



Universidad Politécnica
de Madrid

**Escuela Técnica Superior de
Ingenieros Informáticos**



Grado en Administración y Dirección de Empresas

Trabajo Fin de Grado

**Modelización y Mejora de Procesos de
Producción Industrial Mediante
FlexSim y Power BI: Aplicación a una
Empresa Real**

Autor: Óscar Javier Prieto Martínez
Tutor: Jorge Pablo Díaz Velilla

Madrid, Mayo - 2023

Este Trabajo Fin de Grado se ha depositado en la ETSI Informáticos de la Universidad Politécnica de Madrid para su defensa.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Administración y Dirección de Empresas

Título: Modelización y Mejora de Procesos de Producción Industrial Mediante FlexSim y Power BI: Aplicación a una Empresa Real

Mayo - 2023

Autor: Óscar Javier Prieto Martínez

Tutor: Jorge Pablo Díaz Vellilla

*Ingeniería de Organización, Administración de Empresas y Estadística
ETSI Informáticos*

Universidad Politécnica de Madrid

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Motivación y necesidad del proyecto	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Planificación	3
1.4. Estructura de la memoria	4
2. Alcance del proyecto	5
3. Contexto del proyecto	6
3.1. Protección de marca	6
3.2. Trazabilidad	8
3.3. Tipos de impresión	9
3.4. Niveles de seguridad de elementos impresos	11
3.5. El producto: etiqueta de nanopartículas y trazabilidad	13
4. Tecnologías empleadas	15
4.1. FlexSim	15
4.2. Rhinoceros	17
4.3. Draw.io	17
4.4. Microsoft Excel	18
4.5. Microsoft Power BI	18
5. Desarrollo de la propuesta	19
5.1. Proceso actual	19
5.1.1. Modelización en FlexSim	23
5.1.2. Simulación del proceso	27
5.1.3. Análisis comparativo entre datos reales y datos simulados	29
5.2. Análisis y propuesta de mejora	30
5.2.1. Identificación de cuellos de botella	30
5.2.2. Cambio de modelo de producción	30
5.2.3. Cambio de modelo de consumo de pliego a rollo	32
5.3. Proceso mejorado 1: Ink-Jet y escaneado en bobina	34
5.3.1. Presupuesto	36
5.3.2. Modelización en FlexSim	38
5.3.3. Simulación del proceso	41
5.4. Proceso mejorado 2: láser y escaneado en rollo	44

5.4.1. Presupuesto	44
5.4.2. Modelización en FlexSim	47
5.4.3. Simulación del proceso	50
5.5. Proceso mejorado 3: subcontratación	52
5.5.1. Presupuesto	54
5.5.2. Modelización en FlexSim	54
5.5.3. Simulación en FlexSim	56
5.6. Cálculo del coste de fabricación	58
5.6.1. Proceso actual	58
5.6.2. Proceso mejorado 1	64
5.6.3. Proceso mejorado 2	64
5.6.4. Proceso mejorado 3	72
6. Evaluación	74
6.1. Comparativa de los distintos procesos	74
6.2. Estudio de viabilidad económica y opciones de financiación	82
7. Conclusiones	90
8. Impacto del trabajo	92
Bibliografía	94
A. Modelos 3D	97

Índice de Figuras

1.1	Diagrama de Gantt	3
3.1	Cifra delitos del mercado farmacéutico mundial [8]	7
3.2	Evolución de la trazabilidad con Blockchain por sectores [14]	9
3.3	Diagrama de impresión offset [17]	10
3.4	Diagrama de impresión láser [20]	11
3.5	Niveles de seguridad en la impresión [21]	12
3.6	Etiqueta con nanopartículas y trazabilidad	14
4.1	Ejemplo de objetos en FlexSim	16
4.2	Comparación herramientas de <i>Business Intelligence</i> [29]	18
5.1	Diagrama de fabricación del proceso actual - subproceso 1	21
5.2	Diagrama de fabricación del proceso actual - subprocesos 2 y 3	22
5.3	Diálogo de creación del modelo	23
5.4	Diálogo de ajuste de la jornada de simulación	24
5.5	Modelo FlexSim proceso actual - subproceso 1	24
5.6	Modelo FlexSim proceso actual - subproceso 2	26
5.7	Modelo FlexSim proceso actual - subproceso 3	26
5.8	Modelo FlexSim proceso actual	27
5.9	Resultados de la simulación del proceso actual	28
5.10	Comparación de datos sintéticos y reales del proceso actual	29
5.11	Modelo FlexSim de etiquetado manual y automático	33
5.12	Gráficos comparativos entre el etiquetado manual y el automático	33
5.13	Diagrama de fabricación del proceso mejorado 1 - subproceso 1	35
5.14	Diagrama de fabricación del proceso mejorado 1 - subproceso 2	36
5.15	Modelo FlexSim proceso mejorado 1 - máquinas restantes	39
5.16	Modelo FlexSim proceso mejorado 1 - subproceso 1	39
5.17	Modelo FlexSim proceso mejorado 1 - subproceso 2	40
5.18	Modelo FlexSim proceso mejorado 1	41
5.19	Simulación FlexSim proceso mejorado 1	41
5.20	Resultados de la simulación del proceso mejorado 1	43
5.21	Diagrama de fabricación del proceso mejorado 2 - subprocesos 1 y 2	45
5.22	Diagrama de fabricación del proceso mejorado 2 - subproceso 3	46
5.23	Modelo FlexSim proceso mejorado 2 - subproceso 1	47
5.24	Modelo FlexSim proceso mejorado 2 - subproceso 2	48
5.25	Modelo FlexSim proceso mejorado 2 - subproceso 3	49

5.26	Modelo FlexSim proceso mejorado 2	49
5.27	Simulación FlexSim proceso mejorado 2	50
5.28	Resultados de la simulación del proceso mejorado 2	51
5.29	Diagrama de fabricación del proceso mejorado 3	53
5.30	Modelo FlexSim proceso mejorado 3 - impresión en rotativa	54
5.31	Modelo FlexSim proceso mejorado 3 - paletización	55
5.32	Modelo FlexSim proceso mejorado 3	55
5.33	Simulación FlexSim proceso mejorado 3	56
5.34	Resultados de la simulación del proceso mejorado 3	57
6.1	Dashboard análisis de inversión, coste y tiempo	74
6.2	Calculadora costes de fabricación	75
6.3	Selección de procesos	75
6.4	Destacar un proceso	76
6.5	Obtención de datos numéricos de las gráficas	76
6.6	Dashboard análisis cualitativo y cuantitativo con datos sintéticos .	77
6.7	Detalle análisis cualitativo	78
6.8	Previsión de la demanda. Método de alisado exponencial doble . .	83
6.9	VAN sobre el tipo de descuento (incrementos de 2,5 %)	85
6.10	Análisis de sensibilidad del PRCao	86
6.11	Análisis de sensibilidad del VANo	87
6.12	Análisis de sensibilidad del TIRO	87
6.13	Análisis equivalentes certeza ALFAo	88
6.14	Comparación de sensibilidad entre fondos propios y financiación .	89
A.1	Modelo 3D desbobinadora	97
A.2	Modelo 3D cuerpo de impresión	98
A.3	Modelo 3D troqueladora	98
A.4	Modelo 3D cortadora de pliegos	99
A.5	Modelo 3D salida de pliegos	99
A.6	Modelo 3D equipo de impresión láser en pliego	100
A.7	Modelo 3D alimentador/recolector de pliegos	100
A.8	Modelo 3D escáner plano de pliegos	101
A.9	Modelo 3D cubo de descarte de errores	102
A.10	Modelo 3D mesa de trabajo de etiquetado	102
A.11	Modelo 3D etiquetadora automática	103
A.12	Modelo 3D rebobinadora	103
A.13	Modelo 3D escáner en rotativa	104
A.14	Modelo 3D impresión dato variable en InkJet Rotativa	104
A.15	Modelo 3D cortadora de bobina a pliego	105
A.16	Modelo 3D desbobinadora para rollo	105
A.17	Modelo 3D impresión dato variable en rollo	106
A.18	Modelo 3D captura imágenes en rollo	106
A.19	Modelo 3D rebobinadora para rollo	107

Índice de Tablas

3.1	Precio medicamentos en diferentes mercados de la UE [12]	8
5.1	Presupuesto escáner montado en rotativa	37
5.2	Presupuesto cortadora de bobina a rollo	37
5.3	Presupuesto impresión dato variable montado en rotativa	38
5.4	Presupuesto proceso mejorado 2	46
5.5	Presupuesto proceso mejorado 3	54
5.6	Cálculo coste hora. Proceso actual - subproceso 1	59
5.7	Cálculo coste hora. Proceso actual - subproceso 2	60
5.8	Cálculo coste hora. Proceso actual - subproceso 3	61
5.9	Presupuesto proceso actual - acabado y preimpresión	61
5.10	Presupuesto proceso actual - papel	62
5.11	Presupuesto proceso actual - coste hora por subproceso	62
5.12	Presupuesto proceso actual - cálculo	63
5.13	Cálculo coste hora. Proceso mejorado 1 - rotativa en bobina	65
5.14	Cálculo coste hora. Cortadora bobina a rollo	66
5.15	Presupuesto proceso mejorado 1 - coste hora por subproceso	66
5.16	Presupuesto proceso mejorado 1 - cálculo	67
5.17	Cálculo coste hora. Proceso mejorado 2 - subproceso 2	68
5.18	Cálculo coste hora. Proceso mejorado 2 - subproceso 3	69
5.19	Presupuesto proceso mejorado 2 - coste hora por subproceso	70
5.20	Presupuesto proceso mejorado 2 - cálculo	71
5.21	Presupuesto proceso mejorado 3 - coste hora por subproceso	72
5.22	Presupuesto proceso mejorado 3 - cálculo	73
6.1	Información cualitativa sobre los procesos de impresión	77
6.2	Valoraciones ponderadas de inversión	79
6.3	Valoraciones ponderadas de coste	79
6.4	Valoraciones ponderadas de calidad	80
6.5	Valoraciones ponderadas de cualidades	80
6.6	Matriz de decisión total	80
6.7	Previsión de la demanda. Método de alisado exponencial doble	82
6.8	Resumen de ingresos, gastos e inversión	84
6.9	Flujo de caja operativo y tasas de rentabilidad	84
6.10	Periodo de recuperación y retorno de la inversión	85
6.11	Periodo de recuperación, valor actual neto y tasa interna de retorno	85
6.12	Escenarios para cálculo de la sensibilidad	86

6.13 Comparación de estadísticos entre fondos propios y financiación . 89

Índice de Listados de Código

5.1. Simulación de pérdida en la transformación de bobina a pliego . . .	25
--	----

Resumen

Este Trabajo de Fin de Grado presenta un análisis, una consultoría y una mejora de procesos industriales utilizando herramientas de análisis y simulación. Para ello, se analizan dos áreas principales, la producción industrial y el análisis económico de estos procesos.

Primeramente, se muestra el contexto en el que se está realizando este proyecto, explicando el producto en cuestión y los problemas que soluciona. El producto son etiquetas inclinables con tinta de nanopartículas con el que se consigue paliar los efectos de las falsificaciones, los mercados paralelos y tener una trazabilidad de todo el ciclo de vida del activo. Posteriormente, se analizan las tecnologías y herramientas utilizadas durante el trabajo.

Una vez conocido el proceso actual que se sigue en la empresa, se modeliza en FlexSim para poder realizar una simulación y obtener estadísticos descriptivos importantes. Además, se comparan los datos sintéticos con los datos reales, validando la simulación. Con estos datos validados se realiza un análisis identificando fallos y cuellos de botella, para poder plantear cambios tanto en el modelo de producción como en el modelo de consumo.

Se han obtenido tres procesos mejorados, los cuales han sido analizados, modelizados y simulados igual que el anterior, obteniendo datos significativos tanto financieros como analíticos. Realizando todo este proceso según los estándares y cualidades de la empresa.

Finalmente, se han analizado todos estos procesos en su conjunto y se ha tomado una decisión de inversión y mejora que, junto a un análisis de viabilidad económica, contiene todas las claves para que se pueda tomar una decisión final del rumbo a seguir.

Palabras Clave: producción, simulación, análisis, consultoría, inclinabilidad

Abstract

This Final Degree Project provides an analysis, consulting and improvement of industrial processes using analysis and simulation methods. To this end, two main areas are analysed, industrial production and the economic analysis of these processes.

Firstly, the context in which this project is being carried out is described, explaining the product and the problems it solves. This product consists of incloneable labels with nanoparticle ink to mitigate the effects of counterfeiting, parallel markets and traceability of the entire life cycle of the asset. Subsequently, the technologies and tools used during the work are analysed.

Once the current process followed in the company is known, it is modelled in FlexSim in order to carry out a simulation and obtain important descriptive statistics. In addition, the synthetic data is compared with the real data, validating the simulation. With this validated data, an analysis is carried out to identify failures and bottlenecks, in order to be able to propose changes in both the production model and the consumption model.

Three improved processes have been obtained, analysed, modelled and simulated in the same way as the previous one, obtaining significant financial and analytical data. All this process has been carried out according to the standards and qualities of the company.

Finally, all these processes have been analysed as a whole and a decision for investment and improvement has been made, which, together with an economic viability analysis, contains all the keys for a final decision to be taken on the course to follow.

Keywords: production, simulation, analysis, consulting, incloneability

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo, como introducción de este Trabajo de Fin de Grado (TFG), se presentan los motivos que impulsan la realización del proyecto y la necesidad que se busca solucionar. Se explican los objetivos, tanto el objetivo principal como los específicos más concretos. Asimismo, se muestra la planificación temporal y se detalla la estructura de la memoria, la cual se organiza en varios capítulos en los que se profundiza en cada una de las etapas del proyecto. De este modo, se busca proporcionar una visión general y completa del proyecto, sentando las bases de este.

1.1. Motivación y necesidad del proyecto

Este TFG surge de la necesidad de mejorar un proceso de fabricación industrial con el objetivo de optimizarlo y adaptarlo a las necesidades del negocio, aspecto para el cual es fundamental analizar y comprender el proceso actual de la empresa para poder identificar las áreas de mejora y proponer soluciones eficaces. Y gracias a la confianza y buena relación con la empresa, las conclusiones obtenidas a partir del análisis de este proceso serán utilizadas para la toma de decisiones en las diferentes líneas de producción y en la inversión en diferentes recursos.

Este proyecto también se realiza para ampliar el conocimiento general de la industria, proporcionando un ejemplo de simulación y análisis de procesos. De este modo se estandariza la incorporación de nuevos procesos y herramientas en la empresa, utilizando las técnicas y aplicaciones mostradas en este proyecto, como FlexSim y Power BI, como punto de partida para la futura mejora continua de esta área, donde se plantea que adopte tecnologías vanguardistas como el análisis de datos masivos o la inteligencia artificial.

Y como se puede deducir del artículo de Sonja Angerer [1], todas las industrias, incluida la de la impresión, se tienen que adaptar a estas tecnologías. No solo para obtener más beneficios, crear un mejor producto y optimizar la producción, sino también para hacerlo de una manera más respetuosa con el medio ambiente.

En resumen, se pretende ayudar a la empresa a adaptarse a esta nueva era más tecnológica, así como a poder liderar el cambio y ser un referente en la industria.

1.2. Objetivos

El objetivo principal del trabajo es realizar **un análisis, una consultoría y una mejora de procesos industriales** dentro de una empresa real con tecnología avanzada. Para alcanzar este objetivo principal se proponen una serie de objetivos específicos:

- **Modelización del proceso actual de una empresa real:** llevar a cabo una investigación detallada del proceso actual de la empresa y crear un modelo detallado representando una imagen fiel de la realidad.
- **Simulación del proceso actual en FlexSim y obtención de resultados:** utilizando el modelo creado, simular el proceso en FlexSim y recopilar datos sobre el proceso, calculando y obteniendo una serie de indicadores asociados.
- **Cotejo de los resultados reales con resultados sintéticos:** utilizando los datos recopilados en la simulación, contrastarlos con los datos reales de la empresa para evaluar la precisión del modelo.
- **Proposición de mejoras para un nuevo modelizado de proceso:** a partir de los datos, tanto sintéticos como reales, identificar áreas de mejora en el proceso actual y proponer soluciones para su optimización.
- **Simulación del proceso mejorado en FlexSim y obtención de resultados:** crear nuevos modelos para los procesos mejorados y llevar a cabo simulaciones para determinar su rendimiento, con el fin de poder compararlo.
- **Comparación del proceso actual y el proceso mejorado:** examinar los resultados obtenidos en la simulación del proceso actual y el proceso mejorado para valorar la eficacia de las mejoras implementadas.
- **Procesado de datos con Power BI:** analizar datos mediante la herramienta de análisis de datos Power BI, procesando y visualizando los resultados obtenidos en la simulación, de manera que se puedan identificar patrones y tendencias en la ejecución del proceso.
- **Interpretación de resultados e inferencia conclusiones:** evaluando los datos procesados con Power BI, interpretar y evaluar los resultados, extrayendo conclusiones sobre el rendimiento del proceso actual y del proceso mejorado.
- **Realización de una consultoría a la empresa:** facilitar la toma de decisiones dentro de la empresa con el resultado de la simulación y el análisis, mejorando así el proceso productivo.

1.3. Planificación

Las tareas se pueden dividir en cinco grandes grupos: una formación previa en la materia, un modelado con el proceso actual, un análisis para la mejora del proceso actual, una propuesta del proceso mejorado y la validación y el análisis del impacto y los resultados obtenidos. Además, durante el proceso se realizarán las tareas para desarrollar la memoria escrita y preparar la defensa oral. Esta planificación se puede ver en un Diagrama de Gantt en la Figura 1.1.

Formación

T1 - Formación en el software a utilizar

T2 - Formación en el proceso actual de la empresa

Proceso actual

T3 - Modelización y simulación del proceso actual

T4 - Procesamiento de los resultados

Análisis del proceso actual y propuesta de mejora

T5 - Análisis de los resultados del proceso actual

T6 - Propuesta de mejora para el proceso actual

Procesos mejorados

T7 - Obtención de diferentes opciones de mejora

T8 - Modelización y simulación del proceso mejorado

Validación y análisis del impacto y resultados obtenidos

T9 - Comparación de los procesos

T10 - Simulación económica a veinticinco años vista

T11 - Análisis de resultados y conclusiones

T12 - Análisis del impacto

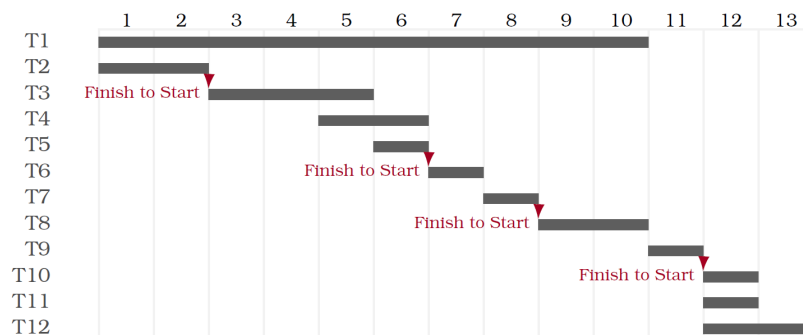


Figura 1.1: Diagrama de Gantt

1.4. Estructura de la memoria

Capítulo 2. Alcance del proyecto

En este capítulo se definirán de manera clara y precisa las áreas que serán analizadas y discutidas, con el fin de evitar desviaciones y asegurar la consecución de los objetivos planteados.

Capítulo 3. Contexto del proyecto

En este capítulo se desarrollará el contexto del proyecto con el fin de tener un conocimiento previo y sentar unas bases para el entendimiento del resto del proyecto y, de esta forma, se explicará la problemática actual.

Capítulo 4. Tecnologías empleadas

En este capítulo se describirán las tecnologías y programas empleados para la consecución del trabajo y se incluirán los elementos adicionales que se creen.

Capítulo 5. Desarrollo de la propuesta

En este capítulo se desarrollará la solución propuesta, incluyendo la descripción del proceso actual, su análisis, sus opciones de mejora y la definición de los procesos mejorados que deriven de este primer análisis.

Capítulo 6. Evaluación

En este capítulo se realizará un análisis comparativo de todos los procesos modelizados, tanto en términos cualitativos como cuantitativos, para evaluar las mejores opciones. Además, se realizará una simulación de un análisis económico y financiero, incluyendo ingresos, costes y amortizaciones a veinticinco años.

Capítulo 7. Conclusiones

En este capítulo se presentarán las conclusiones mapeadas de cada uno de los objetivos iniciales para, de esta forma, poder obtener un resultado final del trabajo. Además, se presentarán las bases para un posible trabajo futuro en el caso en el que se requiera continuar con el proyecto.

Capítulo 8. Impacto del trabajo

En este capítulo se describirá el impacto del proyecto para el entorno general y para la empresa, apoyándose en los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Capítulo 2

Alcance del proyecto

En este capítulo se presenta el alcance del proyecto, definiendo de manera clara y precisa las áreas que serán analizadas y discutidas, con el fin de evitar desviaciones y asegurar la consecución de los objetivos planteados.

La primera área a la que se dirige el trabajo es la relacionada con la dirección de producción y la consultoría de procesos. Se limita únicamente a la definición [2], la modelización y mejora de un sistema productivo, siendo este el proceso en el que una serie de materias primas o elaboradas, denominadas entradas, se transforman aplicando diferentes procedimientos, técnicas y herramientas. El resultado de esta transformación son las salidas o productos finales.

Se pone el foco en los dos subsistemas [3] que tienen que estar presentes y administrados en todo departamento de producción: el técnico y el organizativo. El técnico engloba la parte tangible del sistema de producción, como pueden ser los insumos, los instrumentos, el equipo y los recursos financieros. En cambio, el subsistema organizativo se limita a aspectos más intangibles, como el diseño del proceso, la apariencia final del producto o la utilización y organización de los elementos. En definitiva, se analizarán estos dos subsistemas y la mejor forma de mejorarlos.

Y la segunda área a la que se atenderá será la relacionada con el análisis económico y financiero, con el fin de tomar decisiones basadas en estos datos y, de este modo, poder analizar el coste de los elementos relacionados con el área de producción [4]: amortización de la maquinaria, coste de los materiales, coste de los operarios, coste de almacenaje y consumo energético, entre otros. Así, se modelizará tanto el modelo actual productivo junto con sus costes, como los modelos mejorados y sus diferentes presupuestos. Con el fin de poder tomar las decisiones basadas en datos y en estimaciones pensando en el futuro, además se realizan diferentes análisis y predicciones con un horizonte temporal lejano.

En resumen, se plantea conseguir, orientando el estudio a estas dos áreas, una visión más global de lo que supone este proceso productivo para la empresa y el entorno en términos productivos y en términos económicos.

Capítulo 3

Contexto del proyecto

En este capítulo se desarrolla el contexto del proyecto con el fin de tener un conocimiento previo y sentar unas bases para la comprensión del resto del proyecto. Se explica la problemática actual y las tecnologías para poder solventarla. Finalmente se pasa a explicar el producto en cuestión sobre el que es este trabajo y cuyo proceso productivo es objeto de mejora.

3.1. Protección de marca

La protección de marca [5] es un mecanismo por el cual se puede proteger la propiedad, ya sea física o intelectual, de las empresas. Para que la protección sea eficaz y el productor original tenga herramientas y recursos legales para impedir la copia y la creación de marcas parecidas, la marca tiene que estar protegida, como indica la Oficina Española de Patentes y Marcas [6]. El uso de este recurso no solamente afecta de manera directa en la venta de los productos, y por ende, en los resultados financieros de la empresa, sino también incide en otros aspectos intangibles, como puede ser la pérdida de reputación de la empresa.

Falsificaciones

Un problema que se genera si no se realiza una correcta protección de marca es la falsificación, considerando esta como la reproducción, copia o imitación de un producto original, ya sea en aspecto, forma o contenido. Afecta a todos los sectores de la actividad empresarial: alimentario, farmacéutico, cosmético, textil y complementos, entre otros. Por ejemplo, en el caso de la alimentación o de la farmacia puede suponer incluso un delito contra la salud pública y se necesita una especial vigilancia en estos campos, tal como indica el Consejo General de Colegios Farmacéuticos [7].

Fue en Singapur donde ciento cincuenta personas fueron ingresadas, de las que fallecieron cuatro, después de que tomaran un fármaco supuestamente contra la disfunción eréctil, el cual se demostró que era una falsificación y se les había vendido como verdadero. En cambio, pese a la concienciación sobre el tema en

CIFRA DELITOS DEL MERCADO FARMACÉUTICO MUNDIAL 2011-2020

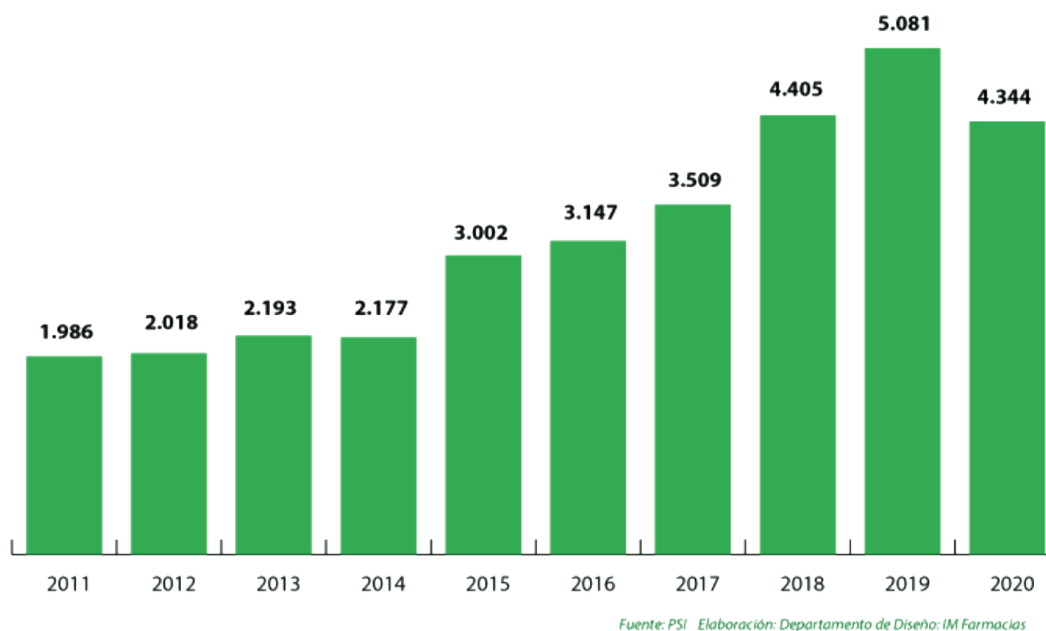


Figura 3.1: Cifra delitos del mercado farmacéutico mundial [8]

los últimos años, este dato no ha hecho más que incrementar, como se puede apreciar en la Figura 3.1.

La tendencia actual ha sido la de que el propio consumidor elige comprar falsificaciones de manera deliberada, considerándolo una compra inteligente [9], y representa casi un cincuenta y dos por ciento de la compra de los jóvenes, según la Oficina de Propiedad Intelectual de la Unión Europea. Esta elección de comprar falsificaciones afecta a otros mercados secundarios como el de segunda mano, con aplicaciones como Wallapop o Ebay [10].

Mercados paralelos

Otro problema presente relacionado con la protección de marca es el de los mercados paralelos, que según la RAE [11] son un 'mercado que no está autorizado, ni por lo tanto regulado, por las autoridades oficiales'. Un ejemplo sería los diferentes precios que existen de un mismo producto en distintos países, ya que son establecidos por las diferentes características del mercado objetivo, como la elasticidad, el poder adquisitivo o la situación política. Esto lleva a los consumidores a dirigirse a este mercado a un precio más reducido, en vez de comprar en el mercado destinado para ellos. Esto supone una pérdida para las empresas y fuerza a no poder establecer precios más competitivos en otros países debido a la existencia de esta práctica.

3.2. Trazabilidad

País	Precio medio (euros)	España = 100 euros	Dólares
Alemania	12,5	214	175
Bélgica	10,3	176	147
España	5,8	100	100
Francia	5,4	92	75
Países Bajos	10,4	178	147
Italia	6,9	118	115
Reino Unido	10,7	183	135

Tabla 3.1: Precio medicamentos en diferentes mercados de la UE [12]

Esto se representan en la tabla 3.1, donde se muestran los diferentes precios en siete países de la Unión Europea y, como se puede apreciar, el precio es muy dispar entre ellos. Esta diferencia de precios accionaría la creación de un mercado paralelo, comprando por ejemplo el producto en Francia a cinco euros y cuarenta céntimos y vendiéndolo en Alemania por más del doble.

3.2. Trazabilidad

La trazabilidad según la Organización Internacional de Estandarización en el estándar ISO 9001 [13] es 'la capacidad de rastrear la historia, aplicación o localización de una entidad', lo que se puede resumir en conseguir información estructurada sobre las fases y procesos asociados con un activo. La trazabilidad presenta un gran número de ventajas en el mercado, tanto para clientes como para empresas.

Para los clientes el principal atributo que aporta es la mayor calidad de los productos finales, pudiéndose conocer todo el proceso de fabricación y suministro. Esto se consigue por medio de una mayor transparencia, confianza y seguridad en la cadena de suministro. Por ende, los clientes valorarán positivamente los productos y procesos que posean esta característica, haciendo al producto más competitivo en el mercado y pudiendo diferenciarse de la competencia.

Asimismo, para la empresa la trazabilidad aporta un gran valor a la misma. Esto es debido a que tiene la capacidad de recoger y procesar información de modo que pueda ser usada para mejorar las ventas y los ingresos, ya que por medio de incentivos la empresa puede habilitar al usuario final para que este pueda seguir trazando el producto una vez se haya realizado la venta. De este modo, se puede conocer la información sobre el cliente, el segmento al que se dirige y se puede nutrir al departamento de marketing de información valiosa y precisa.

Sin embargo, no todo proceso de trazabilidad es válido y este tiene que seguir una serie de características de seguridad para poder ser aceptado. Por ejemplo, para la industria alimentaria existe el requisito por ley de tener un sistema de

Contexto del proyecto

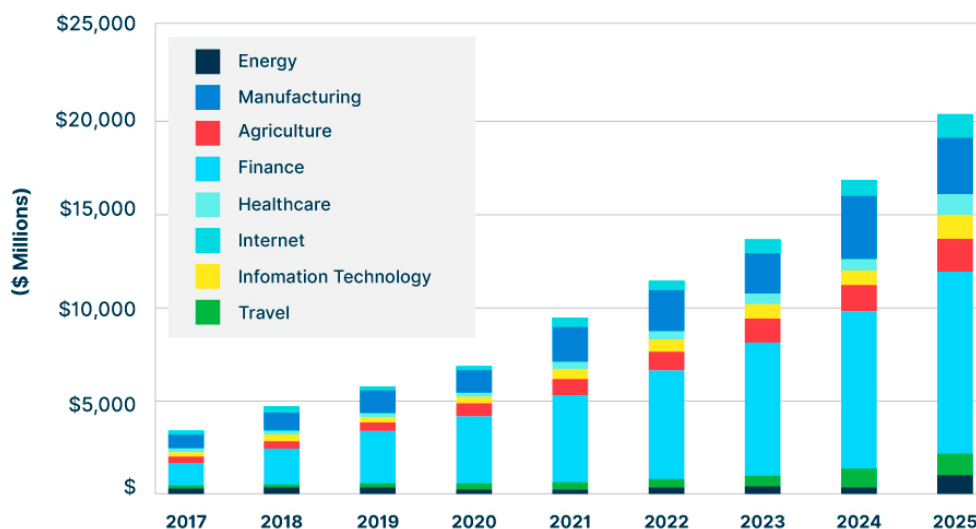


Figura 3.2: Evolución de la trazabilidad con Blockchain por sectores [14]

trazabilidad y calidad en toda la cadena alimentaria, como se recoge en el Reglamento (CE) nº 178/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 28 de enero de 2002, por el que se establecen los principios y los requisitos generales de la legislación alimentaria, se crea la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria y se fijan procedimientos relativos a la seguridad alimentaria [15]. Esto hace que se creen normas que recojan los principios y los requerimientos para estos sistemas, como la ISO 22005 [16].

Un punto diferenciador a la hora de implantar un sistema de trazabilidad es el uso de la tecnología *Blockchain*, la cual permite mantener la integridad. Como se puede apreciar en la Figura 3.2, este mercado va a continuar una tendencia ascendente aportando un gran valor a una elevada cantidad de industrias, llegando a los veinte mil millones de dólares en el año 2025.

3.3. Tipos de impresión

Existen diferentes métodos y técnicas de impresión dependiendo del resultado que se quiere conseguir, de la calidad, del material y de otros factores asociados con el producto y la fabricación. Sintetizando, estas se pueden clasificar en dos grupos principales: la impresión *offset* y la impresión digital.

La impresión en *offset* [18] se caracteriza porque la tinta pasa de manera indirecta al soporte final, utilizando planchas o un sistema de cilindros para realizar la transferencia, como se puede apreciar en la Figura 3.3. Estos medios de impresión se tienen que crear con anterioridad y requieren de un nuevo elemento por cada nuevo modelo que se plantee imprimir. Es por esto mismo que la producción con este tipo de técnica tiene que ser repetitiva y estar muy bien planificada.

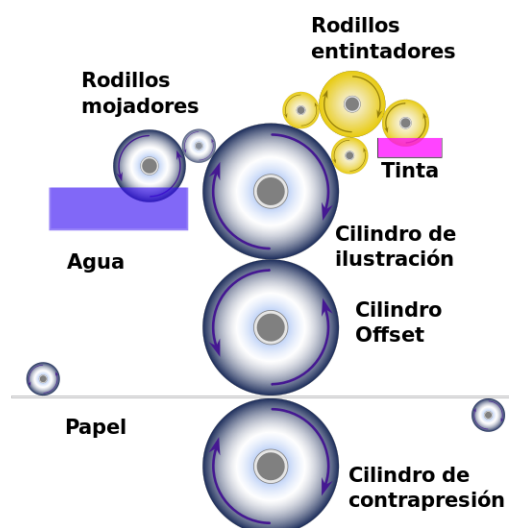


Figura 3.3: Diagrama de impresión offset [17]

Esta técnica funciona mediante el principio de oleofilia o cualidad de repeler materiales grasos como la tinta. Recubriendo una determinada área de la plancha con un material de este tipo de materia hace que otra parte de la misma pueda mantener la tinta y pueda transferirse al soporte final. Existen dos tipos de técnicas con *offset*: el *offset* húmedo y el *offset* seco. El *offset* húmedo es el más utilizado debido a la gran velocidad a la que se puede imprimir con él y a que la plancha de impresión es de sencilla y barata fabricación. Sin embargo, este tipo tiende a consumir más tinta, teniendo que mantener un buen equilibrio entre la tinta y el agua y se necesita de una inspección periódica de los productos terminados para no perder calidad.

En cambio, el *offset* seco destaca en lo que su contrapartida falla, ya que no requiere de agua para su uso y, por lo tanto, no se desperdicia tanta tinta en el agua, reduciendo el gasto en impresiones con tinta de elevado coste, aunque las planchas que se requieren para su fabricación necesitan un proceso de fabricación más costoso que el *offset* húmedo. Y como punto realmente diferenciador, no se requiere de ningún aditivo para su uso, aspecto muy necesario en la impresión de seguridad.

Como contraste al *offset*, existe la impresión digital [19]. Esta permite imprimir cualquier tipo de información sin la necesidad de placas o pasos intermedios, por lo que su transferencia sería directa al soporte deseado, haciendo que el proceso de preparación sea mucho más ágil. Como atributos se podrían destacar la velocidad, la calidad de impresión y el coste total, pero todo esto se ve opuesto por la alta personalización. Esta impresión digital se puede subdividir en dos tipos: inyección de tinta y láser.

La inyección de tinta se caracteriza por el depósito de pequeñas cantidades de tinta sobre el soporte. El cabezal que va soltando la tinta va realizando pasadas sobre el mismo plano y es el soporte el que transita por debajo. Puede emplearse

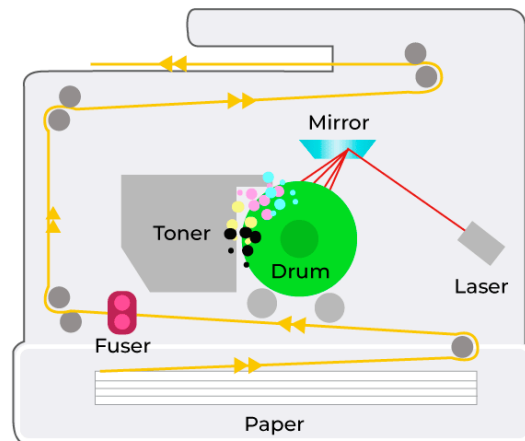


Figura 3.4: Diagrama de impresión láser [20]

de uno a doce colores dependiendo de la calidad del color final, ya que estos se pueden mezclar en el proceso de impresión para crear colores combinados. Además, esta tinta se tiene que secar en donde nos encontramos, con dos alternativas. La primera es un secado lento sobre un material poroso al contacto con el aire, esto hace que la definición se vaya perdiendo ya que esta micro gota se extiende sobre la superficie, dando un resultado con menos resolución. En cambio, con la segunda alternativa que es el secado por rayos ultravioleta, se habilita el que se pueda imprimir sobre otro tipo de materiales y se mejore la resolución.

