



Rediseño del Sistema de Producción para la Fabricación de Colectores de Cartuchos en Venfil Ingeniería S.A.S

Eduardo Santiago Alvarado Guzmán 1^{a,c}, Octavio De Jesús Gómez Hernández 2^{a,c}, Johana Prias García 3^{a,c}, Laura Salcedo Sepúlveda 4^{a,c}

Francisco Muñoz Prado^{b,c}

Arnulfo Ayala^d

^aEstudiante de Ingeniería Industrial

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

^cPontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia

^dVenfil Ingeniería S.A.S, área de operaciones

Resumen en español

Los colectores de cartuchos son equipos de filtración industrial diseñados para capturar partículas contaminantes del aire. Estas partículas pueden ser nocivas para la salud de las personas, el medio ambiente y la calidad de los productos manufacturados. Durante su funcionamiento, el aire contaminado pasa a través de los cartuchos filtrantes, donde las partículas de polvo o contaminantes quedan retenidas, mientras que el aire limpio es liberado al ambiente. Este proceso mejora la seguridad en los entornos de trabajo y ayuda a cumplir con las normativas ambientales y de salud. Venfil Ingeniería S.A.S. es una empresa que ofrece soluciones dotadas de alta tecnología para ser aplicadas en el campo de la polución ambiental y el mejoramiento de condiciones laborales en la industria. La empresa fabrica colectores de cartuchos para el control del polvo, adaptados a las especificaciones particulares de cada cliente siguiendo un enfoque de fabricación *Assemble to Order* (ATO).

Dado que los colectores de cartuchos representan uno de los productos más vendidos de la empresa, este proyecto busca rediseñar el sistema productivo de estos equipos añadiendo un enfoque *Make to Stock* (MTS), con el objetivo de mejorar la capacidad de respuesta a la demanda cambiante del mercado y reducir los tiempos de entrega. Para abordar este desafío, se lleva a cabo un análisis de los flujos de producción mediante el diagrama de flujo de la empresa y otras herramientas de ingeniería, esto con el objetivo de determinar la viabilidad del proyecto, y así poder diseñar un sistema que soporte la producción en serie y el almacenamiento eficiente de los colectores. El proyecto presenta una ruta de acción que le permitirá a Venfil S.A.S. incrementar su competitividad en el mercado al reducir significativamente los tiempos de entrega y, al mismo tiempo, mejorar la satisfacción del cliente.

Palabras claves: Colectores de cartuchos, Producción ATO/MTS.

I.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA O NECESIDAD	5
A.	Contexto y justificación	5
B.	Grupos de interés	7
1.	Directivos, propietarios y/o accionistas	7
2.	Empleados y operarios	8
3.	Clientes	8
4.	Proveedores	8
5.	Entidades gubernamentales	8
6.	Competidores	9
C.	Diagnóstico del problema o necesidad	10
1.	Plan de recolección de datos	10
2.	Medición del sistema actual	11
3.	Análisis de causas	15
D.	Objetivos	19
1.	Objetivo general	19
2.	Objetivos específicos	19
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	19
III.	DISEÑO CONCEPTUAL Y PRELIMINAR	20
A.	Requerimientos	20
1.	Fijación de requerimientos del cliente	21

1.1	Restricciones de Diseño (Factibilidad)	22
1.2	Leyes, normas y estándares (Buenas prácticas)	22
2.	Análisis funcional	23
3.	Determinación de características de ingeniería	25
B.	Exploración de ideas y selección de alternativa	26
1.	Exploración y selección	27
1.1	Alternativas de solución	27
1.2	Criterios de evaluación	28
1.3	Resultados de la Ponderación lineal Normalizada	28
1.4	Resultados de la Matriz AHP	29
2.	Especificación del diseño preliminar	30
C.	Plan de Trabajo (PdT)	31
IV.	DISEÑO DETALLADO	32
A.	Objetivo específico 1: Definición de componentes a producir bajo estrategia MTS	33
1.	Clasificación de Componentes para Inventario	33
2.	Pronóstico y análisis de demanda de colectores de cartucho	35
B.	Objetivo específico 2: Sistema de control de inventario	36
C.	Objetivo específico 3: Impacto de la implementación del sistema híbrido	40
1.	Distribución de planta	41
1.1	Plano de la Planta (Distribución Actual)	41
1.2	Equipos y herramientas disponibles	44
1.3	Diagnóstico de Distribución de la Planta Actual	44
1.4	Distribución de planta Propuesta	50
2.	Modelo de simulación	51
2.1.	Construcción del modelo Actual	53
2.2.	Construcción del modelo propuesto	54
2.3.	Análisis Financiero del Sistema Propuesto	56
D.	Objetivo específico 4: Definición de procedimientos para el funcionamiento y estandarización del sistema ATO/MTS	57
1.	Planificación y pronóstico de la demanda	57
2.	Ejecución operativa: producción MTS y ensamble ATO	58
V.	REFERENCIAS	58
VI.	ANEXOS	60

