



Rediseño del sistema de manufactura en EMPRESA de Cali usando simulación de eventos discretos para mejorar tiempos de entrega

Vanessa Diaz Valdelamar^{a,c}, Angie Lorena Olaya Castrillón^{a,c}, Luis Eduardo Gonzalez Moreno^{a,c},
Juan Andrés Campo Restrepo^{a,c}

Francisco Muñoz Prado^{b,c}

^aEstudiante de Ingeniería Industrial

^bProfesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Civil e Industrial

^cPontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia

Resumen en español

Se presenta información sobre el mercado de dispositivos médicos en Colombia, enfocándose en una empresa en particular. Colombia es el tercer mercado más grande de dispositivos médicos en América Latina y ha experimentado un crecimiento significativo debido a la crisis del COVID-19. Los productos más demandados en el mercado colombiano son los consumibles y otros dispositivos médicos, como equipos para endoscopias, diálisis, transfusiones, anestesia y tensiómetros.

La empresa estudiada se especializa en la fabricación de productos médicos plásticos y opera bajo un esquema logístico de fabricación bajo pedido (make to order). Sin embargo, la empresa enfrenta desafíos en cuanto a retrasos en las entregas, lo que ha llevado a una disminución en el volumen de pedidos que reciben. Para abordar esta problemática, se propone un proyecto que analice y proponga soluciones para reducir los retrasos en la entrega y asegurar la calidad del servicio.

Los grupos de interés identificados en el proyecto incluyen al equipo de proyecto de diseño, el equipo directivo de la empresa, el equipo de producción, logística, comercial, servicio al cliente y aseguramiento de la calidad. Se utiliza la metodología Onion Stakeholder para clasificar y priorizar los grupos de interés. Se proponen cuatro variables para medir la situación actual de la empresa: pedidos retrasados, ciclo de pedido, satisfacción de los clientes.

Después de consultar en la literatura asociada (Bases de datos) e idear soluciones haciendo uso de la lluvia de ideas inversa, se llegó a que el diseño a realizar es un modelo de simulación de eventos discretos que permita explorar el desempeño del proceso productivo bajo diferentes escenarios.

Palabras clave: Dispositivos médicos plásticos, ciclo de pedido, logística, esquema make to order

Contenido

Contenido	2
I. DEFINIR.....	3
A. Contexto y Justificación	3
B. Requerimientos.....	8
II. MEDIR.....	9
A. Plan de recolección de datos.....	9
B. <i>Medición del sistema actual</i>	10
III. ANALIZAR	15
A. Análisis de Causas	15
B. Revisión de literatura.....	15
C. Exploración de ideas y selección de alternativa	17
D. Objetivos.....	18
E. Plan de trabajo (PdT).....	18
IV. MEJORAR	22
A. Desarrollo del Diseño de la Solución	22
B. Validación del Diseño de la Solución.....	27
V. CONTROLAR.....	29
A. Medición de los Impactos.....	29
B. Estandarización de la Solución	31
C. Conclusiones y recomendaciones	32
D. <i>Recomendaciones</i>	33
VI. GLOSARIO	33
VII. REFERENCIAS.....	34
VIII. ANEXOS.....	35

I.DEFINIR

A. Contexto y Justificación

A 2021, Colombia es el tercer mercado de dispositivos médicos más grande de América Latina. Con un volumen de 1250 millones de USD (alrededor de un 5% del gasto sanitario del país), es un mercado con un alto potencial de crecimiento. A raíz de la reciente crisis causada por el COVID – 19, se ha generado una expectativa de desarrollo superior al de otras economías latinoamericanas, debido al incremento del consumo privado y las exportaciones, con un estimado de crecimiento anual del 6,8% para el periodo 2022-2026. En términos de categoría de producto, en 2021, los de mayor volumen son los consumibles, con un 26% de la cuota del mercado y otros dispositivos médicos, como equipos para la realización de endoscopias, diálisis, transfusiones, anestesia, y tensiómetros, con un 25% de cuota de mercado, de los cuáles, el primer grupo está compuesto por jeringuillas, agujas y catéteres, así como vendajes y apósitos [1].

El mercado colombiano es mayoritariamente importador, con un sector creciente de empresas productoras, impulsado por su organización en clúster; sin embargo, la producción local representa menos de un tercio del mercado y se concentra principalmente en el extremo de baja tecnología o consumibles. Estos consumibles, a su vez, representan más de la mitad del total de la producción local. Puesto que, las empresas locales están centradas en la producción de consumibles y elementos de bajo nivel tecnológico, el país depende, en gran medida, de las importaciones y de las grandes multinacionales que fabrican y adicionan el componente tecnológico (>80% del mercado es de origen internacional) [1], la Fig.1 muestra la balanza de exportaciones e importaciones en el sector de los dispositivos médicos.



Fig. 1. Balanza comercial del sector de los dispositivos médicos plásticos en Colombia.

La Fig. 2. ilustra la distribución de las exportaciones de dispositivos médicos por tipo de producto para el año 2021, lo cual evidencia que el sector de los principales dispositivos médicos plásticos producidos por la EMPRESA pertenecen al sector de jeringas de plástico que representan el 3,2% de las exportaciones.

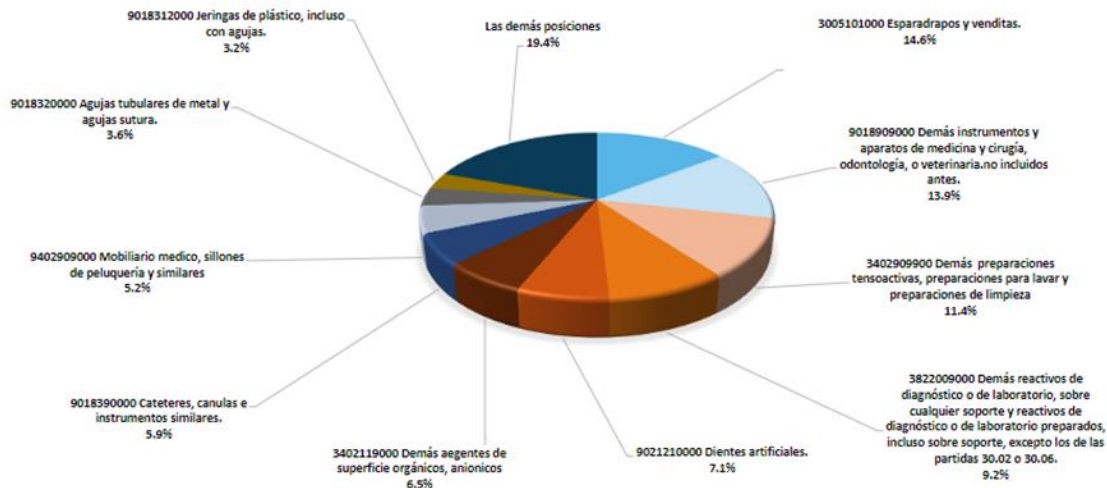


Fig. 1. Distribución, por producto, de las exportaciones de dispositivos médicos en el 2021 [2].

La EMPRESA objeto de estudio inició operaciones en 1989 como un taller metalmecánico dedicado a la fabricación, comercialización y oferta del servicio de reparación de moldes, piezas para moldes de inyección y soplado, y cuchillas industriales. A partir del año 2000 fabrica productos plásticos, especialmente, aplicadores para cremas vaginales y, actualmente, se especializa en la fabricación de productos plásticos para las industrias farmacéutica, veterinaria y alimentaria. El proyecto por desarrollar se focaliza en la línea de productos médicos plásticos, un portafolio de productos que incluye principalmente, aplicadores vaginales, jeringas plásticas, envases y dosificadores, tapas y taponés.

La EMPRESA funciona bajo un esquema de producción por pedido (Make to Order), esto es, fabrican lotes bajo pedido, de acuerdo con las especificaciones requeridas por cada cliente, brindando soluciones para la protección, suministro sencillo, preciso y controlado de dosis, orientadas a la prevención, diagnóstico y tratamiento, protegiendo la integridad de los usuarios finales. Actualmente, se encuentra certificada por ICONTEC bajo las normas ISO 9001 de 2015 e ISO 13485 de 2016; de igual forma, ha sido reconocida por la FDA (U.S. Food and Drug Administration) [3], lo cual indica, idoneidad en la capacidad de demostrar que los productos ofrecidos son seguros y se pueden utilizar de acuerdo con el propósito para el que han sido diseñados, y su elaboración cumple con estándares de calidad federales, que le permiten participar en los mercados internacionales.

Para tener un mayor conocimiento de la operación, se llevó a cabo una visita a la EMPRESA el día 6 de marzo del 2023, (Ver anexo 1 y 2), en la que se logró un acercamiento con los encargados de algunos procesos, quienes expresaron sus preocupaciones; esto llevó a la realización de una entrevista con el Coordinador Logístico y el Jefe de Investigación y Desarrollo, en la que se revisó una serie de inquietudes planteadas por el equipo, que se fueron ampliando en la medida que se desarrollaba la conversación (Ver anexos 3 y 4); esto permitió obtener información relevante para direccionar el proyecto (Ver anexo 5).

El sistema productivo de la EMPRESA es “A Pedido” con una base de clientes que conoce, interpreta y satisface sus necesidades, además de no contar con mucha competencia de otras EMPRESA que fabriquen los mismos productos. Los clientes se contactan con el área de compras quienes generan las órdenes de compra, sobre las cuales se hace el requerimiento de materiales y mano de obra que se necesita, y se fijan las fechas de entrega. El tiempo estándar definido para la entrega del pedido es, por lo general, de 30 días y en los casos en que el cliente necesite un término menor se evalúa la capacidad y se determina si es o no procedente atender dicha petición.

Para el procesamiento de la información de los pedidos se utiliza el software SIIGO, el cual la distribuye y comunica entre las diferentes áreas; sin embargo, de acuerdo con lo expresado por los entrevistados, al ser un aplicativo meramente contable, no permite que la información sea compartida entre las diferentes áreas operacionales con facilidad, en el caso específico de compras y logística, dando lugar a desarrollos aislados de actividades en formatos de Excel.

Las etapas que cubre un pedido son, a grandes rasgos, la recepción del pedido por parte del área de compras y su respectiva carga a SIIGO con las fechas de entrega solicitadas; el envío a planeación de producción de los requerimientos de materiales y mano de obra; la revisión de los inventarios de materia prima y recepción del pedido para su entrega por parte de logística. Este último se hace a través de dos EMPRESA transportadoras, que se contratan en función de la disponibilidad, el tamaño de los paquetes y el destino.

Otro aspecto importante que se menciona en la entrevista es que, en muchas ocasiones, los pedidos presentan retrasos en la fecha de entrega al cliente, y aunque, no hay repercusiones legales, sí existen repercusiones comerciales puesto que, los clientes han ido disminuyendo el volumen de productos pedidos. Debido a que la competencia de la EMPRESA es poca, han presentado grandes pérdidas en los volúmenes de clientes o pedidos, sin embargo, el que un cliente solicite menos de lo habitual puede indicar que está explorando otras opciones, y a medida que el sector de los dispositivos médicos plásticos crece, la EMPRESA puede enfrentarse a repercusiones mayores si presentan un incumplimiento prolongado, por lo que el equipo decide hacer un análisis y una valoración cuantitativa para identificar dónde es necesaria una intervención y realizarla.

Según la información de pedidos suministrada por la EMPRESA para el año 2022, de las 1013 solicitudes que atendieron, 621 presentaron retraso (61,3%) en la fecha de entrega al cliente; esto representó que los seis clientes con mayor cantidad de compras en términos de dinero pasaran de representar el 62% del valor de las ventas totales para el mes de enero a solo un 28,8% del total de ventas al mes de junio del año 2022 (Ver anexo 5). Al hacer un análisis más detallado de la observación indicada por el coordinador logístico en el cuadro de pedidos, se identifica que, para el mayor porcentaje de los retrasos no se tiene información, puede deberse a una mala planificación de las fechas de entrega acerca de la causa, la segunda razón son los retrasos por producción, seguidos por los retrasos en el pago del pedido por parte del cliente como se observa en la Fig. 3.

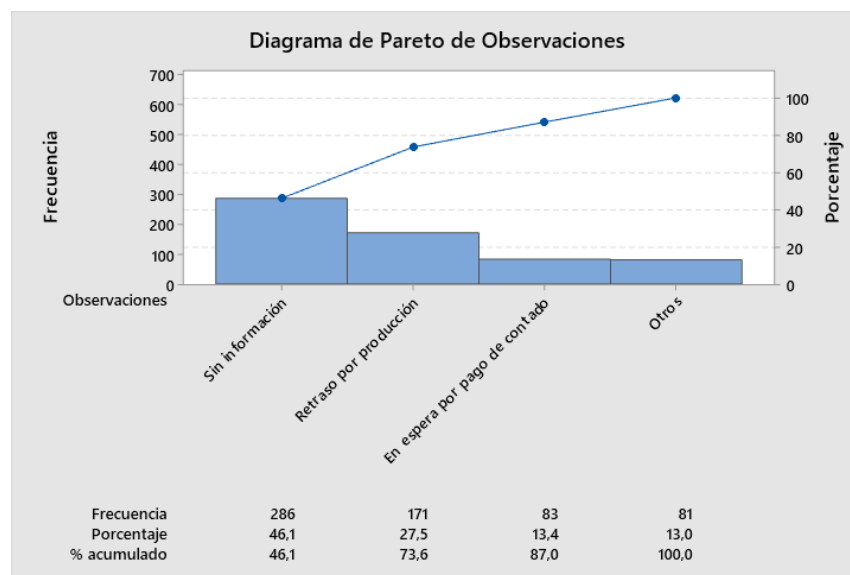


Fig. 2. Diagrama de Pareto de acuerdo con la frecuencia de las observaciones [4]

El conocimiento contextual de la operación de los procesos de la EMPRESA y la información cuantitativa de los pedidos, permite inferir que el alcance del proyecto podría considerar el análisis cualitativo y cuantitativo del proceso de producción (Ver Tabla 1), que permita identificar las causas de la problemática relacionada con los retrasos continuos en los tiempos de entrega de los pedidos a los clientes que se pretende resolver y plantear una propuesta de reducción basada en la planeación de la producción que permita disminuir los retrasos y evitar las consecuencias adversas a mediano y largo plazo, con el fin de contribuir a consolidar el posicionamiento de la EMPRESA en función de la visión y los objetivos propuestos. Los beneficios que se busca obtener de la propuesta, además de una contribución a los objetivos planteados por la EMPRESA, es el aseguramiento de la calidad del servicio con el fin de lograr la retención de la base de clientes y evitar las reducciones en los volúmenes de compra de estos lo que a su vez reduzca las pérdidas de ingresos, todo esto a través de la identificación e intervención en las fases del proceso que contribuyan a dichos retrasos. También se espera que la consolidación a largo plazo de la EMPRESA aumente las ventas y por lo tanto aumente sus ganancias netas.