Finalmente, hay que indicar que la impresión por tecnología láser consta de dos fases. La primera fase consiste en que la información se va grabando en un cilindro llamado tambor, este se carga con electricidad estática, por lo que atrae al tóner magnético. Este tóner con la forma de la imagen se queda adherido al soporte en cuestión. Esto daría paso a la unidad de fusión, una combinación de dos cilindros calientes, que al paso del soporte por esta unidad se fusiona con el tóner, quedando la impresión final, como se puede observar en la Figura 3.4. Este tipo de impresión posee dos ventajas principales, su velocidad y su definición, pero tiene la limitación que es difícil su integración dentro de un proceso en rotativa.

3.4. Niveles de seguridad de elementos impresos

En el contexto de la seguridad de los elementos impresos, existen diferentes niveles de seguridad [21] en función de las características que este tenga. Por lo tanto, es necesario exponerlas y analizarlas, para entender el alcance y el impacto que suponen cada una de ellas.

Como se puede ver en la Figura 3.5 existen cuatro niveles principales de seguridad, diferenciándose unos de otros en las técnicas y conocimientos que se necesitan para la validación de estos. Aunque cabe destacar que esta clasificac-

3.4. Niveles de seguridad de elementos impresos

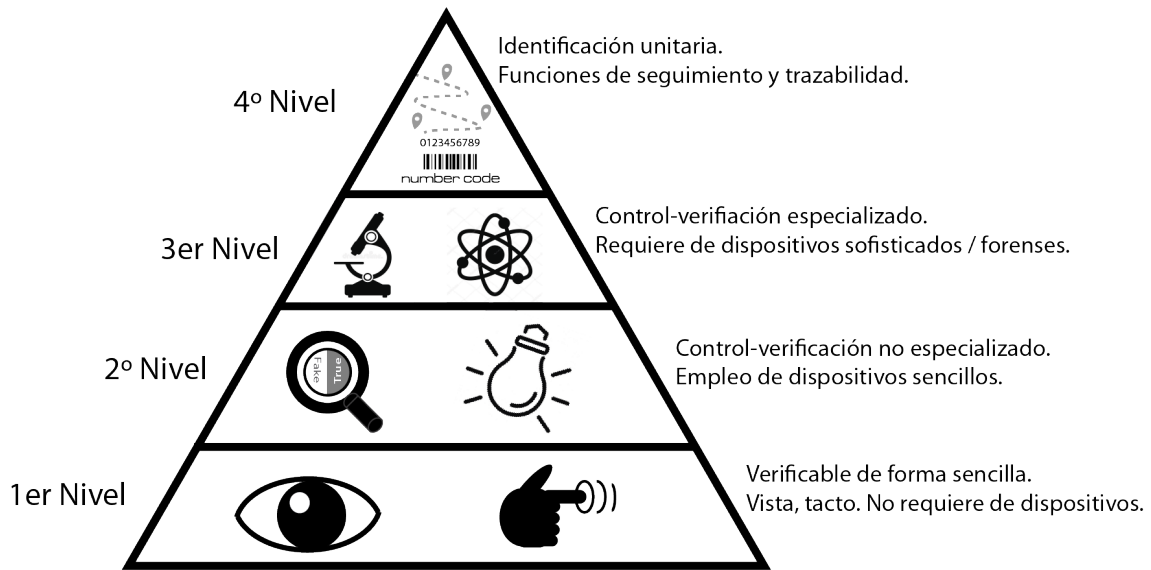


Figura 3.5: Niveles de seguridad en la impresión [21]

ción no constituye una escala que mida el nivel de efectividad de las medidas de seguridad implementadas.

El primer nivel es la seguridad más fundamental, ya que es el que se valida sin la necesidad de herramientas o conocimientos específicos más allá de la utilización de nuestros sentidos. Por lo tanto, no están ocultos y su evaluación puede ser de forma sencilla. Los hologramas, las tintas funcionales, las texturas y los relieves son algunos ejemplos de características de primer nivel.

En el segundo nivel ya existen elementos ocultos a nuestros sentidos y se requiere de otro tipo de herramientas para su verificación. Ejemplos podrían ser el uso de una lupa para reconocer microimpresión, utilizar el trasluz para desvelar una tinta de seguridad o una lámpara ultravioleta para desvelar atributos de seguridad.

El tercer nivel sería en el que se necesita conocimiento y herramientas específicas para poder validar la veracidad. Este tipo de validación puede ser, por ejemplo, el empleo de una cámara a diferentes longitudes de onda para reconocer elementos borrados, el uso de microscopios, la cromatografía o el cotejo por un perito especializado en realizar este tipo de análisis.

Por último, como cuarto nivel de seguridad, otra medida de seguridad que puede implementarse es el uso de la serialización de datos variable, la cual permite agregar un código único a cada producto y realizar un seguimiento de la cadena de suministro para obtener información detallada en cada paso del proceso. Por lo general, esta medida de seguridad se complementa con otros elementos de seguridad, tanto físicos como digitales, para añadir una capa adicional a este atributo. Por ejemplo, una medida adicional de seguridad que se puede implementar, en conjunto con la serialización, es la trazabilidad mediante la tecnolo-

gía *Blockchain*, lo que asegura la integridad de la información transaccionada. Este es el caso de la etiqueta con nanopartículas y trazabilidad de la se analizará el proceso de fabricación.

3.5. El producto: etiqueta de nanopartículas y trazabilidad

El producto en cuestión sobre el que se trabaja es una etiqueta de seguridad inclonable con trazabilidad *Blockchain*, con la que se puede llegar a tener una protección de marca, evitando falsificaciones y mercados paralelos, pudiendo identificar fielmente cada uno de los activos a los que se les agrega este tipo de etiqueta. Además, se le agrega una capa de protección mediante una plataforma de trazabilidad utilizando la tecnología *Blockchain* aportando integridad a la solución.

Esta etiqueta cuenta con varios atributos de seguridad, así como otros aspectos que ayudan al diseño y a la utilización. El primero de estos atributos es la utilización de tinta con nanopartículas, siendo físicamente inclonable y dejando una huella única en cada impresión. De esta forma se asegura la autenticidad del activo y que ha tenido un origen en esta tinta, con la que se puede trazar al origen. Siguiendo por esta misma trazabilidad, se imprime una sección de dato variable, un *Quick Response Code*(QR) con el objetivo de poder integrarse con el proveedor de servicios de trazabilidad en *Blockchain*, creando un gemelo digital del activo a trazar. Estos dos factores están relacionados y vinculados de manera única a cada etiqueta, pudiendo actuar de manera conjunta o por separado.

Otro tipo de atributo de seguridad puede ser por ejemplo la incorporación de micro texto, pudiendo ser leído utilizando una lupa. Este atributo dificultaría la reproducción de las etiquetas, ya que evita el escaneo y la copia. Otro atributo de seguridad sería la incorporación de fibras en el soporte, que pueden ser únicamente vistas utilizando una fuente de luz ultravioleta. Como medida para evitar la reutilización de etiquetas, se realizan una serie de troqueles de seguridad que evitarán el despegado de las etiquetas. Además, a esta etiqueta se le pueden agregar características estéticas como, por ejemplo, logotipos u otras marcas para identificar el producto o la empresa que requiera de esta tecnología.

Una vez que la etiqueta es creada utilizando el proceso industrial de impresión, se tiene que procesar utilizando imágenes tomadas por un escáner de alta resolución, con el objetivo de crear un gemelo digital y asociarlo con la etiqueta física.

Como se puede apreciar en la Figura 3.6, esta es la etiqueta en cuestión, la cual contiene el dato variable, el código QR, la tinta de nanopartículas, el micro texto y los colores y el logotipo de la empresa.

3.5. El producto: etiqueta de nanopartículas y trazabilidad

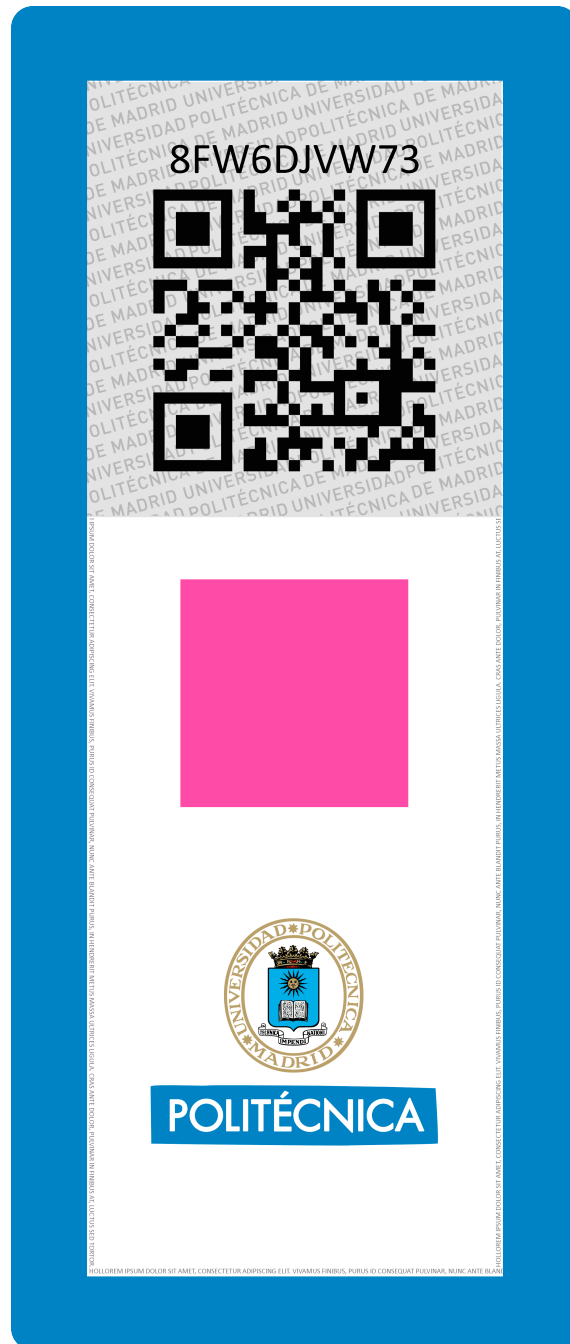


Figura 3.6: Etiqueta con nanopartículas y trazabilidad

Capítulo 4

Tecnologías empleadas

En este capítulo se desarrollan las tecnologías y herramientas empleadas para la realización del proyecto. Esto se lleva a cabo para poder entender de una mejor forma el trabajo y sentar unas bases tecnológicas previas.

4.1. FlexSim

FlexSim [22] es un software dedicado a la simulación de procesos y sistemas, desde los más sencillos a los más complejos. Este provee una interfaz gráfica de fácil aprendizaje con la que poder crear y personalizar el modelo, sin la necesidad de un gran conocimiento matemático o programático, a diferencia de otros simuladores. Esto no implica que no se pueda crear un modelo mediante lenguajes de programación, incluyendo el suyo propio denominado *FlexScript*, que es un lenguaje muy similar al lenguaje de programación C. Además, puede integrarse con otras herramientas como Microsoft Excel.

FlexSim incluye embebido en el sistema una capacidad para el análisis dentro del propio programa, en el que se pueden establecer métricas, gráficos e indicadores descriptivos, aunque en multitud de ocasiones se utiliza para obtener los datos en bruto, los cuales son enviados a otras herramientas de análisis e inteligencia de negocios.

Además, FlexSim es utilizado para modelizar una gran cantidad de industrias con paradigmas completamente diferentes, desde la optimización y planificación de centros hospitalarios, pasando por la distribución y análisis del almacenamiento en el sector de la logística, hasta el análisis y la mejora de procesos de producción industrial de diferentes productos y sectores.

Durante esta presentación del software se analizarán únicamente los objetos y características utilizados en el presente trabajo con el objetivo de entender el mismo.

El modelo en FlexSim es el lienzo de la simulación al que se le van agregando diferentes componentes y relaciones entre ellos, siendo la representación digital del entorno a simular. Dentro de este modelo existen los objetos, los cuales son

todos los elementos básicos instanciados dentro del modelo, pudiendo personalizar tanto su aspecto como las características de cada uno con el objetivo de adaptarse a las necesidades específicas.

Estos objetos se relacionan y comunican entre ellos gracias a los diferentes tipos de puertos. Los puertos de entrada y salida indican el flujo de elementos o el flujo de información, representados por un triángulo verde y rojo respectivamente. Además, existe el puerto central representado por un cuadrado rojo, el cual crea referencias con objetos móviles, como los operarios.

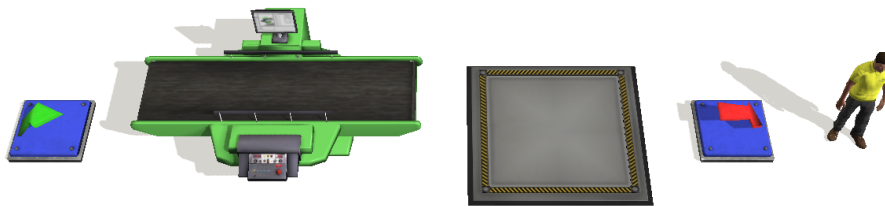


Figura 4.1: Ejemplo de objetos en FlexSim

Los objetos analizados y utilizados en el presente TFG son: *Source*, *Queue*, *Processor*, *Sink* y *Operator*. Se eligen únicamente estos objetos debido a que con ellos se puede crear de forma lógica una gran cantidad de sistemas, siendo estos los objetos base de los que derivan objetos más complejos, como el *Combiner* o el *Separator*. Estos se pueden ver en la figura 4.1.

El eje fundamental de todo proceso industrial son las materias primas o entradas, en este caso estas provendrían del objeto *Source*. Este se encargaría de instanciar unidades individuales de un determinado objeto según una función matemática previamente definida. De este modo tendremos en la línea de producción una serie de elementos con los que poder interactuar, elaborar, transformar o desechar y servirán de entrada a otros elementos como el *Processor*.

Como medio de espera de almacenamiento temporal de objetos estaría el objeto *Queue*, el cual almacenaría temporalmente una serie de elementos de producción según unos parámetros preestablecidos. Además, este objeto interactúa de dos maneras con el resto, pudiendo enviar los elementos de uno en uno o en grupo, con el objetivo de optimizar la maquinaria que necesite un gran número de elementos para trabajar de manera fluida.

El *Processor* es el objeto más importante de todo el conjunto de objetos, ya que habilita el poder elaborar materiales según las características establecidas previamente, de manera fiel a la realidad. Este objeto combinado con las características que ofrece el servicio *ProcessFlow* nos ofrece la posibilidad de poder transformar objetos en otros, creando así cada uno de los productos intermedios de la producción.

Por último, como elemento estático existe el *Sink* que es el encargado de destruir los elementos del modelo. De esta forma se puede utilizar para simular eventos como, por ejemplo, el paso a otro departamento, la venta del producto o sim-

Tecnologías empleadas

plemente la contabilización de los elementos que ha destruido por errores del procesado.

Todo ello sin olvidar al objeto *Operator*, encargado de simular los distintos operarios presentes en una fábrica y que pueden llevar a cabo acciones, como de movimiento de mercancía, de manejo de una maquinaria o de supervisión de esta. Esto es especialmente útil cuando los operarios y el coste de estos supone una gran parte del coste total de la producción.

4.2. Rhinoceros

El software elegido para la modelización 3D, con el objetivo de poder incluir esta en la simulación, es Rhinoceros [23]. Esta característica es puramente estética y no afecta al funcionamiento o rendimiento de los elementos de la simulación, pero en un número elevado de escenarios se requiere ver más que únicamente gráficos y números. De esta forma los encargados de tomar las decisiones, tanto de fabricación como de inversión, obtienen un añadido al poder relacionar la fábrica virtual con la real, pudiendo ser un punto subjetivo diferenciador a la hora de tomar este tipo de decisiones.

Es una herramienta muy extendida para el diseño de todo tipo de modelos 3D precisos, ya sea desde piezas que no llegan a medir más de unos pocos milímetros o para estructuras más complejas. Este ofrece una gran cantidad de vistas para el trabajo sobre el modelo 3D, desde las básicas de alzado, planta y perfil hasta poder trabajar en un espacio semitransparente inteligente teniendo un mejor control del entorno de trabajo.

Los modelos utilizados para esta simulación han sido creados y exportados utilizando esta herramienta y se pueden ver en el Anexo A. Estos modelos han sido renderizados agregando materiales de ejemplo y de colores lo más parecidos a la realidad. Todos son de elaboración propia, salvo los presentes en las Figuras: A.6, A.9, A.10 y A.10, que han sido elaborados a partir de un elemento de libre uso de *SketchUp 3D Warehouse* [24].

4.3. Draw.io

Un paso previo muy importante a la hora de poder diseñar cualquier sistema es el de modelado de alto nivel. Este modelado se realiza mediante diagramas y el software elegido para este propósito es *Draw.io* [25]. Este software es una opción de código abierto para crear todo tipo de diagramas, desde diagramas de entidades y relaciones hasta diagramas de flujo de trabajo.

En la realización de la práctica se elige la versión de este software de escritorio, con el objetivo de poder mantener un mejor control de los archivos que este genera. Además, se utilizará la librería por defecto de Diagramas de flujo que el programa incluye, basada en el estándar ISO 5807:1985 [26], y también las librerías de estilo predeterminadas. Esto se hace así para poder simplificar los procesos y agilizar el diseño de las soluciones.

4.4. Microsoft Excel

Debido a la magnitud analítica del presente trabajo, se necesita de un programa capaz de poder llevar a cabo cálculos y análisis sistemáticos. El software elegido es Microsoft Excel [27].

Además, es el estándar actual para el cálculo de todos los presupuestos y análisis de coste de todos y cada uno de los procesos. Y con el objetivo de poder mantener este estándar, ampliando en aspectos cuando se requiera, se van a tomar estos como base y ejemplo.

Por otro lado, se requiere del limpiado de los datos en bruto obtenidos de las mediciones y de la simulación así como de todas las fuentes que provean de datos a Power BI. Este procesamiento aportaría una comprobación previa de errores anterior a que los datos sean utilizados.

4.5. Microsoft Power BI

Por último, el programa seleccionado para poder procesar y visualizar los datos resultantes de las ejecuciones es Power BI [28]. Este software está incluido en el paquete de Office 365 de Microsoft, lo que lo hace de fácil acceso a todo tipo de usuarios, siendo utilizado por más de cien mil empresas según el análisis de *enlyft* [29].

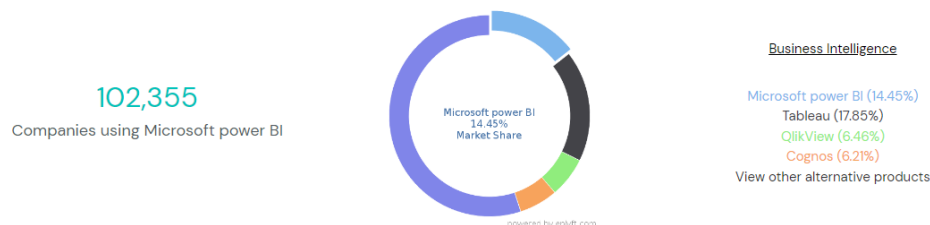


Figura 4.2: Comparación herramientas de *Business Intelligence* [29]

Como se puede apreciar en la figura 4.2, esta herramienta es la segunda más utilizada, con un 14,5 % de *market share* y únicamente detrás de Tableau, siendo esta la solución líder en el sector. Y debido a la facilidad y conectividad de Power BI con el resto de las herramientas integradas en Office 365, se elige esta sobre las plataformas competidoras.

Para la comparación de los resultados obtenidos por las distintas simulaciones de cada una de las alternativas, este software es el ideal ya que permite la obtención de los datos, el manejo de las consultas sobre estos y da la posibilidad de añadir botones interactivos. Por ello habilita también la sinergia entre las características cualitativas con los presupuestos de cada alternativa, creando así un cuadro de mandos donde de un solo vistazo poder diferenciar las distintas posibilidades.

Capítulo 5

Desarrollo de la propuesta

En esta sección se explora el proceso actual para, con toda la información asociada que se tiene, poder realizar una simulación de procesos. De este modo y con estos datos se puede elaborar una serie de mejoras y propuestas de mejora. Con estas propuestas se pueden diseñar otros procesos nuevos que mejoren el proceso actual, tanto en aspectos cualitativos como cuantitativos.

5.1. Proceso actual

En esta sección se expone el proceso actual de fabricación de etiquetas con nanopartículas que se tiene en la empresa, exponiendo cada de las fases principales, las máquinas utilizadas, los consumibles usados y los productos finales e intermedios. El diagrama de este proceso se puede ver reflejado en las Figuras 5.1 y 5.2.

Este modelo de fabricación consiste en un proceso con tres subprocesos independientes, en el que el resultado final serían pliegos con las etiquetas impresas, escaneadas y activadas para poder ser usadas por las empresas contratantes.

El primero de estos subprocesos es el referente a la impresión, troquel y corte de la parte constante que se mantiene en todas las etiquetas, así como del corte en pliegos manejables por el usuario. Se inicia en la desbobinadora, la cual va desenrollando y alimentando el resto de la máquina rotativa a una velocidad determinada, que tendrá que ser constante a lo largo de toda la sección de rotativa. El siguiente paso es la impresión mediante un cuerpo de impresión de offset seco de la sección de tinta de nanopartículas. Esta máquina requiere una especial atención debido a las características de esta tinta, ya que no es una tinta al uso. Y de esta misma forma, debido a la naturaleza de la tinta y con el objetivo de gastar la menor cantidad posible de esta, la impresión se realiza con el método de offset seco.

De esta impresión de nanopartículas pasaríamos a la sección de personalización, donde una serie de cuerpos de impresión realizarían las marcas y logotipos de la empresa que haya contratado el servicio, así como otros atributos de seguridad como el micro texto o la marca de agua sobre la que se posará el código QR.

Dentro de la máquina rotativa se puede establecer desde un solo color, para por lo menos realizar los bordes de la etiqueta, el micro texto y la marca de agua, hasta una cantidad de seis colores. Cada uno de estos pasos de impresión necesita de la creación de unas planchas personalizadas para cada cliente, con la imagen que este quiera que se vea separada por canales de colores. Y dependiendo de cuántos colores se necesiten en la impresión, el coste puede variar. Cabe destacar que las tintas utilizadas en este método son tintas comunes que no requieren un tratamiento especial y por lo tanto la impresión puede ser realizada utilizando offset húmedo con base de agua.

Con el objetivo de agregarle otra característica de seguridad y poder separar las etiquetas unas de otras, se pasa la bobina continua de etiquetas por la troqueladora. Esta máquina realiza pequeñas incisiones y cortes de seguridad sobre cada una de las etiquetas. El patrón de estos troqueles está definido en una plancha metálica con bordes afilados, representando cada una de las incisiones que se tienen que realizar. Además, se realizan los cortes para determinar la unidad de etiquetas, dejando una sangría para determinar la separación entre ellas.

Se sigue en la máquina rotativa y se pasa la bobina con todos estos cambios por el último paso industrial de este subproceso, la cortadora de pliegos. Esta máquina lo que hace es convertir una unidad constante de material, la bobina, en pliegos independientes para su posterior transformación, escaneado y distribución. Se realiza mediante una guillotina y una serie de cilindros que al paso de la bobina van realizando diferentes cortes.

El producto que resulta de este subproceso son los pliegos con tinta de nanopartículas, personalización y troquel, los cuales son recogidos por la máquina destinada para ello que los va apilando unos encima de otros para poder ser llevados al almacén temporal antes del próximo paso.

De este almacén temporal los pliegos se llevan en un medio de transporte a la localización donde se sitúa el siguiente subproceso, la impresión del código de dato variable en cada una de las etiquetas, para poder ser escaneadas con el QR. Este proceso se realiza en la sede del grupo en una ciudad cercana, a diez kilómetros de distancia de la fábrica principal de impresión.

Este proceso se realiza sobre una máquina de impresión digital Xerox, debido a que se necesita una alta resolución para poder escanear el QR con el teléfono móvil u otro dispositivo de captura. Se necesita un computador encargado de crear los cuerpos de mensaje que se imprimirán. Este computador dejaría los archivos en una base de datos intermedia donde se alojarán. La máquina Xerox leerá de esta base de datos e imprimirá con calidad de impresión láser utilizando tóner, evitando así la inyección de tinta que dejaría zonas borrosas imprecisas en una impresión de tan pequeño calibre.

De este subproceso se llevarían los pliegos con el dato variable al último subproceso, que es el escaneo y el registro de las etiquetas en la nube del proveedor de servicios de nanopartículas. Para realizar este proceso se necesita devolver los pliegos a la fábrica principal, lo que agregaría una distancia y un tiempo.

Desarrollo de la propuesta

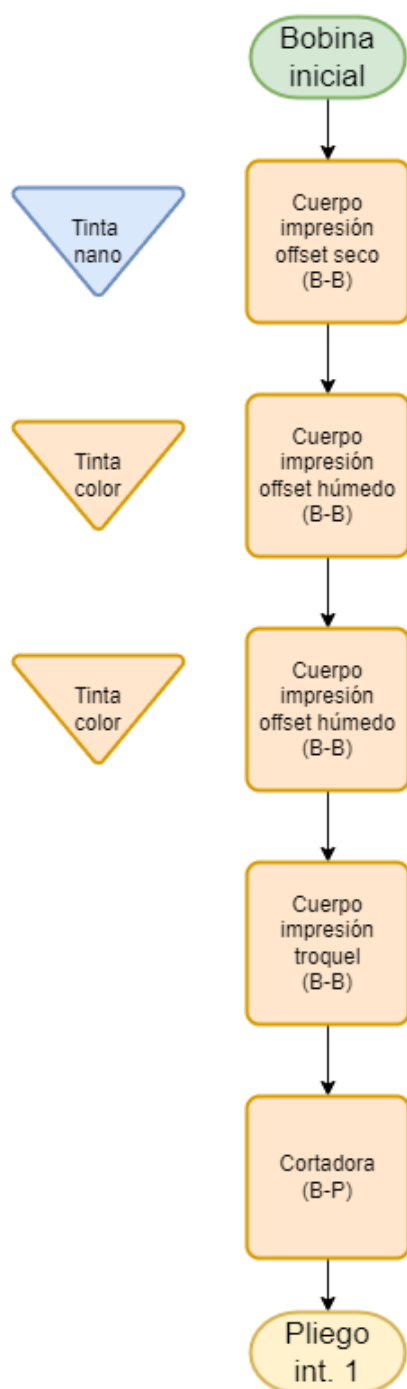


Figura 5.1: Diagrama de fabricación del proceso actual - subproceso 1

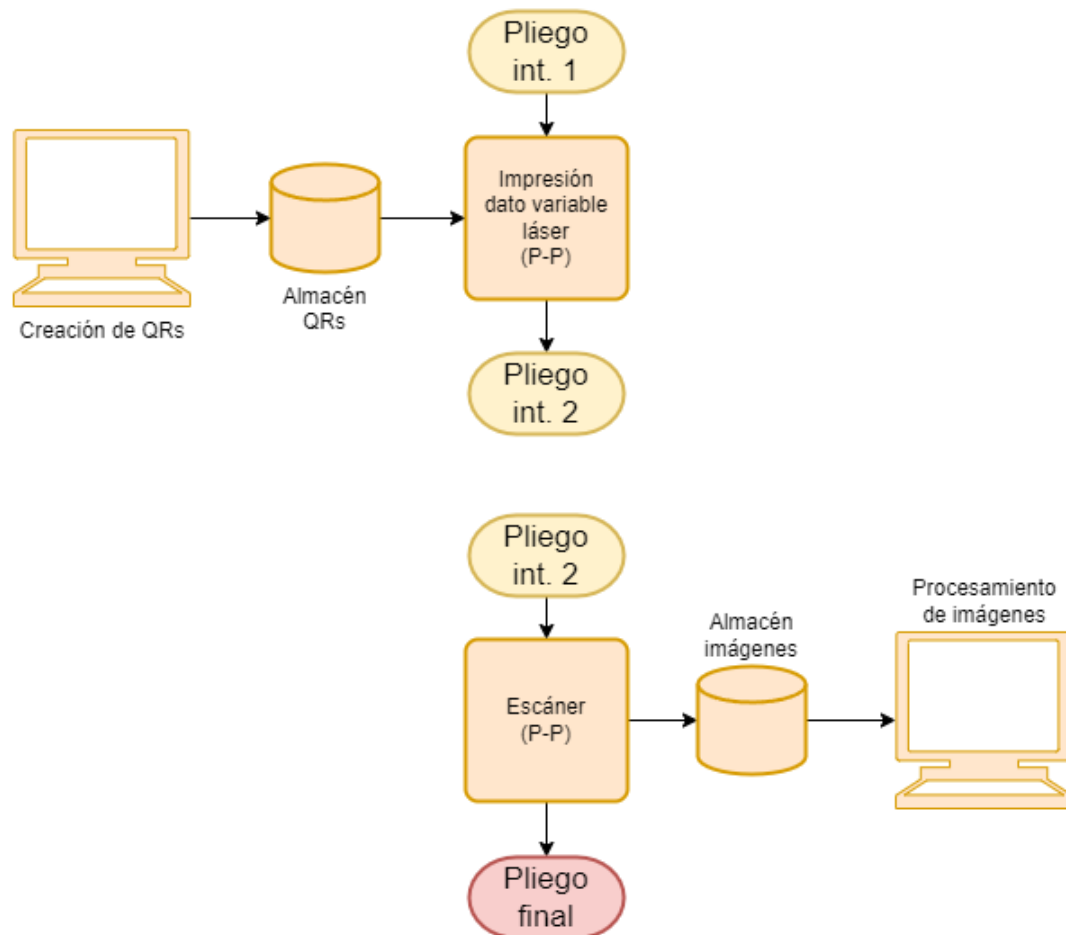


Figura 5.2: Diagrama de fabricación del proceso actual - subprocesos 2 y 3

El último subproceso es el escaneo de las imágenes que necesita realizarse sobre una unidad de escaneo que incorpora un escáner en línea de un máximo de 600 píxeles por pulgada y una cinta corredera para hacer circular los pliegos por la máquina. Los pliegos son depositados en el alimentador de documentos, que los va enviando uno a uno para ser escaneados a un determinado ritmo, y son recogidos por una última máquina similar que los va apilando para posteriormente realizar un termosellado del paquete de pliegos entero. Por otra parte, las imágenes que se generan son enviadas al ordenador que es capaz de poder registrar las etiquetas en la infraestructura del proveedor de esta tinta de nanopartículas. Este último paso de registrar las etiquetas actualmente se realiza mediante un operario en lotes grandes, pero se está estudiando la posibilidad

Desarrollo de la propuesta

que pueda ser realizado utilizando la automatización robótica de procesos (RPA) [30], un estándar muy utilizado en la industria.

La suma de todos estos subprocesos termina en la creación de pliegos de etiquetas, con nanopartículas, imágenes corporativas personalizadas, troqueles de seguridad y un registro de cada una de ellas en el proveedor de la tinta. Por lo que las etiquetas ya estarían listas para poder venderse a un cliente final y que este las pueda introducir en sus productos manualmente.

5.1.1. Modelización en FlexSim

Para la modelización en FlexSim de este proceso, lo primero es crear un nuevo archivo en el que poder incluir todos los objetos que se van a ir creando. Una vez creado este archivo nos pedirá ajustar las unidades y se dejan todas ellas por defecto en las unidades del Sistema Internacional de Medidas, como se puede ver en la Figura 5.3. Además, debido a que la jornada real de trabajo en la fábrica de la empresa es de seis de la mañana a dos de la tarde, se añadirá también esta información y por lo tanto se estará recogiendo datos de una jornada real de trabajo, ignorando pausas reglamentarias por limitación de la herramienta. La configuración de este último parámetro se puede observar en la Figura 5.4.

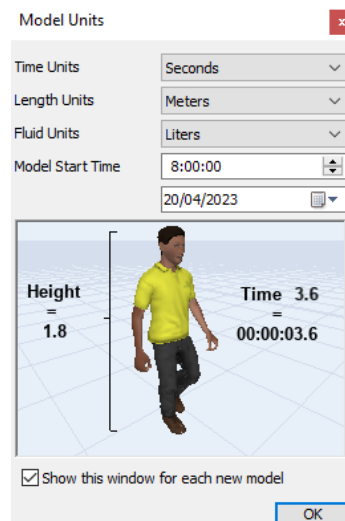


Figura 5.3: Diálogo de creación del modelo

El primer subproceso se puede ver en la Figura 5.5. Empezando a modelar el primer subproceso de este primer modelo, se emplaza un objeto de tipo *Source*, al que se le va a cambiar el nombre a 'PA_Desbobinadora', donde el primer número indicaría el proceso al que pertenece el objeto, el segundo al número de máquina dentro de este proceso y en adelante se escribirá un nombre significativo. Además, se ajusta el objeto que crea esta desbobinadora para que este sea parecido al papel. Y aquí se encuentra el primer problema, el objeto que está modelizando el programa es un objeto discreto, mientras que en la realidad este objeto es continuo.

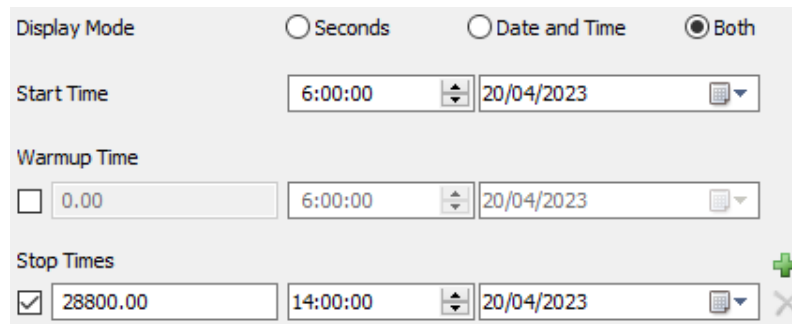


Figura 5.4: Diálogo de ajuste de la jornada de simulación

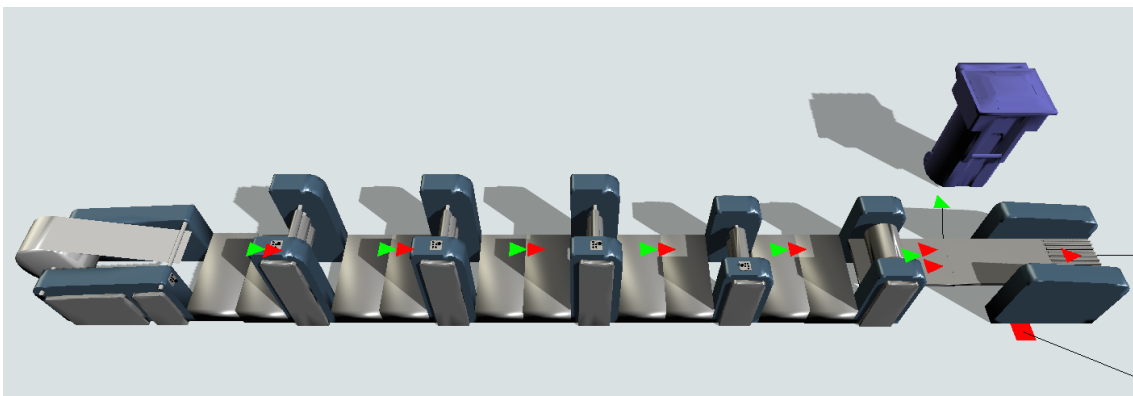


Figura 5.5: Modelo FlexSim proceso actual - subprocesso 1

Por lo tanto, para resolver esto se divide la bobina por los metros que tenga, de este modo de una bobina de n metros se crean n objetos planos de un metro cada uno.

Esta primera máquina creará un objeto cada x segundos dependiendo de un parámetro. Se utilizan parámetros para simular las opciones de configuración de las diferentes máquinas y que todas puedan compartir un repositorio común de variables con las que establecer sus distintos atributos. Este atributo corresponde al número de metros que se crearán en un segundo.

Los cuerpos de impresión de este ejemplo son únicamente para añadir la tinta de nanopartículas y dos colores de personalización, que se establecerán como el objeto *Processor* y de esta forma poder agregar un tiempo a la transformación del objeto. En primera instancia, se agrega el nombre de los objetos para poder distinguirlos, además se les añade su modelo 3D personalizado creado previamente y, por último, se ajustan las opciones de procesamiento.