Índice de Tablas

Tabla I	Ponderación Matriz impacto-influencia	9
Tabla II	Indicadores de desempeño a medir	11
Tabla III	Inventario promedio de componentes especiales	13
Tabla IV	Listado de Cross Requerimientos de diseño	25
Tabla V	Matriz Morfológica	27
Tabla VI	Matriz Morfológica – Nomenclatura de alternativas	27
Tabla VII	Selección de alternativas	28
Tabla VIII	Resultados Scoring Normalizado	28
Tabla IX	Resultados calificación de alternativas	29
Tabla X	Herramientas para el diseño preliminar	29
Tabla XI	Plan de trabajo	31
Tabla XII	Listado de materiales y clasificación por categoría	33
Tabla XIII	Aplicación del AHP para ponderación de criterios	34
Tabla XIV	Resultados de pesos asignados a cada criterio	34
Tabla XV	Cantidad de ítems por categoría A, B y C	34
Tabla XVI	Clasificación ABC para ítems en inventario	35
Tabla XVII	Parámetros Métodos de pronóstico de demanda	36
Tabla XVIII	MRP para ítem de categoría A	38
Tabla XIX	MRP para ítem de categoría C	39
Tabla XX	Resultados del valor de Costo de Capital y Costo de mantener inventario	39
Tabla XXI	Resultados de Costo de lanzamiento de pedido k	40
Tabla XXII	MRP para ítem de categoría B	40
Tabla XXIII	Notación para áreas de trabajo en diagramas de recorrido	45
Tabla XXIV	Dimensiones totales de la planta	46
Tabla XXV	Requerimientos Actividad: Soldadura	46

Tabla XXVI Requerimientos Actividad: Pulido.....	46
Tabla XXVII Requerimientos Actividad: Pintura	47
Tabla XXVIII Requerimientos Actividad: Ensamble.....	47
Tabla XXIX Requerimientos Actividad: Almacenamiento en Bodega.....	47
Tabla XXX Máquinas y medidas de cada una junto a los lados libres que requiere	49
Tabla XXXI Aplicación del método Guerchet	49
Tabla XXXII Áreas propuestas	49
Tabla XXXIII Parámetros del modelo de simulación	53
Tabla XXXIV Comparación KPI's.....	56
Tabla XXXV Tabla de anexos.....	60

Índice de Figuras

Fig. 1 A la izquierda: Variación y contribución anual del Índice de Producción Industrial por sectores industriales. Total Nacional junio 2023- junio 2024 [3]. A la derecha: Variación y contribución anual del Índice de Producción Industrial por sectores industriales. Total Nacional nov. 2023- nov. 2024 [4].....	5
Fig. 2 Participación de productos en ingresos por exportaciones.....	6
Fig. 3 Ingresos por exportaciones y país de destino 2023 en miles de USD.	6
Fig. 4 Colectores de cartuchos de alta tecnología [5].....	7
Fig. 5 Matriz influencia – impacto	10
Fig. 6 Cursograma sinóptico proceso de fabricación de un colector.....	12
Fig. 7 Compras en MP (ventiladores) por país de origen.....	13
Fig. 8 Distribución de tiempo	13
Fig. 9 Partes de un colector de cartuchos [5]	14
Fig. 10 Eficiencia del tiempo de ciclo de la fabricación de colectores y distribución de tiempos por procesos.....	14
Fig. 11 Resultados de KPI's	15
Fig. 12 Actividades de los Operarios.	15
Fig. 13 Flujo de materiales durante el proceso de ensamble de un colector.....	16
Fig. 14 Número de pedidos y su Ocurrencia en un tiempo t	16
Fig. 15 Evolución Anual de Ventas, Costos y Margen Bruto	17
Fig. 16 Nivel de Endeudamiento Anual	17
Fig. 17 Diagrama Ishikawa para análisis de causas	18
Fig. 18 Árbol de objetivos	21
Fig. 19 Caja transparente del sistema productivo actual.....	23
Fig. 20 Caja transparente del sistema productivo propuesto.....	24
Fig. 21 Matriz QFD.	25
Fig. 22 Fases del sistema productivo.	26
Fig. 23 Cuerpo de conocimientos del IISE	31
Fig. 24 Diagrama de Gantt Plan de Trabajo	32
Fig. 25 Comportamiento demanda Colector de 4 cartuchos.	35
Fig. 26 Resultados métodos de pronósticos [Anexo 12].....	36
Fig. 27 Bill of Material para estructura base del colector.....	38
Fig. 28 Plano de planta – Primer y Segundo Piso. Fuente: Venfil Ingeniería SAS.....	41
Fig. 29 Plano de Planta - Estructura en forma de 'U'. Fuente: Venfil Ingeniería SAS	41
Fig. 30 Plano de planta - Segundo Piso Lado derecho. Fuente: Venfil Ingeniería SAS	42
Fig. 31 Plano Planta - Primer Piso Lado derecho. Fuente: Venfil Ingeniería SAS.....	42
Fig. 32 Plano Planta - Lado izquierdo. Fuente: Venfil Ingeniería SAS.....	43
Fig. 33 Diagrama de recorrido - Colectores de cartucho.....	45
Fig. 34 Matriz de relaciones entre áreas productivas	48
Fig. 35 Diagrama relacional de actividades	48
Fig. 36 Propuesta de distribución de planta	50
Fig. 37 Ajuste de distribución para proceso de Soldadura. Fuente: EasyFit.....	52
Fig. 38 Ajuste de distribución para proceso de Soldadura. Fuente: EasyFit.....	52
Fig. 39 Ajuste de distribución para proceso de Pintura. Fuente: EasyFit	52
Fig. 40 Ajuste de distribución para proceso de Ensamble de CE. Fuente: EasyFit	52
Fig. 41 Vista superior Modelo Situación Actual FlexSim. Anexo [12].....	53
Fig. 42 Estadísticas Modelo de Situación Actual	54
Fig. 43 Vista superior Modelo Propuesto Flexsim	54
Fig. 44 Estadísticas Modelo de Situación Propuesta.....	55
Fig. 45 Métrica de tiempo de ciclo situación propuesta	55