TABLA I

CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO

ENTRADAS	PROCESO	RESPONSABLE
Nuevos materiales y proveedores	Compras/Diseño y Desarrollo/Aseguramiento de Calidad/Planeación	Jefe Proceso
Presupuesto de Ventas	Comercial	Director Comercial y de Ventas
Explosión de Materiales	Planeación	Coordinación de Planeación
Cotizaciones	Todos los procesos/ Proveedores	Jefe de Cadena de suministro y solicitante
Maestro Proveedores - Materiales	Compras/Contabilidad	Contabilidad y costos
Requisiciones o solicitudes de compra	Todos los procesos	Solicitante y jefe de Área
Listado de materiales aprobados	Aseguramiento Calidad	Jefe de Aseguramiento de la Calidad
Normas y Requerimientos legales	Todos los procesos	Jefe de Cadena de Suministro
Órdenes de compra (especificaciones)	Compras	Jefe de cadena de suministro
Proveedores Evaluados	Compras	Jefe de cadena de suministro
Entrega de elementos solicitados de acuerdo con requisición	Todos los procesos	Personal solicitante
Acuerdos por negociación con proveedores	Compras	Jefe de cadena de suministro
Entradas de materia prima	Proveedor	Asistente de logística
Entrada producto terminado y semiterminados	Producción	Asistente de logística
Pedidos de clientes	Comercial	Asistente de servicio al cliente
Requisición de materiales	Planeación	Coordinación de Producción
Tarifas con transportadores	Proveedor	Proveedor
Planeación estratégica	Gerencial	Gerente Logístico
Requisitos legales	Aseguramiento Calidad	Jefe de Aseguramiento de Calidad
Política de inventarios	Administrativo	Dirección Administrativa
Reportes de inventario	Producción, Comercial, Contabilidad, Planeación y Logística	Líderes de proceso
Informes de entregas a Cliente (Cuadro Control despachos)	Comercial	Servicio al cliente
Necesidad de compras	Compras	Jefe de cadena de suministro
Entrega física de materia prima e Insumos	Producción	Líder De Planta
Entrega a cliente	Cliente	Transportador

Grupos de interés

Los grupos de interés identificados, a partir de la visita realizada, la entrevista hecha al encargado de logística, el mapa de procesos de la EMPRESA y la caracterización de los procesos de compras y logística, (Ver anexos 1, 2, 4, 6, 7 y 8) son diversas personas naturales y jurídicas, públicas y privadas, que dada su naturaleza y misión pueden afectar de manera directa o indirecta el proyecto a desarrollar:

- Equipo de proyecto de diseño: Integrado por Juan Andrés Campo Restrepo, Vanessa Diaz Valdelamar, Luis Eduardo González Moreno y Angie Lorena Olaya Castrillón
- Equipo directivo de la EMPRESA
- Equipo de producción

- Equipo de logística
- Equipo comercial y servicio al cliente
- Equipo de aseguramiento de la calidad

La metodología utilizada para clasificar y priorizar los grupos de interés es Onion Stakeholder, la cual consiste en un diagrama de círculos concéntricos, en los que se clasifican los grupos de interés de acuerdo con su interacción con el proyecto. Es así como, en la capa más interna se ubican aquellos que se involucran directamente con el problema, y en la más externa los que participan indirectamente. En la Fig. 3. se muestra la clasificación de los grupos de interés.

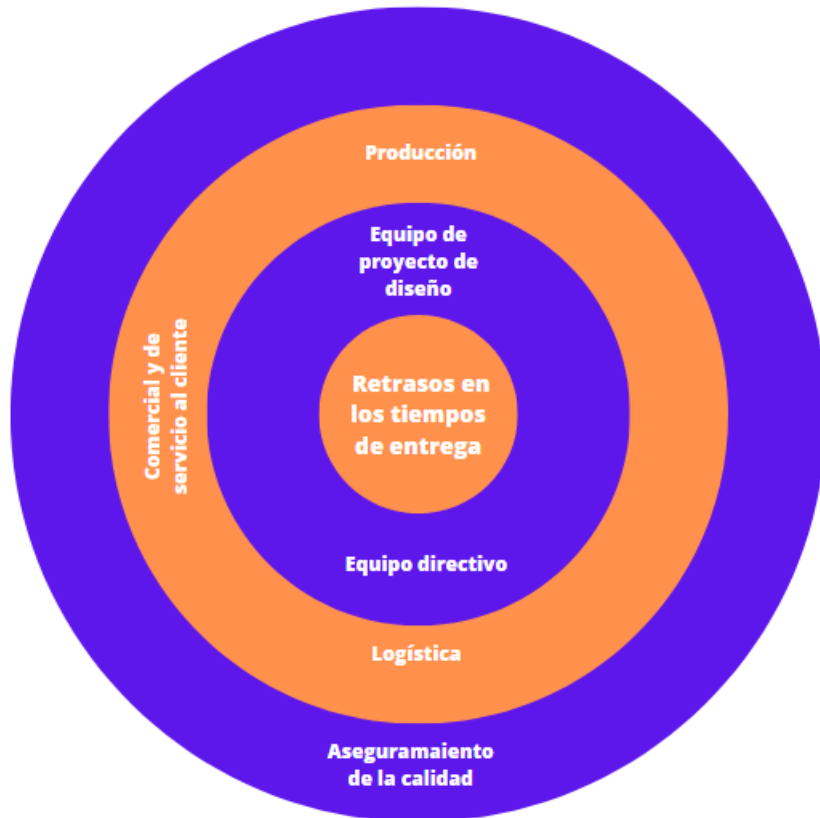


Fig. 3. Diagrama Onion Stakeholder para la clasificación de los grupos de interés.

B. Requerimientos

TABLA II

REQUERIMIENTOS DE LOS GRUPOS DE INTERÉS

GRUPOS DE INTERÉS	VoC (REQUISITOS GRUPOS DE INTERÉS)	RESTRICCIONES DE DISEÑO	ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	LEYES, NORMAS Y ESTÁNDARES	
				Legislación y Requisitos Aplicables	Importancia o Efecto
Equipo de proyecto de diseño	Satisfacción de las expectativas de mejoramiento en los tiempos de entrega.	Bajo nivel de conocimiento profundo y detallado de la cadena de suministro Interpretación de los requerimientos de la EMPRESA Competencias y habilidades no adecuadas de los miembros del equipo	Aceptación de al menos el 70% de las acciones de mejora sugeridas	Política integral del manual de calidad de la EMPRESA	Establece la política integrada, los objetivos, el propósito, misión y visión de la EMPRESA
Equipo directivo	Cumplimiento de la política integral de calidad en los aspectos aplicables y contribución a los objetivos de la EMPRESA	Inconsistencias en la trazabilidad del proceso Deficiente comunicación y coordinación entre las áreas involucradas Inadecuado Sistema de información de apoyo Represamiento de órdenes de pedido	Cumplir el 100% de la política aplicable	Política integral de calidad, objetivos, propósito, misión y visión, definidos en el manual de calidad -Anexo 6	Establece la política integrada, los objetivos, el propósito, misión y visión de la EMPRESA
Equipo de logística	Cumplimiento en los tiempos de entrega	Comunicación deficiente, ejecución aislada de actividades y base tecnológica inadecuada que soporta el proceso Dependencia de la efectividad del proceso de producción	Cumplimiento en, por lo menos, un 90% en los tiempos de entrega	Ley 105 de 1993 NTC ISO 9001 de 2015 y NTC ISO 13485 de 2016 Decreto 2092 de 1986 del Ministerio de Salud Circular número 014 de 2022	Establece disposiciones que reglamentan el transporte de carga en Colombia Contribución al aseguramiento de la calidad en el diseño y desarrollo, producción, instalación, comercialización y servicio de post venta de dispositivos médicos y servicios relacionados Regular la elaboración, envase, almacenamiento, transporte y expendio de medicamentos y similares Seguimiento del comportamiento del mercado de dispositivos médicos
Equipo de producción	Entregas a tiempo al equipo de logística	Poca apropiación de la política integral; grado de capacitación, coherencia,	Cumplimiento en, por lo menos, un 90% en los tiempos de entrega	Resolución 4143 de 2012	Asegurar que la materia prima (Polipropileno) cumpla con los requisitos sanitarios

		coordinación y cohesión de equipos y procesos.		Decreto 4725 de 2005	Cumplir con la regulación en materia sanitaria
Equipo comercial y de servicio al cliente	Aumento en el índice de satisfacción al cliente	Incumplimiento en las órdenes de pedido.	Cumplimiento en, por lo menos, un 90% en los tiempos de entrega	Política integral de calidad, objetivos, propósito, misión y visión, definidos en el manual de calidad	Establece la política integrada, los objetivos, el propósito, misión y visión de la EMPRESA
Aseguramiento de la calidad	Cumplimiento de los estándares de calidad del servicio ofrecidos	No documentación de las inconsistencias. Baja frecuencia de auditorías internas.	Garantizar que se cumplan los estándares de calidad establecidos.	El Invima. Decreto 4725 de 2005: disposiciones para la fabricación, importación, exportación, comercialización y uso de dispositivos médicos en Colombia	Regular o comprobar la composición, el grado de pureza y la toxicidad de los materiales, entre otros. requisitos específicos para los procesos de fabricación, etiquetado y embalaje de estos dispositivos, con el fin de asegurar su calidad y seguridad.

La investigación de los VoC (Requisitos de los Grupos de Interés) se hizo de la siguiente forma:

Para el equipo directivo, equipo de producción, equipo comercial y de servicio al cliente, y equipo de aseguramiento de la calidad se recurrió a la política de calidad de la EMPRESA, mientras que con el equipo de logística se realizó una entrevista virtual con el encargado del proceso, el coordinador logístico de la EMPRESA.

II.MEDIR

A. Plan de recolección de datos

A partir de los requerimientos identificados para cada grupo de interés se planteó el plan de recolección de datos (ver Anexo 9) para planear la medición de las variables que permiten dar cuenta de la situación actual de la EMPRESA. Se encontró que existen variables que miden más de un requerimiento para distintos grupos de interés por lo cual se proponen cuatro variables que permitan cuantificar la situación actual: Pedidos retrasados, ciclo de pedido, satisfacción de los clientes y retrasos en producción.

La variable de pedidos retrasados está ligada principalmente al cumplimiento en los tiempos de entrega (requerimiento del equipo logístico), y a la vez corresponde a uno de los tres objetivos de la política integral de la EMPRESA aplicable al proyecto, perteneciente al requisito del equipo directivo. Con esta variable también se atienden los requerimientos del equipo comercial y de servicio al cliente asociados al aumento de satisfacción en los clientes, puesto que se toma el porcentaje de incumplimiento de pedidos como la insatisfacción de los clientes, siendo así que, entre menos incumplimientos, menos clientes insatisfechos. Esta variable se define como el porcentaje de pedidos al mes que se entregaron después de la fecha pactada con el cliente, y ayuda a la medición de los retrasos para la posterior identificación de causas que impiden la meta de atender a más del 90% de pedidos a tiempo.

Por su parte, el ciclo de pedido se refiere al tiempo transcurrido entre la fecha que se realiza el pedido por parte del cliente y la fecha en la que el cliente solicita que se le entregue, que se entiende también como la fecha que se compromete la EMPRESA a entregar el pedido. Dicha variable ayuda a identificar los tiempos reales para la preparación, producción y despacho del pedido y permite evaluar las variaciones en función de la familia de producto y cantidad demandada lo que aportará a la hora de plantear una solución.

Para esta medición de estas dos variables se usa el cuadro de pedidos, una base de datos manejada por los encargados del área de logística, quienes realizan los despachos; se toman la totalidad de los pedidos despachados en lo transcurrido del año 2023 y se analiza la fecha de solicitud, fecha de entrega solicitada por el cliente y fecha de entrega real.

Para la medición de los retrasos en producción, se define como el porcentaje de pedidos que fueron entregados por el área de producción el mismo día que debía ser entregado al cliente y después de esta fecha y se mide también utilizando el cuadro de

pedidos suministrado por la empresa. Esta variable ayuda a determinar el nivel de criticidad de proceso de producción y la afectación de las fallas en este en el índice general de cumplimiento de los tiempos de entrega de los pedidos.

En cuanto al requerimiento del equipo del proyecto, satisfacción de las expectativas de mejoramiento en los tiempos de entrega, las cuatro variables se relacionan con este pues hace referencia a la aceptación de al menos el 70% de las acciones de mejora sugeridas las cuales se plantearán en función de la situación actual general y los requerimientos de los demás grupos de interés.

A continuación, se presentan los indicadores de desempeño a medir para cada variable (Tabla III).