En este modelo, y en virtud de mejorar la visualización de la simulación, se establece que una máquina pueda procesar tres objetos a la vez. Esto es debido a que se está simulando un objeto continuo y este tiene que poder verse como tal a lo largo de la simulación. Por lo tanto, el tiempo de proceso tiene que ser variable respecto a este número establecido por parámetro, por lo que la fórmula mate-

Desarrollo de la propuesta

mática sería: $TiempoDeProcesado = VelocidadRotativa * NumeroMaximoDeObjetos$. De esta forma, la salida de cada una de las máquinas será la entrada de la siguiente, hasta que se salga de la rotativa y se obtengan los pliegos intermedios.

Se crea de manera similar la máquina que realiza troqueles, utilizando igualmente el objeto *Processor*, agregando el nombre, las opciones de procesado y el modelo tridimensional específico, y llevando su salida a la última máquina que cortará los pliegos.

La última máquina modelizada en la etapa de rotativa es la que se encargará de cortar el papel continuo en bobina a pliegos individuales. Se realiza una operación similar a las anteriores, tanto en términos de configuración, velocidad y gráficos. Aunque con una salvedad, durante este proceso pueden producirse unas pérdidas relacionadas con la transformación de bobina a pliego, las cuales se tienen que modelizar de alguna forma dentro del programa. Por lo que para esto se ha decidido escribir un pequeño bloque de código, escrito en *FlexScript*, que simule este suceso dependiendo de un porcentaje, como se puede ver en el Listado 5.1.

Listado 5.1: Simulación de pérdida en la transformación de bobina a pliego

```
1 Object item = param(1);
2 Object current = ownerobject(c);
3
4 int stream = getstream(current);
5 double randomnum = uniform(0.0, 100.0, stream);
6
7 double total = 0.0;
8
9 total += 100-Model.parameters.PA_PerdidaRotativa;
10 if (randomnum <= total)
11     return 1;
12
13 total += Model.parameters.PA_PerdidaRotativa;
14 if (randomnum <= total)
15     return 2;
```

Los pliegos que se producen pueden ir a parar a dos destinos: a una cola para poder ser llevados al siguiente subproceso o a un contenedor de descarte indicando que estos son inválidos y dando métricas del descarte.

El segundo subproceso es el destinado a la incorporación del dato variable en la etiqueta y se puede observar en la Figura 5.6. Este proceso se realiza en la vida real en una fábrica diferente pero, para la simplicidad del modelo, se asume que esta máquina de impresión estará en la misma sala que el resto de los subprocesos.

Se empieza por la llegada de los pliegos en tandas, las cuales se van almacenando en su cola de impresión, que tiene una capacidad determinada de pliegos. Y de esta cola se van pasando de uno en uno a la máquina de impresión.

Esta máquina de impresión procesa de uno en uno los pliegos, pero requiere de un operario para su funcionamiento que inspeccione los fallos y la calidad y, como en el otro subproceso, pueden existir fallos en la fabricación de lo que

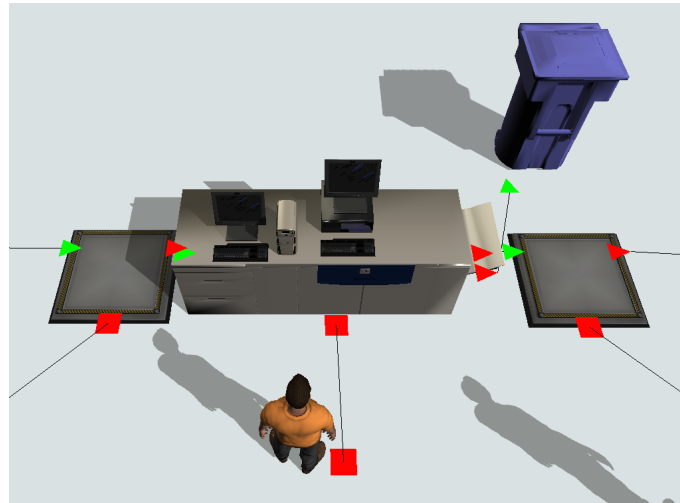


Figura 5.6: Modelo FlexSim proceso actual - subproceso 2

resultaría en dos tipos diferentes de salidas: los pliegos con dato variable y los pliegos que no han cumplido el control de calidad. Para simular este proceso de descarte se utiliza un código similar al utilizado en el subproceso anterior, presente en el Listing 5.1.

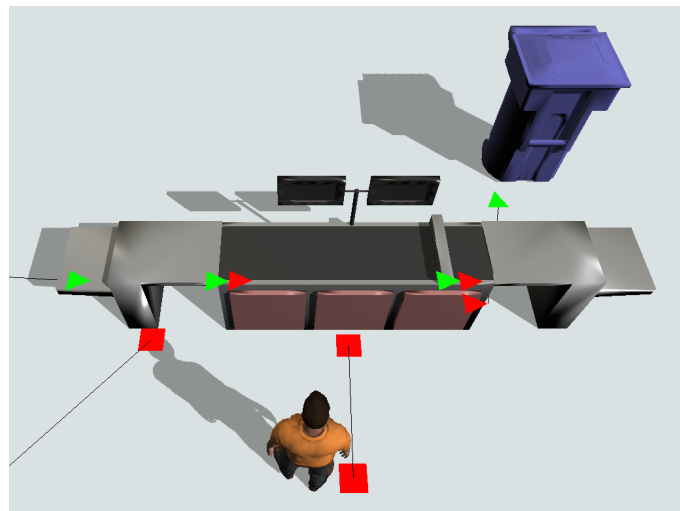


Figura 5.7: Modelo FlexSim proceso actual - subproceso 3

De la cola de salida, serían transportados en tandas por otro operario al alimentador de pliegos del último subproceso, como se puede ver en la Figura 5.7. Los pliegos serán procesados de uno en uno por el escáner, el cual guardará las imágenes en un ordenador en red. Y al igual que el proceso anterior, esta máquina necesita un operario para poder realizar el control de calidad y la eliminación de los documentos que son deteriorados o destruidos por el escáner.

Desarrollo de la propuesta

Igualmente tendrá dos salidas este subproceso, un contenedor de descarte o un objeto de tipo *Sink* que cuente el número final de pliegos, del que poder obtener métricas.

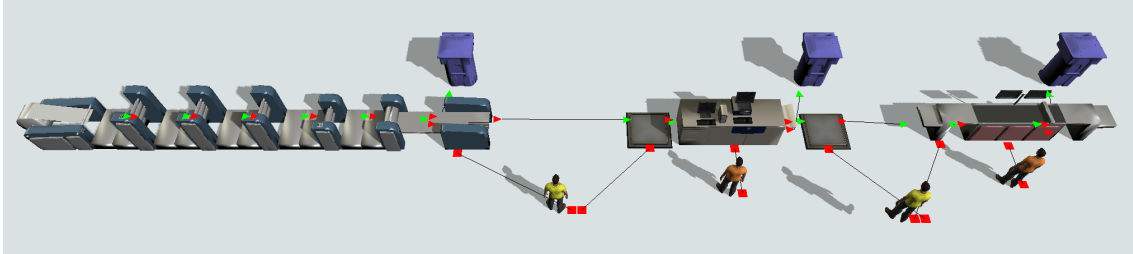


Figura 5.8: Modelo FlexSim proceso actual

Finalmente, el modelo quedaría como se ve en la Figura 5.8. En la situación real los elementos no están colocados de esta forma, pero en post de simplificar el modelado y la simulación se han colocado en línea.

5.1.2. Simulación del proceso

A lo hora de simular el primer proceso es necesario establecer indicadores claves (KPIs) con el objetivo de poder analizar y comparar la simulación, tanto con el resto de los modelos como con los datos reales de la producción. Estos son:

1. Unidades finales por hora
2. Unidades por subproceso por hora
3. Unidades erróneas por hora
4. Unidades erróneas por subproceso por hora
5. Tasa de rechazo de la unidad final por hora
6. Tasa de rechazo de las unidades por subproceso por hora
7. Porcentaje de actividad por máquina por hora
8. Porcentaje de inactividad por máquina por hora
9. Porcentaje de bloqueo por máquina por hora
10. Porcentaje de actividad por operario por hora
11. Porcentaje de inactividad por operario por hora
12. Porcentaje de bloqueo por operario por hora

Se agregan los diferentes gráficos y métricas al *dashboard* de FlexSim para poder extraer información, tanto de forma gráfica como en formato de texto plano separado por comas para su posterior transformación. Estos gráficos son la producción de unidades finales, la producción de unidades por subproceso, el

5.1. Proceso actual

sumatorio de las unidades erróneas, las unidades erróneas por subprocesso, el estado de los operarios y el estado de las máquinas.

Se realiza la simulación y el resultado se muestra en la Figura 5.9, que más adelante será analizada para poder diseñar los procesos mejorados.

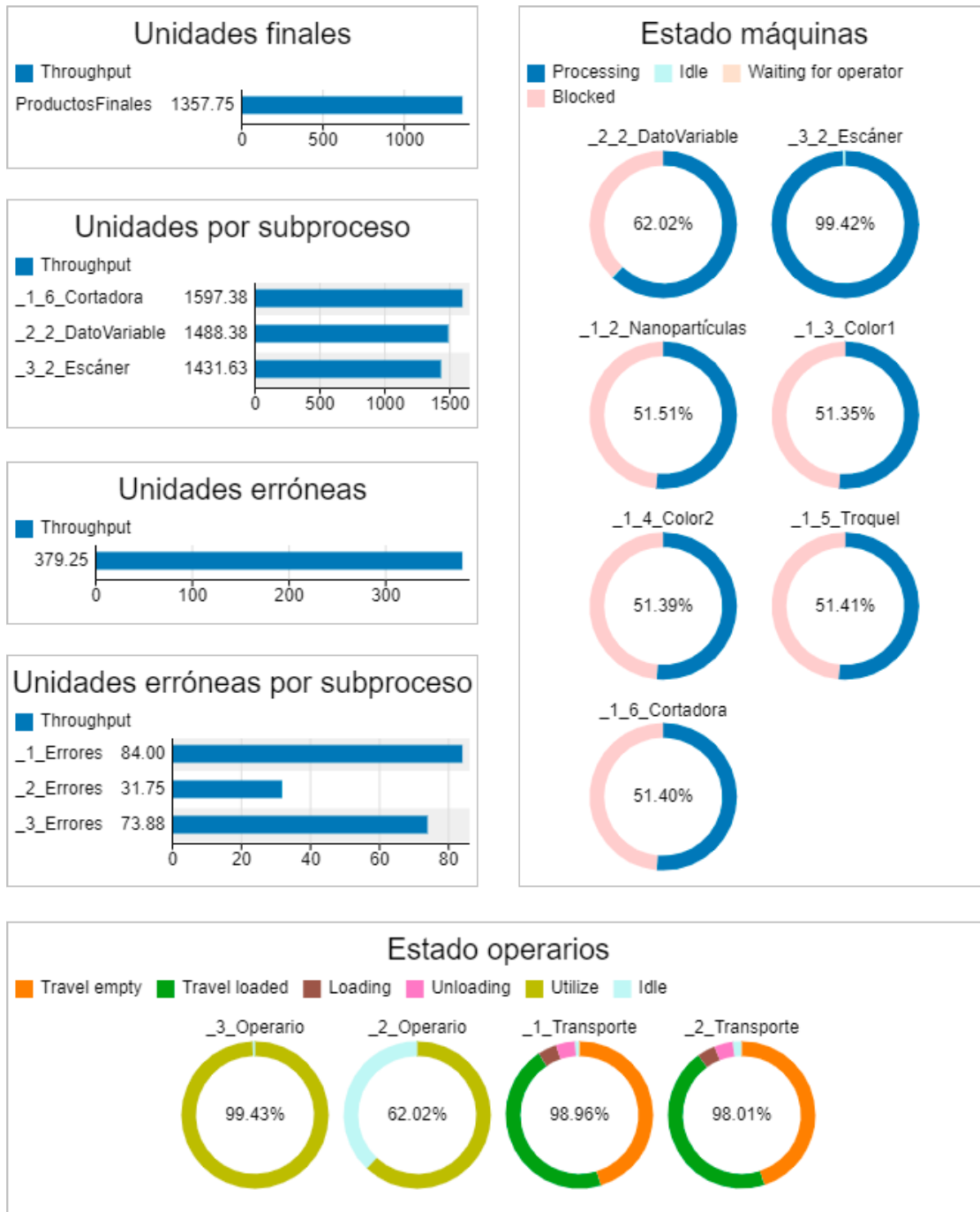


Figura 5.9: Resultados de la simulación del proceso actual

Desarrollo de la propuesta

5.1.3. Análisis comparativo entre datos reales y datos simulados

Con el objetivo de poder aportar un enfoque más real al proyecto, se procede a comparar los datos simulados con los datos reales del proceso actual. Debido a las limitaciones que tiene el programa de FlexSim y que dentro de la producción real intervienen más factores como la planificación, la puesta en marcha y el transporte de una localización a otra, se omitirán algunos aspectos del proceso de producción real.

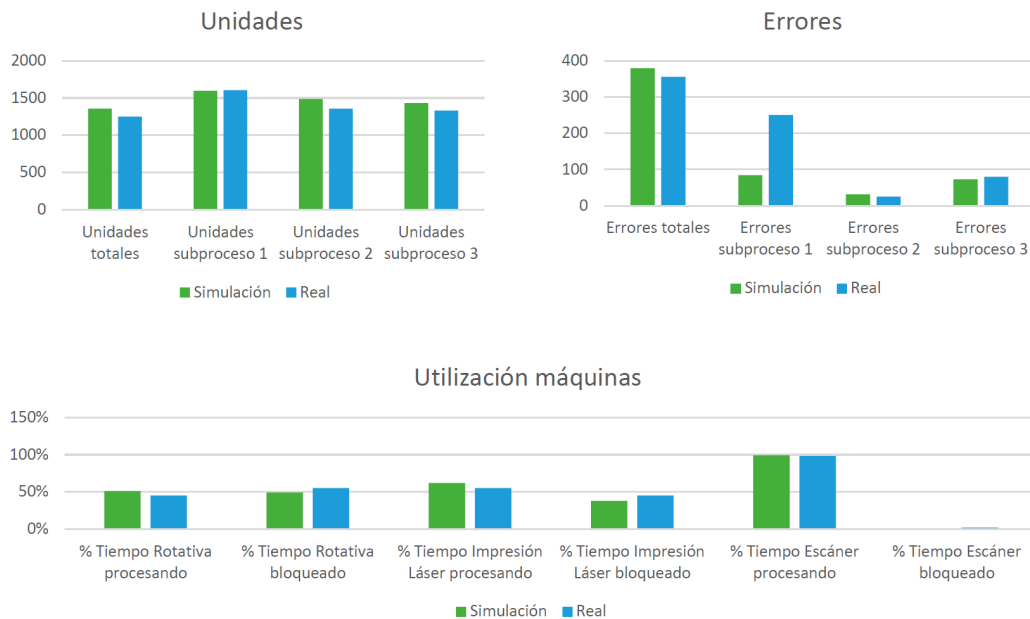


Figura 5.10: Comparación de datos sintéticos y reales del proceso actual

Para la toma de datos en la planta de producción real, se ha planificado un día en el que se fuera a realizar una impresión de un lote de etiquetas y poder observarlo durante una hora de trabajo, tal y como se realiza en el simulador. Durante este proceso se han tomado medidas del número de unidades finales e intermedias producidas por hora, del número de errores y desperdicios producidos por hora y del estado de las máquinas durante este proceso. El gráfico comparativo de ambos se puede observar en la Figura 5.10.

Estos gráficos confirman que el modelo ha sido realizado correctamente, obviando los aspectos previamente señalados. Todas las métricas simuladas son parecidas a las reales, con desviaciones entre el 2% y el 20%, por lo que el modelo se validaría. Aun así, se puede ver en la gráfica de errores del primer subproceso que los datos reales reflejan una desviación de 166 unidades (200%). Esto se comprueba y es debido a que en la simulación no se tiene en cuenta las pérdidas de la tirada inicial donde se pierden 150 metros lineales de producto.

5.2. Análisis y propuesta de mejora

En esta sección se analizan los aspectos que dificultan la producción y que son limitantes para esta, así como los posibles cambios en el modelo de producción y en el modelo de consumo de las etiquetas, con el objetivo de adaptar la producción a este.

5.2.1. Identificación de cuellos de botella

Los principales cuellos de botella que se pueden ver son los subprocesos de impresión del dato variable y de escaneado. Estos subprocesos, al ser más lentos que el proceso de impresión en bobina hacen que este tenga que esperar, ya que las salidas están bloqueadas y tiene que permanecer en este estado hasta que los productos intermedios sean procesados. Y no solo existe la limitación entre los subprocesos dos y tres con el subproceso uno, sino que también existe la limitación entre los dos últimos subprocesos.

Esta afirmación se fundamenta en los datos de la simulación mostrados en la Figura 5.9. Se observa en la sección de rotativa, el primer subproceso, con una media de tiempo en estado bloqueado de alrededor del 50% y en la sección de impresión de dato variable de alrededor del 38%, en comparación al tiempo de bloqueo del subproceso de escaneado, en el que se registra un tiempo de ocupación de casi el 100% del tiempo. Por lo tanto, las secciones dos y tres son en las que hay que poner un mayor foco.

En conclusión, el objetivo de este análisis es justamente este, el poder eliminar estos cuellos de botella y poder tener un proceso mejorado mucho más fluido y con menos gastos asociados.

5.2.2. Cambio de modelo de producción

Para conseguir una mejora se tiene que realizar un cambio en el modelo de producción y para ello se van a exponer y analizar diferentes modelos existentes y que han sido referentes en la industria.

Lean Manufacturing

Lean manufacturing [31] es una filosofía que es considerada por la industria como una forma de poder mejorar los procesos de producción industrial y que puede ser aplicada a todo tipo de industrias al no estar enfocada a una específica. Se aplica por ejemplo en grandes corporaciones como Toyota en la manufactura de coches o en un pequeño taller de artesanía de zapatos.

Este sistema fue creado por Soichiro Toyoda en la automovilística nipona Toyota como una forma de eliminar el gasto innecesario y que no aporta valor a la producción final, por lo que se ha convertido hoy en día en una de las mejores formas para competir en este mundo cambiante.

En primer lugar, se busca la eliminación del gasto innecesario. Estos gastos se pueden tipificar en siete categorías:

Desarrollo de la propuesta

1. Sobreproducción: cuando se produce una mayor cantidad de productos de la necesaria, ya sea por consumo propio o por demanda del mercado.
2. Tiempo de espera: tiempos de espera entre procesos, ya sea por bloqueos de maquinarias o por límite de estos almacenes temporales.
3. Transportes: coste del transporte innecesario y la manipulación por diferentes áreas.
4. Sobreprocesado: especificación incorrecta del proceso u omisión de problemas que pueden llevar a un problema mayor.
5. Exceso de inventario: tener demasiado número de productos listos para la venta o para ser procesados, ya que estos crean otros gastos asociados de almacenaje o personal.
6. Movimiento de materiales: todo movimiento de materiales es un gasto innecesario de recursos, ya que es tiempo que no se está trabajando en agregar valor.
7. Defectos: los productos que no han pasado los controles de calidad y son errores generan gran cantidad de problemas asociados y más si estos los recibe el cliente final.

Aplicando este modelo al sistema objeto de estudio, se ve como existe una gran cantidad de desperdicios que podría evitarse tomando las decisiones correctas. Por ejemplo, para solucionar los tiempos de espera se podría ajustar el tiempo de los distintos procesos para que sea el mismo y así no crear un stock de productos que esperan a ser procesados. O incluso se podría realizar una duplicación de los subprocesos para poder igualar así el tiempo de producción del subproceso más veloz.

Otro campo donde se podría mejorar sería en el transporte, ya que actualmente se necesita de máquinas situadas en distintas fábricas y distintas ciudades, por lo que para solucionarlo se podría centralizar la producción en la misma fábrica.

Sistemas *Flow-Shop*

Esta estrategia de *Flow-Shop* [32] se lleva a cabo mediante procesos continuos en una sola línea de montaje y orientados a un solo producto. Este proceso de transformación es aquel en el cual los materiales transitan por la línea de fabricación de forma constante. Es adecuado para la fabricación de una serie limitada de productos con un volumen alto. De esta forma se especializan las diferentes líneas de producción añadiendo maquinaria adicional que pueda ser puesta en cadena.

En las demás industrias, este tipo de modelo se centra más en diseñar una sola línea de montaje por producto pero, como se ha visto, una línea rotativa de impresión puede contener un número ilimitado de etapas, activando unas u otras dependiendo del producto que se esté buscando, siempre que el *layout* de la fábrica lo permita.

Por lo tanto, y aplicado a la industria de la impresión, el punto óptimo podría estar en agregar la mayor cantidad de componentes a la máquina rotativa, ya que no limita la línea de producción a un solo producto; y activando y desactivando etapas se puede conseguir mejorar la eficiencia, la eficacia y evitar los errores, los bloqueos y los tiempos de espera todos de una vez. Todo esto sin sacrificar la polivalencia que se tiene en un proceso con diferentes subprocesos.

5.2.3. Cambio de modelo de consumo de pliego a rollo

Un aspecto muy importante, y que se había omitido por limitación de la maquinaria actual y la tecnología, es el de cómo el usuario final va a aplicar las etiquetas. Hasta ahora el proceso estaba forzado a ser manual ya que el producto final estaba en formato de pliego y, por lo tanto, se necesita a un operario realizando esta acción sistemática y repetitiva. En consecuencia, sería conveniente buscar una solución para poder automatizar este proceso y seguir reduciendo costes innecesarios en el cliente.

Esta solución pasa por utilizar una maquinaria específica que realice el etiquetado sobre los productos finales, por lo que necesita que las etiquetas estén en un soporte determinado, denominado rollo. Este rollo tiene una longitud lineal indefinida pero un ancho de una etiqueta. Esto hace que según se va desenrollando el rollo, las etiquetas puedan ser procesadas por la etiquetadora y pegadas en el producto final. Por lo tanto, se necesita adaptar la producción para que en vez de pliegos el producto terminado sean los rollos.

Modelización y comparativa de etiquetado manual y automático

Se va a realizar una pequeña modelización y simulación sobre cómo una persona en su puesto de trabajo realiza el pegado manual de un gran número de etiquetas en sus productos y una máquina agregando de manera automática las etiquetas. Para la obtención del tiempo de etiquetado en el proceso manual se ha realizado una toma de medidas de lo que se ha tardado en poner una etiqueta sobre una pila de cinco productos de forma manual. El resultado ha sido que de media ha tardado un segundo en coger el producto, tres segundos en despegar la etiqueta y pegarla en el producto y otro segundo en dejar el producto en su contenedor. Por otro lado, se ha buscado en el mercado una etiquetadora industrial, en este caso la *Godex AG4000T* de la marca *Aidet*, la cual realiza el etiquetado de sesenta etiquetas por minuto o, lo que es lo mismo, una etiqueta al segundo.

Con estos dos datos se realiza una simulación en FlexSim para ver el proceso de manera gráfica y obtener datos asociados a este etiquetado. Ambos procesos se modelizan con un origen de productos, un procesador y un contenedor final. En el proceso manual se establece tanto el tiempo de procesamiento como el tiempo que el objeto tiene que permanecer en reposo para aplicarle la etiqueta. Este modelo se puede ver en la Figura 5.11.

Y una vez simulado una hora de trabajo de ambas se puede ver en la Figura 5.12 que el etiquetado automático es mucho más eficiente. Este supone una

Desarrollo de la propuesta

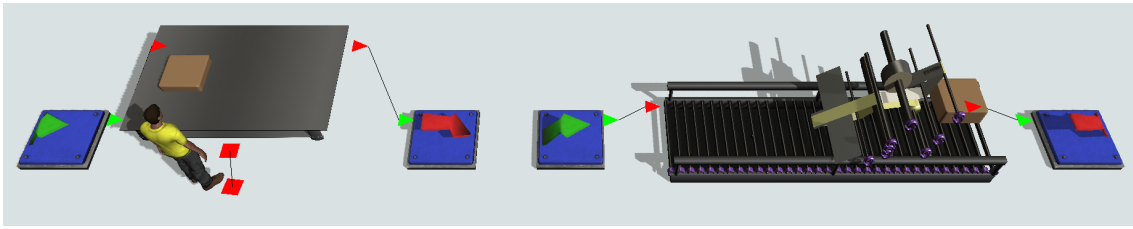


Figura 5.11: Modelo FlexSim de etiquetado manual y automático

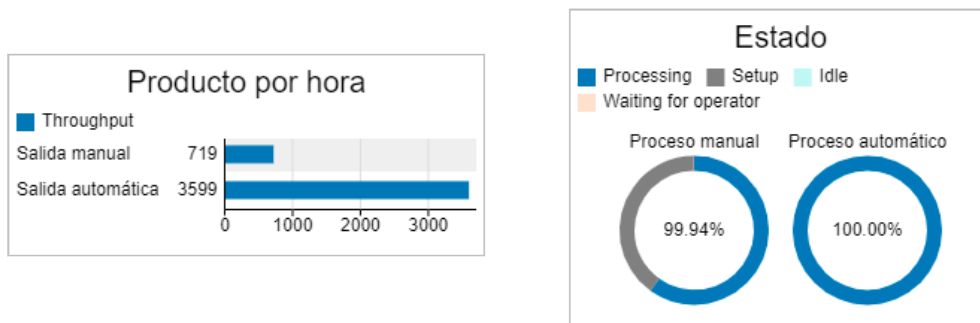


Figura 5.12: Gráficos comparativos entre el etiquetado manual y el automático

mejora del 500% respecto al etiquetado manual y además mejora el tiempo que el producto está parado y por lo tanto realizando un gasto innecesario según el modelo de *Lean Manufacturing*. Esta maquinaria conlleva a su vez una inversión inicial, pero indispensable para poder llevar a cabo un proceso de alto volumen.

Por lo tanto, una vez analizada la forma de aplicación de la etiqueta, se va a intentar que las opciones mejoradas que se creen den como resultado rollos de etiquetas para poder ser aplicadas de forma automática.

5.3. Proceso mejorado 1: Ink-Jet y escaneado en bobina

Este primer proceso mejorado tiene como objetivo realizar una serie de cambios en la línea de fabricación, para poder cambiar el modelo de producción a uno más parecido al modelo *Flow-Shop*. Por lo tanto, se tendrían que adaptar los dos subprocesos y que estos se realicen en la misma línea de fabricación en bobina. Además, y debido a que se pretende cambiar el modelo de consumo, se necesita de una transformación final de bobina a rollo.

Con el objetivo de llevar el subproceso de la impresión del dato variable a la línea de rotativa, se necesita de algún tipo de máquina de impresión digital sobre la rotativa. Actualmente en la empresa se cuenta con un cuerpo de impresión digital que utiliza la tecnología de inyección de tinta de secado por aire. Este tipo de impresión es un factor limitante a la hora de poder imprimir dato variable y que sea escaneado con un dispositivo móvil, ya que al ser pequeñas gotas que se depositan sobre el soporte, estas se disipan y se pierde nitidez. Por el contrario, en el caso en el que se requiera de una calidad mayor se necesita pasar a un sistema de impresión en tóner o en inyección de tinta de secado ultravioleta. Y para esto habría que realizar una inversión en una maquinaria específica para realizar esta tarea.

Por otro lado, existe la necesidad de adaptar el subproceso de escaneado, para lo que se necesita implantar un escáner en la línea de rotativa que sea capaz de procesar los 600 píxeles por pulgada, y procesar las imágenes en tiempo real para poder ser almacenadas y posteriormente subidas a la nube del proveedor de servicios de la tinta con nanopartículas.

Y por último, es necesario convertir las bobinas a rollos de forma que puedan ser consumidas de forma automática por la maquinaria del cliente y realizar una gran cantidad de volumen. Este paso se puede realizar de dos maneras: comprando la maquinaria para realizar la conversión o subcontratando el servicio a una empresa externa y que sean ellos los que realicen esta transformación.

Cabe destacar que este proceso tiene un gran riesgo que es la gran cantidad de material perdido. Esta pérdida no supondría un gran problema, si se produce en etapas anteriores al escaneo y al registro de las etiquetas, pero debido al coste inherente de esta dependencia con el proveedor externo supone un coste innecesario. En definitiva, se tendrían que valorar las pérdidas y el impacto que estas producen.

Este primer modelo que se propone como mejora es el presente en las Figuras 5.13 y 5.14. Se muestra que la primera parte del procesado en bobina seguiría intacta. La desbobinadora va procesando la bobina de papel a una velocidad constante, se pasa este soporte por los cuerpos de impresión de offset seco para la tinta de nanopartículas y por los cuerpos de offset húmedo para los distintos colores del producto final. Finalmente, en esta etapa se realiza el troquel de las etiquetas para que puedan ser despegadas y añadiendo atributos de seguridad.

En adelante se toma como ejemplo la utilización de la maquinaria de la que dispone la empresa para realizar la impresión del dato variable utilizando tecno-

Desarrollo de la propuesta

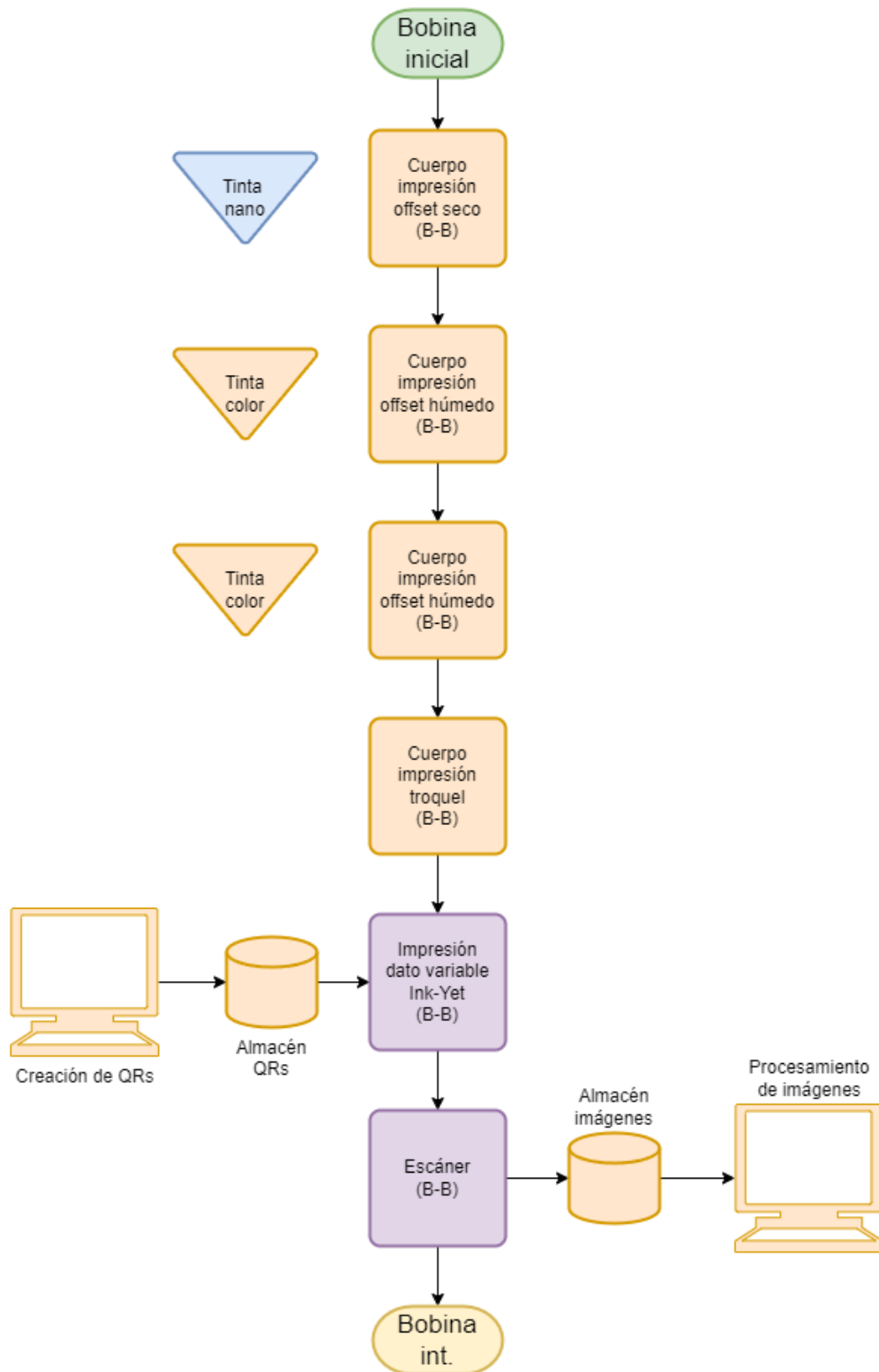


Figura 5.13: Diagrama de fabricación del proceso mejorado 1 - subproceso 1

5.3. Proceso mejorado 1: Ink-Jet y escaneado en bobina

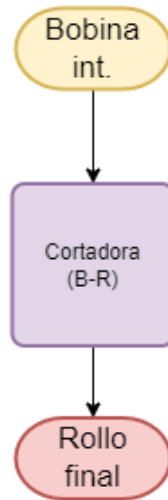


Figura 5.14: Diagrama de fabricación del proceso mejorado 1 - subproceso 2

logía de inyección de tinta de secado por aire, lo que solo conllevaría un coste de adaptación a este nuevo proceso. En cambio, sí que es necesario comprar una maquinaria para poder realizar el escaneo de las páginas en continuo, por lo que se requiere pedir un presupuesto para este último elemento.

Finalmente, el papel continuo constante se vuelve a enrollar en una bobina que se tiene que transportar a una máquina independiente, de la que es necesario pedir presupuesto para adquirir. Esta máquina recibe este producto intermedio de la bobina y la corta en rollos, con el fin de que estos sean el producto final.

Con este cambio se consigue cambiar no solo el modelo productivo, eliminando los procesos que dejan bloqueado el resto de las máquinas, sino que además se consigue mejorar el modelo de consumo al poder ofrecer rollos como producto final.

5.3.1. Presupuesto

Para la realización de este primer proceso se ha contactado con dos empresas para poder adquirir la maquinaria necesaria para esta tarea, pidiendo un presupuesto de una máquina para realizar el escaneo de la bobina según vaya pasando por la rotativa y otro para comprar la cortadora de bobina a rollos y entregarlos en su formato final.

La primera oferta que se pide es la presente en la Tabla 5.1. Este es un sistema de captura de imágenes para ser montado en rotativa, el cual trae un ordenador controlador de última generación y con capacidad suficiente para poder almacenar las imágenes que se están tomando a 600 dpi. Además, incluye un software principal para poder controlar el sistema, junto con una serie de software secundario, agregando opciones de calidad y verificación. Estos son los necesarios

Desarrollo de la propuesta

Tabla 5.1: Presupuesto escáner montado en rotativa

Producto	Uds.	MSRP/u	MSRP
Equipo controlador sistema	1	2.000 €	2.000 €
Software control sistema	1	3.000 €	3.000 €
Monitor 4K Color 32"	1	500 €	500 €
Kit teclado y ratón inalámbrico	1	100 €	100 €
Sensor de imagen de contacto 600dpi 367 mm	1	37.900 €	37.900 €
Software lectura QRs en tiempo real	1	2.000 €	2.000 €
Software de control de calidad	1	2.500 €	2.500 €
Software de procesamiento de archivos	1	2.000 €	2.000 €
Integración con rotativa de su propiedad	1	1.250 €	1.250 €
Cables de conexión	1	1.100 €	1.100 €
Cuadro de control	1	1.000 €	1.000 €
Componentes de instalación	1	500 €	500 €
Instalación, puesta en marcha y curso de uso	3	1.000 €	3.000 €
Total precio recomendado de venta al público			56.850 €
Descuento		0%	0 €
PRECIO TOTAL			58.850 €

para el escaneo de códigos QRs en tiempo real, el software de control de calidad y el de procesamiento de archivos.

Por otro lado, se facturan además los componentes asociados a este sistema como pueden ser el monitor 4K a color calibrado para la correcta visión de las imágenes, un kit de teclado y ratón, los cables de conexión pertinentes y el cuadro de control. Finalmente se agregan los servicios de instalación, puesta en marcha y curso de uso y los componentes asociados a este proceso, el cual durará tres días. Además, para esta primera maquinaria no se aplica ningún descuento.

