIRST 1  dec wip_impresoras          2

writeline hora_salida_lote_imp1, clock()
    rollo          Imp2          //display "tipo de lote ",
cod_imp1 $" "$ tipo_lote

cod_lote          writeline cod_lote_imp2,
tipo_lote        writeline tipo_lote_imp2,
hora_entrada_lote_imp2, clock()          writeline

begin
wait (pesorollo/0.82)
end

if tipo_lote=2 then
inc lot_imp2_ri
if tipo_lote=4 then
inc lot_imp2_fi

if lot_imp2_ri=2 then
begin
bloqueoimp2=0
lot_imp2_ri=0
end

```

```

desbloqueo"
imp2", bloqueoimp2
lot_imp2_fi<>2 then
route 2
rollo          Bodega_RI
writeline hora_salida_lote_imp2, clock()
rollo          Wip_cort
writeline hora_salida_lote_imp2, clock()
  rollo          Wip_cort
  if tipo_lote=3 then
  inc rollo_cort_FN
  if tipo_lote=4 then
  inc rollo_cort_FI
  inc wip_cortadora
  writeline
  writeline
  writeline
hora_entrada_corte,clock(min)
cod_lote_entrada_corte, cod_lote
tipo_lote_entrada_corte, tipo_lote
rollo          Cortadora
FIRST 1

```

```

if lot_imp2_fi=2 then
begin
//display "entró a
bloqueoimp2=0
//display "desbloqueo
lot_imp2_fi=0
end
if lot_imp2_ri<>2 or
cod_imp2=cod_lote
BEGIN
if tipo_lote=2 then route 1
else if tipo_lote=4 then
END

```

```

1
FIRST 1 dec wip_impresoras

```

```

2
FIRST 1 dec wip_impresoras

```

```

1

```

```

FIRST 1

```

```

rollo          Cortadora
//display "corte_peso del
rollo " $pesorollo,$" cod_orden " $cod_orden

begin
wait (pesorollo/1.38)
end

rollo          Espera_sell          1
FIRST 1  dec wip_cortadora

writeline hora_salida_corte,clock(min)

rollo          Espera_sell          if tipo_lote=3 then
inc rollo_sell_FN
if tipo_lote=4 then
inc rollo_sell_FI

inc wip_selladoras

WAIT UNTIL controlsell=0
1

rollo          Wip_sell          FIRST 1
rollo          Wip_sell          1
rollo          wip_sell_unidad    FIRST 1
rollo          ficticio2          WAIT UNTIL (bloqueosella1=0
OR bloqueosella2=0)

BEGIN
controlsell=1
group contents(ficticio2)

as gruposellado

gruposellado ficticio2          1
gruposellado Wip_sell          FIRST 1
gruposellado Wip_sell          ungroup
rollo          wip_sell_unidad    begin
if bloqueosella1=1 and
bloqueosella2=1 and cod_lote<>cod_sell1 and cod_lote<>cod_sell2
then route 3
else if bloqueosella1=0 and
bloqueosella2=1 and cod_lote<>cod_sell2 then route 1
else if bloqueosella2=0 and
bloqueosella1=1 and cod_lote<>cod_sell1 then route 2
else if cod_lote=cod_sell1
and bloqueosella1=1 then route 1
else if cod_lote=cod_sell2
and bloqueosella2=1 then route 2
else if bloqueosella1=0 and
bloqueosella2=0 then route 1

```

```

end
controlsell=0
1
rollo      Wip_sella1      FIRST 1      2
rollo      Wip_sella2      FIRST 1      3
rollo      ficticio2      FIRST 1
rollo      Wip_sella1      bloqueosella1=1
                                   Cod_sell1=cod_lote      1
rollo      Selladora1      FIRST 1
rollo      Wip_sella2      bloqueosella2=1
                                   Cod_sell2=cod_lote      1
rollo      Selladora2      FIRST 1
rollo      Selladora1      //display "tipo de lote ",
cod_imp1 $" "$ tipo_lote

cod_lote      writeline cod_lote_sell1,
tipo_lote      writeline tipo_lote_sell1,
hora_entrada_lote_sell1, clock()      writeline

begin
wait (pesorollo/1.33)
end

if tipo_lote=3 then
inc lot_sell1_fn
if tipo_lote=4 then
inc lot_sell1_fi

if lot_sell1_fn=2 then
begin
bloqueosella1=0
lot_sell1_fn=0
end

if lot_sell1_fi=2 then
begin
//display "entró a
desbloqueo"