TABLA IIIII.
INDICADORES DE DESEMPEÑO A MEDIR

Variable	Objetivo Para qué sirve	Descripción Forma en que se va a medir	Indicador Fórmula (1)
Pedidos retrasados	Conocer el porcentaje de pedidos retrasados en referencia a los tiempos de entrega pactados.	Mediante los datos de fechas prometidas y reales presentados en el cuadro de pedidos del 2023	$\frac{\# \text{ de pedidos retrasados}}{\# \text{ de pedidos totales}} \times 100$ (3)
Ciclo de pedido	Conocer los tiempos con los que se compromete la EMPRESA a cumplir después de recibir una solicitud de pedido.	Mediante los datos de fechas prometidas y de solicitud presentados en el cuadro de pedidos del 2023	Días transcurridos entre fecha de solicitud del pedido y fecha prometida al cliente
Retrasos de producción	Determinar el porcentaje de pedidos retrasados en la etapa de producción.	Mediante los datos de fecha de entrega solicitada por el cliente y fecha de entrega de producción cuadro de pedidos del 2023	Días transcurridos entre fecha de solicitud del pedido y fecha de entrega de producción

B. Medición del sistema actual

Para hacer la medición del sistema actual, se recolectaron datos que ilustraran el estado de los indicadores correspondientes a los requisitos de los grupos de interés; con lo anterior se elaboró la hoja de trabajo de situación actual, y así mismo, se solicitó el organigrama de la EMPRESA (ver Anexo 10) y se elaboró un diagrama SIPOC del proceso productivo (desde que ingresa la orden hasta que el cliente recibe) (Ver fig. 5.).

S	I	P	O	C
Proveedores	Entradas	Proceso	Salidas	Clientes
Cliente	Solicitud de compra	Recibir y negociar el pedido	Orden de pedido con fechas de entrega y requerimientos de diseño y desarrollo concertados	Planeación de la producción
Comercial y servicio al cliente	Orden de pedido	Solicitar pedido a producción	Requerimiento de insumos, maquinaria y personal	Logística
Planeación de la producción	BOM (“Explosión de materiales”)	Solicitar insumos (moldes, material de empaque, entre otros) y materia prima	Insumos necesarios para empezar la producción	Producción
Logística (Almacenamiento)	Inventario de insumos y materia prima	Revisar inventario de materia prima e insumos	Cantidad disponible de materia prima e insumos	Producción
Planeación de la producción	Orden de pedido	Programar máquinas y equipos a utilizar	Conocimiento de la capacidad con la que se cuenta	Producción
Planeación de la producción	Orden de pedido	Concertar personal necesario	Personal con el que se cuenta para llevar a cabo la elaboración	Producción

Planeación de la producción	Orden de pedido	Asegurar que la línea se encuentre despejada	Área de trabajo libre y organizada	Producción
Planeación de la producción	Orden de producción	Revisar materia prima (cantidades recibidas, rotulación, entre otros)	Materia prima catalogada	Producción
Producción	Materia prima catalogada	Arrancar los procesos de inyección, soplado, ensamble y empaque	Unidades de producción (lotes)	Aseguramiento de la calidad
Producción	Lotes en proceso o terminados	Clasificar unidades de producción (lotes) de acuerdo con su estado y registrar	Lotes clasificados de acuerdo con su estado	Aseguramiento de la calidad
	Insumos de limpieza	Limpiar y desinfectar la línea	Espacio de trabajo limpio	Producción
Producción	Productos terminados	Pesar, embolsar, colocar en la caja, rotular, sellar y registrar unidades producidas	Lotes catalogados, listos para entregar	Logística
Logística (Almacenamiento) y producción	Inventario inicial y final de materiales	Reportar consumo de materia prima, material de empaque y desperdicios de material y tiempo	Cantidad de materiales utilizados e indicadores de desperdicios	Logística
Clientes	Requerimientos de los clientes, en cuanto a entrega de los pedidos	Seleccionar embalajes, empaques y transporte para despacho de la carga según requerimiento del cliente	Lotes empacados y transportadoras seleccionadas	Logística
Empresa transportadora	Información de envío	Despacho y seguimiento de los pedidos	Comprobante de recibo	Logística
Logística	Observaciones y sugerencias de los clientes	Recepción de observaciones de entrega al cliente	Informe de entregas a los clientes	Comercial y servicio al cliente
Clientes	Cartaporte y encuestas de satisfacción	Trámite, registro "CRM" y gestión de las quejas y reclamaciones del cliente	Observaciones de los clientes	Comercial y servicio al cliente
Clientes	Observaciones de los clientes	Retroalimentación del cliente	Actividades de mejora	Comercial y servicio al cliente

Fig. 5. Diagrama SIPOC del proceso productivo

En referencia a los retrasos de los pedidos, luego de hacer el análisis del cuadro de pedidos (Ver anexo 12) para los pedidos correspondientes al año 2023 (hasta el día 26 de abril), se encuentra que en la EMPRESA ha recibido 306 pedidos procedentes de 117 clientes, de los cuales 71% han sido entregados con retraso (si la fecha solicitada por el cliente es anterior al 26/04/2023 y el pedido no ha sido despachado se toma como pedido retrasado), es decir, 217 pedidos. Esto deja a la EMPRESA con un porcentaje de cumplimiento de los tiempos de entrega de solo el 29% frente a la meta propuesta del 90%, como se evidencia en la Fig. 6.



Fig. 6. Gráfico circular del cumplimiento de las entregas de los pedidos 2023 [5].

Al analizar los pedidos entregados con retraso, en función de la cantidad de días que se entregan tarde, se obtiene que actualmente el 25% de estos se entregan entre 1 y 7 días después de la fecha acordada, otro 25% se retrasa entre 8 y 15 días, un 13% más se entrega después de los 16 días de la fecha acordada pero antes de los 30 y el 37% de los pedidos que se retrasan lo hacen por más de un mes, como lo ilustra la Fig. 7.

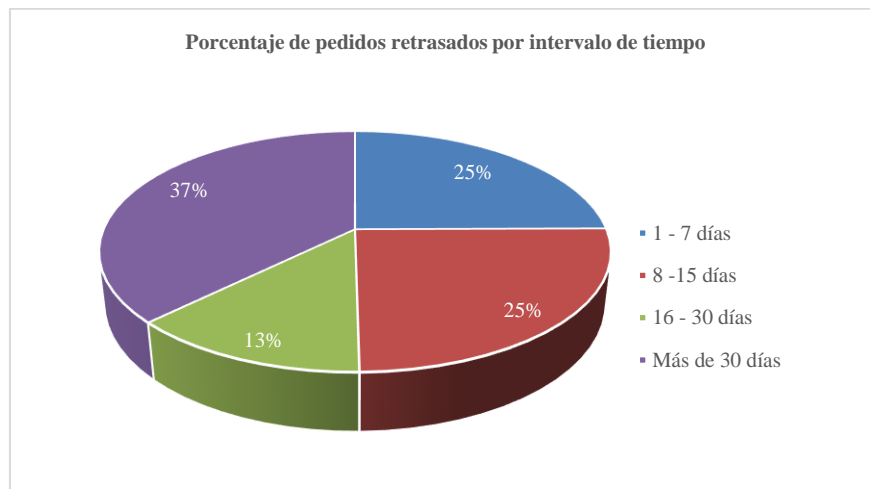


Fig. 7. Gráfico circular del porcentaje de retrasos por intervalo de tiempo [5].

Respecto a los pedidos entregados tarde por mes, en el mes de enero el 76% de los pedidos fueron entregados con retraso, para el mes de febrero el porcentaje fue de 68%, en el mes de marzo fueron el 64% y para abril el 76% (Correspondiente a los pedidos que no han sido entregados pero cuya fecha de entrega ya venció al 26/04/23 se tomaron con retraso a dicha fecha) como lo representa gráficamente la Fig. 8.

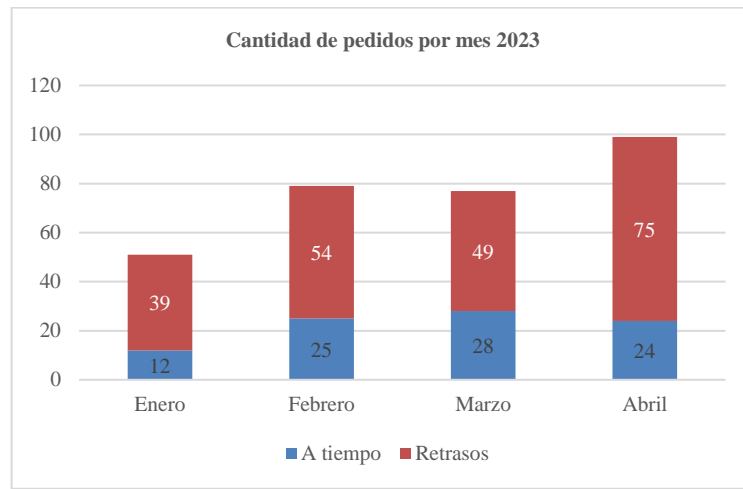


Fig. 8. Gráfico de barras de la cantidad de pedidos al mes 2023 [5].

Al realizar la medición del ciclo de pedido se obtuvo que, de los 306 pedidos recibidos en lo que va del año 2023, al día 26/04/23 que se tomó como fecha de corte para el análisis de los datos, para 122 la fecha de entrega que se pactó con el cliente fue menor a 30 días, es decir, el 40% como se muestra en la Fig. 9. Hay que tener en cuenta que el mínimo tiempo que requiere la empresa para producir y entregar una orden de producción es de 30 días, el promedio del ciclo de pedido para el periodo 2023 fue de 28 días, que se encuentra por debajo del mínimo posible. También se puede destacar que los pedidos retrasados, sin contar los datos atípicos, es decir, los datos que se encuentran muy distantes a los cuartiles calculados para los días de retaso que en este caso son de -99 a 96 días de retraso, suman un total de 5311 días de retraso y un promedio de 25 días de retraso por pedido.

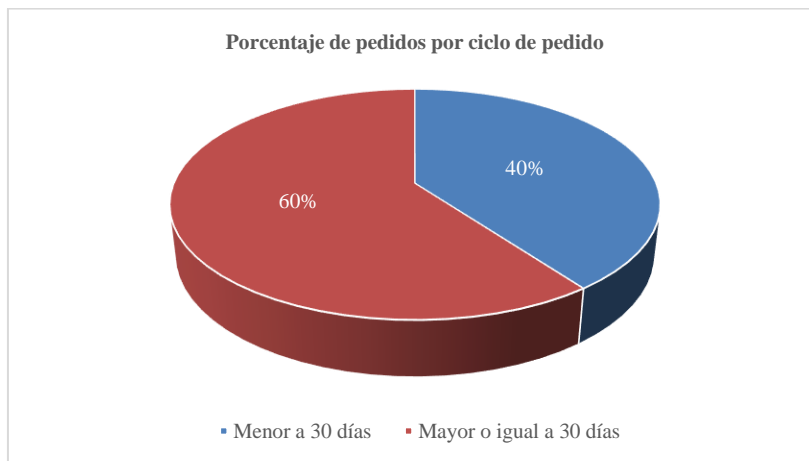


Fig. 9. Gráfico circular del porcentaje de pedidos por cantidad de días de ciclo de pedido 2023 [5].

Frente a los retrasos de los pedidos en la etapa de producción, se compararon las fechas en la que el cliente solicitó que se entregara el pedido y la fecha que producción entregó el pedido para ser despachado. Se considera retraso cuando la diferencia producción entrega en la fecha que se debería ser entregado es mayor o igual a cero, es decir, que el área de producción entregó el pedido en la misma fecha que debería haber llegado al cliente y posterior. Así pues, la cantidad de pedidos que tienen la información de la fecha de entrega de producción son 269 y de estos, 130 (48%) presentan un retraso a la hora de producir, representado gráficamente en la Fig. 10.



Fig. 10. Gráfico circular de los porcentajes de los pedidos retrasados en producción 2023 [6].

La Fig. 11 muestra la distribución de estos retrasos por mes, de enero a abril, que son los meses tomados en cuenta para el año 2023.

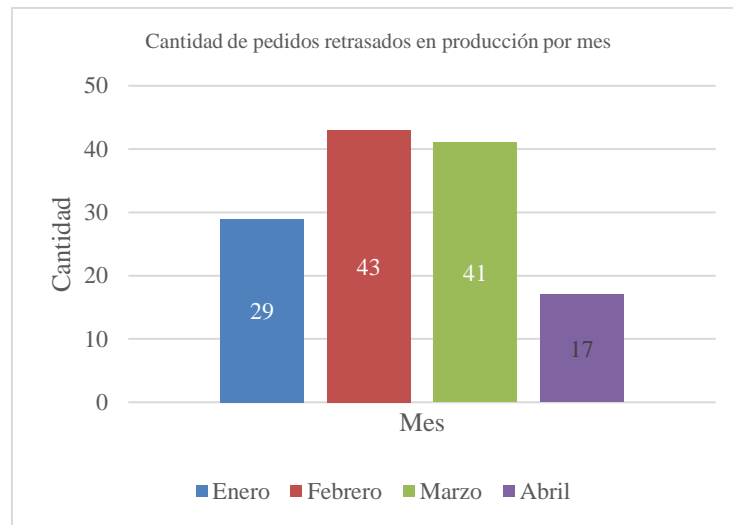


Fig. 11. Gráfico de barras de la cantidad de pedidos retrasados en producción por mes 2023 [6].

TABLA IV.
RESULTADOS DE INDICADORES DE DESEMPEÑO [7]

Variable	Actualidad	Meta
Pedidos retrasados	71%	10%
Ciclo de pedido	40%	0%
Retrasos en producción	48%	10%

III. ANALIZAR

A. Análisis de Causas

Una vez caracterizadas las variables y su medida de variación, se procede a realizar un diagrama de Ishikawa, con el fin de identificar las posibles causas de variación que hacen que exista un aumento en el número de pedidos con retraso en los tiempos de entrega. Esta variable global abarca así mismo la satisfacción de los clientes, el ciclo de pedido y los retrasos en producción. Para lograr la identificación de estas, se llevó a cabo una lluvia de ideas; para depurar las causas encontradas, se hizo otra visita a la empresa y se hicieron consultas con expertos, principalmente profesores de Ingeniería Industrial pertenecientes a la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Pontificia Universidad Javeriana Cali, los cuales ya conocían el proyecto. En la fig. 12. Se muestra el diagrama de Ishikawa correspondiente.