Tabla 5.2: Presupuesto cortadora de bobina a rollo

Producto	Uds.	MSRP/u	MSRP
Puesto de trabajo	1	3,200 €	3,200 €
Cuadro de control	1	500 €	500 €
Guía longitudinal bobinas	2	2,000 €	4,000 €
Mecanismo quick-release	4	400 €	1,600 €
Cables de conexión	2	100 €	200 €
Motor rotativo radial	2	7,000 €	14,000 €
Discos de corte	3	2,000 €	6,000 €
Instalación, puesta en marcha y curso de uso	2	600 €	1,200 €
PRECIO TOTAL			30,700 €
Descuento	1	0%	0 €
PRECIO TOTAL			30,700 €

5.3. Proceso mejorado 1: Ink-Jet y escaneado en bobina

Una pieza fundamental para este proceso y para el resto de los procesos es la cortadora de bobina a rollo. Esta es montada como una mesa de trabajo auxiliar en la que se introducen bobinas enteras y van saliendo rollos según se van cortando. El presupuesto que se pide, presente en la Tabla 5.2, se compone primeramente de la estación de trabajo, con toda la electrónica interna, transformadores y luces de situación, sobre la que va montada el cuadro de control para especificar el ratio de corte, la velocidad de giro y el ancho de los rollos. Esta mesa además tiene montadas unas guías longitudinales para mantener las bobinas y los rollos en su lugar, así como unos mecanismos de *quick-release*. Por otro lado, se incluyen en el presupuesto los primeros discos de corte, el motor rotativo radial y el servicio de instalación, puesta en marcha y curso de uso.

Tabla 5.3: Presupuesto impresión dato variable montado en rotativa

Producto	Uds.	MSRP/u	MSRP
Cabezales de impresión de 1 cartucho	4	1.790 €	7.160 €
Soportes micrométricos regulables en altura	4	475 €	1.900 €
Guía lateral para la instalación de los cabezales	2	500 €	1.000 €
Controlador de impresión	1	440 €	440 €
PC, monitor, teclado y ratón	1	740 €	740 €
Software de gestión de bases de datos	1	300 €	300 €
Software de diseño de plantillas	1	850 €	850 €
Kit de componentes para la instalación	1	300 €	300 €
Carga inicial de tinta	1	210 €	210 €
Instalación, puesta en marcha y curso de uso	1	1.000 €	1.000 €
Total precio recomendado de venta al público			13.900 €
Descuento	1	0	0 €
PRECIO TOTAL			13.900 €

Aunque ya se disponga del módulo necesario para realizar la impresión de dato variable, se agrega de todos modos el presupuesto de compra de este para el cálculo del coste hora. Este presupuesto se puede ver en la Tabla 5.3, en el que se exponen que se necesitan 4 cabezales de impresión para cubrir todo el ancho del papel, los soportes micrométricos para ajustarlos y las guías laterales, siendo estos los componentes principales del sistema. Por otro lado, como piezas informáticas y de control se añade el controlador de impresión, el ordenador y los equipos para utilizarlos y el software de gestión y de diseño. Finalmente, se facturan las piezas necesarias para la instalación de este, la carga inicial de la tinta y la instalación y puesta en marcha.

5.3.2. Modelización en FlexSim

Con el fin de comparar y poder mostrar una imagen lo más fiel posible a la realidad, se realiza una segunda modelización para este primer proceso mejorado. Este proceso ya tiene el objetivo principal de añadir opciones de mejorar y resultar en un proceso mejorado, y su misión principal ha transitado a la comparación y la muestra del proceso.

Desarrollo de la propuesta

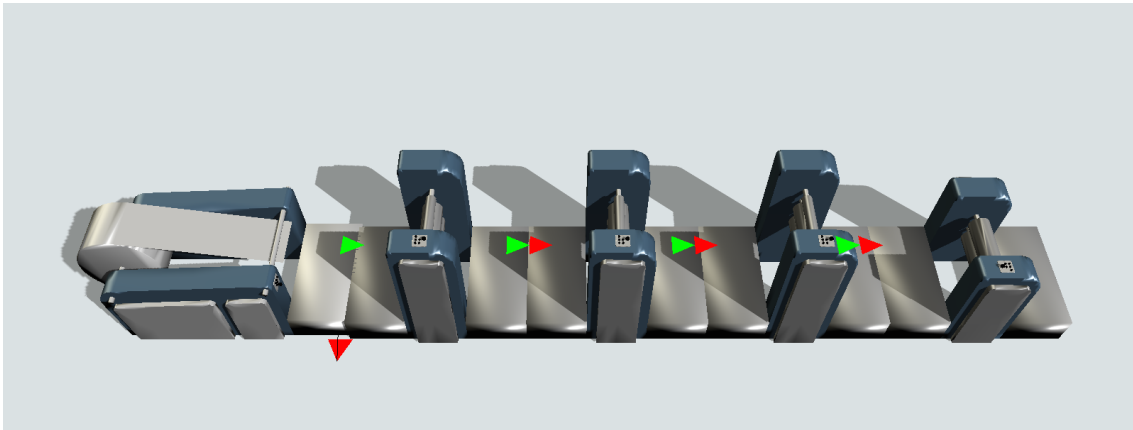


Figura 5.15: Modelo FlexSim proceso mejorado 1 - máquinas restantes

Como se puede ver en la Figura 5.15, este proceso parte de la base del modelado anterior, ya que la sección de impresión en rotativa se mantiene, por lo que los elementos de la desbobinadora, *Source*, los cuerpos de impresión en offset de los diferentes colores, representados por *Processors* se mantienen. Además, también se mantiene la troqueladora. Finalmente, no operarán a la misma velocidad que en el proceso actual en un principio, ya que se van a agregar máquinas adicionales en línea de rotativa, por lo que estas características se tienen que agregar por parámetro.

Con el fin de poder realizar una simulación de estos nuevos módulos, se tienen que crear nuevos modelos 3D adecuándose a estos nuevos módulos. Estos se pueden ver en las figuras presentes en el Anexo A, a continuación de los modelos pertenecientes a la iteración anterior.

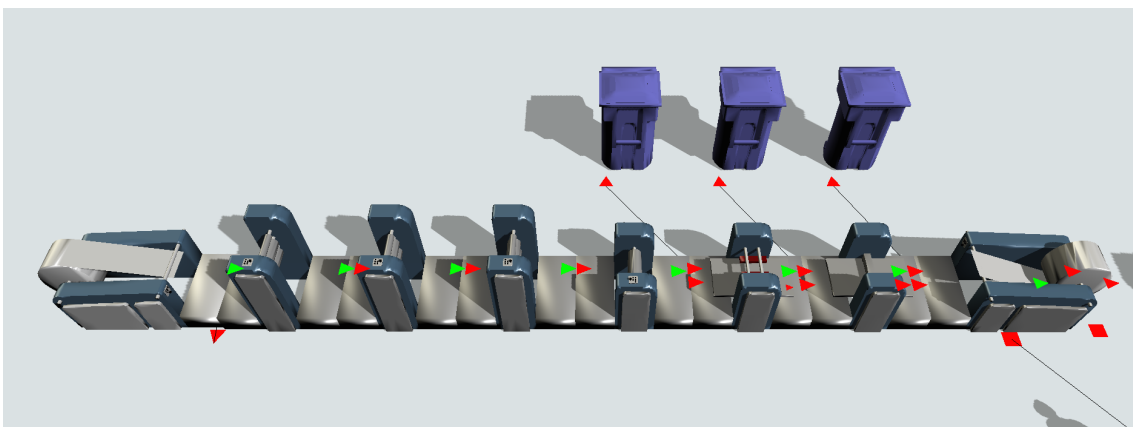


Figura 5.16: Modelo FlexSim proceso mejorado 1 - subproceso 1

Primeramente, se agregan a las máquinas restantes del proceso anterior el módulo dedicado a la impresión del dato variable. Este componente utiliza la tecno-

5.3. Proceso mejorado 1: Ink-Jet y escaneado en bobina

logía de inyección de tinta con secado por aire. Se modela mediante un elemento *Processor*, la cual contiene los atributos de velocidad, de número máximo de elementos por máquina. Por otro lado, se agrega de manera similar otro elemento *Processor*, para modelizar el escáner de imágenes, ajustando velocidad y máximo número de elementos por máquina igual que el anterior. Este subproceso acaba en un elemento *Combiner*, en el que se va rebobinando estos papeles en una nueva bobina, con el objetivo de poder ser transportada para ser cortada, de la misma manera, este dato de metros por bobina se define igualmente por un parámetro para poder ser cambiado fácilmente desde un panel de control. Este subproceso se puede observar en la Figura 5.16.

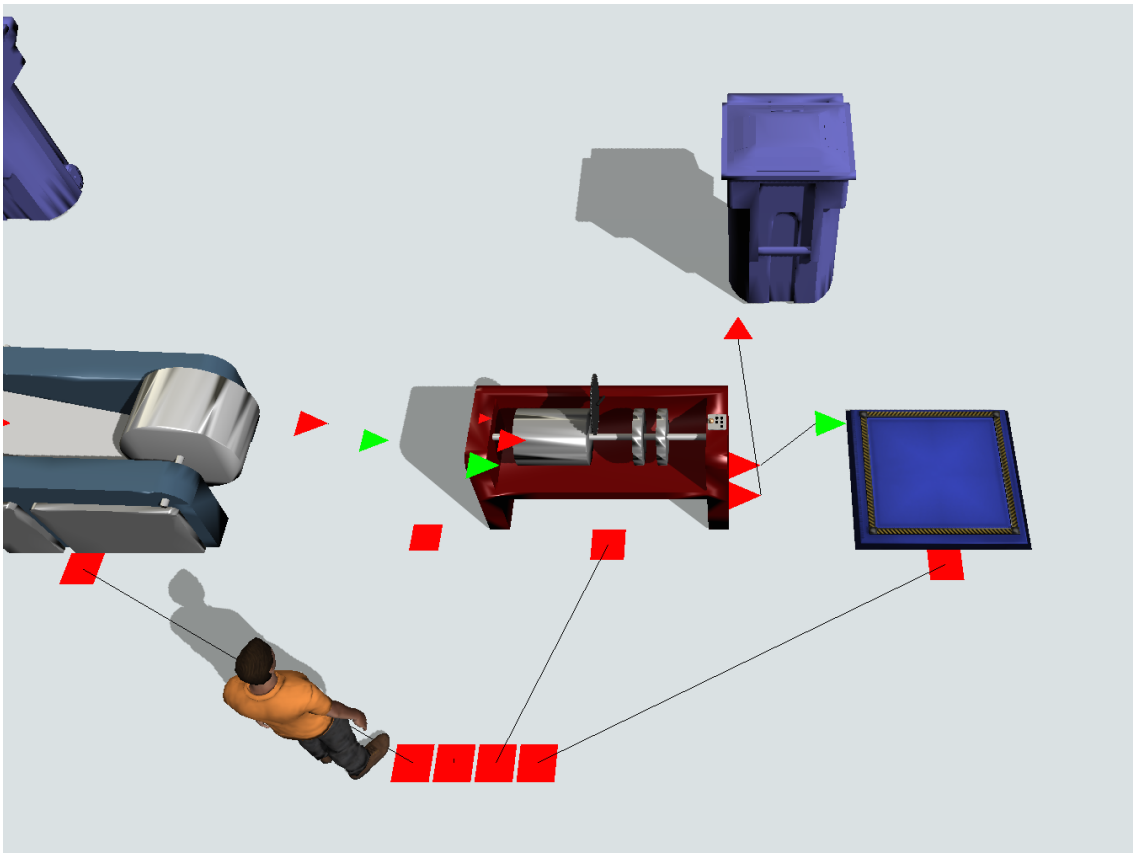


Figura 5.17: Modelo FlexSim proceso mejorado 1 - subproceso 2

Por otro lado, se tiene que modelizar el subproceso de corte de bobina en rollos para lo que se usa una mezcla entre los objetos *Separator* y *Processor*. Con el fin de poder modelizar la división de la bobina en rollos, se utiliza el *Separator*, para poder separar los objetos bobina en rollos, creando unos disparadores para poder modificar el tamaño y la rotación de los elementos a la salida de esta máquina. Y el objeto *Processor* se utiliza para poder modelizar el transcurso de tiempo en realizar cada corte, para finalmente obtener un objeto rollo. De la misma manera, todos los elementos de configuración son representados mediante

Desarrollo de la propuesta

parámetros de entorno. Este proceso de corte de bobina a rollos está presente en la Figura 5.17.

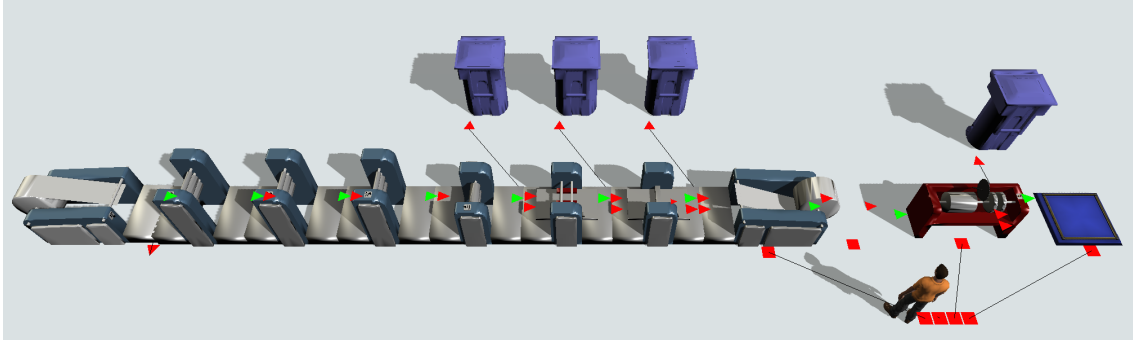


Figura 5.18: Modelo FlexSim proceso mejorado 1

El proceso mejorado 1 completo se puede observar en la Figura 5.18, en el que se pueden observar claramente el proceso primero de impresión, inclusión del dato variable y escaneo en rotativa, y más adelante el proceso de corte de bobinas en rollos. Además, con el fin de agregar una mayor claridad y poder obtener más métricas, se agregan igualmente los elementos erróneos a su correspondiente contenedor, tanto para la impresión, la inclusión del dato variable, el escaneo y finalmente durante el proceso de corte en rollos. Con esto se tendría el proceso mejorado 1 modelado de forma parametrizada y siendo una imagen lo más fiel a la realidad.

5.3.3. Simulación del proceso

Con el proceso modelizado, se tiene que analizar las métricas que se obtendrán, el dashboard a realizar, para finalmente arrojar alguna información sobre los resultados que arroja este dashboard.

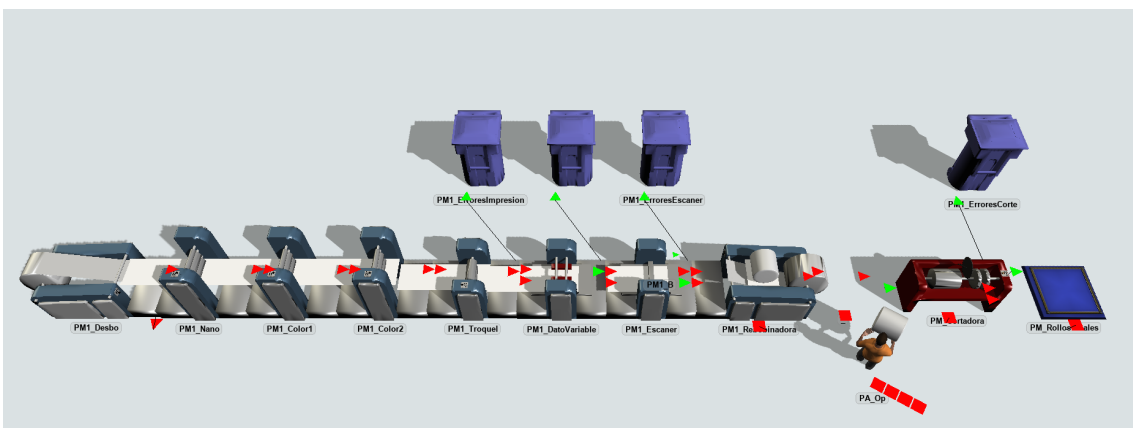


Figura 5.19: Simulación FlexSim proceso mejorado 1

5.3. Proceso mejorado 1: Ink-Jet y escaneado en bobina

Con el objetivo de simular este proceso mejorado y obtener resultados representativos de él, es necesario establecer una serie de indicadores claves (KPIs). Estos ayudan a comprender mejor el funcionamiento del proceso y poder compararlo con el original y con los otros mejorados.

1. Rollos finales por hora
2. Rollos erróneos
3. Metros lineales por subproceso por hora
4. Metros lineales bobina erróneos por hora
5. Metros lineales bobina erróneos por subproceso por hora
6. Porcentaje de actividad por máquina por hora
7. Porcentaje de inactividad por máquina por hora
8. Porcentaje de bloqueo por máquina por hora
9. Porcentaje de actividad por operario por hora
10. Porcentaje de inactividad por operario por hora
11. Porcentaje de bloqueo por operario por hora

Teniendo estas métricas en la cabeza, se agregan los gráficos y secciones al dashboard de FlexSim para poder extraer de esta información. Y acto seguido se simula una jornada de trabajo para poder obtener datos representativos. Se empiezan a tomar datos y a realizar el movimiento de los elementos y las máquinas. Este proceso en funcionamiento se puede observar en la Figura 5.19.

De este primer dashboard, presente en la Figura 5.28, se obtiene la conclusión de que se ha mejorado mejorado los tiempos de bloqueo y de espera, haciendo que únicamente el proceso menor de corte sea el menos eficiente. En cuanto a la eficiencia del proceso podemos ver como todas las máquinas de la sección de rotativa presentan unos valores cercanos al 100% lo que indicaría que este proceso está operando a plena capacidad y, debido a que es el proceso más importante y que requiere una mayor cantidad de recursos, conviene que opere de la forma más eficiente y eficaz posible. Así también la producción total de metros lineales de bobina es superior a la presentada en el proceso actual, superando los 2000.

Por otro lado, el resultado de este proceso son los rollos, de los que se estima poder obtener en torno a los 16 rollos de 1000 metros lineales a la hora. Finalmente, comprobando los errores producidos en la sección de corte de rollo, podemos resaltar que estos tienen un alto coste, ya que aun siendo pocos, se tiene que realizar un procedimiento adicional para eliminar estas etiquetas erróneas del servidor del proveedor de validación de nanopartículas.

Desarrollo de la propuesta

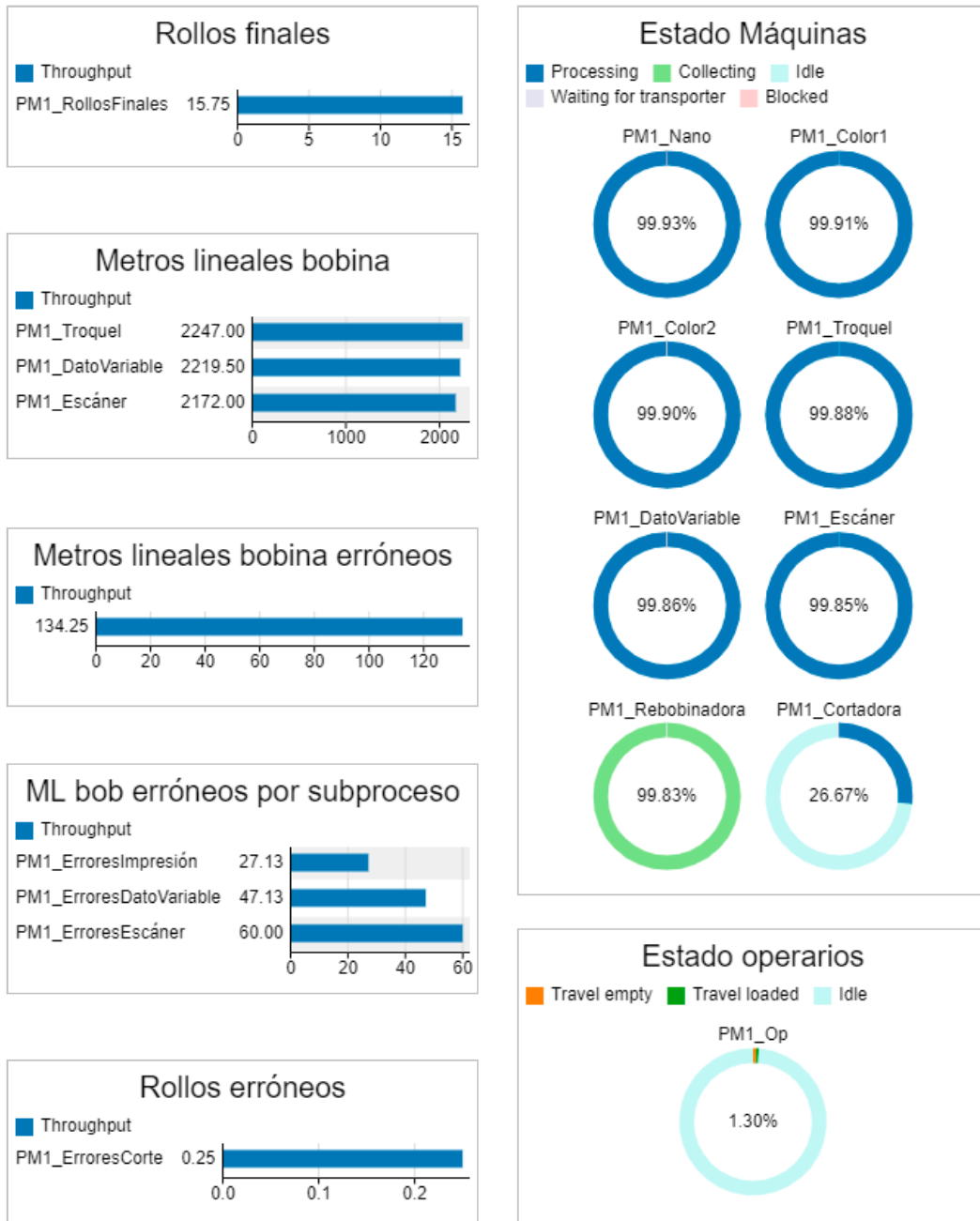


Figura 5.20: Resultados de la simulación del proceso mejorado 1

5.4. Proceso mejorado 2: láser y escaneado en rollo

El segundo proceso mejorado se ve motivado igual que el anterior, en cambiar el modelo de fabricación y el modelo de consumo, con una serie de salvedades.

En este modelo la parte fija de las etiquetas se quedaría de la misma forma que en los anteriores, pero en este no se montaría los demás subprocesos en la línea de rotativa, sino que primero se convertiría a rollo, para posteriormente realizar la impresión del dato variable, el escaneo y el registro de las etiquetas en el proveedor externo.

Como se puede ver en la Figura 5.21, el primer grupo de transformaciones que se realiza sobre el producto es el que se realiza en línea de rotativa. Durante este proceso se agregan en impresión offset la tinta de nanopartículas, la de los colores de la marca característica y el troquel, de seguridad y por etiqueta. Este primer paso resultaría en una bobina que se tiene que rebobinar para ir transitando por las siguientes etapas del proceso.

Esta bobina se transformaría en la cortadora de bobina a rollo, en un proceso independiente, terminando con rollos intermedios. Este paso de transformación pretende descartar de forma temprana los rollos que no pasen el corte de calidad y no realizar la inclusión del dato variable y el escaneo.

Como se puede en la figura 5.24, se agrega una nueva línea de transformación en rotativa para poder agregar la impresión del dato variable y realizar el escaneo sobre unidades únicas. La impresión del dato variable se realiza mediante la técnica de la impresión de inyección de tinta, pero de secado ultravioleta. Este secado ultravioleta consigue una mayor calidad, al fijar de forma rápida las microgotas de tinta. Esta calidad es comparable a la realizada con una máquina de impresión en láser de tipo Xerox en plancha. Por otra parte, el escaneo de las etiquetas no se realiza de forma conjunta en planchas o regiones de un gran número de etiquetas, sino que se realiza sobre una sola etiqueta, pudiendo tener un mayor control a la hora del almacenamiento y la posterior inclusión de esta imagen en la infraestructura del fabricante de la tinta.

5.4.1. Presupuesto

Se piden presupuestos para poder agregar estas nuevas máquinas a la fábrica. En este caso se requiere agregar la cortadora de bobina a rollo y la nueva línea de rotativa en rollo.

El presupuesto para esta segunda sección de rotativa es el presente en la Tabla 5.4. En este se muestra primeramente la plataforma en la que se incluyen todos los componentes principales del sistema y el sistema de impresión de inyección de tinta, a la que se tienen que sumar el software de impresión y la tinta de instalación y prueba.

Por otro lado, se tiene el sistema de captura de imágenes que tiene que montarse como un módulo adicional a este sistema y el que tiene asociado un software de

Desarrollo de la propuesta

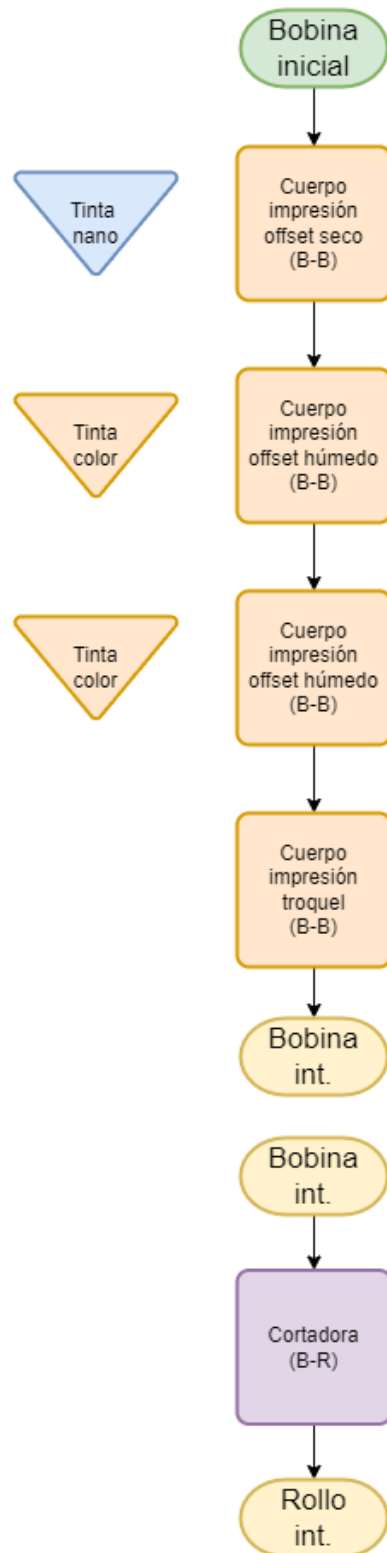


Figura 5.21: Diagrama de fabricación del proceso mejorado 2 - subprocesos 1 y 2

5.4. Proceso mejorado 2: láser y escaneado en rollo

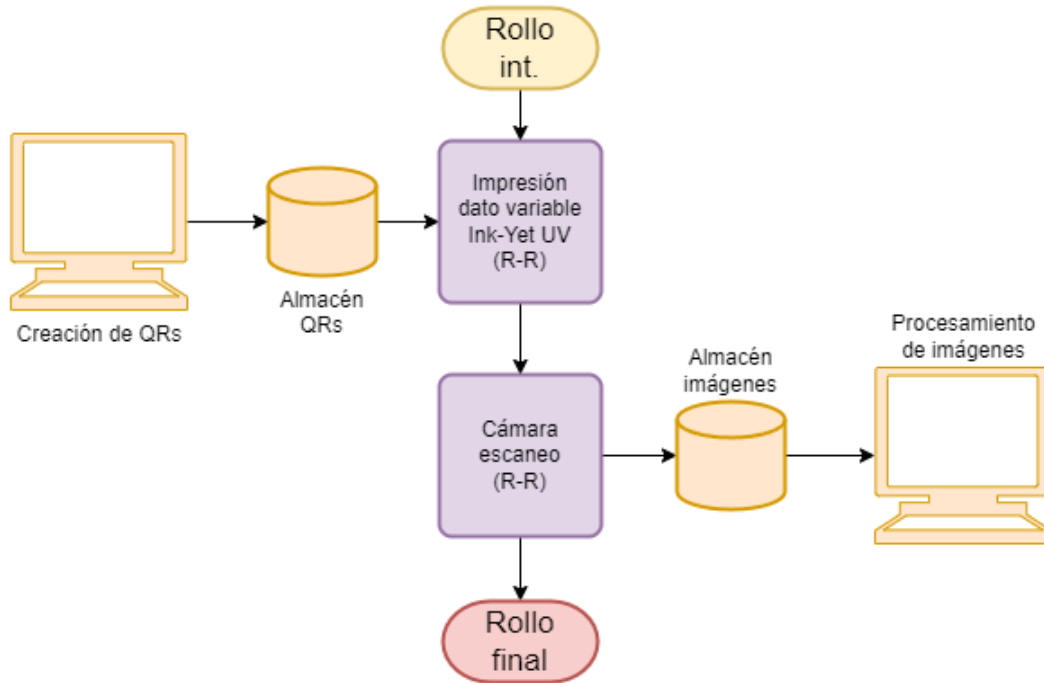


Figura 5.22: Diagrama de fabricación del proceso mejorado 2 - subproceso 3

Tabla 5.4: Presupuesto proceso mejorado 2

Producto	Uds.	MSRP/u	MSRP
Plataforma e impresión InkJet UV	1	137.900 €	137.900 €
Licencia software impresión	1	600 €	600 €
Licencia software verificación	1	2.200 €	2.200 €
Tarjeta de comunicación serial	1	1.500 €	1.500 €
Unidad de captura de imágenes	1	29.800 €	29.800 €
Tinta instalación prueba	1	250 €	250 €
Día de instalación y entrenamiento	7	1.000 €	7.000 €
Precio recomendado de venta al público			179.250 €
Descuento		-7%	-12.547.5 €
Precio final aplicando descuento			166.702.5 €

Desarrollo de la propuesta

gestión de los archivos y verificador de cada uno de los trabajos realizados, junto con los equipos necesarios para poder comunicarse.

Finalmente, contempla una cantidad de siete días para realizar el montaje y entrenamiento del personal para poder utilizarlo. Así también, se disminuye el precio recomendado de venta al público del sistema en un 7% en concepto de descuento, ya que este proveedor mantiene un acuerdo de colaboración con la empresa.

Por último, no se vuelve a incluir el presupuesto y análisis de la cortadora, ya que se utilizará el presentado en el proceso mejorado anterior.

5.4.2. Modelización en FlexSim

Con este nuevo paradigma de realizar acciones sobre los rollos individuales, se realiza una modelización adicional. En esta existirán tres subprocesos diferentes: la línea rotativa vigente, la cortadora de bobina a rollos y el nuevo proceso de inclusión del dato variable y escaneado en rollo.

Previo a esta modelización se realizan nuevamente nuevos modelos para adecuarse a estas nuevas características, estos se pueden ver en las figuras presentas en el Anexo A. Y como no se tiene una modelización clara de la imagen final de esta maquinaria se realiza una adaptación tomando como base la línea rotativa para bobina.

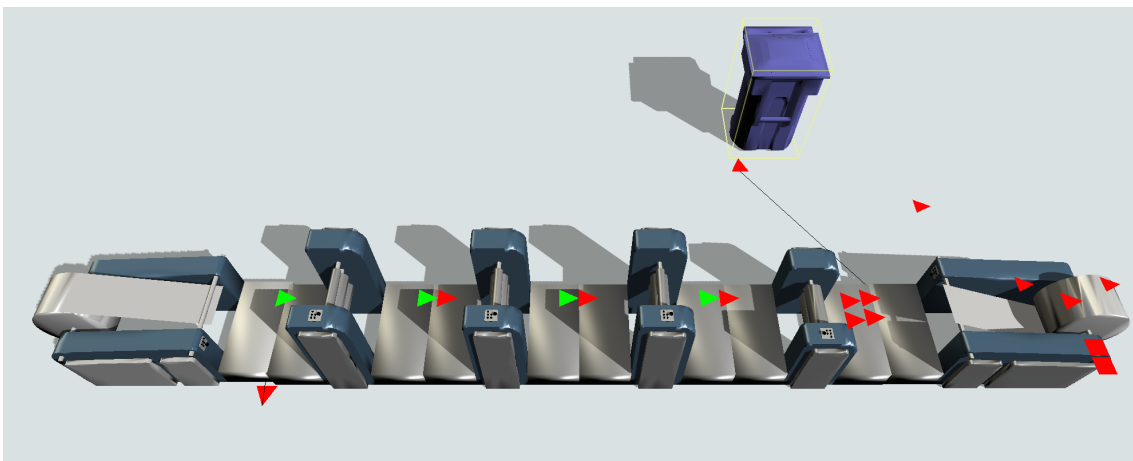


Figura 5.23: Modelo FlexSim proceso mejorado 2 - subproceso 1

Como se puede ver en la Figura 5.23, este proceso comienza con la eliminación del módulo de corte a pliegos del proceso actual y agregándose, igual que en el proceso mejorado anterior, una rebobinadora de bobinas. Eso se realiza mediante objetos *Source*, *Processor* y *Combiner*, de la misma forma que en el proceso mejorado anterior, ajustando los parámetros a este nuevo proceso.

De manera idéntica a como se puede ver en el proceso mejorado anterior, se construye un subproceso para realizar el corte de bobina a rollo. Agregando

5.4. Proceso mejorado 2: láser y escaneado en rollo

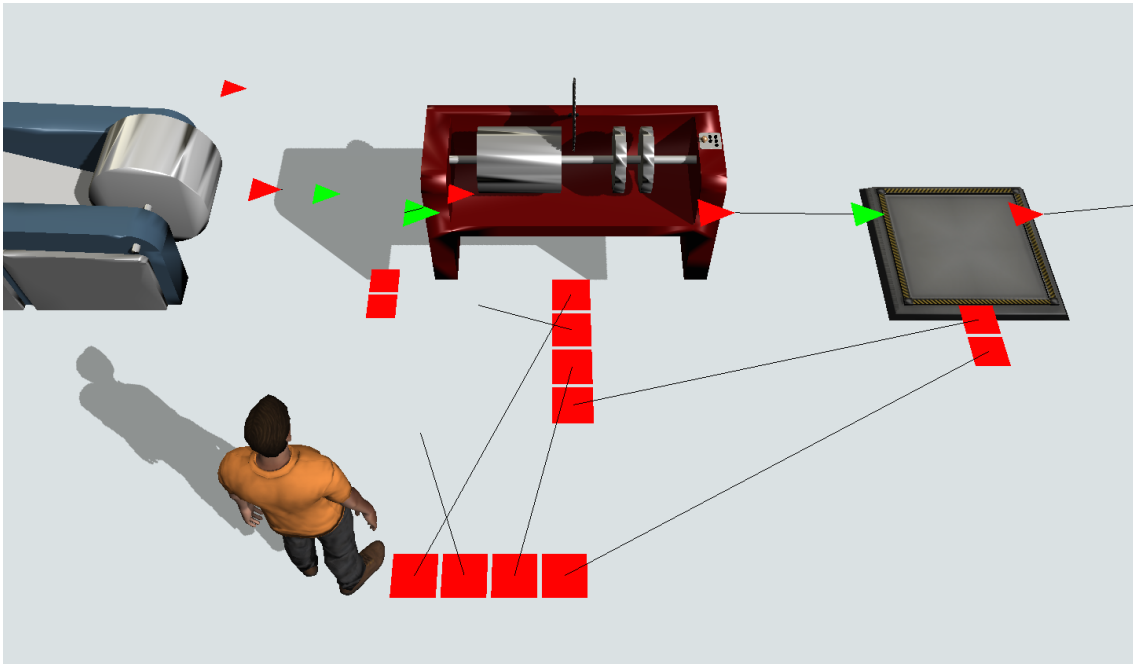


Figura 5.24: Modelo FlexSim proceso mejorado 2 - subproceso 2

las opciones de personalización y parametrización pertinentes. En cambio, este subproceso no termina como resultado final de la ejecución del proceso, sino que termina en la cola de entrada del subproceso siguiente para poder agregar el dato variable y escanearlo. Este se puede ver en la Figura 5.24.

El subproceso presente en la Figura 5.25, se constituye como una línea rotativa de procesamiento de rollos, de manera similar a los procesados bobina. En este primeramente, se encuentra un elemento *Separator*, para modelizar la entrega continua de pliego a la línea de rotativa. Consecutivamente se encuentran las máquinas modelizadas por *Processors*, para añadir el tiempo de procesamiento en la inclusión del dato variable y la toma de la imagen de cada etiqueta. Para finalmente, llegar al último elemento, un *Combiner*, el que recogerá poco a poco estas unidades de rollo y las irá convirtiendo, como la rebobinadora, en un rollo final. Este será el encargado de enviar estos a su destino final.

El proceso mejorado 2 completo se puede observar en la Figura 5.26, en el que se pueden observar claramente el proceso de impresión en bobina, el corte de bobina a rollo y el posterior procesamiento de los rollos. Además, con el fin de agregar una mayor claridad y poder obtener más métricas, se agregan igualmente los elementos erróneos a su correspondiente contenedor, tanto para la impresión, el corte en rollos, la inclusión del dato variable y el escaneo. Con esto se tendría el proceso mejorado 2 modelado de forma parametrizada.