bloqueosella1=0
//display "desbloqueo
sellal", bloqueosella1

lot_sell1_fi=0
end

```

```

lot_sell2_fi<>2 then
    if lot_sell1_fn<>2 or
    cod_sell1=cod_lote

    BEGIN
    if tipo_lote=3 then route 1
    else if tipo_lote=4 then

    route 2
    END

    rollo          Bodega_FN          FIRST 1  dec wip_selladoras          1

    writeline hora_salida_lote_sell1, clock()

    rollo          Bodega_FI          FIRST 1  dec wip_selladoras          2

    writeline hora_salida_lote_sell1, clock()
    rollo          Selladora2          //display "tipo de lote ",
    cod_imp1 $" "$ tipo_lote

    cod_lote
    tipo_lote
    hora_entrada_lote_sell2, clock()

    writeline cod_lote_sell2,
    writeline tipo_lote_sell2,
    writeline

    begin
    wait (pesorollo/1.33)
    end

    if tipo_lote=3 then
    inc lot_sell2_fn
    if tipo_lote=4 then
    inc lot_sell2_fi

    if lot_sell2_fn=2 then
    begin
    bloqueosella2=0
    lot_sell2_fn=0
    end

    if lot_sell2_fi=2 then
    begin
    //display "entró a

    desbloqueo"
    bloqueosella2=0

```



```

                                inv_FN=inv_FN+pesorollo

                                1
rollo          BPT          FIRST 1  Dec Wip_Sistema
writeline wipsistema, wip_sistema

inc rollos
  rollo          Bodega_FI          inc rollos_FI
                                wip_fi=wip_fi-pesorollo
                                inv_FI=inv_FI+pesorollo

                                1
rollo          BPT          FIRST 1  Dec Wip_Sistema

inc rollos

writeline wipsistema, wip_sistema
  rollo          BPT          writeline cod_lote_bpt,
cod_lote          writeline tipo_lote_bpt,
tipo_lote          writeline hora_entrada_bpt,
clock(min)

                                writeline cod_lote_output,
                                writeline tipo_lote_output,
                                writeline

cod_lote

tipo_lote

hora_salida_output, clock(min)

                                1
rollo          EXIT          FIRST 1

```

BIBLIOGRAFÍA

1. Roche, I. M. (2005). REALIDADES Y EXPECTATIVAS DE LAS PYMES ECUATORIANAS ANTE EL TLC. Guayaquil.
2. Barrera, M. (2001). Situación y Desempeño de las PYMES de Ecuador en el Mercado Internacional. Quito.
3. HOPP, W. J.-S. (1994). Factory Physics: Foundation of Manufacturing Management (Tercera ed.). New York.
4. Mbaya, M. (2000). The constraints and limitations of Manufacturing Resource Planning as a tool for shop floor control. Massachussets.
5. Im, P. J. (1989). How does kanban work in American companies? New Orleans.

6. Lane, G. (2007). MADE TO ORDER LEAN, EXCELLING IN A HIGH-MIX, LOW VOLUME ENVIROMENT. New York.

7. Flores, A. -B. (1 de Febrero de 2008). GestipoPolis. Recuperado el 25 de Octubre de 2009, de Sistema Kanban: <http://www.gestiopolis.com/administracion-estrategia/sistemas-de-operaciones-kanban.htm>

8. Lefcovich, D. M. (10 de Abril de 2006). WikiLearning. Recuperado el 25 de Octubre de 2009, de El Just In Time - Reglas Kanban: http://www.wikilearning.com/monografia/el_just_in_time-reglas_kanban/11255-20

9. Taubert, E. S.-W. (1992). SISTEMAS DE PRODUCCIÓN E INVENTARIO. PLANEACIÓN Y CONTROL. EDITORIAL LIMUSA.

10. Promodel Corporation (2006). User Guide Version 7.

11. Chase-Jacobs-Aquilano. Administración de la Producción y Operaciones para una ventaja competitiva.

12. Lee, C. Y. (1992). A Recent Development of the Integrated Manufacturing System: A Hybrid of MRP and JIT. Pittsburg, USA: Pittsburg State University.

13. WANG, D. a.-G. (1997). Hybrid push pull production control strategy simulation and its applications.