Fig. 12. Diagrama de Ishikawa para la identificación de causas de variabilidad de la cantidad de pedidos que presentan retrasos

Las causas encontradas fueron Producción, Logística y Otras (Disponibilidad de los clientes, monetarias y calidad). Relacionando las causas encontradas con los datos e información suministrados por la EMPRESA, se encuentra que la que más genera variación es producción; en esta causa, los factores que más inciden son la poca disponibilidad de las máquinas y altos tiempos de preparación (Las máquinas, especialmente la de serigrafía, se encuentra parada porque se deben preparar para otro orden de producción o cumplir con otra especificación del cliente; esta última cumple específicamente para la de serigrafía), y falta de clasificación de los pedidos (No existe una cantidad mínima a ordenar, por lo que, al ingresar un pedido con baja cantidad, este puede entorpecer el proceso de producción).

B. Revisión de literatura

Consecuentemente, se llevó a cabo una búsqueda en bases de datos de información sobre propuestas de diseño que permitan dar solución a problemas similares (retrasos en tiempos de entrega en un sistema make to order), con el fin de dar cuenta acerca de los métodos, herramientas u otros insumos, que puedan ser de utilidad para el proyecto. En la tabla V se exponen de manera resumida los documentos realizados por otros autores, asociados al problema.

TABLA V

RESUMEN REVISIÓN DE LITERATURA

Tipo	Título	Autor (es)	Año	Industria	Objetivo	Método	Herramientas	Resultados	Aporte al Proyecto
Trabajo de investigación	Defining accurate delivery dates in make to order job-shops managed by workload control [7].	Davide Mezzogori, Giovanni Romagnoli, Francesco Zammori	2020		Implementar un sistema que permita reducir las colas y los tiempos de espera, al limitar la carga de trabajo en la planta de producción.	WLC (Work Load Control) integrado con sistemas de pronósticos basados en redes neuronales.	Modelo de simulación de eventos discretos y algoritmos basados en redes neuronales	Al comparar el número de Jobs tardíos de una estrategia push frente a un sistema WLC, estos se reducen en 37,2%. Al integrar sistemas de pronósticos al sistema WLC, este número se reduce en 40,72%.	Este paper provee una guía de implementación de un sistema WLC en un entorno similar al de la EMPRESA objeto de estudio.
Trabajo de investigación	Real-time order acceptance and scheduling for data-enabled permutation flow shops: Bilevel interactive optimization with nonlinear integer programming [8].	Wenchong Chena,b,c, Xuejian Gongc, Humyun Fuad Rahmand, Hongwei Liub,*, Ershi Qib	2021	Industria de manufactura	Programación y aceptación de pedidos en tiempo real para tiendas de flujo de permutación habilitadas para datos: optimización interactiva binivel con programación entera no lineal	La aceptación y programación de pedidos en tiempo real (r-OAS) y la planificación de liberación de trabajos en tiempo real (r-JRP). Se formula un enfoque de optimización bilineal (BIO).	Se utilizan herramientas de optimización y algoritmos heurísticos. Específicamente, se hace uso de un algoritmo heurístico de enumeración para resolver el problema de optimización bilineal (BIO).	El estudio realiza un enfoque interactivo de optimización para abordar los desafíos de la aceptación y programación de pedidos en tiempo real, demuestra su eficacia a través de un caso de estudio práctico en una línea de ensamblaje	Este documento muestra la utilidad de la utilización de un algoritmo para la simulación de una solución a un problema de programación y aceptación de pedidos con aspectos similares al presente proyecto.
Trabajo de investigación	MTS lead time uncertainty study in periodic review MTS-MTO system [9].	FengYu Wang; Rajesh Piplani; Laura Xu Xiao Xia; Amrik Singh Bhullar	2012	Ingeniería Industrial e Ingeniería de Gestión	Reducir el costo y tiempos aprovechando la economía de escala en Make To Stock (MTS) para la producción de módulos semiacabados estándar y satisfacer una gran variedad de productos. aprovechando la flexibilidad en Esquema de producción bajo pedido(MTO)	Revisión de la literatura con simulación de distintos escenarios.	Modelo de simulación desarrollado en utilizando Flexsim versión 5.1.2 para evaluar el impacto de la incertidumbre del tiempo de espera de producción de MTS en el rendimiento del sistema combinado MTS-MTO.	Con la estructura de la política de inventario actual, los costos relacionados con el servicio, como la entrega tardía y el costo del rechazo del pedido, son insensibles al tiempo de entrega de producción de MTS y su variación. Sin embargo, la reducción del tiempo de espera de producción de MTS puede reducir considerablemente el costo de mantenimiento de inventario.	Este documento ofrece una visión de combinar el sistema de producción bajo pedido con ciertos parámetros del sistema make to stock con relación a la sensibilidad del sistema MTO frente adoptar MTS
Trabajo de investigación	Robust design of a multi-objective closed-loop supply chain by integrating on-time delivery, cost, and environmental aspects, case	Omid Abdolazimi, Mitra Salehi Esfandarani, Maryam Salehi, Davood Shishebori	2020	Industria de neumáticos	Lograr un diseño que mejore la eficiencia de la cadena de suministro y considere de manera integral los objetivos de	Optimización multiobjetivo, Análisis de redes de suministro y Análisis de sensibilidad, implementación del modelo determinista,	Sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP), sistemas de gestión de inventario, sistemas de gestión de pedidos.	Se obtuvo que la entrega a tiempo de los neumáticos con un costo mínimo es crucial en términos de satisfacción del cliente y beneficios económicos. Por lo tanto, se	Este documento aborda la importancia de garantizar la entrega a tiempo de los productos y su impacto en los costos centrado en la cadena de suministro, que

study of a Tire Factory [10].				entregas a tiempo, reducción de costos y aspectos ambientales	método de suma ponderada (WSM) y método de restricción ϵ . Métodos Mulvey (basado en escenarios) y Soyster para superar la incertidumbre relacionada con las variaciones de los parámetros de los modelos.	Modelado y simulación	requiere un plan detallado de cadena de suministro de ciclo cerrado para recolectar, almacenar, reciclar, desechar y entregar llantas.	se relaciona directamente con los problemas de la EMPRESA que se pretenden minimizar en este proyecto.
-------------------------------	--	--	--	---	---	-----------------------	--	--

Al realizar una comparación de lo encontrado en la revisión de diferentes documentos que abordan una problemática similar a la encontrada en la EMPRESA se puede decir que las alternativas plantean soluciones con los objetivos principales de minimizar colas, mejorar la eficiencia de la cadena y mejorar la recepción de los pedidos, todo esto con el fin de reducir la variación (o minimizar) los tiempos de entrega y costos de los procesos, usando en su gran mayoría la simulación para plantear escenarios distintos, por ejemplo, para la integración de los modelos MTS en los sistemas ya establecidos como MTO, optimización binivel (aceptación y programación de pedidos en tiempo real (r-OAS) y planificación de liberación de trabajos en tiempo real (r-JRP)), establecer sistemas de control como el de control de la carga de trabajo (WLC) y para encontrar un rediseño óptimo del proceso de manufactura que permita minimizar el problema.

C. Exploración de ideas y selección de alternativa

A continuación, se hace una lista de alternativas de solución al problema, aplicando la técnica Reverse Brainstorming; para aplicarla, se piensa en cuál es el objetivo por alcanzar (Disminución en los pedidos con retraso en los tiempos de entrega), después se niega esa idea (Aumento en los pedidos con retraso en los tiempos de entrega), se hayan causas de la idea negada, y finalmente se convierten estas causas en soluciones [11]. Con lo anterior, se encontraron las siguientes alternativas:

- Realizar un modelo de simulación de eventos discretos que permita explorar el desempeño del proceso productivo bajo diferentes escenarios
- Plantear un modelo make to stock integrado al modelo actual (sistema híbrido), basándose en los clientes y familias de productos que generan mayor volumen de pedido (clasificación de pedidos)
- Rediseño de la programación de pedidos, integrándola a la planificación de trabajos en tiempo real, utilizando programación no lineal
- Rediseño de la cadena de suministro, partiendo de un análisis de la variación de factores (tiempos de respuesta, llegada de materia prima, etc.), que permita afrontar la incertidumbre
- Implementación de tecnología RFID para tener una mejor trazabilidad de los productos a lo largo de la cadena de suministro, para tener un mejor manejo de la gestión de inventarios

Con esto, se definieron los criterios de selección. Estos son disponibilidad técnica y tecnológica, facilidad de implementación y costos de implementación. Después se realizó una matriz AHP (Proceso Analítico de Jerarquía) para encontrar los pesos relativos de cada criterio, los cuales son respectivamente 30%, 54% y 16% (ver Anexo 14).

A continuación, se aplicó una matriz de preferencias, donde cada alternativa se compara frente a cada criterio en una escala de 1 a 9. Frente al primer criterio (Disponibilidad de recursos técnicos y tecnológicos) 1 significa poca disponibilidad y 10 mucha disponibilidad. En el segundo criterio, 1 es que es de difícil implementación y 9 de muy fácil implementación. Finalmente, en el tercer criterio, 1 es muy asequible y 9 muy costoso.

El resultado final indica que la alternativa que se va a escoger, porque tiene mayor puntuación, es la primera (Modelo de simulación). En la tabla VI se muestra el resumen de la evaluación.

TABLA VI

RESUMEN DE LA CALIFICACIÓN POR CRITERIOS

Criterios de selección	Peso ponderado del criterio	Alternativas									
		Modelo de simulación de eventos discretos		Planteamiento de sistema make to stock		Programación de pedidos y planificación de trabajos		Rediseño de la cadena de suministro		Tecnología RFID	
		Calificación	Puntos	Calificación	Puntos	Calificación	Puntos	Calificación	Puntos	Calificación	Puntos
Recursos técnicos	30%	7	2,08	6	1,78	6	1,78	6	1,78	7	2,08
Facilidad de implementación	54%	5	2,69	4	2,16	4	2,16	3	1,62	4	2,16
Costos de implementación	16%	3	0,49	5	0,82	3	0,49	3	0,49	3	0,49
Totales	100%	5,27		4,76		4,43		3,89		4,73	

D. Objetivos

Luego de realizar el análisis de causas se procedió a determinar el objetivo general y objetivos específicos en torno a los cuales se desarrollarán las etapas siguientes del presente proyecto.

- Objetivo general: Rediseñar el sistema de manufactura a partir de un modelo de simulación para mejorar el cumplimiento de tiempos de entrega a clientes.
- Objetivos específicos:
 1. Caracterizar el proceso de manufactura para identificar las familias de productos, tiempos de proceso y de alistamiento, rutas en la producción, características de la demanda por cada familia, y para modelar la aleatoriedad del proceso.
 2. Crear un modelo de simulación de eventos discretos para analizar el rendimiento operativo en de diferentes alternativas de diseño.
 3. Evaluar las alternativas de diseño considerando el costo y nivel de servicio para identificar la solución más apropiada.

El objetivo del proyecto es rediseñar el sistema de manufactura actual utilizando la simulación de eventos discretos para reducir los incumplimientos en los plazos de entrega a los clientes. Para lograr esto, se plantea la necesidad de caracterizar el proceso identificando factores y parámetros que afectan los tiempos de entrega, como las familias de productos, los tiempos de proceso y alistamiento, las rutas de producción y las características de la demanda. Esto ayudará a determinar la aleatoriedad presente en el proceso.

Además, se requiere simular diferentes escenarios de rediseño, estrategias de inventario y reglas de control para evaluar su impacto en la producción. Finalmente, se evaluarán los resultados de las simulaciones para seleccionar la mejor alternativa teniendo en cuenta las restricciones de la empresa y así mejorar los tiempos de entrega.

Los objetivos específicos del proyecto son: caracterizar el proceso de manufactura, desarrollar un modelo de simulación de eventos discretos, y evaluar las alternativas de diseño para determinar la más adecuada en función de las restricciones de la organización y mejorar los tiempos de entrega al cliente.

E. Plan de trabajo (PdT)

En función de los objetivos específicos, se plantean una serie de actividades destinadas a cumplir y dar seguimiento a los mismos. Para el primer objetivo específico se propone identificar los clientes y productos que más aportan en cuanto a ingresos, secuenciar el proceso de producción de los principales productos e identificar familias de productos a fin identificar sobre cuál tendría más impacto una mejora y acotar el proyecto a una meta más realizable y medible.

Para el segundo objetivo específico, ya con las familias de productos acotadas y seleccionada la de más impacto, se plantearán distintas propuestas de rediseño del proceso y sus respectivos escenarios de simulación. Para finalizar, el tercer objetivo específico tiene como actividades simular estos escenarios y comparar los resultados de las simulaciones con los requerimientos de los grupos de interés.

*TABLA VII
PLAN DE TRABAJO*

Objetivo	Área IISE	Herramientas de Ingeniería Industrial	Actividad	Entregable (alcance)	Fecha entrega
Específico 1	3. Análisis económico de ingeniería	Clasificación de costos	Identificar los clientes y productos que más aportan en cuanto a ingresos.	Pareto de los principales productos y clientes respecto a su aporte en los ingresos	24/06/2023
	7. Ingeniería y gestión de operaciones	Cursogramas	Recolectar de datos de la secuencia de producción, tiempos y demandas de los productos principales.	Diagrama de bloques y/o flujo de los principales productos identificados.	26/07/2023
	7. Ingeniería y gestión de operaciones	Secuenciación	Clasificar los productos en familias según la secuencia de producción.	Listado de las distintas familias de productos.	31/07/2023
Específico 2	7. Ingeniería y gestión de operaciones	Planificación de operaciones.	Plantear distintas alternativas de diseño del proceso de manufactura para la familia seleccionada	Listado de las distintas propuestas de rediseño del proceso de manufactura.	31/08/2023
	7. Ingeniería y gestión de operaciones	Planificación de operaciones.	Crear escenarios de simulación de las distintas alternativas de diseño	Parámetros de los distintos escenarios de simulación	31/08/2023
Específico 3	2. investigación y análisis de operaciones.	Simulación: Arena	Simular de manera integrada las distintas alternativas o escenarios planteados	Tabla de resultados de las diferentes simulaciones.	30/09/2023
	2. investigación y análisis de operaciones.	Estadística	Comparar los resultados de las simulaciones con los requerimientos de los grupos de interés	Comparación estadística de las diferentes simulaciones versus los requerimientos. Diseño final.	31/10/2023

Una vez revisadas las diferentes etapas del proyecto de diseño I, se plantea el Project Charter, el cual es un acta que permite dar constancia de lo que trata el proyecto. En esta se presentan el resumen de la situación, el planteamiento del problema con cifras, el impacto en los grupos de interés, los objetivos generales, el objetivo específico, la información del equipo y el plan de trabajo propuesto. En la fig. 13. se muestra el Project charter.