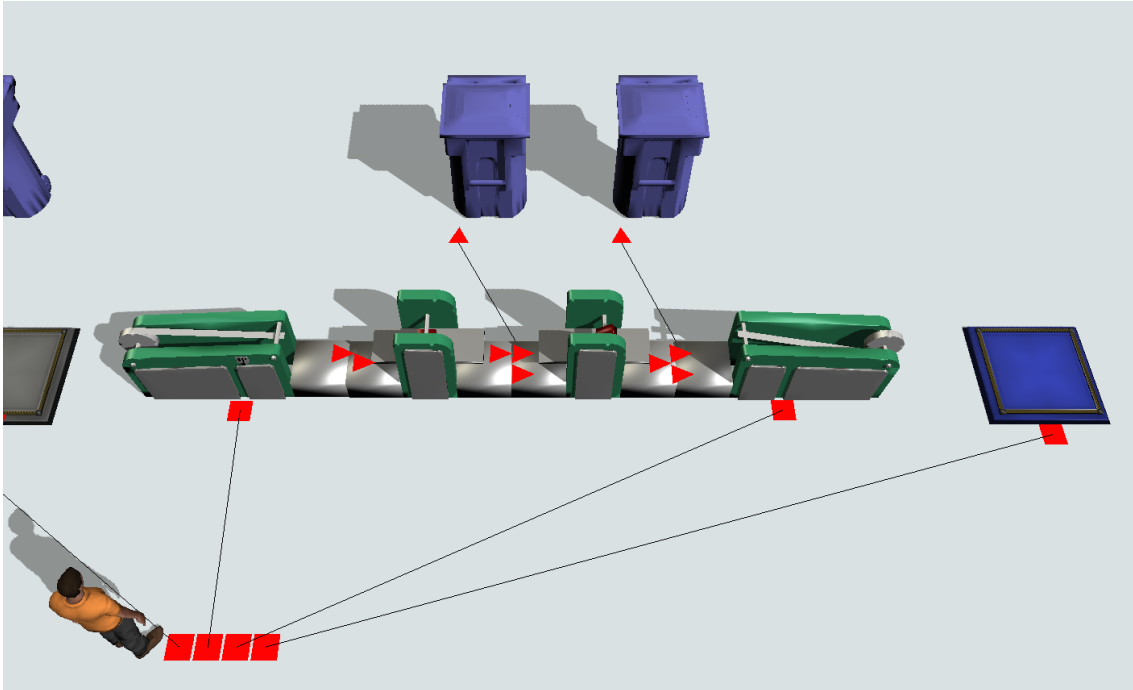


Figura 5.25: Modelo FlexSim proceso mejorado 2 - subprocesso 3

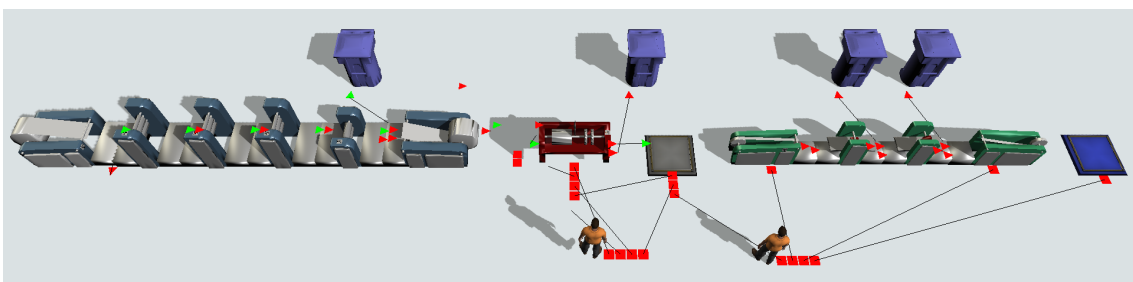


Figura 5.26: Modelo FlexSim proceso mejorado 2

5.4. Proceso mejorado 2: láser y escaneado en rollo

5.4.3. Simulación del proceso

Después de modelar el proceso, es necesario examinar las métricas resultantes y crear un panel de control para finalmente proporcionar información acerca de los resultados generados por dicho panel.

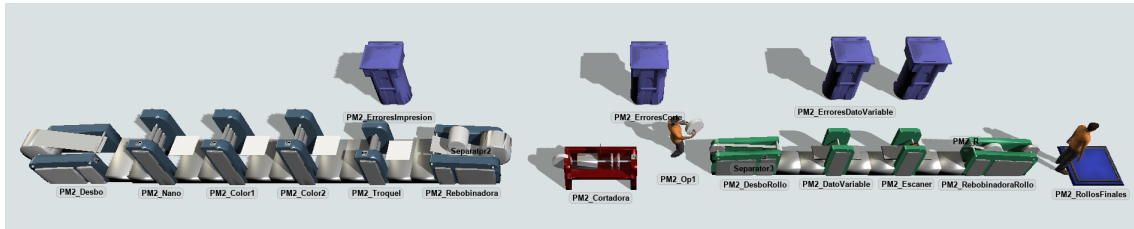


Figura 5.27: Simulación FlexSim proceso mejorado 2

Con el propósito de simular de manera más efectiva este proceso mejorado y obtener resultados representativos del mismo, se requiere establecer una serie de indicadores clave (KPIs) que contribuyan a una mejor comprensión de su funcionamiento y permitan compararlo tanto con el proceso original como con otras mejoras implementadas. Estos son los siguientes:

1. Rollos finales por hora
2. Rollos por subproceso por hora
3. Rollos erróneos por subproceso por hora
4. Metros lineales bobina por hora
5. Metros lineales bobina erróneos por hora
6. Metros lineales rollo por subproceso por hora
7. Metros lineales rollo por subproceso erróneos por hora
8. Porcentaje de actividad por máquina por hora
9. Porcentaje de inactividad por máquina por hora
10. Porcentaje de bloqueo por máquina por hora
11. Porcentaje de actividad por operario por hora
12. Porcentaje de inactividad por operario por hora
13. Porcentaje de bloqueo por operario por hora

Una vez establecidas estas métricas, se realizan los cuadros de mandos en Flex-Sim para poder medirlas y extraer información útil. Del mismo modo, se realiza una simulación de una jornada de trabajo para adecuar los datos a los demás procesos y poder realizar comparaciones. En la Figura 5.27 se puede observar la simulación de este segundo proceso mejorado.

Desarrollo de la propuesta

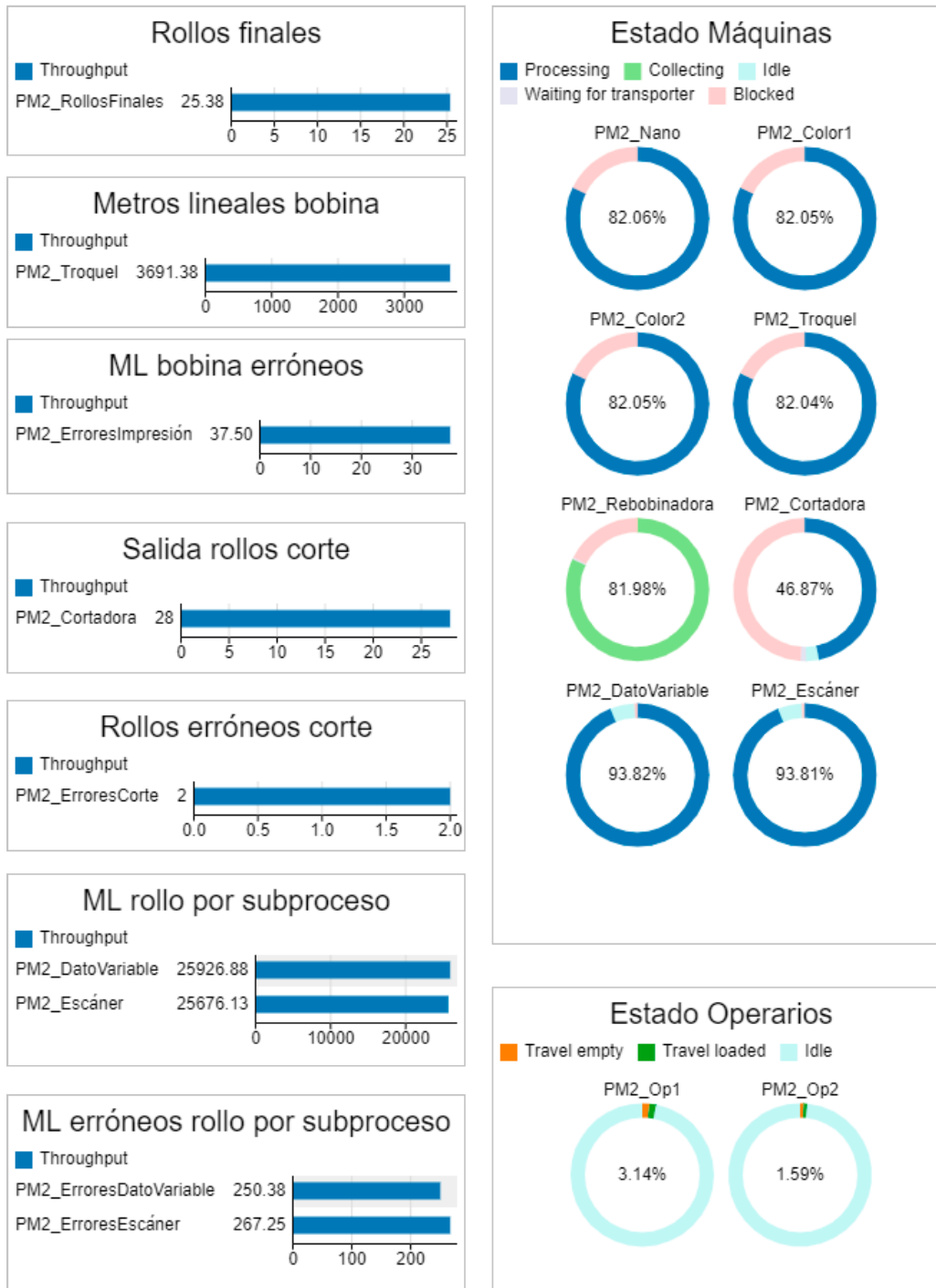


Figura 5.28: Resultados de la simulación del proceso mejorado 2

5.5. Proceso mejorado 3: subcontratación

El dashboard resultante de la simulación se puede observar en la Figura 5.28. En este se puede observar una salida de rollos finales de en torno a los 25, superior al proceso anterior y una salida de metros lineales de bobina también superior. Este incremento en ambos procesos es debido a que la línea de rotativa sin los módulos de escaneado, impresión del dato variable y corte a pliegos es mucho mayor. Por otro lado, cabe mencionar que estas máquinas no están operando a su velocidad máxima, ya que como se puede ver, se tiene únicamente un 80% de tiempo de actividad en las máquinas de rotativa, lo que lleva a la conclusión de que uno de los otros subprocesos, o el de corte o el de transformación en rollo, está realizando un cuello de botella.

Este es el caso, como se puede ver en el dashboard, en el que el tiempo de procesamiento de las maquinas es muy superior en la línea de procesamiento en rollo que en la línea de procesamiento en bobina. Aunque esto no conlleva una disminución de la producción final respecto al subproceso anterior, lleva a pensar que todavía se puede mejorar más este proceso de procesamiento en rollo. Los errores se mantienen en su línea, teniendo un número más elevado de rollos erróneos en este subproceso, pero como en estos no están impresos el dato variable y el escaneo, no conlleva en gasto asociado. Por último, los operarios de transporte de bobinas y rollos están ociosos durante gran parte del proceso, por lo que se podría reducir solamente a uno o incluso dejarles llevar otras secciones de la producción simultáneamente.

5.5. Proceso mejorado 3: subcontratación

Con el objetivo de contemplar más opciones para realizar este proceso que solucionen los problemas de consumo y producción, se plantea el subcontratar parte del proceso.

Para esto se plantea la opción de subcontratar todo el proceso o la opción de subcontratar únicamente una vez salen las bobinas de la máquina rotativa, lo que no conllevaría realizar ninguna inversión adicional y se podría dejar de realizar este producto sin afectar a las previsiones. Por otro lado, se pierde el control exhaustivo del proceso al depender de otras empresas.

El diagrama resultante es el presente en la Figura 5.29, en el que primeramente se presenta el proceso que se realiza en la fábrica de la empresa, compuesto por la desbobinadora, la impresión en offset de la tinta de nanopartículas, la impresión de diferentes colores, la aplicación del troquel para finalmente terminar este subproceso en la rebobinadora para obtener las bobinas intermedias.

Estas bobinas se tienen que enviar a la empresa de la que se subcontrata el proceso, en la que se realizarán tres acciones: la inclusión del código QR de dato variable, el escaneo y la conversión a rollos para poder ser utilizados. Se conoce que la empresa realiza primero la conversión a rollo y posteriormente las otras acciones, de este modo se gestionan de manera eficiente las pérdidas por este proceso.

Desarrollo de la propuesta

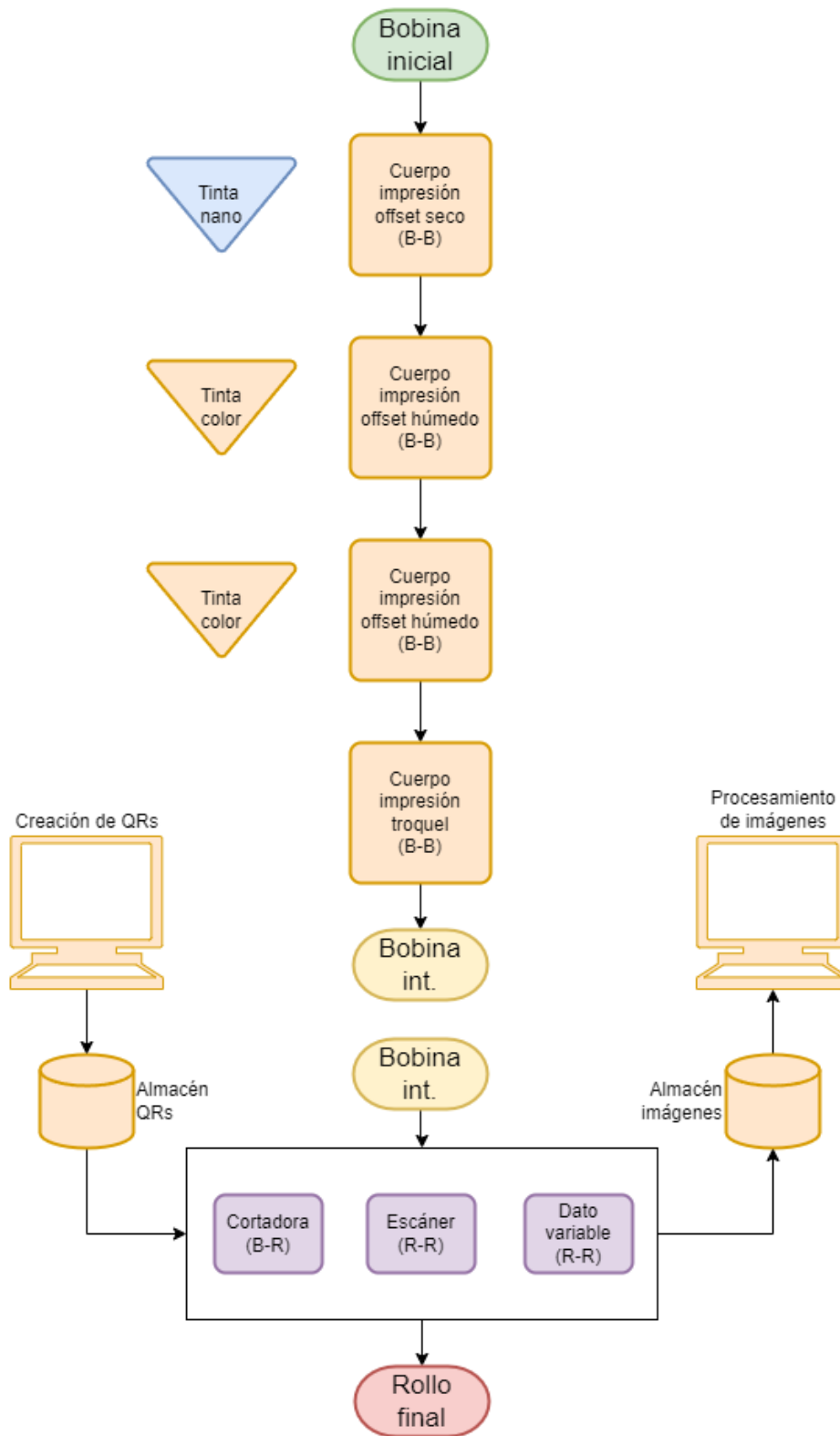


Figura 5.29: Diagrama de fabricación del proceso mejorado 3

5.5. Proceso mejorado 3: subcontratación

Por otro lado, se tiene que habilitar una forma de comunicación de la subcontrata con la empresa, lo que conllevaría un coste asociado en la sección informática.

5.5.1. Presupuesto

Para realizar este proceso mejorado se pide presupuesto de cuánto cuesta la transformación del proceso, tanto de forma variable como de forma fija.

Tabla 5.5: Presupuesto proceso mejorado 3

Concepto	Precio
Coste transporte / Ton	1.000 €
Coste por 1000 m/1	15 €

Como se puede ver en la Tabla 5.5, este proceso de transformación únicamente requiere de dos partidas, la primera es el precio de 1.000 € por cada envío de una tonelada de producto y el segundo es la relacionada con la transformación propiamente dicho, en el que se facturan 15 € por cada mil metros de rollo procesado.

5.5.2. Modelización en FlexSim

Esta modelización en FlexSim es la más sencilla de todas, ya que únicamente contempla la impresión en rotativa y un proceso posterior de paletizado de las bobinas para poder ser mandadas al destinatario final.

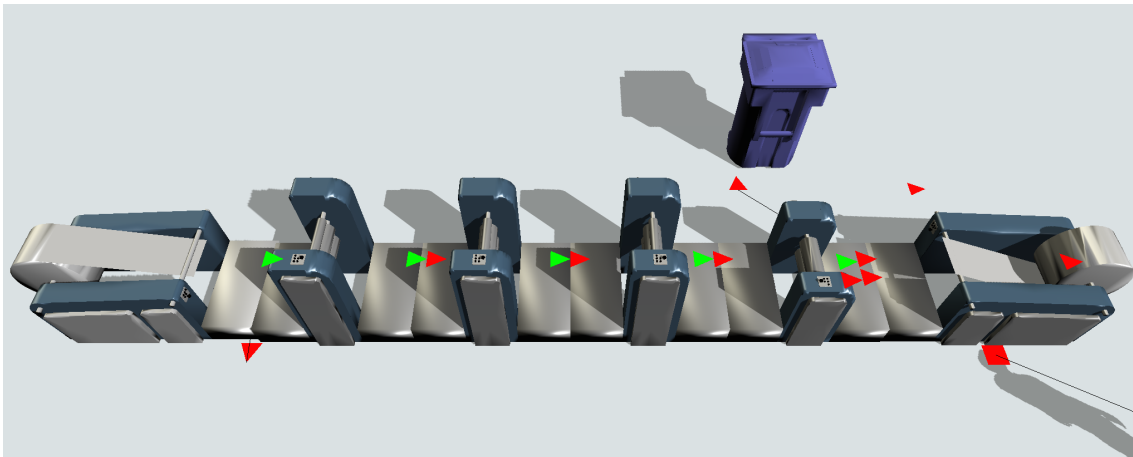


Figura 5.30: Modelo FlexSim proceso mejorado 3 - impresión en rotativa

El primer subprocesso es idéntico al realizado en el proceso mejorado anterior, en el que se realiza en línea rotativa, mediante los objetos de *Source*, *Processor* y *Combiner*. Para esto se copian los elementos anteriores y se establece la misma velocidad. Este primer subprocesso se puede observar en la Figura 5.30.

Desarrollo de la propuesta

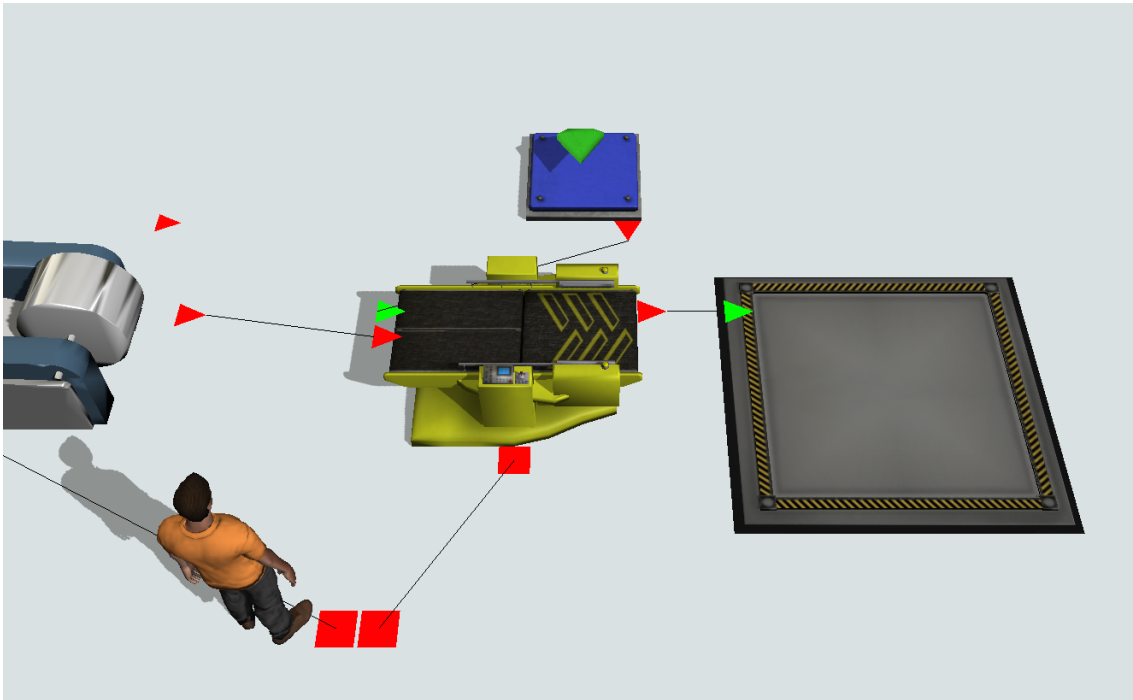


Figura 5.31: Modelo FlexSim proceso mejorado 3 - paletización

Previo al envío de las bobinas, hay que realizar pallets estándar para poder ser cargadas y descargadas. Este proceso se sirve de la salida del subproceso anterior, las bobinas, para poder pasarlas por un *Combiner*. Este elemento recibe a su vez los pallets vacíos de un generador de piezas y se van agrupando las bobinas de ocho en ocho, para ser finalmente almacenadas. Esta segunda sección se puede observar en la Figura 5.31.

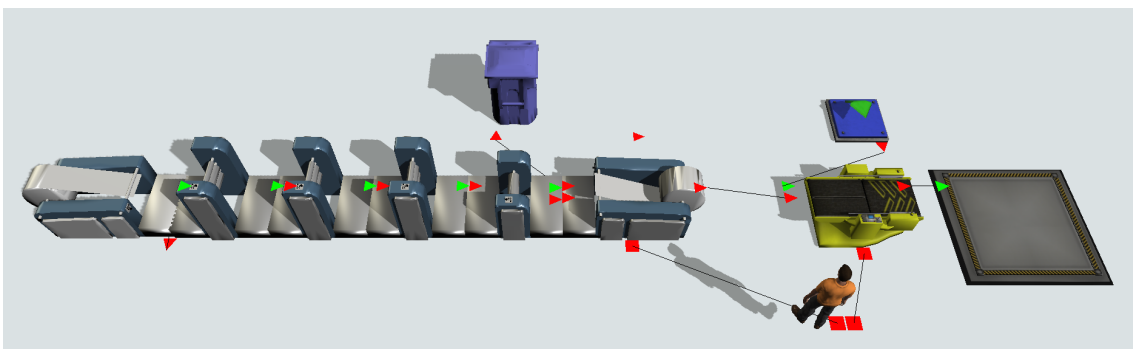


Figura 5.32: Modelo FlexSim proceso mejorado 3

El proceso resultante es el que se puede observar en la Figura 5.32. En el que únicamente existen estos dos subprocesos y un contenedor para descartar los elementos erróneos de la fase de impresión en línea rotativa.

5.5. Proceso mejorado 3: subcontratación

5.5.3. Simulación en FlexSim

La simulación de esta sección incluye únicamente la impresión en rotativa y el paletizado, ya que al no tenerse claro un acuerdo de tiempos con la empresa subcontratada, de esta forma podremos observar y mejorar este proceso básico, así como cumplir el objetivo principal de formar una imagen fiel de la producción para tomar una decisión.

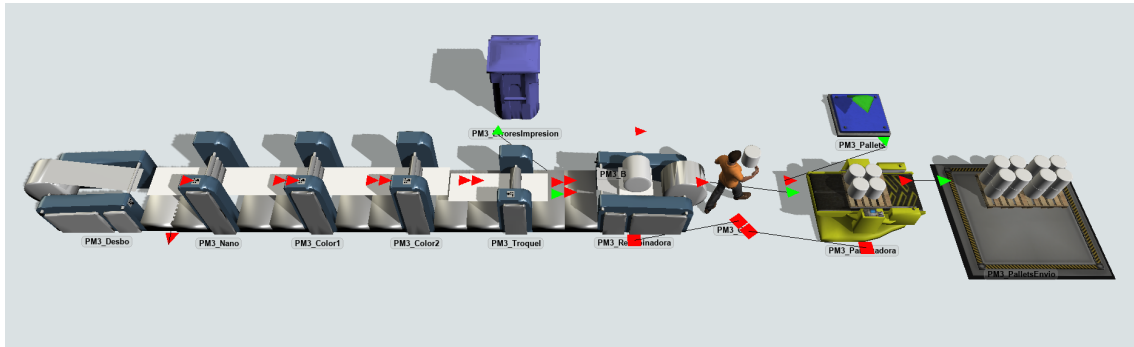


Figura 5.33: Simulación FlexSim proceso mejorado 3

Este último proceso es de difícil comparación con el resto debido a su naturaleza. Aun así, con el objetivo de obtener información significativa de este, se establecen los siguientes indicadores claves como punto de partida para la obtención de datos:

1. Metros lineales bobina por hora
2. Metros lineales bobina erróneos por hora
3. Bobinas por hora
4. Pallets totales por jornada
5. Porcentaje de actividad por máquina por hora
6. Porcentaje de inactividad por máquina por hora
7. Porcentaje de bloqueo por máquina por hora
8. Porcentaje de actividad por operario por hora
9. Porcentaje de inactividad por operario por hora
10. Porcentaje de bloqueo por operario por hora

Con estos indicadores presentes, se van agregando diferentes componentes al dashboard de FlexSim, se establece el turno de trabajo y se simula la acción, como se puede ver en la Figura 5.33.

Este último proceso es del que podemos extraer menos información, ya que este únicamente tiene un proceso de impresión en rotativa y una paletización de

Desarrollo de la propuesta

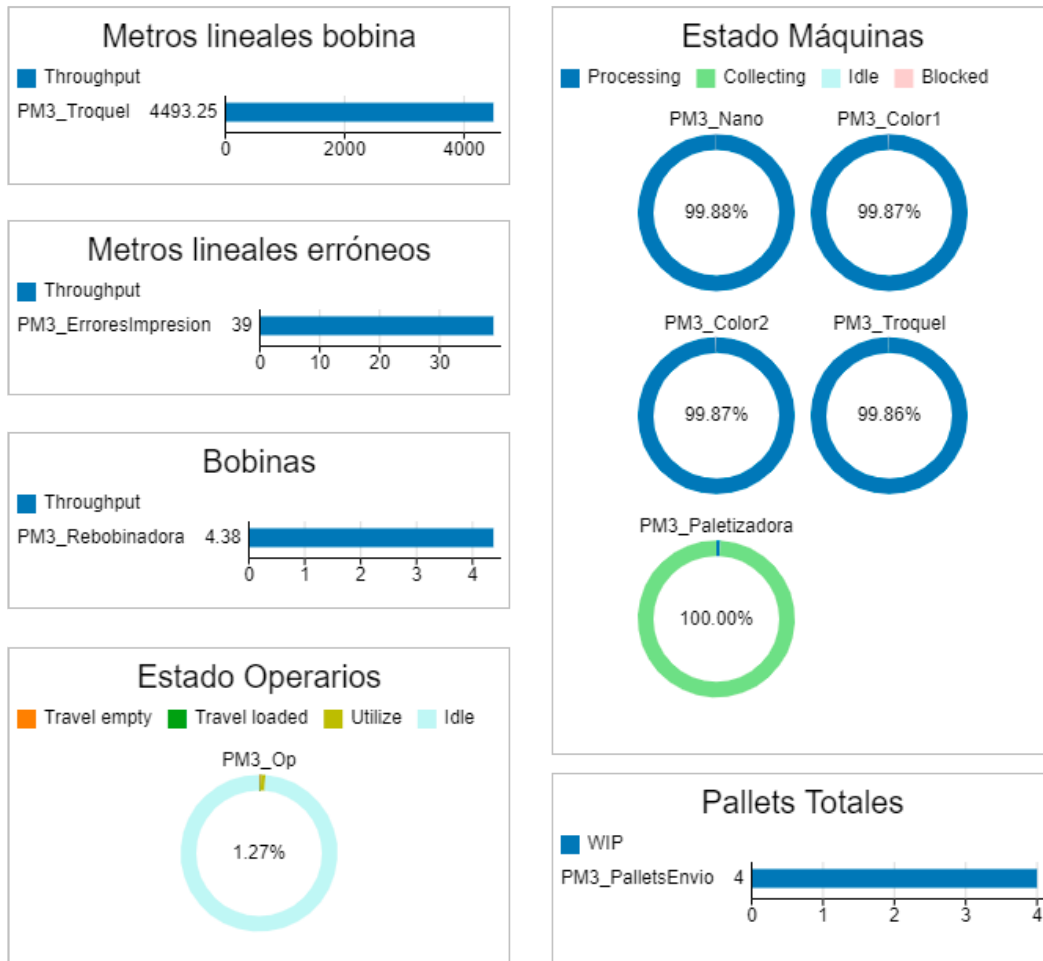


Figura 5.34: Resultados de la simulación del proceso mejorado 3

las bobinas posterior. Como se puede ver en el dashboard presente en la Figura 5.34, la producción de metros lineales de bobina es la mayor de todos los demás subprocesos, ya que puede operar a la misma velocidad que el proceso mejorado anterior, pero no tiene ningún cuello de botella posterior, ya que la máquina paletizadora se encuentra esperando y colectando bobinas durante todo el transcurso del día. Por otra parte, al final de la jornada se crean un total de cuatro pallets de bobinas de 1000 metros cada una.

5.6. Cálculo del coste de fabricación

La empresa sigue el modelo de coste hora máquina para realizar los presupuestos, presente en el libro 'La esencia del control de costos en las industrias' [33].

Este método se basa en construir primero la información de lo que cuesta operar una máquina suponiendo que trabaja 1400 horas por turno y por año, ya que este es el estimado que se sigue en la industria para medir el número de horas hábiles por turno. En el cálculo de este coste primeramente se incluye la amortización, esté o no amortizada la maquinaria en cuestión. Esto es debido a que este coste de fabricación se utiliza para dárselo al departamento comercial y que este pueda agregar un margen de beneficio teniendo en cuenta otros costes de la empresa, como gastos de administración de estructura, de oficina, de ventas y demás partidas presupuestarias no imputables directamente a la producción. Por lo que se imputa permanentemente la amortización sobre el precio de esa maquinaria en el mercado actual de segunda mano.

Además, se imputan otros costes como el de mantenimiento o reparación, el de los consumibles fijo o prorrateados y el de los suministros como la energía eléctrica. De esta forma se pueden reflejar todos estos consumos directos en el precio final. Finalmente, se agrega la partida del gasto de personal siendo casi siempre uno de los gastos mayores y queriéndose automatizar lo máximo posible.

Con todos estos datos se genera un coste por hora por máquina para cada subproceso de la producción, que se introducen en una hoja de cálculo y se van agregando a las horas de cada subproceso. Además, en esta hoja de cálculo se suman otro tipo de partidas imputables al proceso de transformación, pero no directamente a la máquina, como el transporte, el control de calidad y otros gastos comunes.

Una vez realizado el presupuesto, tanto de arranque como para cada millar de unidades, para los cuatro procesos, se pueden comparar entre ellos. Esta comparación viene acompañada no solamente por la información cuantitativa, sino por los atributos intangibles de estos procesos, como el soporte final o la calidad de la impresión.

5.6.1. Proceso actual

Se procede a crear el primer cálculo de coste de fabricación del proceso actual, ya que hasta la fecha en la empresa únicamente se habían realizado pruebas y pedidos de muy bajo volumen. Esto ha hecho que no se haya requerido de un cálculo de coste de fabricación. Primeramente, se van a calcular el coste hora para los procesos de impresión en línea de rotativa, de inclusión del dato variable y del subproceso de recogida de imágenes. Para posteriormente realizar el cálculo del coste de fabricación, tanto el fijo de arranque como el variable por cada millar de etiquetas. Este cálculo se realiza para uno, dos y tres turnos de uso de la maquinaria, con el objetivo de adaptar el número de turnos en función de las necesidades del cliente y el pedido.

Desarrollo de la propuesta

Este primer proceso será explicado más en detalle, para servir de base al realizar los siguientes.

Tabla 5.6: Cálculo coste hora. Proceso actual - subproceso 1

Turnos	1	2	3
Horas anuales	1.400 h	2.800 h	4.200 h
<i>Amortización</i>			
Precio compra	600.000 €	600.000 €	600.000 €
Precio mercado	300.000 €	300.000 €	300.000 €
Periodo amortización	8 años	8 años	8 años
Valor razonable	100.000 €	100.000 €	100.000 €
Amortización Teórica	200.000 €	200.000 €	200.000 €
A.T. Anual	25.000 €	25.000 €	25.000 €
Coste A.T. / Hora	18 € / h	9 € / h	6 € / h
<i>Mantenimiento</i>			
Coste Mto / Rep	10.000 €	15.000 €	20.000 €
Coste M.R. / Hora	7 € / h	5 € / h	5 € / h
<i>Consumibles</i>			
Consumibles producción	10.000 €	20.000 €	30.000 €
Coste Cons. / Hora	7 € / h	7 € / h	7 € / h
<i>Energía Eléctrica</i>			
Consumo	125 KwH	125 KwH	125 KwH
Precio KwH	0,2 €	0,2 €	0,2 €
Coste E.E. / Hora	25 € / h	25 € / h	25 € / h
<i>Mano de Obra</i>			
Oficial	40.000 €	40.000 €	40.000 €
Auxiliar	29.000 €	29.000 €	29.000 €
Suma	69.000 €	138.000 €	207.000 €
Coste M.O. / Hora	49 € / h	49 € / h	49 € / h
COSTE TOTAL / HORA	106 € / h	96 € / h	92 € / h

En la Tabla 5.6 se muestra el coste hora total para el primer subproceso realizado en línea rotativa. Primeramente, se empieza con la amortización teórica, la cual se repercute perpetuamente sobre su valor de mercado actual. En este caso la línea entera con los módulos usados y los demás cuerpos de impresión ascendió en su momento a 600.000 €, pero actualmente el precio de compra en el mercado de segunda mano estaría en torno a los 300.000 €. Este activo tendría un valor residual de 100.000 €, por lo que una amortización teórica anual de 25.000 €.

Posteriormente, se agrega el gasto en mantenimiento y reparaciones, el cual mantiene una parte fija de 5.000 € y una parte variable de 5.000 € por turno trabajado. Los consumibles siguen una proporción lineal en los tres turnos, entre estos están la tinta, el agua y los productos de limpieza de cabezales y cilindros. Por otro lado, la energía eléctrica con un consumo base de 60 kWh,

5.6. Cálculo del coste de fabricación

más 50 kWh de lámparas de curado ultravioleta para la impresión en offset y otro gasto asociado de control. Por último, se encuentra la mano de obra, en la que se necesita un oficial y un Auxiliar para poder llevar la máquina de forma cómoda, teniendo cada uno de estos un coste asociado.

Tras realizar estos cálculos podemos analizar cómo de realizar uno a dos turnos el coste hora máquina baja considerablemente, pero no hay tanta diferencia entre realizar dos o tres turnos. Como punto de partida para este presupuesto del proceso actual se elige el coste hora para un solo turno.