Cuadro Seis Sigma

Código: 2023101

Tipo: DMAIC

Fecha: 22/05/2023

Rediseño del sistema de manufactura en EMPRESA de Cali usando simulación de eventos discretos para mejorar tiempos de entrega

Breve resumen del proyecto (Business case)

La EMPRESA objeto de estudio se encuentre en Santiago de Cali, y actualmente produce dispositivos médicos plásticos, tanto para importación como exportación. Manejan un esquema logístico make-to-order, es decir, bajo pedido, lo que hace que la aleatoriedad de su demanda sea muy alta.

Están presentando retrasos en los tiempos de entrega, y este factor a hecho que algunos clientes disminuyan el volumen de pedidos que realizan. Para llevar a cabo el proceso de elaboración de los dispositivos, comprendido desde la recepción de la orden de compra hasta que se despacha a su destino final, el pedido debe pasar principalmente por los procesos comercial y servicio al cliente, compras, producción, aseguramiento de la calidad y logística. Donde más se reportan alertas por retraso en los pedidos es en el proceso de producción.

Problema (Problem statement)	Impacto en los actores (Business Need—Stakeholders)
<p>El 71% de los pedidos presentan algún grado de retraso en los tiempos de entrega, lo que se está evidenciando en un índice de satisfacción del 77%</p>	<p>Equipo de proyecto de diseño: Satisfacción de las expectativas de mejoramiento en los tiempos de entrega, mediante la aceptación de al menos el 70% de las acciones de mejora sugeridas</p>
	<p>Equipo directivo: Cumplimiento al 100% de los objetivos aplicables al proyecto de la política integral de calidad</p>
	<p>Logística: Cumplimiento en, por lo menos, un 90% en los tiempos de entrega</p>
	<p>Producción: Cumplimiento en, por lo menos, un 90% en los tiempos de entrega a logística</p>
	<p>Comercial y servicio al cliente: Cumplimiento en, por lo menos, un 90% en los tiempos de entrega a logística</p>
	<p>Aseguramiento de la calidad: Garantizar que se cumplan los estándares de calidad establecidos</p>

Objetivo general (Goal statement)					
Rediseñar el sistema de manufactura a partir de un modelo de simulación para mejorar el cumplimiento de tiempos de entrega a clientes.					
Objetivos específicos (Project Scope)					
1. Caracterizar el proceso de manufactura para identificar las familias de productos, tiempos de proceso y de alistamiento, rutas en la producción, características de la demanda por cada familia, y para modelar la aleatoriedad del proceso.					
2. Crear un modelo de simulación de eventos discretos para analizar el rendimiento operativo en de diferentes alternativas de diseño.					
3. Evaluar las alternativas de diseño considerando el costo y nivel de servicio para identificar la solución más apropiada.					
Equipo de trabajo (Team members)					
					
Estudiante 1	Estudiante 2	Estudiante 3	Estudiante 4		
Juan Andrés Campo Restrepo	Vanessa Díaz Valdelamar	Angie Lorena Olaya Castrillón	Luis Eduardo Gonzáles Moreno		
					
Director					
Francisco Muñoz Prado					
PLAN DE TRABAJO PROPUESTO					
Objetivo	Área IISE	Herramientas de Ingeniería Industrial	Actividad	Entregable (alcance)	Fecha entrega
Específico 1	3. Análisis económico de ingeniería	Clasificación de costos	Identificar los clientes y productos que más aportan en cuanto a ingresos.	Pareto de los principales productos y clientes respecto a su aporte en los ingresos	24/06/2023
	7. Ingeniería y gestión de operaciones	Cursogramas	Recolectar de datos de la secuencia de producción, tiempos y demandas de los productos principales.	Diagrama de bloques y/o flujo de los principales productos identificados.	26/07/2023
	7. Ingeniería y gestión de operaciones	Secuenciación	Clasificar los productos en familias según la secuencia de producción.	Listado de las distintas familias de productos.	31/07/2023
Específico 2	7. Ingeniería y gestión de operaciones	Planificación de operaciones.	Plantear distintas alternativas de diseño del proceso de manufactura para la familia seleccionada	Listado de las distintas propuestas de rediseño del proceso de manufactura.	31/08/2023
	7. Ingeniería y gestión de operaciones	Planificación de operaciones.	Crear escenarios de simulación de las distintas alternativas de diseño	Parámetros de los distintos escenarios de simulación	31/08/2023
Específico 3	2. Investigación y análisis de operaciones.	Simulación: Arena	Simular de manera integrada las distintas alternativas o escenarios planteados	Tabla de resultados de las diferentes simulaciones.	30/09/2023
	2. Investigación y análisis de operaciones.	Estadística	Comparar los resultados de las simulaciones con los requerimientos de los grupos de interés	Comparación estadística de las diferentes simulaciones versus los requerimientos. Diseño final.	31/10/2023

Fig. 13. Project charter

IV. MEJORAR

A. Desarrollo del Diseño de la Solución

El diseño de la solución se hizo siguiendo las actividades plateadas en el plan de trabajo, con el fin de realizar el seguimiento del cumplimiento de los objetivos específicos del proyecto.

Para empezar, se hizo un análisis de los pedidos para determinar los principales clientes y productos que aportan a los ingresos de la empresa, las ventas de la empresa para el periodo estudiado (2023) fueron de \$15.709.049.843 COP que corresponden a 15.513.831 unidades de los diferentes productos dentro de su portafolio a más de 100 clientes. De dichos ingresos, el 73% de las ventas en dinero fueron hechas por el CLIENTE A que corresponden al 41% de la cantidad de unidades solicitadas, mientras que el otro 27% de los ingresos fueron hechos por los 110 clientes restantes.

Se repartieron a los clientes en 3 categorías siguiendo la distribución ABC, es decir, agrupando aquellos que, ordenan el 20% de los pedidos, que representan el 80% de los ingresos; en la categoría 1 se encuentra el 20% de los clientes que más aportan, la categoría 2 el siguiente 30% y la categoría 3 el último 50%, podemos entonces ver gráficamente la participación en las ventas de cada grupo de clientes (Ver fig. 14).

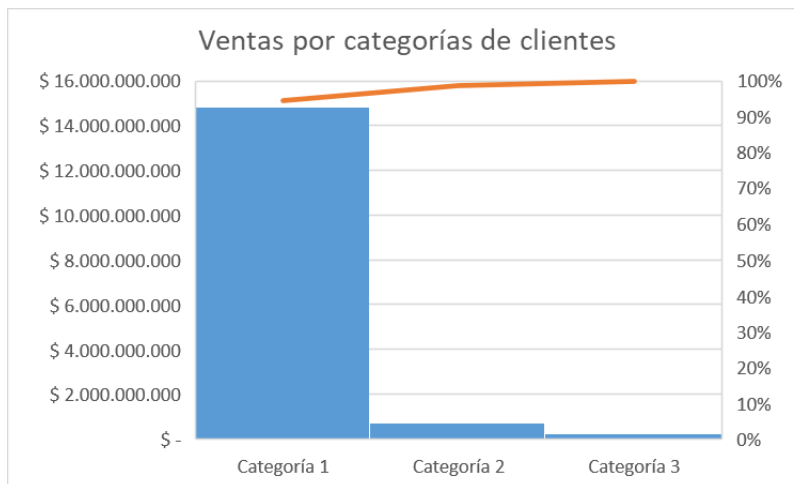


Fig 14. Diagrama de Pareto para los ingresos por categoría de clientes

El siguiente paso fue identificar las familias de productos y caracterizar dichas familias en cuanto a su participación tanto en cantidad como en dinero a las ventas de LA EMPRESA con base a la información preliminar que se tenía a partir de la entrevistas y visitas, además, del cuadro de productos se pudieron identificar cinco familias, Aplicadores Vaginales, Cánulas, Cucharas Dosificadoras, Envases, Inyecciones y Jeringas.

Con base en la información recopilada hasta la fase de medición, se ha determinado que la familia de productos más significativa en términos de ingresos por ventas es la de jeringas. En virtud de este hallazgo, se toma la decisión de focalizar el alcance del proyecto exclusivamente en esta familia. Se parte del supuesto de que una única línea de producción dedicada, representativa del 37% de los pedidos en términos monetarios (ver Figura 15), es clave para el enfoque estratégico.

Es importante destacar que, a pesar de las diferencias en los productos finales, el proceso de producción para las distintas familias identificadas, excluyendo los envases, sigue siendo esencialmente el mismo. La variabilidad principal reside en los tiempos de la etapa de inyección y/o soplado, ya que las matrices utilizadas para estos procesos son, en su mayoría, específicas para cada cliente y presentan una cantidad variable de productos por matriz. Este enfoque selectivo permitirá una dedicación más precisa de recursos y esfuerzos, maximizando la eficiencia en la producción de la familia de jeringas, elemento clave en el éxito del proyecto.

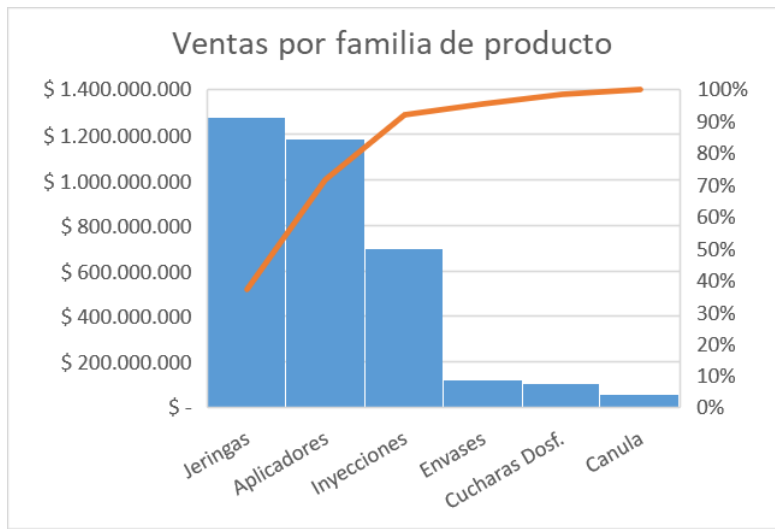


Fig 15. Diagrama de Pareto para los ingresos por familia de productos.

La otra diferencia es en el área de impresión, pues los diseños, logotipos y colores de cada cliente son únicos, por lo que los tiempos de impresión también lo son y no se cuentan con mediciones al respecto. En las fig. 16 y 17 se puede ver el proceso de producción de las familias identificadas.

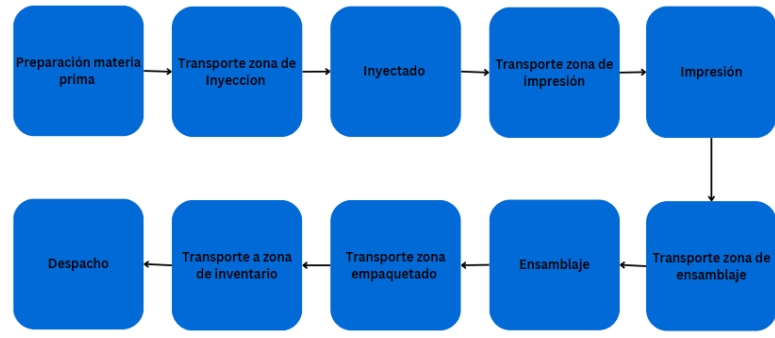


Fig. 16. Diagrama de bloques de la familia de jeringas, aplicadores vaginales, cánulas, cucharas dosificadoras e inyecciones

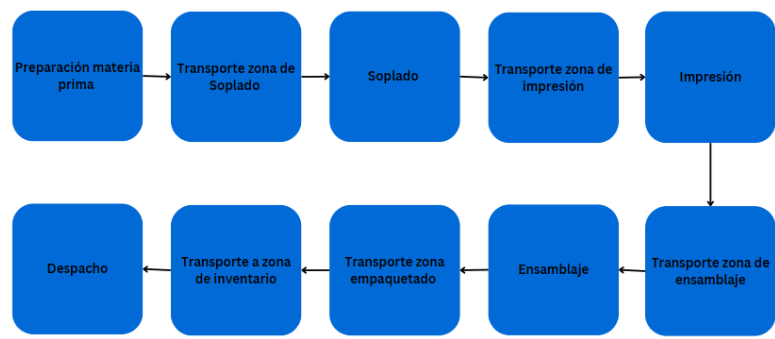


Fig. 17. Diagrama de bloques de la familia de Envases

Luego, se hizo el análisis de la demanda en esta familia, con el fin de determinar que distribución de probabilidad sigue y, posteriormente, separar los pedidos por Familias, dependiendo del tamaño del pedido; la distribución de probabilidad que siguen los tamaños de pedidos es exponencial, y la separación por familias se hizo mediante el algoritmo K-means Clustering, el cual

agrupa el conjunto de datos en clústeres, en torno a una media en común. Al finalizar, las familias quedaron conformadas de la siguiente manera:

- Familia 1: media = 15 490,20 Unidades; probabilidad de que pertenezca a esta familia = 91,11%
- Familia 2: media = 135 900 Unidades; probabilidad de que pertenezca a esta familia = 8,89%

Por otra parte, al analizar los días de entrega prometidos por la EMPRESA se encuentra que estos siguen una distribución normal con media 31,5 días y desviación estándar 8,83 días. Tanto el análisis de la demanda de la línea de Jeringas como el de los días de entrega prometidos por la empresa se encuentran en el anexo 17.

Posteriormente se realizó la simulación, en el software Arena, del sistema de manufactura actual, con el fin de observar su comportamiento en el plazo de un año (de enero a diciembre de 2023). Tanto el esquemático, como las gráficas de utilización de las máquinas, se pueden observar en las fig. 18 y fig. 19.

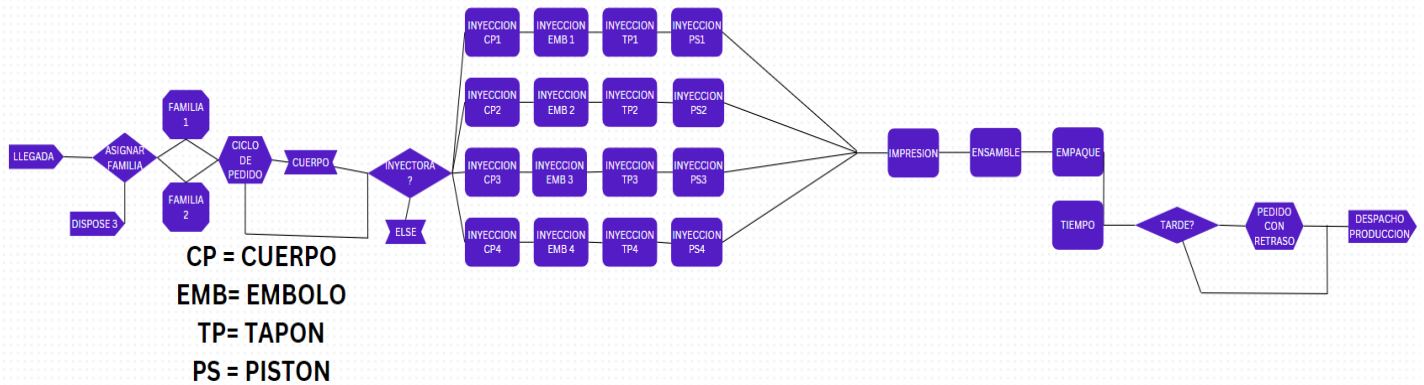


Fig. 18. Esquemático del sistema actual de manufactura

Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
empacadora	0.4513	0,02	0.2718	0.6237
Ensambladora	0.5948	0,02	0.3668	0.7855
impresora	0.6620	0,02	0.4075	0.8367
inyectora1	0.5964	0,04	0.2390	0.9928
inyectora2	0.6037	0,04	0.1976	0.9491
inyectora3	0.6379	0,04	0.3274	0.9851
inyectora4	0.6007	0,04	0.2287	0.9883

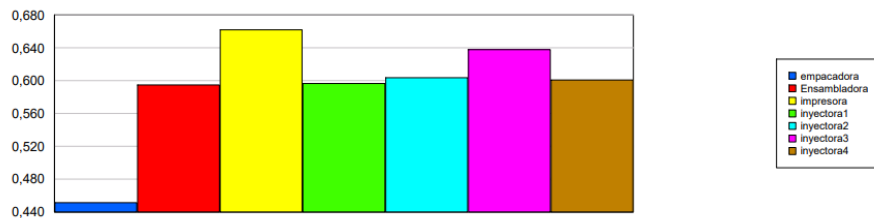


Fig. 19. Porcentajes de utilización en la simulación del sistema de manufactura actual

Se observa que las máquinas que tienen una mayor ocupación son la máquina ensambladora (59,48%) y la máquina impresora (66,2%). Ante esta constatación, se identifica que una forma estratégica de abordar esta situación, especialmente en sistemas make to order y en contextos de creciente demanda, es buscar disminuir o racionar la utilización de estas máquinas. [12]. Al

hacerlo, se puede no solo mejorar la eficiencia operativa, sino también mitigar posibles cuellos de botella y garantizar una mayor flexibilidad para afrontar los desafíos de producción en un entorno dinámico.

En función de lo anterior, se plantean tres alternativas de diseño. La primera consiste en duplicar la capacidad de las máquinas; por tanto, el esquema del diseño será igual al del sistema actual. Por esa razón no se incluye una imagen del esquema.

La segunda alternativa contempla la implementación de dos líneas de producción, cada una dedicada a una de las dos familias de productos definidas (Familia 1: baja cantidad con alta probabilidad de ocurrencia; Familia 2: alta cantidad con baja probabilidad de ocurrencia). En este diseño, se duplica la cantidad de máquinas de impresión, ensamblado y empaque, asignando prioridad de fechas de entrega según la familia (Familia 1: aproximadamente 90 días; Familia 2: aproximadamente 30 días).

En el diagrama correspondiente, se aprecia que inicialmente a cada pedido se le asigna una fecha, un identificador de familia y una inyectora específica donde se lleva a cabo la transformación de la materia prima en sus componentes individuales (cuerpo, émbolo, tapón y pistón). En la sección denominada 'decisión', se actualiza el estado del pedido, pasando de la etapa de inyección a las siguientes fases, y se dirige hacia la línea 1 o la línea 2 según el identificador. Finalmente, el producto avanza por las etapas restantes (impresión, ensamble y empaque), se actualiza el estado a 'terminado', y se registra la fecha de entrega correspondiente. La Figura 20 ilustra de manera esquemática la propuesta de solución.

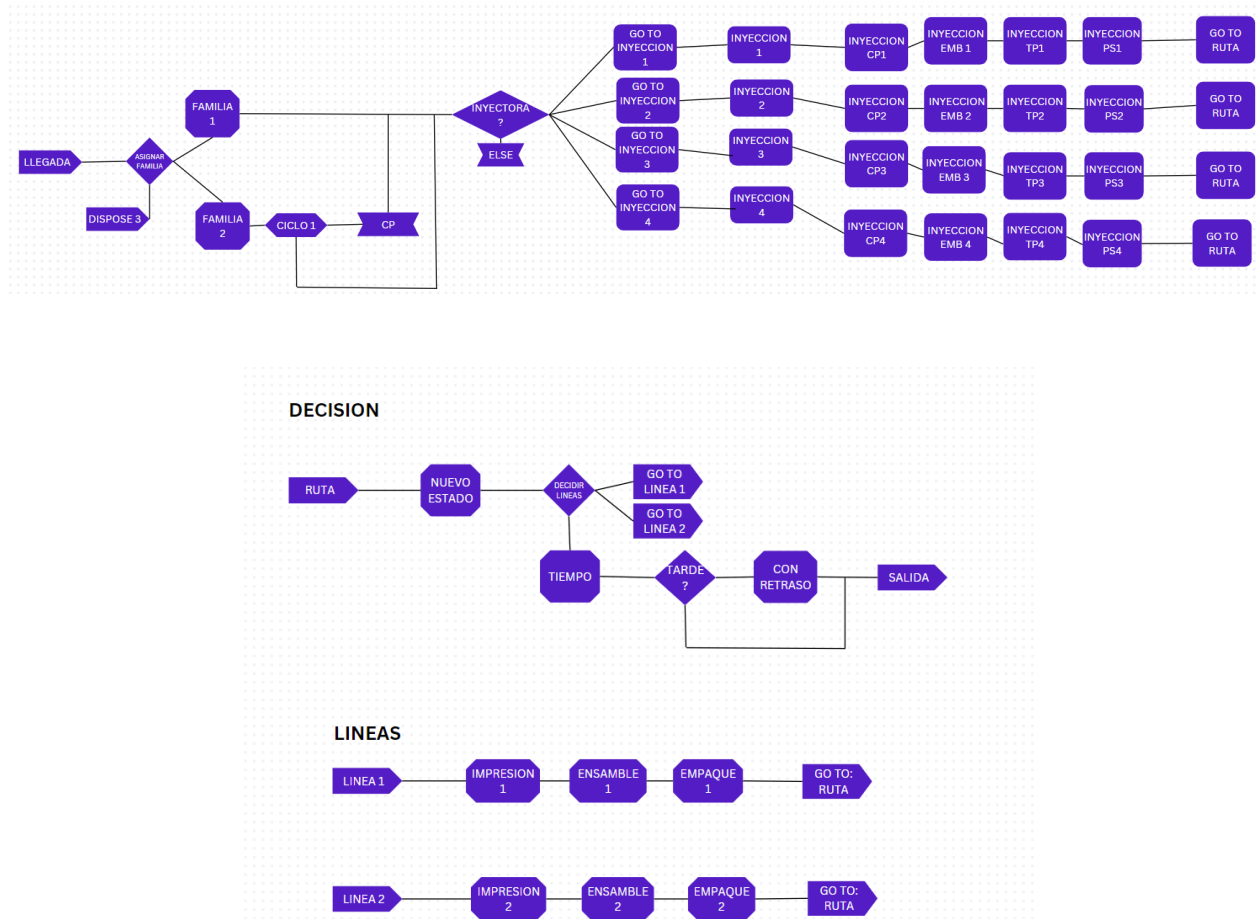
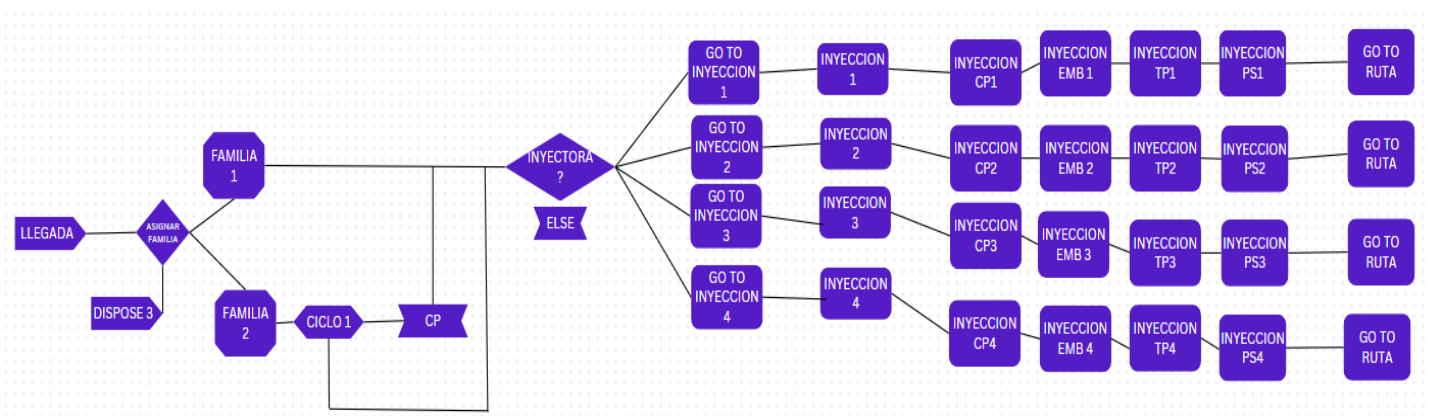
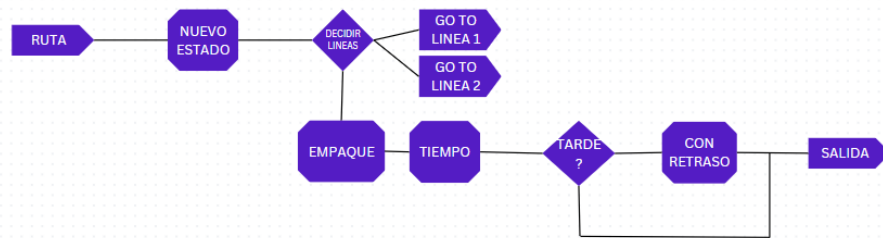


Fig. 20. Esquemático de la alternativa de Diseño 2

Por otra parte, la tercera alternativa propuesta es similar en concepto a la segunda alternativa, es decir, se crean dos líneas de producción para atender los dos tipos de familias. La diferencia radica en que, en vez de tener dos máquinas empacadoras, ensambladoras e impresoras, solo se duplican las dos últimas. En la fig. 21 se observa el esquema de la propuesta de solución.



DECISION



LINEAS

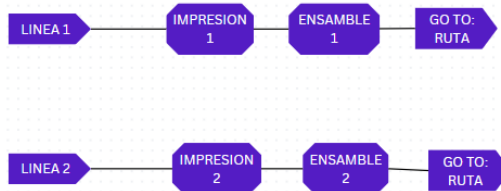


Fig. 21. Esquemático de la alternativa de Diseño 2

Finalmente, al evaluar las alternativas planteadas frente a los requerimientos de los grupos de interés, se encuentra que cumple con respecto a lo planteado, debido a que, al contribuir en la reducción de los tiempos de entrega, se reducen los pedidos con retraso y logra aumentar los índices de satisfacción de los clientes y de calidad del servicio.

B. Validación del Diseño de la Solución

Para validar los diseños planteados, se revisan los parámetros arrojados por las simulaciones, y se comparan frente al comportamiento del sistema actual y los KPI's planteados. Para ejecutar los modelos planteados en el software Arena, se configura el programa para que realice 95 réplicas (Ver Anexo 17), y que simule 150 días con una jornada de 11 horas/día.

Después de que finalice la simulación, esta arrojó los siguientes resultados, en lo correspondiente a los factores de utilización. En la fig. 22, que corresponde a la alternativa 1, se encuentra que esta logra bajar de manera considerable el porcentaje de utilización, especialmente en lo relacionado con las máquinas impresora y ensambladora (40,16% y 42,7%).

Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
empacadora	0.3063	0,01	0.1944	0.4791
Ensambladora	0.4016	0,01	0.2700	0.6205
impresora	0.4270	0,02	0.2726	0.6376
inyectora1	0.3296	0,03	0.1195	0.6732
inyectora2	0.3280	0,03	0.0988	0.6986
inyectora3	0.3558	0,03	0.1637	0.6833
inyectora4	0.3239	0,03	0.1143	0.7217

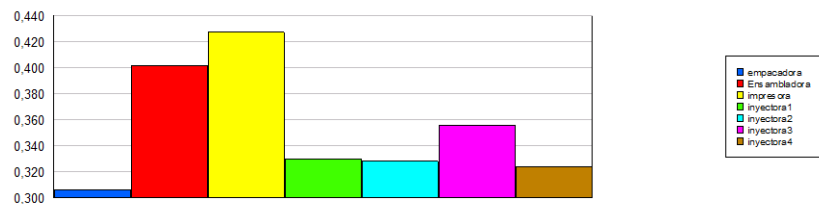


Fig. 22. Utilización de las máquinas de acuerdo con la alternativa de diseño 1.