Tabla 5.7: Cálculo coste hora. Proceso actual - subproceso 2

Turnos	1	2	3
Horas anuales	1.400 h	2.800 h	4.200 h
<i>Leasing</i>			
Coste por mes	1.300 €	1.300 €	1.300 €
Coste Anual	15.600 €	15.600 €	15.600 €
Coste A.T. / Hora	11 € / h	6 € / h	4 € / h
<i>Energía Eléctrica</i>			
Consumo	40 kWh	40 kWh	40 kWh
Precio kWh	0,2 €	0,2 €	0,2 €
Coste E.E. / Hora	8 € / h	8 € / h	8 € / h
<i>Mano de Obra</i>			
Aprendiz	20.000 €	20.000 €	20.000 €
Suma	20.000 €	40.000 €	60.000 €
Coste M.O. / Hora	14 € / h	14 € / h	14 € / h
COSTE TOTAL / HORA	33 € / h	28 € / h	26 € / h

El segundo subproceso, es el referente a la máquina Xerox para la impresión de dato variable. Esta se adquiere por leasing, se paga de manera mensual y hay que obtener el equivalente por hora, para imputárselo al producto. En este caso no se incluyen ni mantenimiento ni consumibles, ya que estos estarían incluidos en el contrato de la maquinaria. Y lo que si se factura sería cada procesamiento, la energía eléctrica y la mano de obra del operario en la máquina.

El cálculo del coste hora máquina se puede ver en la Tabla 5.8, en la que se incluyen todas las partidas relacionadas con este subproceso.

Primeramente, se expone el acabado y los detalles generales de fabricación. Entre estos se encuentra el formato final, las tintas que se tienen que utilizar, el coste de las planchas, los suplementos de llenado de tinteros y demás partidas relacionadas con el producto. Esto se puede ver de forma detallada en la Tabla 5.9.

El soporte a utilizar es un autoadhesivo de seguridad, el cual posee fibras de seguridad con respuesta ultravioleta y dos capas: una encerada sobre la que se apoya el papel donde se imprime y el propio papel de seguridad. En la Tabla 5.10 se puede observar como se muestra el ancho del papel, el gramaje, el precio

Desarrollo de la propuesta

Tabla 5.8: Cálculo coste hora. Proceso actual - subproceso 3

Turnos	1	2	3
Horas anuales	1,400 h	2,800 h	4,200 h
<i>Amortización</i>			
Precio compra	300,000 €	300,000 €	300,000 €
Precio mercado	230,000 €	230,000 €	230,000 €
Periodo amortización	8 años	8 años	8 años
Valor razonable	60,000 €	60,000 €	60,000 €
Amortización Teórica	170,000 €	170,000 €	170,000 €
A.T. Anual	21,250 €	21,250 €	21,250 €
Coste AT / Hora	15 €/h	8 €/h	5 €/h
<i>Mantenimiento</i>			
Coste Mto / Rep	5,000 €	8,000 €	10,000 €
Coste M.R. / Hora	4 €/h	3 €/h	2 €/h
<i>Consumibles</i>			
Consumibles producción	3,000 €	6,000 €	9,000 €
Coste Cons. / Hora	2 €/h	2 €/h	2 €/h
<i>Energía Eléctrica</i>			
Consumo	40 Kwh	40 Kwh	40 Kwh
Precio Kwh	0.2 €	0.2 €	0.2 €
Coste E.E. / Hora	8 €/h	8 €/h	8 €/h
<i>Mano de Obra</i>			
Auxiliar	29,000 €	29,000 €	29,000 €
SUMA	29,000 €	58,000 €	87,000 €
Coste M.O. / Hora	21 €/h	21 €/h	21 €/h
COSTE TOTAL / HORA	50 €/h	35 €/h	32 €/h

Tabla 5.9: Presupuesto proceso actual - acabado y preimpresión

ACABADO	Bobina - Hoja 240 mm x 12"
Tintas	3/0 (2 visibles + 1 invisibles) + nanopart. ink
Planchas	3
Coste por plancha	15 €
Coste de preimpresión	100 €
Suplemento tinteros	100 €
Tamaño ancho (mm)	22 mm
Tamaño alto (mm)	52 mm
Formato impresión (pulgadas)	24"
Uds. rotación bobina	80 Uds.

5.6. Cálculo del coste de fabricación

Tabla 5.10: Presupuesto proceso actual - papel

PAPEL	Autoadhesivo seguridad
Ancho de papel (mm)	250 mm
Gramaje (gr/m ²)	160 gr/m ²
Precio m ² (papel autoadhesivo)	1,60 €/m ²
Perdido arranque (m ²)	300 m ²
Perdido tirada (%)	10 %

por metro cuadrado, el porcentaje de papel perdido en arranque y el porcentaje perdido durante la tirada. Este porcentaje es un promedio de todas las transformaciones en las diferentes máquinas, para imputárselo al precio del papel directamente.

Tabla 5.11: Presupuesto proceso actual - coste hora por subproceso

Subproceso 1 - Impresión offset rotativa	RK500NT
Tiempo de preparación (horas)	4,0 h
Velocidad de tirada (m/min)	100 m/min
Coste hora preparación	60 € / h
Coste hora tirada	106 € / h
Subproceso 2 - Dato variable pliego	XEROX NUVERA
Velocidad de tirada (clicks por hora)	3.600 Pl/H
Coste de preparación	120 €
Coste click	0,00400 €
Coste hora máquina	33 €
Subproceso 3 - Escáner pliego	LAKE - KERN
Coste de preparación	150 €
Velocidad de tirada (pliegos por hora)	1.000 Pl/H
Coste hora máquina	50 €

En la Tabla 5.11 se pueden observar los datos de cada uno de los subprocesos base. En esta se distinguen los tres subprocesos, el primero realizado en rotativa incluye el tiempo de preparación, la velocidad de tirada, el coste de hora de preparación y el coste de hora de tirada. El coste hora de preparación es menor ya que intervienen menos operarios y no se gasta tanto papel y consumibles. Por otro lado, el subproceso dos incluye la velocidad de tirada, el coste de preparación del proceso, el coste de cada uno de los clicks que realiza la máquina y el coste máquina hora. Por último, en el subproceso 3 se incluye únicamente el coste de preparación, en el que se incluye la comunicación con el servicio de datos del proveedor de la tinta de nanopartículas, la velocidad de tirada y el coste hora máquina.

Finalmente, como se puede observar en la Tabla 5.12, se realiza el cálculo final del coste fijo de arranque y por cada millar de etiquetas. En esta tabla se calculan

Desarrollo de la propuesta

Tabla 5.12: Presupuesto proceso actual - cálculo

	Fijo - Arranque	Variable (Millar)
Kg. Papel	48 Kg	335 Kg
Metros cuadrados	300 m2	2.096 m2
Metros lineales a imprimir		7.620 m/l
Pliegos		25.000 Pl
Clicks (en formatos de 40 etiquetas)		25.000 Clicks
Tirada (horas)		1,27 h
Prep+Tirada (horas)	4,00 h	1,27 h
Tiempo de dato variable		6,94 h
Tiempo escáner		25,00 h
Coste de preparación	240 €	
Coste de tirada		135 €
Coste papel	480 €	3.353 €
Suplemento tinta nanopartículas	100 €	60 €
Coste troquel	150 €	
Coste de preimpresión	145 €	
Coste clicks		100 €
Coste dato variable	120 €	229 €
Coste escáner	150 €	1.250 €
Procesos guillotina		1.800 €
Empaquetado-retractilado-C.Calidad		100 €
Coste de embalajes		175 €
Transporte sin valorar EXW	10 €	50 €
COSTE TOTAL	1.395,00 €	7.251,88 €
COSTE MILLAR		7,25 €

5.6. Cálculo del coste de fabricación

primero los datos del material consumido, como los kilogramos de papel, los metros cuadrados de papel, los metros lineales a imprimir y los pliegos finales. Seguidamente, se calculan los tiempos de cada uno de los subprocesos, tanto de preparación como de tirada, para utilizar estos datos para poder obtener el coste real en euros de cada una de las partidas principales de producción. Entre estas partidas se encuentran: el coste de cada subproceso, el coste de impresión, los suplementos por la tinta de nanopartículas y el coste de afilar la plancha troqueladora. Para concluir el cálculo se agregan otros procesos como el de guillotina, el control de calidad, el de empaquetado y el transporte a su localización intermedia (sin contar el envío al cliente final).

5.6.2. Proceso mejorado 1

El proceso mejorado 1 se sirve de la base anterior para realizar el cálculo del coste hora. En este proceso, nos encontramos principalmente con dos transformaciones diferentes: la impresión en rotativa y la transformación de bobinas a rollos. Para la realización de estos se utilizarán los presupuestos presentes en la presentación del proceso mejorado.

En la Tabla 5.13 se muestra el coste hora máquina del primer subproceso: impresión offset, inclusión del dato variable y escaneo de imágenes, todo esto en máquina rotativa. Se ha tomado de base el cálculo del coste de la línea de rotativa anterior y se han agregado las diferencias con este proceso. Primeramente, se añade el coste de los diferentes equipos, el escáner y la inyección de tinta, para calcular la amortización teórica. Por otro lado, el mantenimiento se encarece, así como los consumibles y la energía eléctrica, ya que estas máquinas requieren de tinta para poder funcionar. Por último, en este proceso el coste hora de la mano de obra se encarece, ya que requiere de dos oficiales: uno encargado de la sección de impresión en rotativa y otro encargado de los nuevos módulos de dato variable y escáner.

Presente en la Tabla 5.14, se encuentra el cálculo del coste hora de la cortadora de bobina a rollo, en este igual que en los anteriores se incluyen las partidas necesarias para calcular el coste hora.

En la tabla 5.15 se encuentra la información detallada técnica y de coste de cada uno de los subprocesos de este proceso mejorado.

Por último, se encuentra el cálculo del coste de arranque y variable por millar de etiquetas en la Tabla 5.16. En esta se separa igual que en la anterior por grupos, se agrega el rollo como unidad para el cálculo y se calcula finalmente la cuantía resultante.

5.6.3. Proceso mejorado 2

Para calcular el coste del proceso mejorado 2 se necesita adaptar la sección de rotativa a terminar en bobina, utilizar el mismo coste para el proceso de transformación de bobina a pliego y calcular el coste de añadir el dato variable y realizar el escaneado de las imágenes.

Desarrollo de la propuesta

Tabla 5.13: Cálculo coste hora. Proceso mejorado 1 - rotativa en bobina

Turnos	1	2	3
Horas anuales	1.400 h	2.800 h	4.200 h
<i>Amortización</i>			
Precio compra	656.850 €	656.850 €	656.850 €
Precio mercado	370.750 €	370.750 €	370.750 €
Periodo amortización	8 años	8 años	8 años
Valor razonable	120.000 €	120.000 €	120.000 €
Amortización Teórica	250.750 €	250.750 €	250.750 €
A.T. Anual	31.344 €	31.344 €	31.344 €
Coste A.T. / Hora	22 € / h	11 € / h	7 € / h
<i>Mantenimiento</i>			
Coste Mto / Rep	12.000 €	17.000 €	23.000 €
Coste M.R. / Hora	9 € / h	6 € / h	5 € / h
<i>Consumibles</i>			
Consumibles producción	20.000 €	40.000 €	60.000 €
Coste Cons. / Hora	14 € / h	14 € / h	14 € / h
<i>Energía Eléctrica</i>			
Consumo	150 KwH	150 KwH	150 KwH
Precio KwH	0,2 €	0,2 €	0,2 €
Coste E.E. / Hora	30 € / h	30 € / h	30 € / h
<i>Mano de Obra</i>			
Oficial	40.000 €	40.000 €	40.000 €
Oficial	40.000 €	40.000 €	40.000 €
Suma	80.000 €	160.000 €	240.000 €
Coste M.O. / Hora	57 € / h	57 € / h	57 € / h
COSTE TOTAL / HORA	132 € / h	119 € / h	114 € / h

5.6. Cálculo del coste de fabricación

Tabla 5.14: Cálculo coste hora. Cortadora bobina a rollo

Turnos	1	2	3
Horas anuales	1,400 h	2,800 h	4,200 h
<i>Amortización</i>			
Precio compra	50,000 €	50,000 €	50,000 €
Precio mercado	30,700 €	30,700 €	30,700 €
Periodo amortización	8 años	8 años	8 años
Valor razonable	10,000 €	10,000 €	10,000 €
Amortización Teórica	20,700 €	20,700 €	20,700 €
A.T. Anual	2,588 €	2,588 €	2,588 €
Coste AT / Hora	2 €/h	1 €/h	1 €/h
<i>Mantenimiento</i>			
Coste Mto / Rep	5,000 €	10,000 €	15,000 €
Coste M.R. / Hora	4 €/h	4 €/h	4 €/h
<i>Consumibles</i>			
Consumibles producción	8,000 €	16,000 €	24,000 €
Coste Cons. / Hora	6 €/h	6 €/h	6 €/h
<i>Energía Eléctrica</i>			
Consumo	40 KwH	40 KwH	40 KwH
Precio KwH	0.2 €	0.2 €	0.2 €
Coste E.E. / Hora	8 €/h	8 €/h	8 €/h
<i>Mano de Obra</i>			
Oficial	40,000 €	40,000 €	40,000 €
SUMA	40,000 €	80,000 €	120,000 €
Coste M.O. / Hora	29 €/h	29 €/h	29 €/h
COSTE TOTAL / HORA	48 €/h	47 €/h	46 €/h

Tabla 5.15: Presupuesto proceso mejorado 1 - coste hora por subproceso

Subproceso 1 - Impresión/D.V./Escáner bobina	RK500NT
Tiempo de preparación (horas)	4,0 h
Velocidad de tirada (m/min)	60 m/min
Coste hora preparación	80 €
Coste hora tirada	132 €
Subproceso 2 - corte de bobina a rollo	Cortadora bobina a rollo
Velocidad corte (rollos por hora)	60 R/H
Coste preparación	80 €
Coste hora máquina / operador	48 €

Desarrollo de la propuesta

Tabla 5.16: Presupuesto proceso mejorado 1 - cálculo

	Fijo - Arranque	Variable (Millar)
Kg. Papel	40 Kg	351 Kg
Metros cuadrados	400 m2	2.191 m2
Metros lineales a imprimir		7.620 m/l
Bobinas		8 B
Rollos		61 R
Metros lineales rollo a imprimir		60.960 m/l
Tirada (horas)		2,12 h
Prep+Tirada (horas)	4,00 h	2,12 h
Tiempo de corte bobina a rollo		1,02 h
Coste de preparación bobina	320 €	
Coste de tirada bobina		279 €
Coste papel	640 €	3.505 €
Suplemento tinta nanopartículas	100 €	60 €
Coste troquel	150 €	
Coste de preimpresión	145 €	
Coste corte bobina a rollo	80 €	49 €
Empaquetado-retractilado-C.Calidad		24 €
Coste de embalajes		43 €
Transporte sin valorar EXW	10 €	53 €
COSTE TOTAL	1.445,24 €	4.013,00 €
COSTE MILLAR		4,01 €

5.6. Cálculo del coste de fabricación

Tabla 5.17: Cálculo coste hora. Proceso mejorado 2 - subproceso 2

Turnos	1	2	3
Horas anuales	1.400 h	2.800 h	4.200 h
<i>Amortización</i>			
Precio compra	500.000 €	500.000 €	500.000 €
Precio mercado	250.000 €	250.000 €	250.000 €
Periodo amortización	8 años	8 años	8 años
Valor razonable	100.000 €	100.000 €	100.000 €
Amortización Teórica	150.000 €	150.000 €	150.000 €
A.T. Anual	18.750 €	18.750 €	18.750 €
Coste A.T. / Hora	13 € / h	7 € / h	4 € / h
<i>Mantenimiento</i>			
Coste Mto / Rep	8.000 €	12.000 €	15.000 €
Coste M.R. / Hora	6 € / h	4 € / h	4 € / h
<i>Consumibles</i>			
Consumibles producción	8.000 €	16.000 €	24.000 €
Coste Cons. / Hora	6 € / h	6 € / h	6 € / h
<i>Energía Eléctrica</i>			
Consumo	110 KwH	110 KwH	110 KwH
Precio KwH	0,2 €	0,2 €	0,2 €
Coste E.E. / Hora	22 € / h	22 € / h	22 € / h
<i>Mano de Obra</i>			
Oficial	40.000 €	40.000 €	40.000 €
Aprendiz	20.000 €	20.000 €	20.000 €
Suma	60.000 €	120.000 €	180.000 €
Coste M.O. / Hora	43 € / h	43 € / h	43 € / h
COSTE TOTAL / HORA	90 € / h	82 € / h	79 € / h

Desarrollo de la propuesta

Para este proceso, se elimina del escenario inicial la cortadora de pliegos y la apiladora y se sustituyen por una rebobinadora. Esto modifica la amortización teórica, ya que se han eliminado máquinas de la línea de transformación. Por otro lado, se reduce en poco dinero el gasto en consumibles y mantenimiento, ya que el grueso de la maquinaria sigue vigente, así como la energía eléctrica necesaria para realizar esta transformación. Por último, al eliminar el proceso donde se requería que un operario más experimentado realizará la inspección de la cortadora de pliegos y la apiladora, al terminar en bobina se puede sustituir al auxiliar por un aprendiz. Este cálculo del coste se puede observar en la Tabla 5.17.

Tabla 5.18: Cálculo coste hora. Proceso mejorado 2 - subproceso 3

Turnos	1	2	3
Horas anuales	1.400 h	2.800 h	4.200 h
<i>Amortización</i>			
Precio compra	166.703 €	166.703 €	166.703 €
Periodo amortización	8 años	8 años	8 años
Valor razonable	20.000 €	20.000 €	20.000 €
Amortización Teórica	146.703 €	146.703 €	146.703 €
A.T. Anual	18.338 €	18.338 €	18.338 €
Coste A.T. / Hora	13 € / h	7 € / h	4 € / h
<i>Mantenimiento</i>			
Coste Mto / Rep	5.000 €	8.000 €	10.000 €
Coste M.R. / Hora	4 € / h	3 € / h	2 € / h
<i>Consumibles</i>			
Consumibles producción	15.000 €	30.000 €	45.000 €
Coste Cons. / Hora	11 € / h	11 € / h	11 € / h
<i>Energía Eléctrica</i>			
Consumo	50 KwH	50 KwH	50 KwH
Precio KwH	0,2 €	0,2 €	0,2 €
Coste E.E. / Hora	10 € / h	10 € / h	10 € / h
<i>Mano de Obra</i>			
Oficial	40.000 €	40.000 €	40.000 €
Suma	40.000 €	80.000 €	120.000 €
Coste M.O. / Hora	29 € / h	29 € / h	29 € / h
COSTE TOTAL / HORA	66 € / h	59 € / h	56 € / h

En la Tabla 5.18 se encuentra el cálculo del coste hora para la segunda línea de rotativa para rollo, de la misma forma que el utilizado para las anteriores. Esta se calcula a partir de los datos del presupuesto presentes en la sección donde se explica el proceso. En cuanto al proceso de transformación de bobina a rollo, se utiliza la misma máquina que la explicada en el proceso mejorado anterior, por consiguiente, no se incluye dentro de esta sección.

5.6. Cálculo del coste de fabricación

Tabla 5.19: Presupuesto proceso mejorado 2 - coste hora por subproceso

Subproceso 1 - Rotativa bobina		RK500NT
Tiempo de preparación (horas)		4,0 h
Velocidad de tirada (m/min)		100 m/min
Coste hora preparación		40 € / h
Coste hora tirada		90 € / h
Subproceso 2 - Corte a rollo		Cortadora bobina a rollo
Velocidad de corte (rollos por hora)		60 R/H
Coste de preparación		80 €
Coste hora máquina/operador		48 €
Subproceso 3 - Rotativa rollo		Burs
Tiempo de preparación (horas)		3,0 h
Velocidad de tirada (m/min)		700 m/min
Coste hora preparación		40 € / h
Coste hora tirada		66 € / h

Al igual que en los procesos anteriores, se expone primero la información de cada uno de los subprocesos de transformación en la Tabla 5.19, en la que se incluye primero la impresión en rotativa a bobina, la transformación en rollo y finalmente la impresión del dato variable y el escaneo en rollo, estableciendo las unidades de estas últimas en rollos por hora y metros de rollo por minuto, respectivamente.

Finalmente, se realiza el cálculo por el arranque de la producción y el fijo por millar, presentándose en la Tabla 5.20. Este se realiza de igual manera que los anteriores, pero se incluyen dos transformaciones en rotativa, con su tiempo de tirada y su tiempo de preparación, la realizada en bobina y la realizada en rollo.

Desarrollo de la propuesta

Tabla 5.20: Presupuesto proceso mejorado 2 - cálculo

	Fijo - Arranque	Variable (Millar)
Kg. Papel	40 Kg	341 Kg
Metros cuadrados	250 m2	2.134 m2
Metros lineales a imprimir		7.620 m/l
Bobinas		8 B
Rollos		61 R
Metros lineales rollo a imprimir		60.960 m/l
Tirada (horas)		1,27 h
Prep+Tirada (horas)	4,00 h	1,27 h
Tiempo de corte bobina a rollo		1,02 h
Tirada rollo (horas)		1,45 h
Prep+Tirada rollo (horas)	3,00 h	1,45 h
Coste de preparación bobina	160 €	
Coste de tirada bobina		114 €
Coste de preparación rollo	120 €	
Coste de tirada rollo		96 €
Coste papel	400 €	3.414 €
Suplemento tinta nanopartículas	100 €	60 €
Coste troquel	150 €	
Coste de preimpresión	145 €	
Coste corte bobina a rollo	80 €	49 €
Empaquetado-retractilado-C.Calidad		24 €
Coste de embalajes		43 €
Transporte sin valorar EXW	10 €	51 €
COSTE TOTAL	1.165,24 €	3.850,88 €
COSTE MILLAR		3,85 €

5.6.4. Proceso mejorado 3

Por último, se obtiene el coste de producción del proceso mejorado 3, para compararlo con el resto de los procesos ya que no es posible modelizar el uso de subcontratas en FlexSim.

Se utiliza el cálculo de coste hora máquina del proceso mejorado anterior para la impresión en rotativa de bobina, ya que este subproceso es idéntico y no hace falta volver a calcularlo.

Tabla 5.21: Presupuesto proceso mejorado 3 - coste hora por subproceso

Subproceso 1 - Rotativa bobina	RK500NT
Tiempo de preparación (horas)	4,0 h
Velocidad de tirada (m/min)	100 m/min
Coste hora preparación	40 € / h
Coste hora tirada	90 € / h
Subcontrato - D.V./escáner/rollo	Graphim
Coste transporte / Ton	1.000 €
Coste por 1000 m/1	15 €

En la Tabla 5.21 se muestran los subprocesos de este último proceso mejorado, en los que únicamente encontramos dos: una impresión en rotativa de bobina y la subcontratación del dato variable, el escáner y la conversión a rollo, presentando cada una de ellas el coste asociado.

Finalmente, se muestra el cálculo por iniciar el proceso y por cada millar de unidades en la Tabla 5.22. Se realiza igual que las anteriores, pero debido a la naturaleza del transporte, se debe tener en cuenta el número de toneladas como una unidad discreta y por cada una de estas añadir un coste más. Esto hace que en el escenario más ideal y que los kilos del producto final sean 1.000, el coste por millar sea mínimo y vaya ascendiendo paulatinamente según se aleja de una unidad entera.

Desarrollo de la propuesta

Tabla 5.22: Presupuesto proceso mejorado 3 - cálculo

	Fijo - Arranque	Variable (Millar)
Kg. Papel	40 Kg	335 Kg
Metros cuadrados	250 m2	2.096 m2
Metros lineales a imprimir		7.620 m/l
Bobinas		8 B
Rollos		61 R
Metros lineales rollo a imprimir		60.960 m/l
Tirada (horas)		1,27 h
Prep+Tirada (horas)	4,00 h	1,27 h
Coste de preparación bobina	160 €	
Coste de tirada bobina		114 €
Coste papel	400 €	3.353 €
Suplemento tinta nanopartículas	100 €	60 €
Coste troquel	150 €	
Coste de preimpresión	145 €	
Transporte a subcontrata		1.000 €
Coste dv/escáner/rollo		914 €
Empaquetado-retractilado-C.Calidad		24 €
Coste de embalajes		43 €
Transporte sin valorar EXW	10 €	50 €
COSTE TOTAL	965,24 €	5.558,85 €
COSTE MILLAR		4,9 € - 1.000 €

Capítulo 6

Evaluación

En este capítulo se realiza la evaluación del trabajo, en la que se expone una primera comparativa para elegir la mejor opción de producción y posteriormente realizar un estudio de viabilidad económica utilizando la mejor opción.

6.1. Comparativa de los distintos procesos

Para realizar la comparación se hace uso de Power BI para mostrar los datos y poder analizarlos. Con este se van a crear dos cuadros de mando: uno para analizar la inversión, el coste y el tiempo y otro para analizar los datos sintéticos de FlexSim.

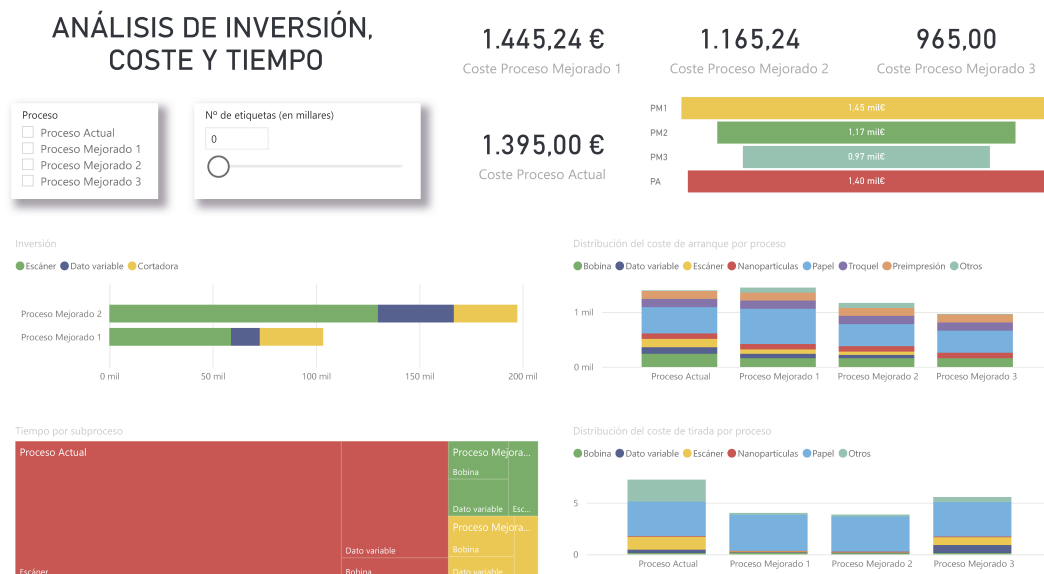


Figura 6.1: Dashboard análisis de inversión, coste y tiempo

Evaluación

El dashboard de análisis de inversión, coste y tiempo presenta gráficos y métricas de estos parámetros, para que de forma dinámica se puedan comparar y analizar todos los procesos. Este se puede ver en la Figura 6.1.

En este se puede observar de un vistazo rápido las tres áreas principales: selección de filtros y variables de entrada, calculadora de costes por proceso e información analítica por proceso.



Figura 6.2: Calculadora costes de fabricación

La sección superior del cuadro de control es la dedicada a calcular los costes de fabricación de los distintos procesos, para de esta forma poder compararlos de forma dinámica. Para ello se tiene que introducir el número de etiquetas a fabricar en millares, para poder crear medidas de Power BI y calcular para cada proceso su coste de fabricación total. Además, para facilitar la comparativa gráfica se muestra un gráfico de pirámide. Esta acción se puede observar en la Figura 6.2.

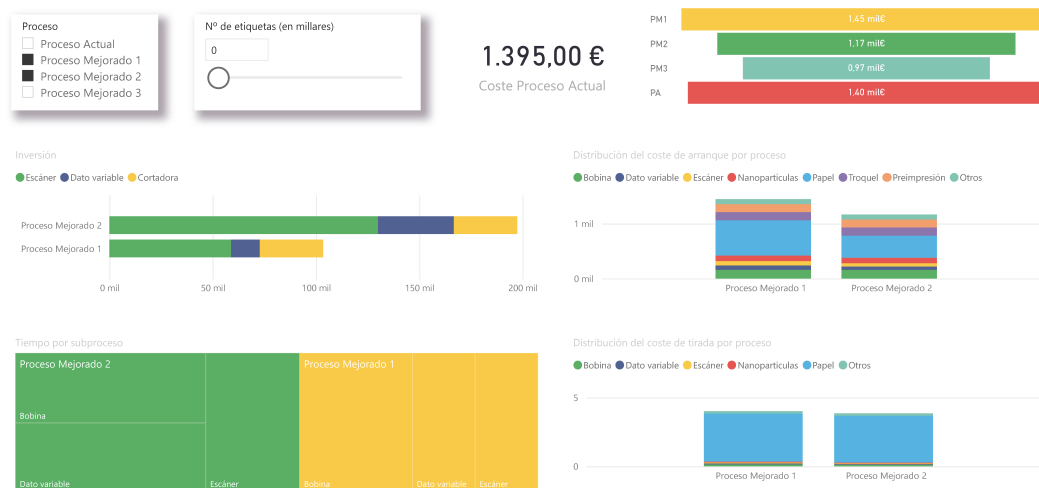


Figura 6.3: Selección de procesos

La parte inferior del dashboard la ocupan las gráficas de inversión, el tiempo de fabricación, el coste de arranque y el coste de tirada. En esta se puede seleccionar el proceso que se quiera incluir en la comparativa mediante el selector, para

6.1. Comparativa de los distintos procesos

de esta forma poder ir comparando los procesos por pares o todos a la vez, lo que agregaría dinamismo y facilidad de uso. Esta característica puede verse en la Figura 6.3.

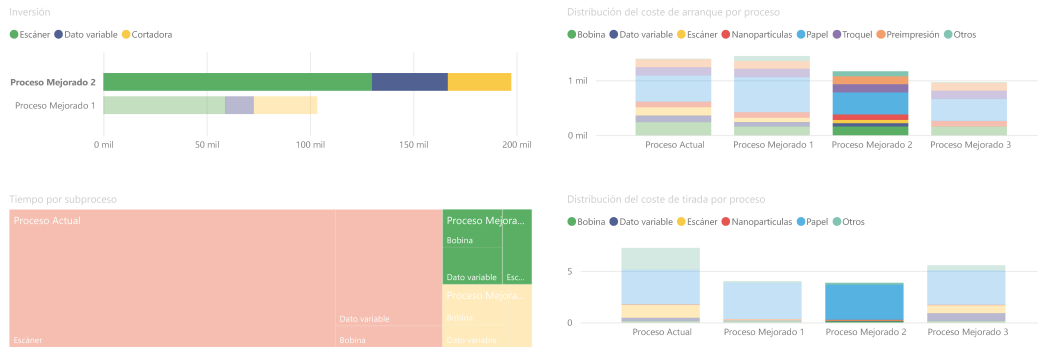


Figura 6.4: Destacar un proceso

Otra forma de poder comparar procesos es poder seleccionar y destacar un proceso, dejando el resto vistos. Esto remarcaría este proceso sobre el resto para poder localizarlo mejor, como se puede ver en la Figura 6.4.

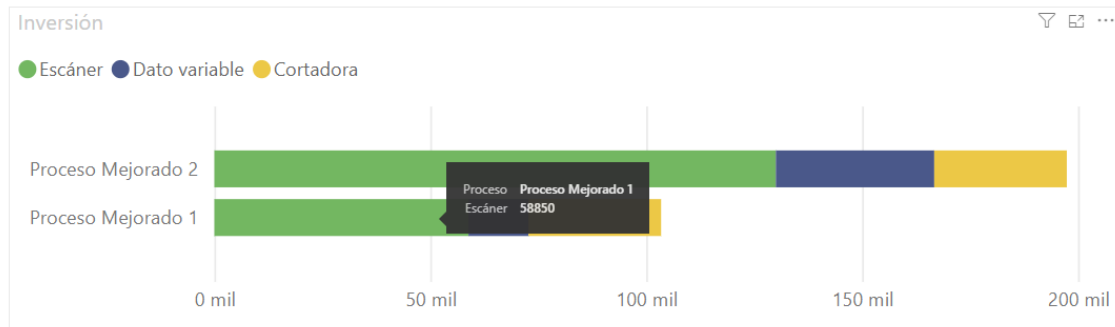


Figura 6.5: Obtención de datos numéricos de las gráficas

Por otro lado, no solamente se pueden ver los datos de manera visual mediante gráficas, sino que además se pueden observar cada uno de los datos que conforman la gráfica pasando el cursor sobre ellos o seleccionándolo en la leyenda, por si se quiere analizar un dato en concreto, como se puede ver en la Figura 6.5.

El otro dashboard que se realiza con Power BI, es el relacionado con los datos cuantitativos y cualitativos de las distintas simulaciones para los procesos. Este se puede ver en la Figura 6.6.

En este se puede ver las unidades resultantes por hora, así como los errores y como se distribuyen estos a lo largo de los subprocessos. Además, se incluyen

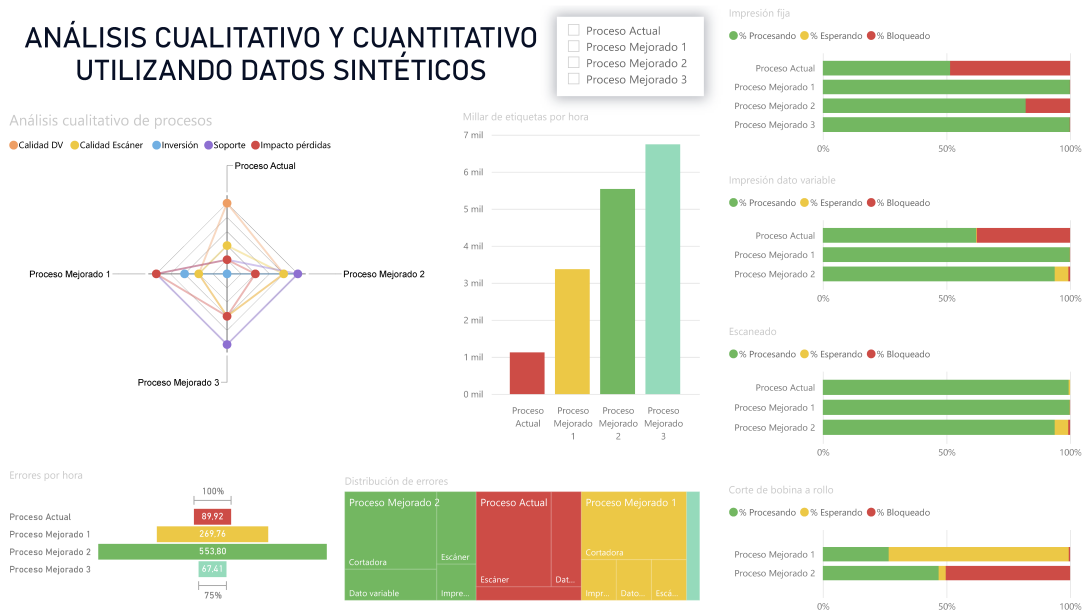


Figura 6.6: Dashboard análisis cualitativo y cuantitativo con datos sintéticos

las gráficas de actividad de la maquinaria para los distintos subprocesos, en los que se puede ver, segmentado por proceso, el ratio de tiempo en procesamiento, bloqueada y esperando a tener materiales que procesar. Y del mismo modo que en el dashboard anterior, se puede realizar segmentación por procesos para poder compararlos en grupos o individualmente.

Por último, en este se agrega el detalle cualitativo de los procesos puntuando del 1 al 5 cada aspecto, para tenerlos en consideración e incluirlos en este análisis igualmente. El gráfico de tipo radar que lo recoge se puede observar en la Figura 6.7, utilizando los datos de la Tabla 6.1.

	Soporte	Inversión	DV	Escaneo	Calidad DV	Calidad esc.
PA	Pliego	Nula	Láser	Plano	Alta	Media
PM1	Rollo	Media	Ink-Jet	Plano	Baja	Media
PM2	Rollo	Alta	I-J UV	Cámara	Media	Alta
PM3	Rollo	Baja	I-J UV	Plano	Media	Alta

Tabla 6.1: Información cualitativa sobre los procesos de impresión

Una vez recogida toda la información y puesta de forma accesible, que junto a toda la experiencia y el conocimiento sobre los distintos procesos, se procede a realizar la evaluación de todas en su conjunto.