En la fig. 23, que corresponde a la segunda se encuentra que, frente al sistema actual, la utilización de las máquinas que se duplican por familia de producto (Impresora, Ensambladora y Empacadora) disminuyen su porcentaje de utilización. Para las impresoras disminuye a 19,46% y 32,75%, para las ensambladoras disminuye a 18,02% y 32,39%, y para las empacadoras disminuye a 13,45% y 25,71%.

Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
empacadora 1	0.1345	0,01	0.00770108	0.2762
empacadora 2	0.2571	0,01	0.1527	0.3567
Ensambladora	0.1802	0,02	0.00962635	0.3453
Ensambladora 2	0.3239	0,01	0.1908	0.4470
impresora 1	0.1946	0,02	0.00962635	0.3905
impresora 2	0.3275	0,01	0.1908	0.4484
inyectora 1	0.4299	0,04	0.1256	0.8876
inyectora 2	0.4230	0,03	0.1621	1.0000
inyectora 3	0.4381	0,03	0.1761	0.9081
inyectora 4	0.4001	0,03	0.1504	0.7769

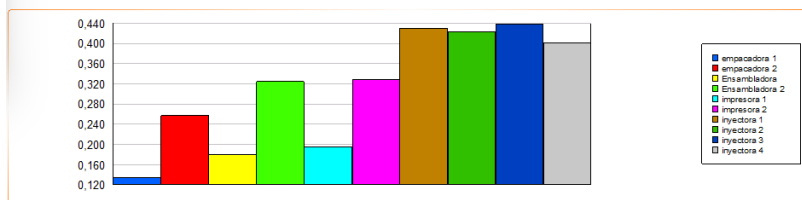


Fig. 23. Utilización de las máquinas de acuerdo con la alternativa de diseño 2.

Por último, en la fig. 24, que corresponde a la tercera alternativa, se encuentra que, frente al sistema actual, la utilización de las máquinas que se duplican por familia de producto (Impresora y Empacadora), también disminuye su porcentaje de utilización. Para las impresoras disminuye a 19,46% y 32,75%, y para las ensambladoras disminuye a 18,02% y 32,39%.

Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
empacadora	0.3880	0,02	0.2559	0.5813
Ensambladora	0.1802	0,02	0.00962635	0.3453
Ensambladora 2	0.3239	0,01	0.1908	0.4470
impresora 1	0.1946	0,02	0.00962635	0.3905
impresora 2	0.3275	0,01	0.1908	0.4484
inyectora 1	0.4299	0,04	0.1256	0.8876
inyectora 2	0.4230	0,03	0.1621	1.0000
inyectora 3	0.4381	0,03	0.1761	0.9081
inyectora 4	0.4001	0,03	0.1504	0.7769

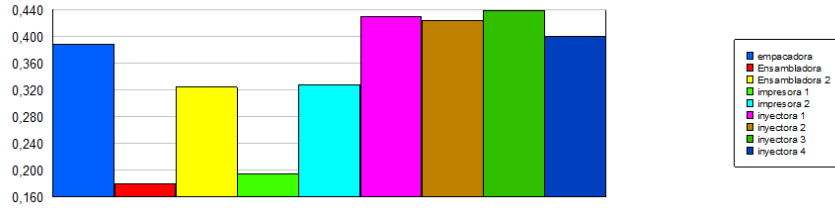


Fig. 24. Utilización de las máquinas de acuerdo con la alternativa de diseño 3.

También, en lo respectivo a los tiempos de espera por proceso, se encuentra aquellos que presentan mayor valor en cada una de las alternativas.

TABLA VIII
COMPARACIÓN DE LOS TIEMPOS DE ESPERA MÁS LARGO EN CADA ALTERNATIVA

DISEÑO	PROCESO	TIEMPO DE ESPERA (DÍAS)
Actual	Impresión	5,49
Alternativa 1	Ensamble	0,63
Alternativa 2	Ensamble	1,28
Alternativa 3	Ensamble	1,27

De acuerdo, a lo observado en la tabla VIII, el proceso con mayor tiempo de espera, al comparar cada una de las alternativas, es el de impresión, por lo que se constituye en un cuello de botella.

De otro lado, frente a los tiempos de permanencia en el sistema, se presenta la siguiente tabla comparativa:

TABLA IX
COMPARACIÓN DE LOS TIEMPOS DE PERMANENCIA DE LOS PEDIDOS EN EL SISTEMA

DISEÑO	TIEMPO PROMEDIO MÍNIMO (DÍAS)	TIEMPO PROMEDIO MÁXIMO (DÍAS)
Actual	6,3	47,1
Alternativa 1	3,2	19,7
Alternativa 2	4,7	23,0
Alternativa 3	4,8	25,1

En lo correspondiente a la evaluación frente a los KPI's, se realiza la siguiente comparativa.

TABLA X
COMPARACIÓN DE CADA ALTERNATIVA EN RELACIÓN CON LOS KPI'S

DISEÑO	PEDIDOS DE JERINGAS CON RETRASO	NIVEL DE SERVICIO DE LOS PEDIDOS DE JERINGAS	PEDIDOS GLOBALES CON RETRASO	TIEMPO DE CICLO
Actual	85%	18,0%	71%	43%
Propuesta 1	81%	19,2%	70%	43%
Propuesta 2	45%	54,4%	62%	49%
Propuesta 3	45%	55,0%	62%	51%

Finalmente, se concluye que la alternativa de diseño que mejor se ajusta es la 3, puesto que, presenta valores similares, en cuanto a pedidos retrasados, tiempo de ciclo y otras métricas (tiempo de permanencia, tiempo de espera y utilización), a la alternativa 2. Así mismo, requiere menos recursos que esta alternativa, debido a que opera con una máquina menos. En contraste con la alternativa 1, la cual tiene el menor tiempo de permanencia y tiempo de permanencia, y requiere menos recursos (en cuanto a máquinas), la alternativa 3 logra disminuir en aproximadamente un 41% los pedidos retrasados frente a esta. En los anexos 17, 18, 19 y 20 se encuentran los informes con los resultados de las simulaciones; de estos informes se tomó la información representada en las Tablas VIII, IX y X; en los anexos 21, 22, 23 y 24 los archivos con los modelos de simulación.

V.CONTROLAR

A. Medición de los Impactos

La producción y distribución de jeringas plásticas conlleva diversos impactos socioambientales, que abarcan tanto aspectos positivos como negativos. A continuación, se detallan algunos de estos impactos:

- Impactos Sociales:
 - Acceso a la atención médica: La producción y entrega puntual de jeringas pueden ser catalizadores para mejorar el acceso a la atención médica en comunidades. La disponibilidad de jeringas resulta crucial para la administración de medicamentos, inmunizaciones y pruebas médicas, contribuyendo así a la salud pública y al bienestar general de la sociedad.
 - Generación de empleo: La fabricación de jeringas no solo impulsa empleos en la propia empresa sino también a lo largo de la cadena de suministro, beneficiando a la comunidad local al ofrecer oportunidades laborales y fortalecer la base económica.
 - Contribución a la economía local: La producción y venta de jeringas pueden tener un impacto positivo en la economía local, generando ingresos y contribuyendo al pago de impuestos. Estos ingresos, a su vez, pueden financiar servicios públicos esenciales, fortaleciendo aún más la infraestructura comunitaria.
- Impactos Ambientales:
 - Uso de recursos naturales: La producción de insumos médicos plásticos, como las jeringas, implica la extracción y procesamiento de recursos naturales, como el petróleo para la fabricación del plástico. Este proceso puede tener consecuencias negativas para el medio ambiente, agotando recursos no renovables.
 - Residuos plásticos: La manufactura de jeringas genera residuos plásticos. La gestión inadecuada de estos residuos puede contribuir a la contaminación ambiental, afectando la vida silvestre y los ecosistemas. Es crucial implementar medidas efectivas de gestión de residuos.
 - Consumo de energía: La fabricación de jeringas requiere energía, pudiendo resultar en emisiones de gases de efecto invernadero si la fuente de energía no es renovable. Las empresas pueden mitigar este impacto al adoptar fuentes de energía más limpias y eficientes.

Por otra parte, el análisis financiero permite estudiar la viabilidad económica del proyecto y establecer los impactos que tendría en LA EMPRESA. Se identificó entonces el costo de la inversión en maquinaria a través de una cotización realizada por LA EMPRESA [Ver anexo 26], el valor de la maquinaria no incluye gastos de instalación y mantenimiento pues la empresa realiza estos procesos internamente cuyo costo está contemplado en los salarios, los valores se muestran en la Tabla XI.

TABLA XI
VALORES DE LAS COTIZACIONES REALIZADAS CON LA EMPRESA

Valor de la Maquina Impresora en USD	\$ 10.000
Valor de la Maquina Empacadora en USD	\$ 10.500
Valor de la Maquina en pesos colombianos	\$ 84.050.000
Valor total de la Inversión	
\$	84.050.000

A partir de estos valores y de información también proporcionada por LA EMPRESA respecto a los costos de los operarios, cantidad de operarios, arriendo, valor de venta de las jeringas y costos de materia prima y energía, se procedió a realizar el análisis financiero que se presenta en la Tabla XII.

TABLA XII
ANÁLISIS FINANCIERO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA (ALTERNATIVA 3)

PROPUESTA	
Valor promedio de cada jeringa	\$ 500
Promedio jeringas producidas por mes	569.900
Ingresos Mensuales	\$ 284.950.000
Costos mensuales de la maquina	
Contratación operarios	
Operarios	29
Costo Salarios	\$ 55.697.996

Debido a que la propuesta seleccionada se centra en mejorar el nivel de servicio, el cual experimenta un incremento notable del 41,3% en comparación con el sistema actual, el análisis (Ver anexo 26) se orienta hacia la evaluación del aumento en los costos anuales para LA EMPRESA. Este aumento se vincula directamente con la reducción de los pedidos de jeringas que experimentan retrasos, disminuyendo significativamente del 85% al 44%, lo que se traduce en una reducción global del 11% en los pedidos retrasados. En términos de recursos humanos, se observa un aumento en el número de operarios de 17 a 29, de los cuales 3 cuentan con salarios superiores y 26 con salarios básicos.

Para calcular el capital de trabajo, se ha tomado como referencia los datos de Damodaran actualizados al 05/01/2024 [13]. Dado que no se dispone de un valor específico para el Capital de Trabajo en Colombia, se ha adoptado el valor correspondiente al sector de "Health Care Products" en los Estados Unidos. A este valor se le han sumado los puntos porcentuales de riesgo específicos para Colombia, obtenidos de la misma fuente. Además, se ha agregado un 7% adicional como factor de riesgo, considerando el tamaño de la empresa, según se detalla en la Tabla XIII. Este análisis integral proporciona una visión más precisa de las implicaciones financieras asociadas a la propuesta de mejora del nivel de servicio.

TABLA XIII
CÁLCULO DEL INCREMENTO DEL COSTO ANUAL DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA (ALTERNATIVA 3)

Aumento del costo de los salarios (Anual)	\$ 275.123.088
Costo de capital sector "Healt care products" (USA)	8,77%
Inflación del costo de capital para Colombia	7,38%
Inflación para pequeñas empresas	7%
Costo de capital	23,15%
Costo de maquinaria x costo capital	\$ 19.457.575
Incremento del costo anual	\$ 294.580.663

B. Estandarización de la Solución

El presente Procedimiento Operativo Estandarizado (POE) tiene como objetivo principal establecer pautas claras y precisas para la ejecución eficiente del proceso de producción de jeringas. Con el fin de mejorar la consistencia y la calidad del producto final, este detalla las actividades clave a realizar, asigna responsabilidades específicas a los encargados de cada actividad, y especifica de manera detallada la información e insumos necesarios para llevar a cabo cada fase del proceso. La implementación de este POE no solo busca estandarizar las operaciones, sino también garantizar una ejecución efectiva que cumpla con los estándares de calidad establecidos. Al seguir este protocolo, se espera lograr una mayor eficiencia, reducción de tiempos de espera y una mejora sustancial en la consistencia y calidad de los productos fabricados.

TABLA XIV
PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN ESTÁNDAR PARA LA RECEPCIÓN DE PEDIDOS Y ELABORACIÓN DE JERINGAS

TAREA O ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	CARGO RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN	DATOS NECESARIOS PARA EJECUTAR LA ACTIVIDAD
Analizar la demanda	Realizar el análisis de demanda con el fin de determinar las familias de acuerdo con el tamaño de lote	Producción	Cuadro de pedidos
Recibir el pedido	Recibir el pedido realizado por el cliente, con el fin de planear la producción	Comercial y servicio al cliente	Especificaciones del pedido (Fechas de entrega, cantidades, presentación de producto, entre otros)
Solicitar pedido a producción	Realizar la orden de producción de acuerdo con lo ordenado por el cliente	Comercial y servicio al cliente	Requerimientos de insumos, maquinarias y personal
Clasificación del pedido	Clasificar los pedidos de en función de su familia y definir un identificador u hoja de ruta	Planeación de la producción	Cantidad ordenada por el cliente
Solicitar insumos y materia prima	Solicitar moldes, material de empaque y cantidad de materia prima	Planeación de la producción	Especificaciones técnicas del pedido y la empresa
Revisar el inventario de materia prima	Revisar la disponibilidad de materia prima en el inventario a mano	Logística	Cantidad ordenada por el cliente
Inspeccionar la materia prima	Inspeccionar la rotulación y calidad de la materia prima	Aseguramiento de la calidad	Estándares de calidad de la materia prima, especificaciones técnicas de la empresa y requerimientos de los clientes
Programar máquinas y equipo	Determinar la hora de inicio y la hora fin de acuerdo con la disponibilidad de maquinaria y equipo	Planeación de la producción	Disponibilidad de maquinaria y equipo
Concertar el personal necesario	Consultar la disponibilidad de mano de obra	Planeación de la producción	Turnos de trabajo y órdenes de producción
Revisar que la línea se encuentre despejada	Chequear el aseo y orden del área de trabajo correspondiente al proceso de inyección, para garantizar la inocuidad del proceso productivo	Planeación de la producción y personal de aseo	Estado actual de los puestos de trabajo y disponibilidad de los insumos de aseo

Preparar moldes (Revisar disponibilidad de moldes)	Montar el molde en la máquina en caso de que esté frío; en caso contrario, esperar que enfríe antes de realizar el montaje.	Producción	Molde listo para el uso
Iniciar el proceso de inyección	Iniciar el proceso de inyección del plástico en función de la orden de pedido ¿Cómo se hace la preparación?	Producción	Materia prima catalogada
Almacenar producto en proceso	Almacenar y catalogar el producto en proceso	Logística	Hoja de ruta o identificador
Limpiar y desinfectar la línea	Limpiar y desinfectar el área de trabajo una vez se han terminado los procesos de inyección	Personal de aseo	Disponibilidad de insumos de aseo
Identificar el tipo de familia	Revisar el identificador u hoja de ruta para conocer a que línea se va a enviar	Producción	Hoja de ruta o identificador
Revisar que la línea se encuentre despejada	Chequear el aseo y orden del área de trabajo correspondiente a los procesos de impresión y ensamble, para garantizar la inocuidad del proceso productivo	Planeación de la producción y personal de aseo	Estado actual de los puestos de trabajo y disponibilidad de los insumos de aseo
Iniciar los procesos de impresión y ensamble	Con la información del identificador u hoja de ruta, enviar el producto en proceso a la línea correspondiente a cada familia	Producción	Producto en proceso catalogado
Clasificar las unidades de producción	Revisar y registrar el estado de finalización de las unidades en proceso	Producción	Información y estado del producto en proceso
Limpiar y desinfectar la línea	Limpiar y desinfectar el área de trabajo una vez se han terminado los procesos de impresión y ensamble	Personal de aseo	Disponibilidad de insumos de aseo
Revisar las unidades terminadas	Revisar que las unidades de producto terminado cumplan con los estándares de calidad	Aseguramiento de la calidad	Producto terminado catalogado
Reprocesar las unidades defectuosas	Reprocesar aquellas unidades que no cumplen con los estándares de calidad o requerimientos de los clientes	Producción	Productos reprocesados catalogados
Revisar que la línea se encuentre despejada	Chequear el aseo y orden del área de trabajo correspondiente al proceso de empaque, para garantizar la inocuidad del proceso productivo	Planeación de la producción y personal de aseo	Estado actual de los puestos de trabajo y disponibilidad de los insumos de aseo
Iniciar el proceso de empaque	Iniciar el proceso de empaque en función de la orden de pedido	Producción	Materia prima catalogada
Limpiar y desinfectar la línea	Limpiar y desinfectar el área de trabajo una vez se ha terminado el proceso de empaque	Personal de aseo	Disponibilidad de insumos de aseo

C. Conclusiones y recomendaciones

Con base en los indicadores clave de rendimiento (KPIs), se puede concluir que, si bien las mejoras propuestas para el proceso productivo no han alcanzado completamente las metas establecidas, sí han logrado reducir significativamente sus valores, generando un impacto positivo en el rendimiento del proceso. En este sentido, se ha conseguido disminuir el porcentaje de utilización de las máquinas correspondientes a los procesos de impresión y ensamble en un rango que va desde el 23,47% hasta el 34,14%, y del 22,99% al 34,01%, respectivamente. Este progreso se refleja en un tiempo de permanencia de 6,9 días y 15,7 días (en comparación con el rango actual de 11,3 días a 33,1 días), una reducción del 44% en los pedidos de jeringas retrasados (actualmente representan el 85%), contribuyendo a una disminución del 11% en los retrasos globales (reduciéndose de un 71% a un 60%) y un aumento del tiempo de ciclo del 43% al 51%.

Por otra parte, para mitigar los impactos adversos y potenciar los beneficios tanto sociales como ambientales, las EMPRESAS debe incorporar prácticas sostenibles en toda su cadena de suministro. La adopción de medidas como la reducción de residuos, la eficiencia energética y la gestión responsable de productos químicos se presenta como una estrategia clave para minimizar su huella ambiental y social.

Asimismo, al comprometerse con programas de reciclaje, esta puede desempeñar un papel crucial en la gestión responsable de los residuos generados durante la fabricación de jeringas y otros insumos médicos plásticos. Además, promover activamente

el uso responsable de sus productos en la industria médica, fomentando prácticas como la reutilización y el reciclaje, contribuirá a construir un ciclo de vida más sostenible para estos insumos esenciales. En última instancia, la integración de estas prácticas sostenibles no solo alinea a la EMPRESA con las expectativas cada vez mayores de sostenibilidad, sino que también refuerza su compromiso con la salud del planeta y la prosperidad de las comunidades a las que sirven.

D. Recomendaciones

En función de los resultados obtenidos se hacen las siguientes recomendaciones, con el fin de acercarse a las metas establecidas en la política integrada:

- **Planificación y Programación:** Implementar sistemas de planificación y programación más eficientes que permitan una asignación adecuada de recursos.
- **Inventario y Gestión de Materiales:** Revisar las políticas de inventario, tanto de materia prima, producto en proceso y producto terminado, para asegurarse de tener los materiales y/o productos necesarios justo a tiempo.
- **Gestión de la Cadena de Suministro:** Revisar la gestión de la cadena de suministro. Al llegar a acuerdos con los proveedores se puede para garantizar la entrega oportuna de materiales y componentes.
- **Comunicación Efectiva:** Mejorar la comunicación interna para garantizar que todos los departamentos estén alineados con los objetivos de producción y plazos de entrega.
- **Revisión del Modelo de Negocio:** Analizar el modelo de negocio actual (make to order) para determinar si es el más adecuado. Podría ser necesario ajustar estrategias comerciales, tiempos de entrega comprometidos y capacidades de producción.
- **Implementación de Tecnología:** Evaluar la posibilidad de implementar tecnologías avanzadas como la automatización, el internet de las cosas (IoT) y la inteligencia artificial para optimizar procesos y reducir los tiempos de producción.

VIGLOSARIO

1. **Dispositivos médicos:** Instrumentos, aparatos, equipos y otros productos utilizados con fines médicos para el diagnóstico, prevención, control, tratamiento o alivio de enfermedades, lesiones u otras condiciones fisiológicas [14]. Los dispositivos consumibles son aquellos productos médicos de uso único o limitado que se consumen durante los procedimientos médicos, como jeringuillas, agujas, catéteres, vendajes y apósitos.
2. **Clúster:** Agrupación geográfica de empresas e instituciones interconectadas que operan en un sector específico y que colaboran entre sí para mejorar su competitividad [15].
3. **ISO 9001:** Norma internacional de sistemas de gestión de la calidad que establece los criterios para un sistema de gestión de calidad efectivo [16].
4. **ISO 13485:** Norma internacional para sistemas de gestión de calidad aplicable a los dispositivos médicos [17].
5. **FDA (U.S. Food and Drug Administration):** Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos, una agencia del gobierno responsable de la regulación de alimentos, medicamentos, cosméticos, dispositivos médicos y productos biológicos [18].
6. **Make to Order:** Esquema logístico en el que los productos se fabrican específicamente según los pedidos recibidos de los clientes [19].
7. **Onion Stakeholder:** Metodología para clasificar y priorizar los grupos de interés basada en un diagrama de círculos concéntricos [20].
8. **Mejora continua:** Filosofía de gestión que busca constantemente incrementar la calidad, eficiencia y satisfacción del cliente a través de la mejora continua [21].
9. **K-means Clustering:** Realiza la división de objetos en grupos que comparten similitudes y son diferentes a los objetos que pertenecen a otro grupo. [21]

VII.REFERENCIAS

- [1] Grupo SPRI, “El sector de los dispositivos médicos en Colombia,” Bilbao, Oct. 2022.
- [2] ANDI, “Cámara de dispositivos médicos e insumos para la salud,” Medellín, 2021.
- [3] FDA, “Is It Really ‘FDA Approved’?” Accessed: Feb. 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.fda.gov/consumers/consumer-updates/it-really-fda-approved>
- [4] S.A, “Análisis de Cuadro de Pedidos 2022.” Santiago de Cali, 2022.
- [5] S.A, “Análisis de Cuadro de Pedidos 2023.” Santiago de Cali, 2023.
- [6] S.A, “Resultados de la encuesta de satisfacción al cliente.” Santiago de Cali, 2022.
- [7] D. Mezzogori, G. Romagnoli, and F. Zammori, “Defining accurate delivery dates in make to order job-shops managed by workload control,” *Flex Serv Manuf J*, vol. 33, no. 4, pp. 956–991, Dec. 2021, doi: 10.1007/S10696-020-09396-2/TABLES/11.
- [8] W. Chen, X. Gong, H. F. Rahman, H. Liu, and E. Qi, “Real-time order acceptance and scheduling for data-enabled permutation flow shops: Bilevel interactive optimization with nonlinear integer programming,” *Omega (United Kingdom)*, vol. 105, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.omega.2021.102499.
- [9] F. Y. Wang, R. Piplani, L. X. Xiao Xia, and A. Singh Bhullar, “Robust design of a multi-objective closed-loop supply chain by integrating on-time delivery, cost, and environmental aspects, case study of a Tire Factory.,” Hong Kong, 2012.
- [10] O. Abdolazimi, M. Salehi Esfandarani, M. Salehi, and D. Shishebori, “Robust design of a multi-objective closed-loop supply chain by integrating on-time delivery, cost, and environmental aspects, case study of a Tire Factory,” *J Clean Prod*, vol. 264, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121566.
- [11] “Reverse Brainstorming - A Different Approach to Brainstorming.” Accessed: May 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.mindtools.com/a32qxsh/reverse-brainstorming>
- [12] V. Sridharan, “CAPACITY MANAGEMENT IN MAKE-TO-ORDER PRODUCTION SYSTEMS,” *Encyclopedia of Production and Manufacturing Management*, pp. 75–78, 2000, doi: 10.1007/1-4020-0612-8_123.
- [13] A. Damodaran, “Damodaran Online,” <https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>.
- [14] “Dispositivos médicos en Colombia: comercio y normatividad.” Accessed: May 20, 2023. [Online]. Available: <https://cvn.com.co/dispositivos-medicos/>
- [15] “CLÚSTER: DEFINICIÓN, OBJETIVO, BENEFICIOS Y DESARROLLO | Actualidad Empresa.” Accessed: May 20, 2023. [Online]. Available: <https://actualidadempresa.com/cluster-definicion-objetivo-beneficios-y-desarrollo/>
- [16] “ISO 9001:2008(es), Sistemas de gestión de la calidad — Requisitos.” Accessed: May 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-4:v2:es>

- [17] “ISO 13485 gestión calidad de dispositivos médicos.” Accessed: May 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.dnv.com/ar/services/iso-13485-gestion-de-la-calidad-para-la-industria-de-dispositivos-medicos--3282>
- [18] “Respuestas a preguntas frecuentes sobre la FDA | FDA.” Accessed: May 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.fda.gov/about-fda/fda-basics/respuestas-preguntas-frecuentes-sobre-la-fda>
- [19] “Fabricación por pedido: ¿cómo funciona esta metodología?” Accessed: May 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.ticportal.es/glosario-tic/fabricacion-pedido-make-order>
- [20] “Stakeholder Onion Diagram | Free Template | FigJam.” Accessed: May 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.figma.com/templates/stakeholder-onion-diagram/>
- [21] “Gestión de la calidad y mejoramiento continuo • gestiopolis.” Accessed: May 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.gestiopolis.com/gestion-de-la-calidad-y-mejoramiento-continuo/>

VIII.ANEXOS

Tabla IX

TABLA DE ANEXOS

No. Anexo	Nombre	Desarrollo (propio o terceros)	Tipo de Archivo (PDF, HTML, Excel, Word...)
1	2023101 - Anexo 01. Autorización de la visita del 6 de marzo de 2023	tercero	PDF
2	2023101 – Anexo 02. Apuntes de la visita del 6 de marzo de 2023	propio	Word
3	2023101 – Anexo 03. Banco de preguntas I+D+I	propio	Word
4	2023101 – Anexo 04. Entrevista logística	propio	Word
5	2023101 – Anexo 05. Análisis del cuadro de pedidos 2022	propio	Excel
6	2023101 – Anexo 06. Política integrada de la EMPRESA	tercero	PDF
7	2023101 – Anexo 07. Mapa de procesos de la EMPRESA	tercero	PDF
8	2023101 – Anexo 08. Caracterización del proceso de logística	tercero	PDF
9	2023101 – Anexo 09. Plan para Recolección de Datos (PRD)	propio	Excel
10	2023101 – Anexo 10. Hoja de trabajo situación actual	propio	Word
11	2023101 – Anexo 11. Organigrama de la EMPRESA	tercero	PDF
12	2023101 – Anexo 12. Análisis del cuadro de pedidos 2023	propio	Excel
13	2023101 – Anexo 13. Resultados de la encuesta de satisfacción al cliente	tercero	Excel

14	2023101 – Anexo 14. Matriz de criterios	propio	Excel
15	2023101 – Anexo 15. Plan de trabajo	propio	Project
16	2023101 - Anexo 16. Clasificación global por familias de productos	propio	Excel
17	2023101 – Anexo 17. Clasificación de jeringas por familias	propio	Excel
18	2023101 – Anexo 18. Informe de resultados del sistema actual	propio	PDF
19	2023101 – Anexo 19. Informe de la alternativa de diseño 1	propio	PDF
10	2023101 – Anexo 20. Informe de la alternativa de diseño 2	propio	PDF
21	2023101 – Anexo 21. Informe de la alternativa de diseño 3	propio	PDF
22	2023101 – Anexo 22. Modelo de simulación del sistema actual	propio	Arena
23	2023101 – Anexo 23. Modelo de simulación de la alternativa 1	propio	Arena
24	2023101 – Anexo 24. Modelo de simulación de la alternativa 2	propio	Arena
25	2023101 – Anexo 25. Modelo de simulación de la alternativa 3	propio	Arena
26	2023101 – Anexo 26. Análisis financiero	propio	Excel