En primer lugar, se ha conseguido cambiar el modelo de consumo para los tres procesos mejorados, obteniendo rollos finales en lugar de pliegos. De todas for-

6.1. Comparativa de los distintos procesos

Análisis cualitativo de procesos

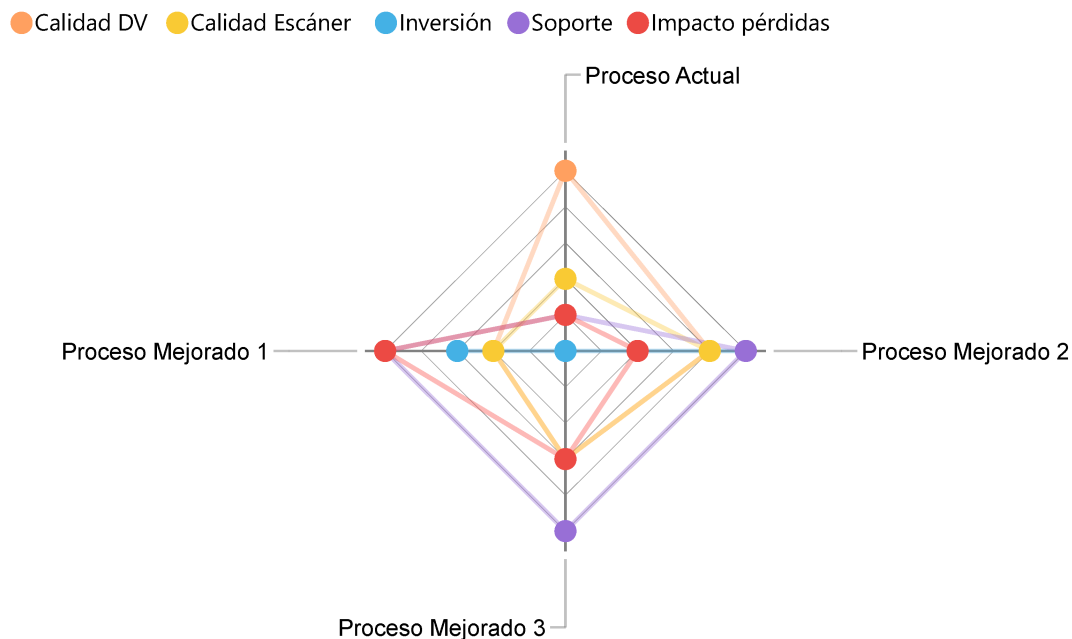


Figura 6.7: Detalle análisis cualitativo

mas, debido a que la producción es modular y las máquinas con las que se realiza el proceso actual seguirán en la empresa de momento, se podría volver a realizar tiradas cortas con esta tecnología.

Por otro lado, se ha conseguido en todos reducir el gasto innecesario de recursos, siguiendo el modelo de *Lean Manufacturing* de almacenamiento, transporte y personal, reduciendo al mínimo indispensable. De esta forma, ya no se tiene que desplazar un camión a una ciudad cercana para realizar una parte de proceso, y todo se puede realizar en la fábrica principal o realizando una subcontratación de una gran parte del proceso.

Además, también se ha llevado a cabo una simplificación de las líneas de producción, siguiendo el sistema Flow-Shop, al poder agregar más transformaciones dentro de una misma línea de montaje, lo que orienta más la fabricación a este producto específico, pero consigue mejorar la eficiencia del conjunto. Se han agregado los máximos componentes posibles a las líneas rotativas, ya sean de bobina o de rollo para, con un número reducido de tiradas, poder realizar la transformación completa.

Por lo tanto, los dos cambios principales que se obtuvieron del análisis del proceso actual se han cumplido, dando paso a la elección del mejor proceso, para la que se va a utilizar una matriz de decisión, en la que se establecen diferentes valores para cada cualidad, con el objetivo de obtener una valoración numérica

Evaluación

total de cada proceso y elegir en base a esta matriz. En esta se presentan cuatro categorías principales: inversión, coste, calidad y cualidades del proceso.

Tabla 6.2: Valoraciones ponderadas de inversión

Peso	Atributo a valorar	PA	PM1	PM2	PM3
10	Inversión	5	50	3	30
5	Abandono	5	25	3	15
5	Polivalencia	3	15	5	25

Primeramente, se valora la inversión a realizar y las repercusiones que esta entraña, mostrando las valoraciones en la Tabla 6.2, en la que se están valorando tres conceptos: la inversión neta, el impacto que tiene el abandono de la fabricación del producto y la polivalencia del proceso. En los procesos uno y dos son en los que se realiza una mayor inversión neta y en los otros dos no haría falta realizar inversión. Debido a la naturaleza de la inversión y al coste de la misma, el proceso que más impacto tendría en la estructura en el caso en el que se dejara de realizar este producto sería el dos, seguido del uno. Finalmente, en cuanto a la polivalencia del proceso, el mejor sería el número uno debido a que se realiza todo sobre el eje principal de la producción, la rotativa en bobina, y el que menos en el que se realiza la inclusión del dato variable y el escaneado en rollo, el proceso mejorado dos.

Tabla 6.3: Valoraciones ponderadas de coste

Peso	Atributo a valorar	PA	PM1	PM2	PM3
10	Coste arranque	2	20	1	10
20	Coste millar	0	0	4	80
15	Impacto pérdida	4	60	1	15

A la hora de valorar el coste, se tienen en cuenta tres factores: el coste de arranque para empezar un pedido, el coste por cada millar de etiquetas y el impacto asociado de las pérdidas que supone sobre otras partidas el proceso productivo, como se puede ver en la Tabla 6.3. El mejor proceso en cuanto a coste de arranque es el tres debido a que solamente se incluye la impresión en bobina, ya que el resto se subcontrata, y la empresa a la que se subcontrata estará realizando ya este prorrato. Y el peor sería, debido a su dificultad, el proceso mejorado uno, en el que se necesita de un gran tiempo de arranque para poder colocar y establecer toda la línea rotativa en bobina, incluyendo la impresión del dato variable y el escaneo. De este mismo modo, debido a la característica de incluir el dato variable y el escaneo hacía el proveedor de la tinta de nanopartículas del proceso mejorado uno, la conversión de bobina a rollo entrañaría un gran coste asociado y por lo tanto las pérdidas tendrían un gran impacto. Y debido al escaneo unitario de cada etiqueta en el proceso mejorado dos, este recibiría una mayor puntuación.

Otro aspecto muy importante de cualquier producto es la calidad, en la que para todos los procesos la calidad de la impresión fija es la misma, a la hora de reali-

6.1. Comparativa de los distintos procesos

Tabla 6.4: Valoraciones ponderadas de calidad

Peso	Atributo a valorar	PA	PM1	PM2	PM3				
20	Calidad DV	5	100	2	40	4	80	3	60
10	Calidad escáner	2	20	2	20	4	40	3	30

zar el dato variable y el escaneado cambia. La tabla de las valoraciones se puede ver en la Tabla 6.5. El proceso que presenta una mejor calidad en la impresión del dato variable es el actual, ya que se realiza mediante impresión láser. Muy de cerca le sigue el proceso mejorado dos, ya que este utiliza la tecnología de inyección de tinta con secado ultravioleta, lo que proporciona una calidad similar. Y en la cola estaría el proceso mejorado uno, el cual emplea una inyección de tinta de secado por aire. Y en el escaneo ocurre algo parecido, el proceso uno utiliza un escáner plano, con el que es necesario ajustar de manera muy precisa el foco fijo en comparación a realizar la escaneo con cámara, como en el proceso mejorado dos.

Tabla 6.5: Valoraciones ponderadas de cualidades

Peso	Atributo a valorar	PA	PM1	PM2	PM3				
20	Soporte	0	0	5	100	5	100	5	100
15	Velocidad	0	0	2	30	5	75	4	60
5	Margen mejora	5	25	0	0	3	15	0	0

Por último, hay que analizar y valorar otros aspectos relacionados con el producto, observando estas valoraciones en la Tabla 6.5. Estos son: el soporte final en el que se entrega al cliente, la velocidad de tirada y el margen de mejora sobre el proceso mejorado, analizando los datos sintéticos. El soporte final se ha cambiado para todos los procesos mejorados a rollo, por lo que todos recibirían la puntuación máxima. Por otro lado, la velocidad, en la se tiene en cuenta tanto la tirada, como la preparación y el coste de espera con la subcontratación. En este aspecto el proceso mejorado dos sería el mejor. Por último, observando el ratio de productividad de las distintas líneas de producción, el margen de mejora sería máximo para el proceso actual y el otro proceso que podría tener una mejora podría ser el dos.

Tabla 6.6: Matriz de decisión total

Categoría	PA	PM1	PM2	PM3
Inversión	90	70	25	90
Coste	80	105	205	120
Calidad	120	60	120	90
Cualidades	25	130	190	160
Puntos totales	315	365	540	460
Puntuación	4,7	5,4	8	6,8

Evaluación

Con los datos presentes en la Tabla 6.6 ya se puede obtener una conclusión de manera analítica de qué proceso recomendar para elegir. En primer lugar, se descartaría el proceso mejorado uno, ya que este presenta la menor puntuación, destacando principalmente en las categorías de inversión y de calidad, pero teniendo unas pésimas puntuaciones en las categorías de cualidades, debido al soporte final y la velocidad, y en la categoría de coste, ya que el coste en comparación es realmente alto.

El proceso mejorado uno es en el que se han conseguido objetivos como la baja inversión, la polivalencia del proceso, el soporte final o el coste por millar de etiquetas, pero este proceso lleva una serie de implicaciones adversas contra el producto. La primera de ellas es el impacto que supone la pérdida en la transformación de bobina a rollo, de una etiqueta escaneada, lo que sumado a su baja calidad de impresión del dato variable y de escaneo de la etiqueta, descartan en gran medida esta opción. Así como la velocidad de producción, inferior a los otros procesos mejorados.

El proceso mejorado tres soluciona muchos de estos problemas inherentes con el producto, mejorando la calidad y el coste de arranque sin la necesidad de realizar una gran inversión y pudiendo abandonar la misma en cualquier momento, solucionando el problema del proceso anterior del impacto de las pérdidas. Por otro lado, al depender de una empresa externa y no controlar ciertos aspectos de la producción, se pierden ciertas ventajas como los tiempos de entrega, la polivalencia de un pedido personalizado o coste tan variable. En definitiva, es una buena opción, en el caso en el que no se quiera invertir una gran cantidad de dinero y no tener que pasar por el proceso de adaptar la producción.

Finalmente, el proceso mejorado dos, en el que se realiza una primera impresión en bobina, se realiza el corte y posteriormente, la impresión del dato variable y el escaneado, es el que presenta mejor resultado. Es el vencedor en las categorías de coste, de calidad y de cualidades asociadas, dejando de lado la inversión y el compromiso con este producto. Pero al final la mejor inversión a largo plazo es la calidad del producto, para poder obtener un nombre y una reputación de marca de manera temprana.

En definitiva, el proceso recomendado para realizar es el proceso mejorado dos, en el que se requiere una inversión considerable para obtener la eficiencia y la calidad necesarias, no teniendo impacto las pérdidas del proceso de transformación a rollo, más allá del coste de papel. Aunque cabe destacar que este proceso es seguido muy de cerca por el proceso mejorado tres, con la subcontratación de parte del proceso, dejando algún aspecto de coste y velocidad de lado, siendo este muy similar al proceso mejorado dos. Por lo tanto, en el caso en el que se quiera probar suerte en el mercado con el producto, realizar pruebas de concepto finales y tener la capacidad de abandonar el producto en cualquier momento, se recomienda el proceso mejorado dos. No obstante, en este momento ya se tiene clara la posible viabilidad del producto y la necesidad de tener una fuerza productiva propia. Es por esto que el proceso final para recomendar es el proceso mejorado dos y es sobre el que se va a realizar en la siguiente sección un estudio de la viabilidad económica.

6.2. Estudio de viabilidad económica y opciones de financiación

Este estudio de viabilidad económica se contempla como una forma de poder poner en valor la inversión y el producto requerido. Debido a la dificultad que entraña modelizar la empresa en cuestión en la situación actual y la falta de acceso a esta información, se va a partir del supuesto en el cual se está realizando una empresa de nueva creación. De esta forma se tiene un mayor control sobre las fuentes de ingresos, los costes y la inversión, pudiendo analizar si es no viable realizar este proyecto ficticio nuevo.

Para poder realizar el análisis se toma de ejemplo y base el modelo de valoración de inversiones a largo plazo de Jorge Pablo Díaz Velilla. En este primeramente se establecerán las estructuras de ingresos, de costes y de inversión. Posteriormente se analiza el periodo de recuperación, el valor actual neto, la tasa interna de retorno, con las sensibilidades de cada uno a los cambios de ingresos o de costes. Este análisis se realiza de forma conjunta tanto para la financiación con fondos propios como para la financiación mediante deuda. Con esto finalmente, se comparan los estadísticos representativos de las dos opciones, junto con sus sensibilidades, y se determina si el apalancamiento financiero se ha conseguido.

Tabla 6.7: Previsión de la demanda. Método de alisado exponencial doble

t	d_t	α_t	β_t	D(t)	et-i	(et-i) ²
1	5.065	5.065	0			
2	4.537	4.801	-79	5.065	528	278.481
3	5.520	5.121	41	4.722	798	63.6826
4	5.814	5.488	138	5.162	652	425.723
5	4.955	5.290	38	5.626	671	450.778
6	5.143	5.236	10	5.328	185	34.298
7	5.673	5.459	74	5.246	427	182.734
8	5.535	5.534	74	5.533	2	3
9	4.325	4.967	-118	5.608	1.283	1.647.260
10	4.710	4.779	-139	4.849	139	19.185
11	4.188	4.414	-207	4.640	452	204.471
12	5.745	4.976	24	4.207	1.538	2.364.375
13				5.000	610	567.648

El modelo de consumo se establece utilizando el método de alisado exponencial doble [34], introduciendo las unidades esperadas a vender aproximadas (en millares) según las muestras de interés del cliente y la experiencia adquirida de este sector y obteniendo el estimado en el próximo periodo. Con esto se crea una lista de los últimos doce meses para realizar las estimaciones de los meses venideros y, como constantes de alisado α y β , se eligen los valores 0,5 y 0,3, ya que se puede tener una demanda muy estable debido a la naturaleza de los acuerdos comerciales, al ser un producto tan innovador y estar en sus primeras fases de desarrollo, este puede contemplar cambios en la misma significativos. Los

Evaluación

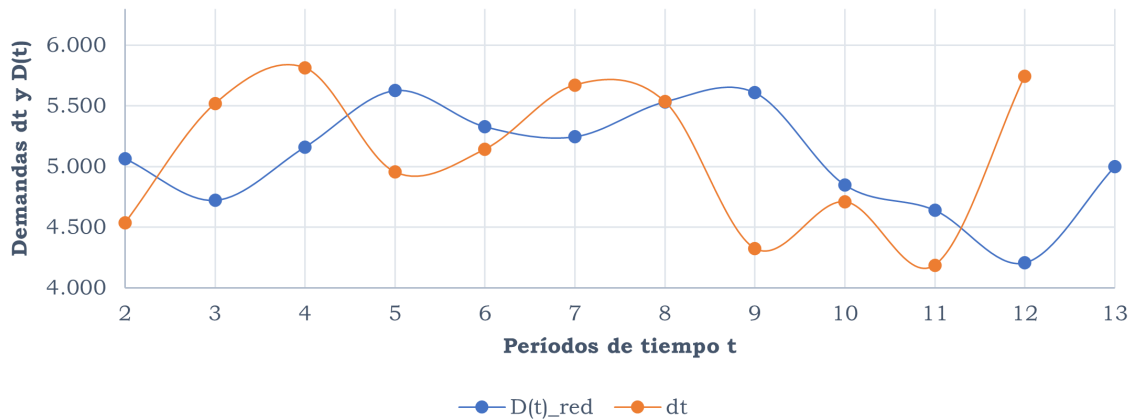


Figura 6.8: Previsión de la demanda. Método de alisado exponencial doble

cálculos para obtener esta se puede observar en la Tabla 6.7 y en la Figura 6.8, quedando un resultado de 5.000 millares de unidades en el próximo periodo. Por otro lado, se puede además apreciar y validar este cálculo, observando los errores, viendo cómo de promedio la demanda varía en torno a un 12% respecto al predicho.

Primeramente, se tienen que establecer los datos de ingresos, gastos e inversión, que se pueden ver en la Tabla 6.8. Los ingresos se dividen en tres partidas: la venta de cinco millones de etiquetas cada mes a diez euros el millar, el ingreso por el servicio de trazabilidad de una parte considerable de las etiquetas y el servicio de soporte para la implantación. Por su parte, los gastos se dividen en el coste por millar de etiquetas, al que se ha restado la amortización y la inicialización de la etiqueta en el servidor del proveedor de tecnología de nanopartículas. A estos, hay que sumar otros costes indirectos de estructura y el pago de seguros y pagos a distintas asociaciones.

Finalmente, el inmovilizado se divide en una primera oficina y nave industrial para albergar la maquinaria, la propia maquinaria y la licencia para poder utilizar la tinta de nanopartículas. La maquinaria ha sido imputada por triplicado debido a que esta se amortiza cada ocho años y se prevé el mínimo tiempo para realizar este análisis. Además, se calcula la amortización anual de todo el inmovilizado y se suman otro tipo de subvenciones de sostenibilidad e innovación.

Se calcula el flujo de caja operativo con fondos propios, en el que se incluye la inversión en inmovilizado, la reserva de capital circulante o fondo de maniobra (7% de los ingresos del primer año), los ingresos, los costes, la amortización y el impuesto de sociedades, así como el flujo de caja para cada uno de los periodos, la tasa de rentabilidad bruta (inversión/beneficio antes de impuestos) y la tasa de rentabilidad neta (inversión/beneficio después de impuestos), como se puede ver en la Tabla 6.9.

Se analiza el periodo de recuperación de capital, utilizando fondos propios, siendo este el tiempo que se necesita para recuperar la inversión realizada y el re-

6.2. Estudio de viabilidad económica y opciones de financiación

Tabla 6.8: Resumen de ingresos, gastos e inversión

Descripción	Precio (€/ud)	Uds	Subtotal (€)
Venta millar etiquetas	10,00	5.000	50.000,00
Trazabilidad millar etiquetas	2,00	4.000	8.000,00
Soporte implantación	5,00	500	2.500,00
Total			60.500,00

Descripción	Precio (€/ud)	Uds	Subtotal (€)
Coste millar etiquetas	3,50	5.000	17.500,00
Inicialización etiqueta	0,50	5.000	2.500,00
Director General	5.000,00	1	5.000,00
Dtor. Dpto. Financiero	4.000,00	1	4.000,00
Dtor. Oficina Técnica	3.500,00	1	3.500,00
Seguro responsabilidad civil	4.000,00	1	4.000,00
Asociación fabricantes	2.000,00	1	2.000,00
Asociación I+D	2.000,00	1	2.000,00
Total			40.500,00

Descripción	Precio venta (€/ud)	Uds	Subtotal (€)
Oficinas y nave industrial	500.000,00	1	500.000,00
Rotativa bobina	300.000,00	3	900.000,00
Cortadora bobina a rollo	35.000,00	3	105.000,00
Rotativa rollo	166.703,00	3	500.109,00
Uso tinta nanopartículas	10.000,00	2	20.000,00
Total			2.025.109,00

	Año 0	Año 1	Años 2-24	Año 25
Compra Inmoviliza- do	-2.025.109 €			150.000 €
Capital circulante		-50.820 €	50.820 €	
Ingresos	300.000 €	726.000 €	726.000 €	726.000 €
Costes		-486.000 €	-486.000 €	
Amortización		-75.004 €	-75.004 €	
Flujo de caja	-1.725.109 €	147.931 €	198.751 €	399.571 €
Tasa Rent. Bruta				8,15%
Tasa Rent. Neta				6,11%

Tabla 6.9: Flujo de caja operativo y tasas de rentabilidad

torno sobre la inversión (RSI), siendo este el rendimiento que se ha obtenido respecto a la inversión realizada. Sin actualizar tipos de interés, el periodo de recuperación se sitúa en torno a los 9 años y el retorno sobre la inversión en torno al 11 %, siendo un rango aceptable recuperar el capital invertido entre

Evaluación

	Sin actualización	Con actualización
Periodo de recuperación	8,94 años	12,11 años
Retorno sobre inversión	11,19%	8,26%

Tabla 6.10: Periodo de recuperación y retorno de la inversión

Periodo de Recuperación	12,11 años
Valor actual neto	1.086.980,55 €
Tasa interna de retorno	10,37%

Tabla 6.11: Periodo de recuperación, valor actual neto y tasa interna de retorno

ocho y doce años, se entraría dentro del baremo y se podría afirmar que la inversión es buena realizarla. Por otro lado, si se tiene en cuenta una actualización del dinero con un tipo del 5% se sube a los 12 años y 8,26% de RSI, lo que haría reflexionar sobre la viabilidad del negocio, ya que no se encuentra al borde del baremo.

Se obtiene así el valor actual neto (VAN), actualizando los flujos de caja futuros al presente para de esta forma conocer si el flujo de caja futuro supera la inversión inicial y por lo tanto, la inversión es rentable, se obtiene un VAN positivo, o por el contrario se obtiene un VAN nulo o negativo, lo que indicaría que es mejor no realizar la inversión. En este caso es positivo de alrededor de un millón de euros, por lo tanto, no debería de ser una mala inversión, pero habría que tomar una serie de factores en cuenta como el tipo de actualización, el contexto socio-económico o la situación presente de la industria.

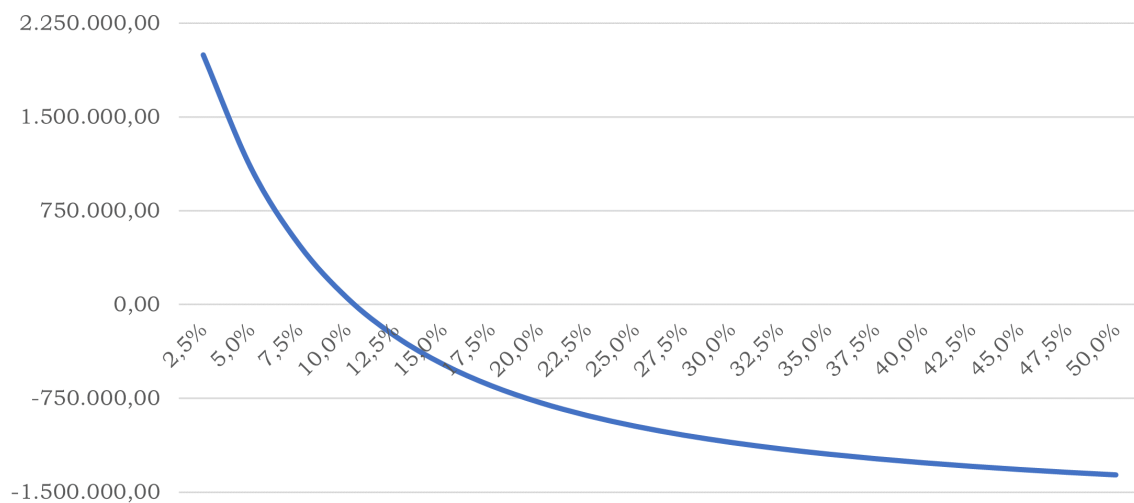


Figura 6.9: VAN sobre el tipo de descuento (incrementos de 2,5%)

6.2. Estudio de viabilidad económica y opciones de financiación

Relacionado con el valor actual neto, se calcula la tasa interna de rentabilidad, en el cual el VAN se hace nulo y, por lo tanto, la inversión empieza a no ser tan rentable. En este caso el tipo de descuento a partir del cual el VAN es negativo es 10,37%, como se puede en la figura 6.9 en la que se muestra una evolución del valor actual neto con tipos de descuentos en incrementos de 2,5%, desde 2.000.000 € para un tipo de 2,5% a -1.360.000 para un tipo del 50%.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modificador I	20%	15%	10%	5%	0%	-5%	-10%	-15%	-20%
Modificador C	20%	15%	10%	5%	0%	-5%	-10%	-15%	-20%

Tabla 6.12: Escenarios para cálculo de la sensibilidad

A su vez, se puede esperar que los ingresos y los gastos no van a ser constantes y esperadas todos los meses, por lo tanto, es interesante estudiar una serie de escenarios de incremento de costes e ingresos para ver cómo los estadísticos mencionados anteriormente se comportan. Estos escenarios se pueden encontrar en la Tabla 6.12, en los que para todos los cálculos el tipo de descuento es el mismo.

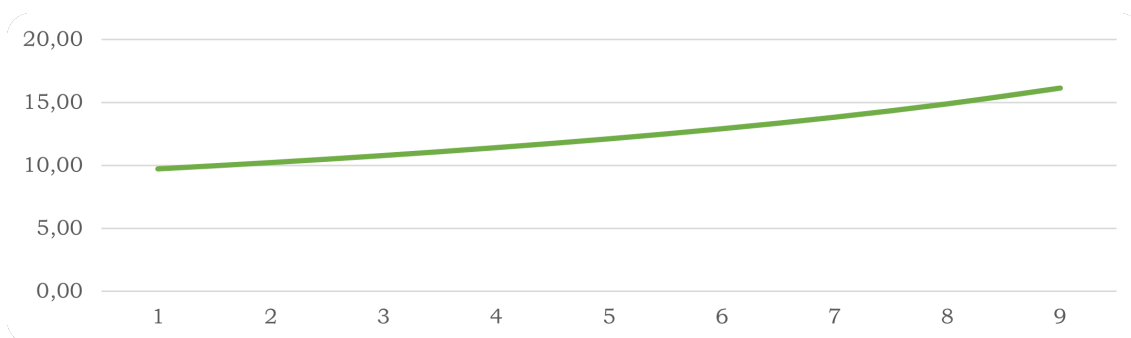


Figura 6.10: Análisis de sensibilidad del PRCao

Como se puede en la Figura 6.10, el periodo de recuperación es menor según los ingresos sean superior a los gastos y mayor cuando esto sea al contrario. En este caso, el periodo de recuperación se movería entre los 9 años aproximadamente para el escenario más positivo y 16 años para el escenario más negativo. Cabe destacar que a partir del escenario 7 la diferencia sería tan grande que se alejaría del baremo anteriormente mencionado, pero se seguiría recuperando la inversión en un periodo razonable.

El VAN decrece según el escenario se va convirtiendo en más negativo, como se puede ver en la Figura 6.11. Este transita desde los 1.600.000 € en el escenario más beneficioso hasta los 600.000 € en el peor de ellos. Por lo tanto, la valoración de la inversión decrecería con los cambios, pero seguiría manteniéndose en unos límites comedidos superiores a la nulidad.

Se analiza la sensibilidad de la tasa interna de rentabilidad, buscando el tipo de descuento en el que el VAN se hace nulo para diferentes escenarios. Este se pue-

Evaluación

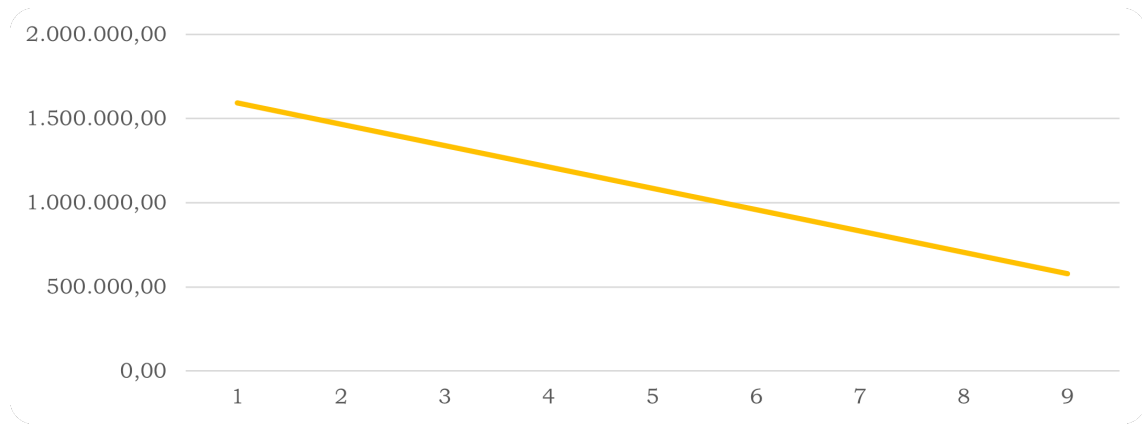


Figura 6.11: Análisis de sensibilidad del VANo

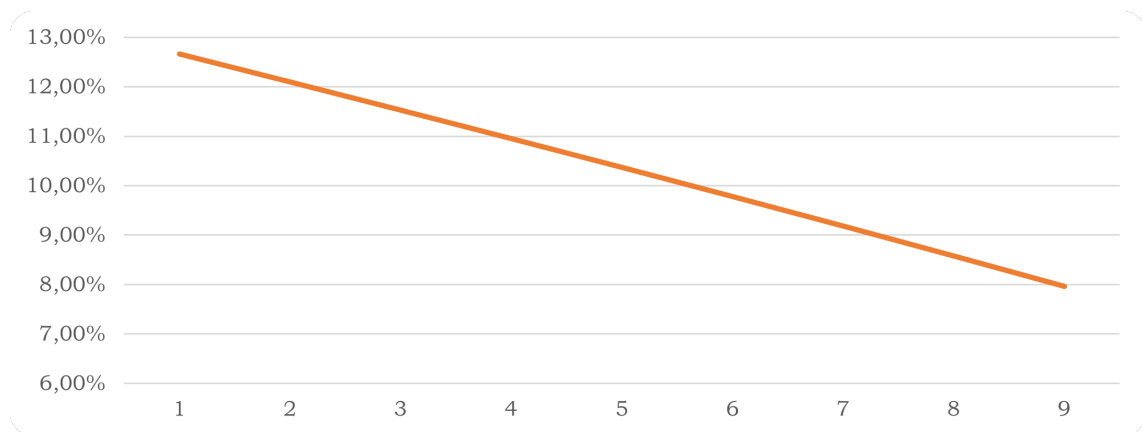


Figura 6.12: Análisis de sensibilidad del TIRO

6.2. Estudio de viabilidad económica y opciones de financiación

de ver en la Figura 6.12. Siendo el límite inferior para el tipo de descuento de un 8% y el límite superior de un 12%, esto ayudaría a prever diversas variaciones y sus posibles umbrales para los cuales la inversión ya no sería rentable.

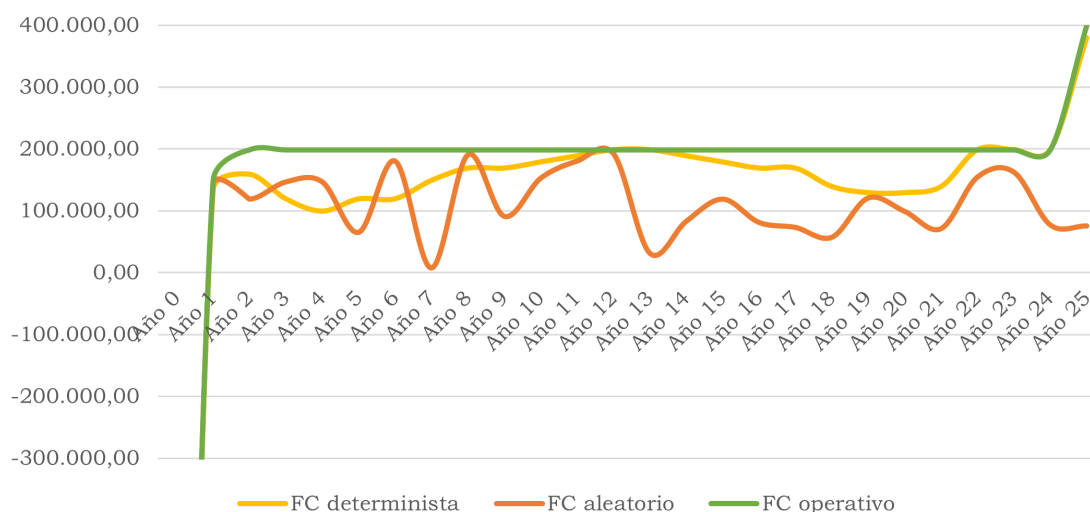


Figura 6.13: Análisis equivalentes certeza ALFAo

Finalmente, para concluir esta primera sección utilizando fondos propios se incluye un análisis equivalente de certeza ALFA, presente en la Figura 6.13. En este se muestra una comparativa de los flujos de caja según diferentes escenarios y parámetros, observándose así un caso de estabilidad en los mercados y certeza absoluta, el flujo de caja operativo, otro más real en un mercado estable, pero con fluctuaciones, el flujo de caja determinista, y otro en un mercado errático y caótico, el aleatorio. En este punto se puede ver como el escenario determinista no se aleja en gran medida del operativo y, por lo tanto, la inversión resistiría a este tipo de mercado, pero en un mercado aleatorio la inversión no aguantaría tanto debido a las grandes variaciones de flujos de caja y habría que planificar en mayor medida, dejando una reserva para estos periodos de bajada.

Por último, se realiza una comparación entre realizar la inversión con fondos propios o financiación externa, en la que se analizan estos mismos estadísticos, para determinar si se ha conseguido apalancamiento financiero. Para esto se propone un escenario de financiación del 70%, a devolver en cuatro años y tener una carencia inicial de un año, en este se financia tanto el capital principal al 2% y el capital circulante al 3%, calculándose así el flujo de caja de la deuda. Sobre este se calcula el flujo de caja financiero como la diferencia entre el flujo de caja operativo y el flujo de caja de la deuda.

Como se puede ver en la Tabla 6.13, la opción de financiar parte de la inversión es realmente rentable. El periodo de recuperación se reduce en un año casi un 9%, por lo que la inversión se recuperaría antes. Por otra parte, el valor actual neto se aumenta en 120.000 €, por lo tanto, el valor de los flujos de caja actualizados a día presente aumentaría. Por último, la tasa interna de retorno

Evaluación

	Fondos Propios	Financiación	Mejora
Periodo de Recuperación	12,11 años	11,05 años	8,8%
Valor actual neto	1.086.980,55 €	1.203.995,75 €	10,8%
Tasa interna de retorno	10,37%	14,03%	35,3%

Tabla 6.13: Comparación de estadísticos entre fondos propios y financiación

aumentaría el umbral hasta el 14%, un 35% sobre la opción de financiación con fondos propios, con lo que el usuario se vería protegido contra el riesgo de subidas de tipos de interés.

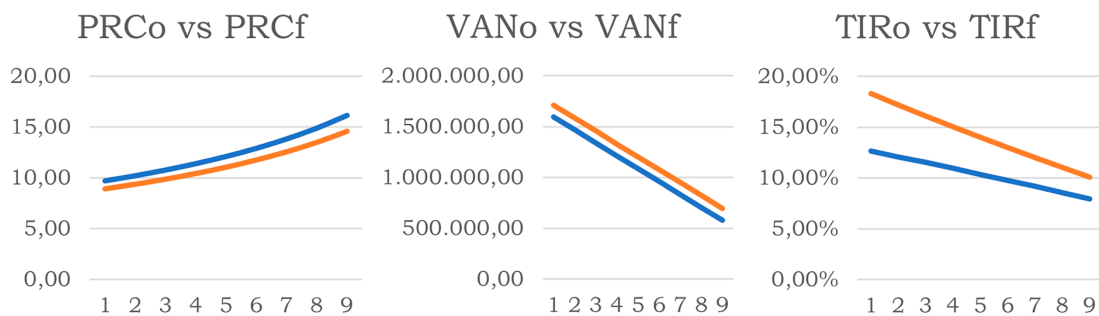


Figura 6.14: Comparación de sensibilidad entre fondos propios y financiación

Por otro lado, la sensibilidad de estos estadísticos también se valora con relación a los escenarios mencionados, como se muestra en la Figura 6.14. Se puede ver cómo se mejora en todos los escenarios, con una diferencia considerable. Cabe resaltar el mejor escenario de la tasa interna de retorno, en la que con fondos propios únicamente se consigue un TIR de un poco más del 12%, en cambio, con financiación se consigue un valor de más de un 18%.

En definitiva, este último análisis ha demostrado no solamente que una inversión en una empresa modelo utilizando este mecanismo de producción, sino además poder conocer una gran cantidad de escenarios en los que se puede encontrar esta empresa. Y junto a la decisión de la forma de inversión, hacen de este análisis de viabilidad económica a 25 años un éxito.

Capítulo 7

Conclusiones

Para concluir el trabajo se analiza la consecución del objetivo principal establecido al principio y de los objetivos específicos asociados a este, se proponen una serie de vías para un trabajo futuro y, por último, se realiza una pequeña reflexión personal sobre el trabajo realizado.

Para validar el objetivo principal, que es realizar un análisis, una consultoría y una mejora de procesos industriales para la empresa, se tienen que validar todos los objetivos específicos. En primer lugar, se ha conseguido modelizar el proceso actual de producción que se sigue en la empresa, adquiriendo conocimiento tanto de la fabricación como del producto. Con este aprendizaje, se ha llevado a cabo una primera simulación del proceso utilizando la herramienta FlexSim, de la que se ha podido obtener datos sintéticos relevantes, los cuales han podido compararse con los datos reales de la producción, validando así la simulación.

Las proposiciones de mejora han venido motivadas tanto en mejorar el modelo de producción eliminando gastos innecesarios, según indica el modelo de Lean Manufacturing, como en simplificar el proceso. De esta misma manera, se ha propuesto mejorar el modelo de consumo del producto final, adaptado la producción a él. Inicialmente se planteó ofrecer únicamente una solución de mejora pero, debido a la naturaleza tan diversa y las grandes opciones de mejora, se han propuesto tres procesos mejorados. Cada uno de estos ha sido modelizado con FlexSim, obteniendo de cada uno de ellos datos estadísticos y datos sintéticos representativos.

No se han obtenido datos únicamente de tiempos y cuellos de botella, sino que también se han conseguido datos analíticos financieros, entre los que se encuentran todos los presupuestos de los distintos sistemas o los modelos de coste de cada uno de los procesos. Con los datos relacionados con el análisis de la producción, los datos económicos y el análisis cualitativo de las propuestas, se ha realizado un procesamiento y análisis para poder tomar la decisión de mejora más acertada. Para con este análisis realizar una consultoría a la empresa, recomendar la mejor opción, dando herramientas para poder defenderla y realizando un análisis de viabilidad económica para la opción elegida.

Conclusiones

En definitiva, no solo se ha cumplido el objetivo principal, sino que además se ha ampliado el alcance, ofreciendo una visión más completa del problema y de la solución, sentando un estándar para la empresa con el que poder avanzar, adaptarse y mejorar en este mundo cambiante.

Como se puede apreciar en cualquier trabajo realizado, su alcance es limitado a la definición y a los recursos disponibles, pero aun así se van a intentar sentar unas bases para un posible trabajo futuro relacionado con esta materia. En primer lugar, modelizar no solamente estos procesos de producción, sino todas las líneas con las que poder probar nuevos conceptos de forma paramétrica de forma muy sencilla. Por otro lado, se podría mejorar mediante programación y código el modelizado en FlexSim de los elementos continuos, como bobinas y rollos. Por último, el estudiar la posibilidad de integrar tanto los presupuestos, modelos de costes y las simulaciones con FlexSim en un software control y gestión, mejorarían otros ámbitos como el financiero o el de planificación, creando una sinergia entre todos los departamentos sin igual.

Este trabajo ha sido una experiencia muy enriquecedora que me ha ayudado tanto en el ámbito profesional como en el académico, al poder aplicar el conocimiento aprendido durante estos años de grado sobre un proyecto real, y a mi crecimiento personal, ya que han existido innumerables retos y dificultades, pero siempre se han conseguido solucionar, reforzando la confianza en mi conocimiento y habilidades. En este proceso es importante reconocer los momentos de satisfacción, como la primera visita a la fábrica, el primer modelo en FlexSim, el haber obtenido tres procesos mejorados y el poder llevar y conocer la tecnología para poder entregársela al cliente final. Solo me queda agradecer a mi tutor, Jorge, por la ayuda, el interés y el apoyo mostrado durante todo este proceso. Y que desde esa primera reunión en la que nos volvimos a encontrar hasta el último día todo haya sido pasión y dedicación para sacar lo mejor del proyecto y de mí.

Capítulo 8

Impacto del trabajo

Como último capítulo para cerrar este trabajo se realiza el análisis del impacto, tanto a nivel personal y académico como a nivel empresarial. Además, se realiza un análisis del impacto tomando como base los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

En el ámbito personal y académico he podido afianzar y adaptar todos los conocimientos aprendidos durante estos años de carrera, poniendo en valor la enseñanza por parte de la universidad, afrontando retos, nuevas herramientas y paradigmas completamente desconocidos, como eran el sector de la impresión de seguridad y la modelización de eventos discretos. Además, ha puesto en valor la distinción fundamental de cualquier ingeniero, el solucionar problemas, que junto a los conocimientos empresariales y económicos hacen la sinergia perfecta.

Por otro lado, la empresa sobre la que se realiza este análisis y consultoría se ha beneficiado enormemente, no solo recibiendo un análisis de las opciones de mejora, sino pudiendo verlas mediante herramientas pioneras como el modelado con FlexSim. De esta forma, se crea un precedente en la compañía y en la industria, mostrando que existen herramientas vanguardistas con las que acompañar los informes y análisis a la hora de tomar decisiones.

En la actualidad se está realizando la transición a la 'Industria 4.0', en la cual se pretende aplicar las nuevas tecnologías a todos los sectores de la economía, momento en el cual tanto el producto como las herramientas de análisis seleccionadas aceleran y habilitan el cambio. Pero de nada sirve llevar a cabo esta revolución sin tener en cuenta el desarrollo sostenible de la humanidad, es por esto por lo que hay que apoyarse en los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible propuestos por la Organización de las Naciones Unidas, teniéndolas presentes en el proceso completo.

Con este producto se consigue garantizar la trazabilidad de los productos, evitando falsificaciones, lo que puede proteger la salud y la seguridad de los consumidores. Este hecho ayuda a la consecución del objetivo número tres, el cual sostiene una mejora de salud y el bienestar humano. Y de esta misma forma,

Impacto del trabajo

poder ayudar a otras industrias como la alimentaria a garantizar un comercio y un consumo justo.

Por otro lado, la mejora de los procesos industriales promueve la eficiencia y la calidad de la producción, mejorando la calidad de los empleos y contribuyendo al crecimiento económico sostenible. De esta forma se ayuda a conseguir el objetivo ocho de trabajo decente y crecimiento económico. Además, debido al componente de innovación realizando simulaciones discretas para mejorar estos procesos, se fomenta la industrialización sostenible al poder elegir la mejor opción desde el principio, sin realizar gastos innecesarios, reduciendo costes y siendo más responsable con los recursos de los que se dispone. Esto ayudaría a conseguir el objetivo número nueve, industria, innovación e infraestructura, y el número doce, producción y consumo responsable, mejorando así tanto en la empresa como en establecer un estándar para todas las empresas del sector.

En definitiva, es importante mejorar los procesos industriales, de forma eficiente y eficaz, teniendo en mente este mundo cambiante, los países en vías de desarrollo y el ecosistema. Y junto a naciones e instituciones públicas, poder realizar este cambio de forma sostenible, como dijo Muthar Kent, exCEO de Coca-Cola:

«Hoy en día, naciones, empresas e instituciones de todo el mundo buscan la fórmula para el crecimiento. Una gran parte de la solución está en la innovación sustentable.»

Bibliografía

- [1] S. Angerer, *Inteligencia artificial en impresión digital - FESPA | Screen, Digital, Textile Printing Exhibitions, Events and Associations*, Fespa.com, 2023. dirección: <https://www.fespa.com/es/noticias/destacado/inteligencia-artificial-en-impresion-digital> (visitado 13-03-2023).
- [2] EAE. «Proceso de producción: en qué consiste y cómo se desarrolla,» EAE Business School. (mayo de 2021), dirección: <https://retos-operaciones-logistica.eae.es/proceso-de-produccion-como-desarrolla/> (visitado 15-03-2023).
- [3] J. P. D. Vellilla, *Introducción a los sistemas productivos*.
- [4] J. Chavez, *¿Qué es el Costo de producción? Elementos, tipos y ejemplo*, Ceupe.com, feb. de 2022. dirección: <https://www.ceupe.com/blog/costo-de-produccion.html> (visitado 16-03-2023).
- [5] R. Williams. «La Guía Integral para la Protección de la Marca - Red Points,» Red Points. (mar. de 2023), dirección: <https://www.redpoints.com/es/blog/guia-integral-proteccion-marca> (visitado 17-03-2023).
- [6] «Oficina Española de Patentes y Marcas - Propiedad industrial,» Oepm.es. (2020), dirección: https://www.oepm.es/es/propiedad_industrial/proteccion/beneficios_de_proteger_signos_distintivos_invenciones_y_disenos.html (visitado 17-03-2023).
- [7] *La falsificación de medicamentos: un desafío sanitario - Farmacéuticos*, Farmaceuticos.com, 2022. dirección: <https://www.farmaceuticos.com/pam/revision/la-falsificacion-de-medicamentos-un-desafio-sanitario/> (visitado 18-03-2023).
- [8] I. Farmacias, *Los delitos en el sector farmacéutico se han incrementado un 135 en los últimos cinco años*, IM Farmacias, mayo de 2022. dirección: <https://www.imfarmacias.es/noticia/28720/los-delitos-en-el-sector-farmacaceutico-se-han-incrementado-un-135-en.html> (visitado 18-03-2023).
- [9] PuroMarketing, *¿Cómo es el consumidor de falsificaciones?* PuroMarketing, mar. de 2022. dirección: <https://www.puromarketing.com/102/36112/como-consumidor-falsificaciones> (visitado 19-03-2023).
- [10] G. Cid, *¿Réplica o falsificación? El problema de Wallapop con las copias (y cómo evitarlas)*, elconfidencial.com, ene. de 2020. dirección: https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2020-01-12/replicas-falsificaciones-wallapop-problema-567_2403227/ (visitado 20-03-2023).

- [11] RAE, *Definición de mercado paralelo - Diccionario panhispánico del español jurídico - RAE*, Diccionario panhispánico del español jurídico - Real Academia Española, 2017. dirección: <https://dpej.rae.es/lema/mercado-paralelo> (visitado 21-03-2023).
- [12] G. VEGA, «Comercio paralelo,» *Farmacia Profesional*, vol. 17, págs. 8-13, oct. de 2003. dirección: <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-articulo-comercio-paralelo-13053083> (visitado 21-03-2023).
- [13] *Certificación ISO 9001- AENOR*, Aenor.com, 2019. dirección: <https://www.aenor.com/certificacion/calidad/iso-9001> (visitado 21-03-2023).
- [14] *Food traceability with blockchain: from theory to reality - FPT Digital*, FPT Digital, mar. de 2020. dirección: <https://digital.fpt.com.vn/en/industries/food-traceability-with-blockchain-from-theory-to-reality.html> (visitado 22-03-2023).
- [15] *Reglamento (CE) nº 178/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 28 de enero de 2002*. Wwv.boe.es, 2021. dirección: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2002-80201> (visitado 22-03-2023).
- [16] *Certificación ISO 22005 Trazabilidad Cadena de Alimentos - AENOR*, Aenor.com, 2019. dirección: <https://www.aenor.com/certificacion/alimentacion/trazabilidad> (visitado 22-03-2023).
- [17] *¿Cómo funciona el sistema de impresión offset? | Fedrigoni Club*, Fedrigoni Club, jul. de 2018. dirección: <https://fedrigoniclub.com/catalogo/sabes-como-funciona-el-sistema-de-impresion-offset/#> (visitado 23-03-2023).
- [18] *Offset húmedo y offset seco: sistemas de impresión planográfica*, Ferysu, nov. de 2018. dirección: <https://www.ferysu.com/offset-humedo-y-offset-seco/> (visitado 23-03-2023).
- [19] *Tipos de impresión digital: métodos usados*, Clickprinting.es, 2023. dirección: <https://www.clickprinting.es/blog/tipos-de-impresion-digital-metodos-usados> (visitado 23-03-2023).
- [20] *How Do Laser Printers Work: The Laser Printing Process*, Toner Buzz, mayo de 2021. dirección: <https://www.tonerbuzz.com/blog/the-laser-printing-process/> (visitado 24-03-2023).
- [21] G. Duran. «Niveles de seguridad de un documento, clasificación de técnicas y funcionalidades para su verificación o validación,» SIGNE. (oct. de 2021), dirección: <https://www.signe.es/niveles-de-seguridad-de-un-documento-clasificacion-de-tecnicas-y-funcionalidades-para-su-verificacion-o-validacion/> (visitado 21-03-2023).
- [22] *FlexSim - Documentation*, Flexsim.com, 2023. dirección: <https://docs.flexsim.com/en/23.1/Introduction/Welcome/Welcome.html> (visitado 28-03-2023).
- [23] *Rhinoceros Help*, Mcneel.com, 2023. dirección: <https://docs.mcneel.com/rhino/7/help/en-us/index.htm> (visitado 30-03-2023).
- [24] *3D Warehouse*, Sketchup.com, 2023. dirección: <https://3dwarehouse.sketchup.com/> (visitado 03-04-2023).
- [25] free, *Flowchart Maker - Online Diagram Software*, Diagrams.net, 2023. dirección: <https://app.diagrams.net/> (visitado 30-03-2023).

-
- [26] O. for, *ISO 5807:1985*, ISO, 2019. dirección: <https://www.iso.org/standard/11955.html> (visitado 30-03-2023).
- [27] *Excel help and learning*, Microsoft.com, 2013. dirección: <https://support.microsoft.com/en-us/excel> (visitado 03-04-2023).
- [28] maggiesMSFT, *Documentación de Power BI - Power BI*, Microsoft.com, 2023. dirección: <https://learn.microsoft.com/es-es/power-bi/> (visitado 28-03-2023).
- [29] *Microsoft power BI commands 14.45 market share in Business Intelligence*, Enlyft.com, 2023. dirección: <https://enlyft.com/tech/products/microsoft-power-bi> (visitado 28-03-2023).
- [30] Iberdrola, *RPA: ROBOTIC PROCESS AUTOMATION*, Iberdrola, abr. de 2021. dirección: <https://www.iberdrola.com/innovacion/rpa-que-es> (visitado 07-04-2023).
- [31] aula21, *Lean Manufacturing: qué es, principios, herramientas y ejemplos*, aula21 | Formación para la Industria, dic. de 2019. dirección: <https://www.cursosaula21.com/que-es-lean-manufacturing/> (visitado 16-04-2023).
- [32] B. S. López, *Sistema de producción Flow Shop*, Ingeniería Industrial Online, 2019. dirección: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/produccion/sistema-de-produccion-flow-shop> (visitado 16-04-2023).
- [33] W. Honsberg Von Der Nahmer, *La Esencia del control de Costos en las industrias*. UNAM, 1958.
- [34] <http://www.facebook.com/Diegofernando1991>, *Suavización exponencial doble o modelo Holt + Ejemplo Excel*, Ingenio Empresa, feb. de 2016. dirección: <https://www.ingenioempresa.com/suavizacion-exponencial-doble/> (visitado 25-05-2023).

Apéndice A

Modelos 3D

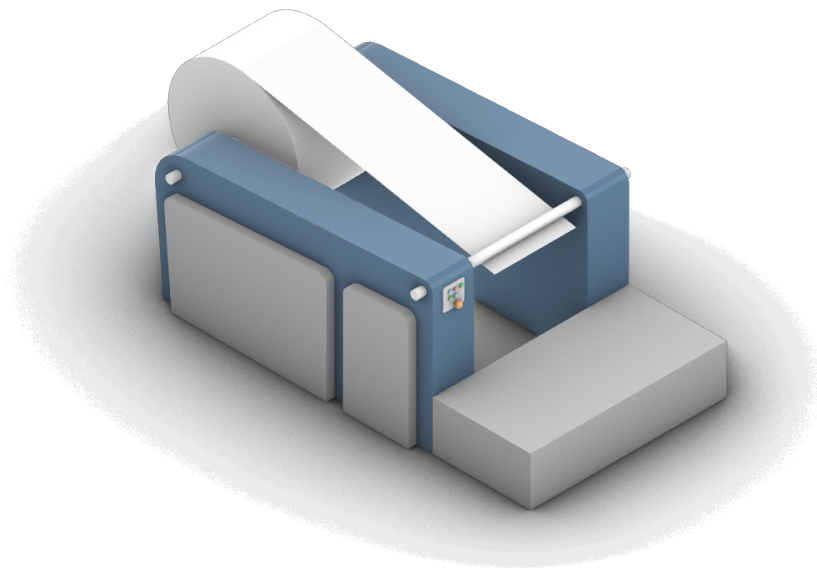


Figura A.1: Modelo 3D desbobinadora

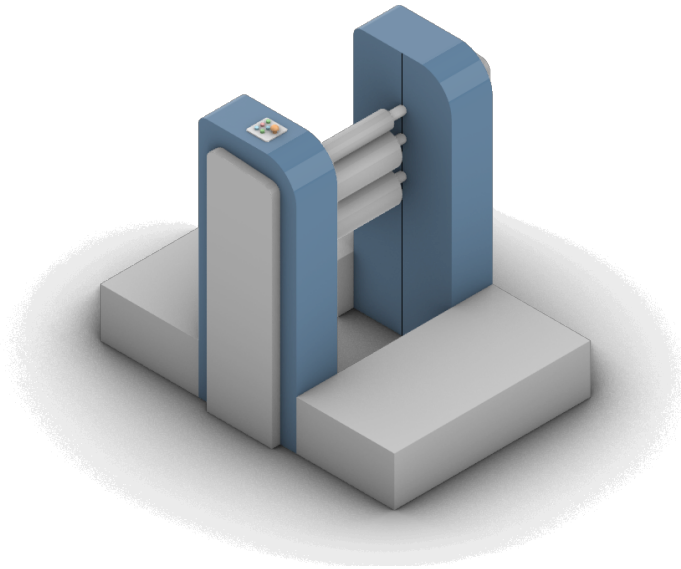


Figura A.2: Modelo 3D cuerpo de impresión

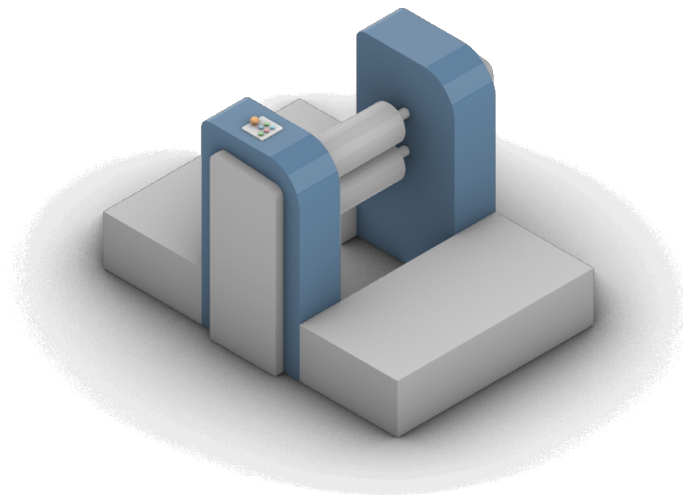


Figura A.3: Modelo 3D troqueladora

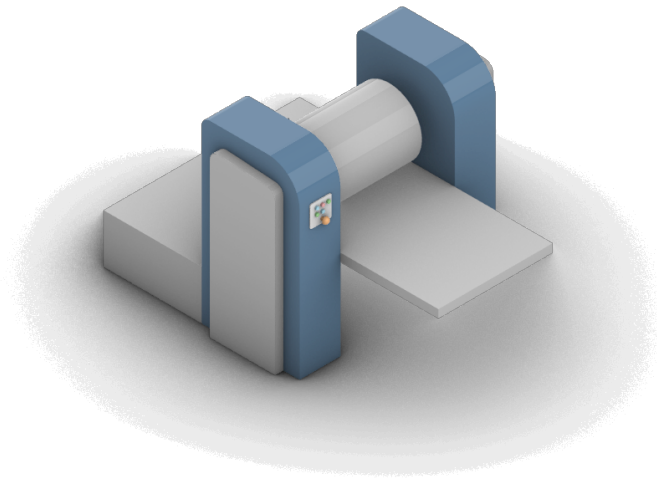


Figura A.4: Modelo 3D cortadora de pliegos

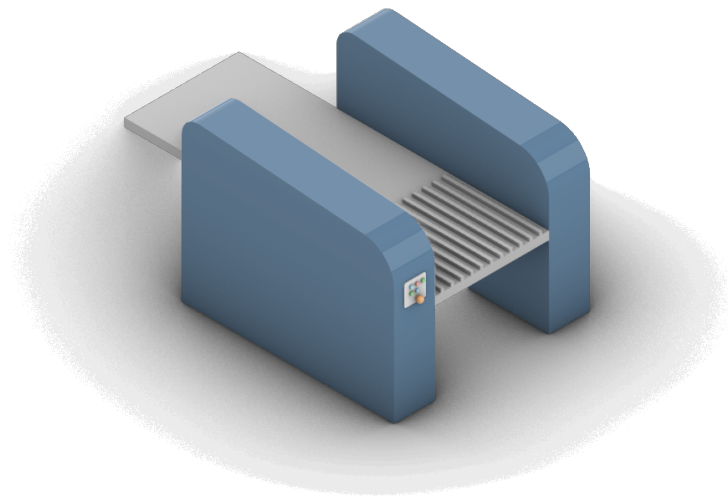


Figura A.5: Modelo 3D salida de pliegos



Figura A.6: Modelo 3D equipo de impresión láser en pliego

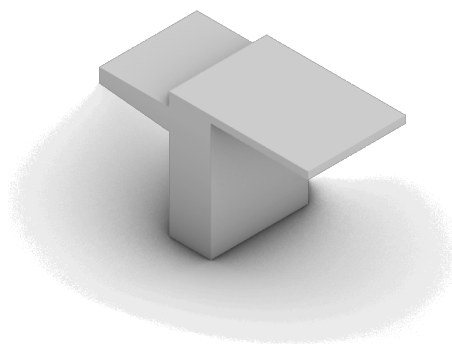


Figura A.7: Modelo 3D alimentador/recolector de pliegos

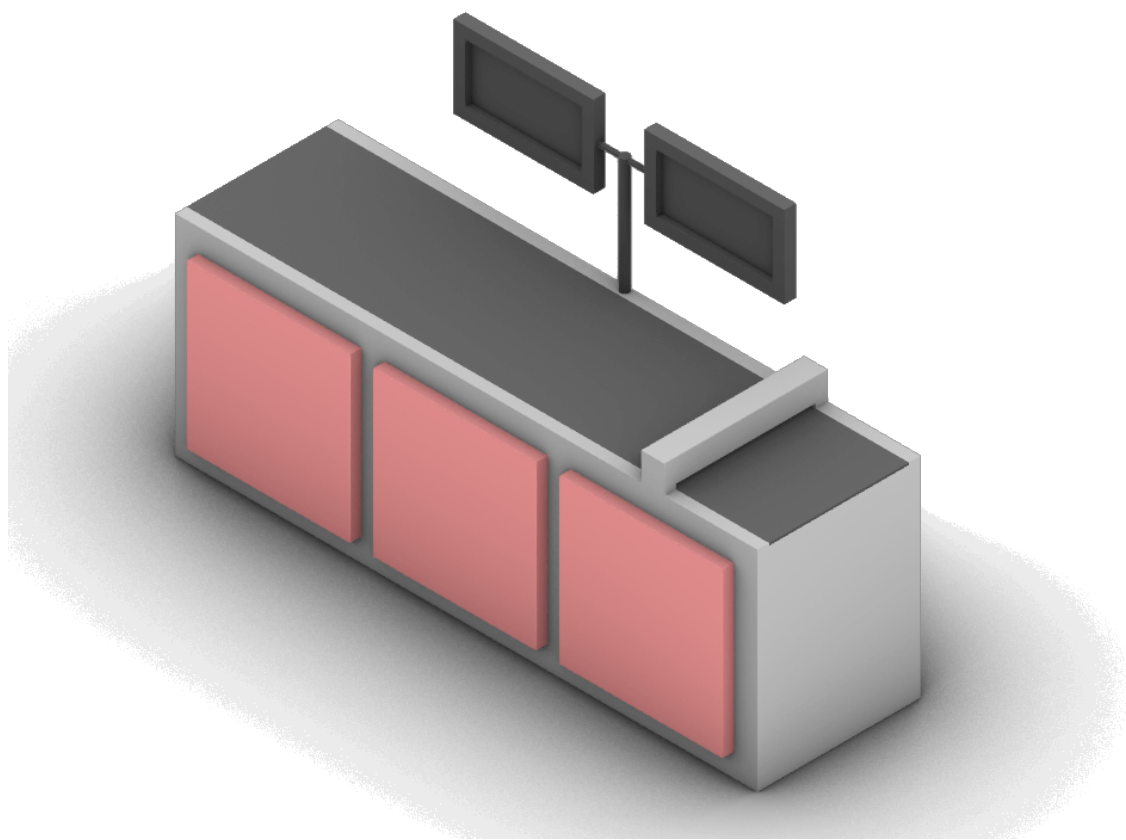


Figura A.8: Modelo 3D escáner plano de pliegos

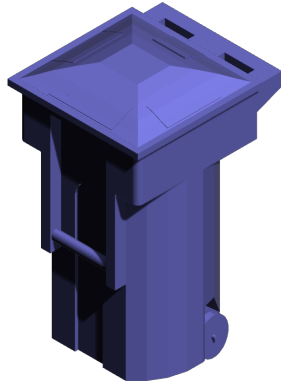


Figura A.9: Modelo 3D cubo de descarte de errores



Figura A.10: Modelo 3D mesa de trabajo de etiquetado

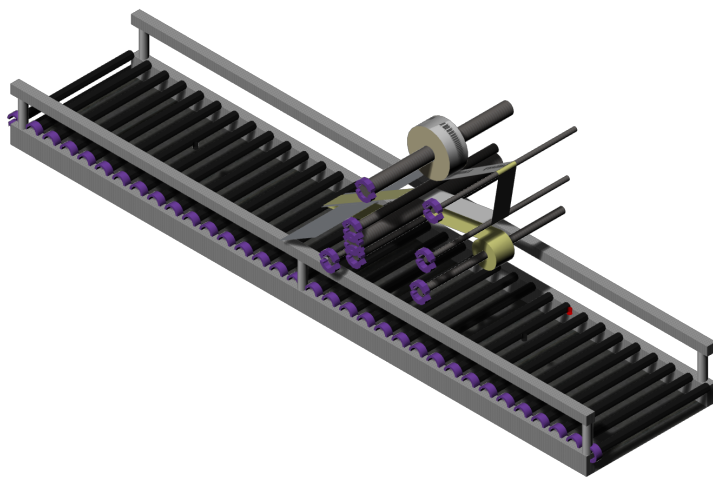


Figura A.11: Modelo 3D etiquetadora automática

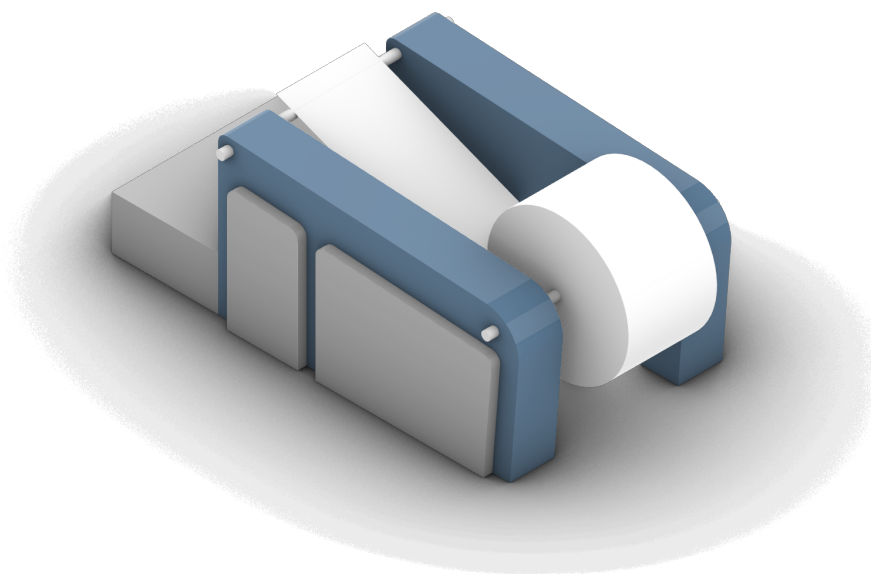


Figura A.12: Modelo 3D rebobinadora

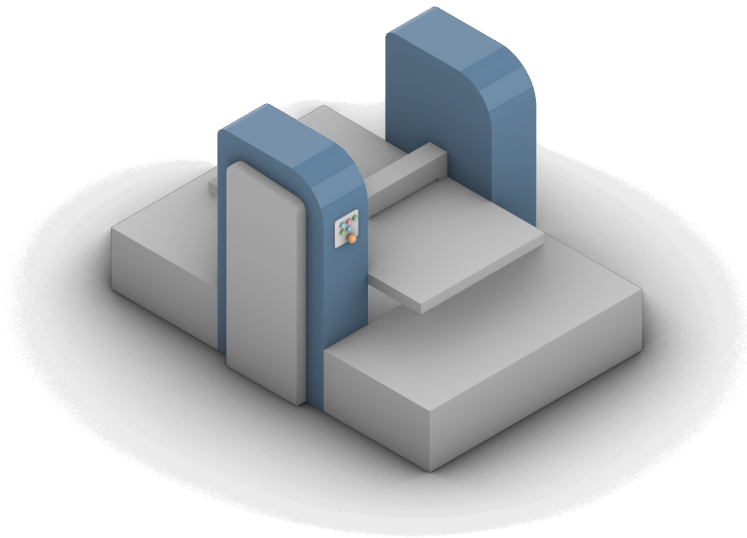


Figura A.13: Modelo 3D escáner en rotativa

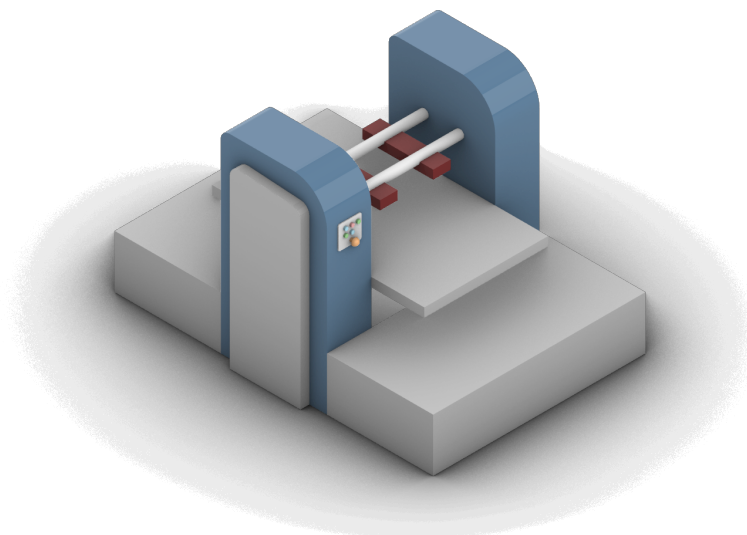


Figura A.14: Modelo 3D impresión dato variable en InkJet Rotativa

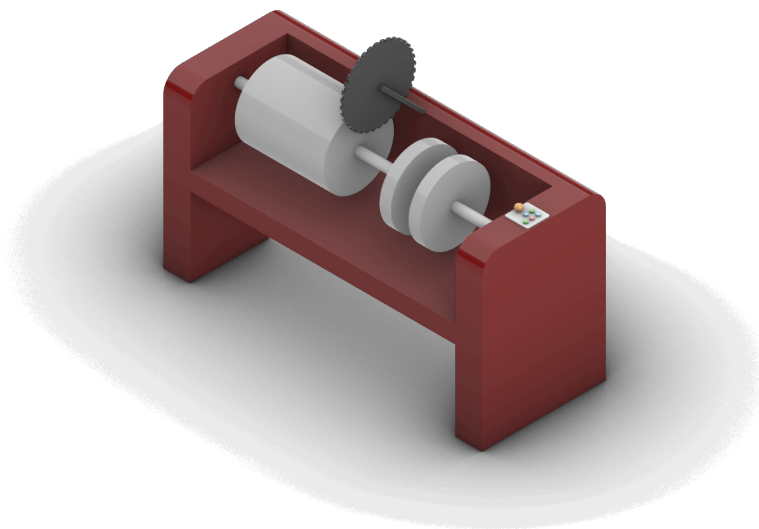


Figura A.15: Modelo 3D cortadora de bobina a pliego

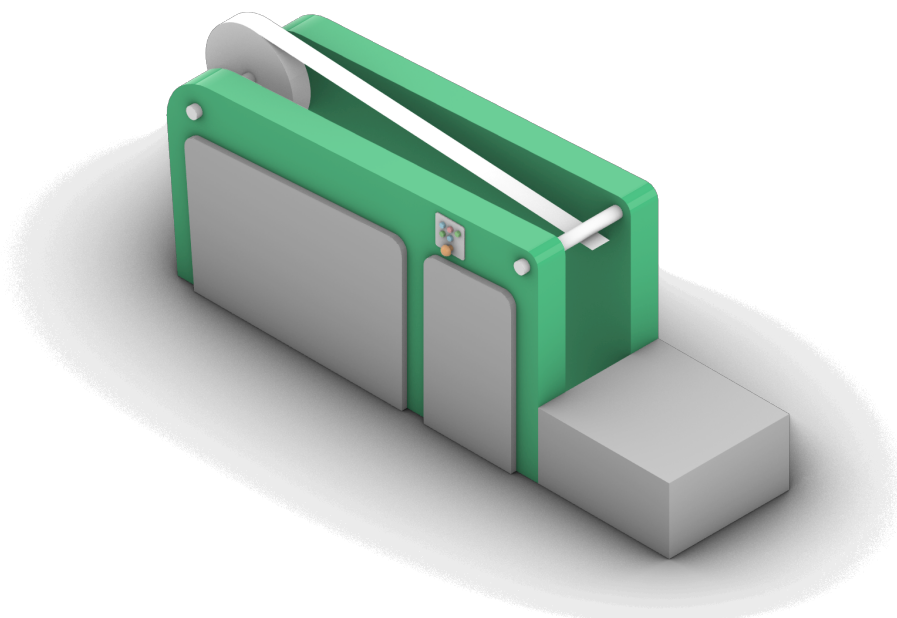


Figura A.16: Modelo 3D desbobinadora para rollo



Figura A.17: Modelo 3D impresión dato variable en rollo

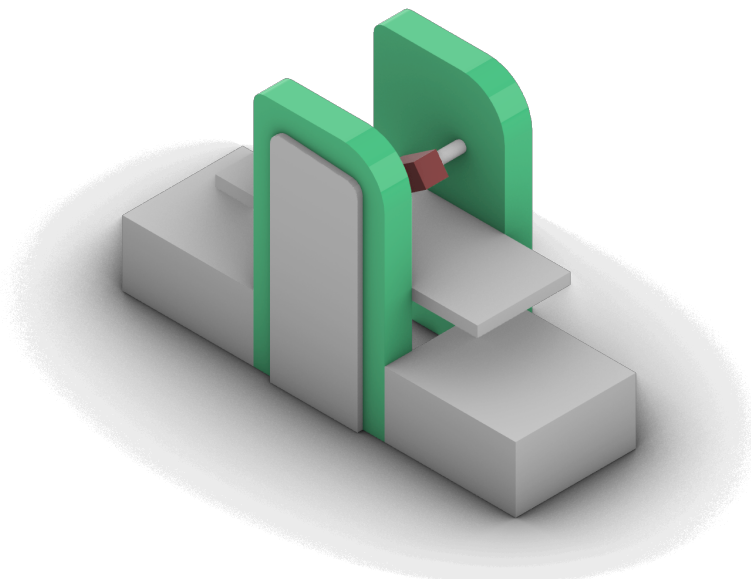


Figura A.18: Modelo 3D captura imágenes en rollo

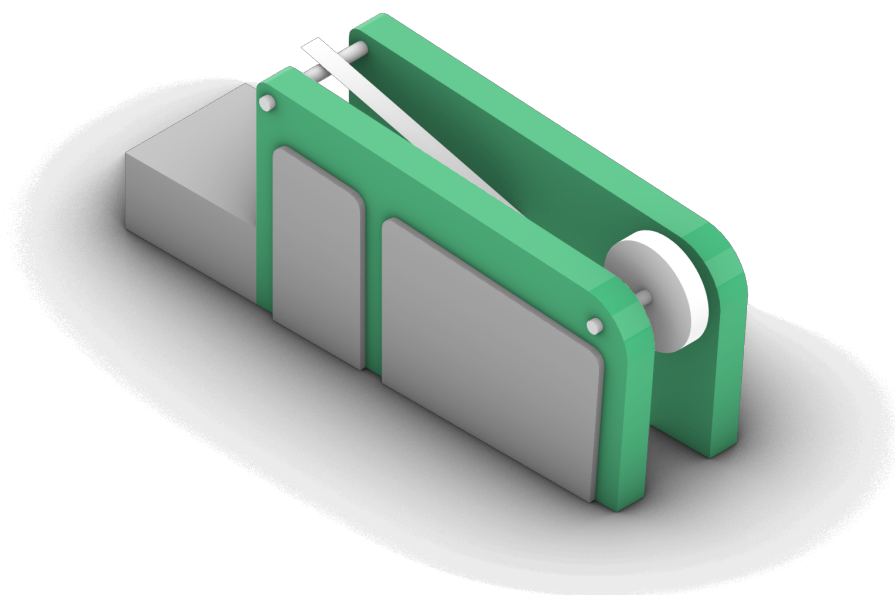



Figura A.19: Modelo 3D rebobinadora para rollo

Este documento esta firmado por



Firmante	CN=tfgm.fi.upm.es, OU=CCFI, O=ETS Ingenieros Informaticos - UPM, C=ES
Fecha/Hora	Wed May 31 15:48:00 CEST 2023
Emisor del Certificado	EMAILADDRESS=camanager@etsiinf.upm.es, CN=CA ETS Ingenieros Informaticos, O=ETS Ingenieros Informaticos - UPM, C=ES
Numero de Serie	561
Metodo	urn:adobe.com:Adobe.PPKLite:adbe.pkcs7.sha1 (Adobe Signature)