PROJECT CHARTER

Rediseño del sistema de producción para la fabricación de Colectores de Cartuchos en Venfil Ingeniería S.A.S

Breve resumen del Proyecto (Business case)	
<p>Venfil Ingeniería SAS es una empresa del sector de producción y transformación de metales, ubicada en Yumbo, Valle del Cauca, con más de 20 años en el mercado. Actualmente, la empresa ensambla bajo pedido (Assembly-to-Order, ATO), sin embargo, existe la oportunidad de diseñar un sistema de manufactura para la producción masiva de colectores de cartuchos, uno de los productos estándar que podría fabricarse contra inventario (Make-to-Stock, MTS). De esta forma se pretende mejorar la eficiencia operativa mediante una redefinición de la estrategia de inventarios y una estimación de costos más precisa. Este cambio implica retos significativos en el diseño del sistema de manufactura, sus recursos, reglas de control de inventario y del flujo de los materiales de la planta. Al implementar un sistema MTS se espera aumentar la capacidad de respuesta ante incertidumbres externas y asegurar la sostenibilidad de Venfil Ingeniería SAS en un entorno económico desafiante.</p>	
Problema (Problem Statement)	Impacto en los Actores (Business Need – Stakeholders)
<p>La problemática central se manifiesta en una eficiencia del 56,3% en los procesos de cotización de equipos y cumplimiento de entregas durante periodos de alta demanda. Este rendimiento operativo resulta bajo para los intereses de la empresa, y responde a la influencia combinada de factores internos y externos que impactan negativamente tanto en el desempeño del área comercial como en el ritmo de producción de la empresa.</p>	<p>El proyecto de rediseño del proceso de fabricación de los colectores tendrá impactos significativos para los actores clave como lo son los directivos y/o propietarios de la empresa, permitiéndoles obtener mayores beneficios económicos. Por su parte, los empleados y operarios serán el grupo con el que mayor relación se tendrá durante el desarrollo del proyecto mientras que los proveedores y clientes, aunque tienen poca influencia en el proyecto, serán impactados por sus resultados.</p>
Objetivo General (Goal statement)	
<p>Rediseñar el sistema de producción de colectores de cartuchos en Venfil Ingeniería S.A.S. implementado una estrategia híbrida ATO/MTS para aumentar la capacidad de producción y su eficiencia.</p>	
Objetivos Específicos (Project Scope)	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Definir qué componentes pueden ser producidos bajo una estrategia de inventarios MTS mediante un estudio de especificaciones técnicas de productos finales, listas de materiales y datos históricos de producción y ventas, para seleccionar las piezas que se mantendrían en inventario. 2. Establecer el sistema de control de inventario MTS y sus parámetros, por medio de la aplicación de modelos de inventario basados en la estimación de parámetros de demanda y costos asociados al sistema ATO, para minimizar los costos relevantes. 3. Cuantificar el impacto de la implementación del sistema de producción híbrido (ATO/MTS) a través de un análisis financiero y de operaciones utilizando modelos estocásticos y de simulación, con el fin de medir la viabilidad de su aplicación. 4. Definir los procedimientos del trabajo requerido para la aplicación del modelo MTS, con el fin de estandarizar el diseño planteado. 	
Equipo de trabajo (Team Members)	



I. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA O NECESIDAD

A. Contexto y justificación

La industria metalmecánica juega un papel crucial en la economía colombiana, actuando como un eslabón clave dentro de las cadenas productivas al proveer maquinaria y herramientas metálicas adaptadas a las necesidades específicas de los diferentes sectores. En particular, el Valle del Cauca ha sido una de las regiones con mayor participación en el sector, superada únicamente por Antioquia, Bogotá y Santander [1].

Sin embargo, *commodities* como el acero que representa alrededor del 90% de la materia prima (MP) de la industria metalmecánica, no cuenta con una producción fuerte al interior del país y se suele obtener a través de importaciones que están sujetas a la Tasa Representativa del Mercado (TRM), siendo esta última un indicador que ha alcanzado topes históricos en los últimos años a causa de factores económicos y políticos [2]. Esto se traduce en un aumento de costos en la adquisición de insumos, fabricación y distribución de productos, lo que ejerce una mayor presión sobre las empresas, especialmente en el sector industrial. De acuerdo con informes del DANE, la actividad manufacturera a nivel nacional experimentó una contracción del 4.8% entre junio de 2023 y junio de 2024 [3], reflejando una desaceleración en la actividad económica del sector. Aunque un informe más reciente del DANE indica que este fenómeno se ha reducido al 0.8%, la cifra sigue representando una variación negativa para la industria [4].

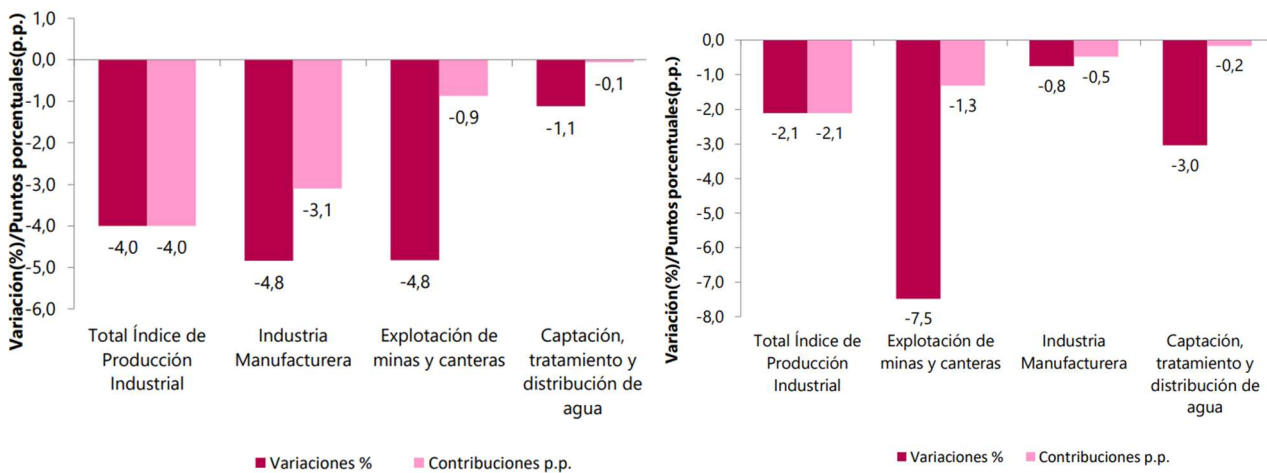


Fig. 1 A la izquierda: Variación y contribución anual del Índice de Producción Industrial por sectores industriales. Total Nacional junio 2023- junio 2024 [3]. A la derecha: Variación y contribución anual del Índice de Producción Industrial por sectores industriales. Total Nacional nov. 2023- nov. 2024 [4]

En este contexto se enmarca Venfil Ingeniería S.AS., una compañía ubicada en el municipio de Yumbo, Valle del Cauca, dedicada al diseño, fabricación y ensamble de equipos que brindan soluciones especializadas para el control de polvo y contaminación ambiental [5]. Esta compañía se ha visto afectada debido a la incertidumbre económica que ha generado una

reducción en el volumen de ventas y un aumento de interrupciones en el ritmo de producción. Asimismo, el contexto nacional ha reducido la capacidad de inversión en tecnologías proambientales impactando la competitividad y sostenibilidad de Venfil en el largo plazo.

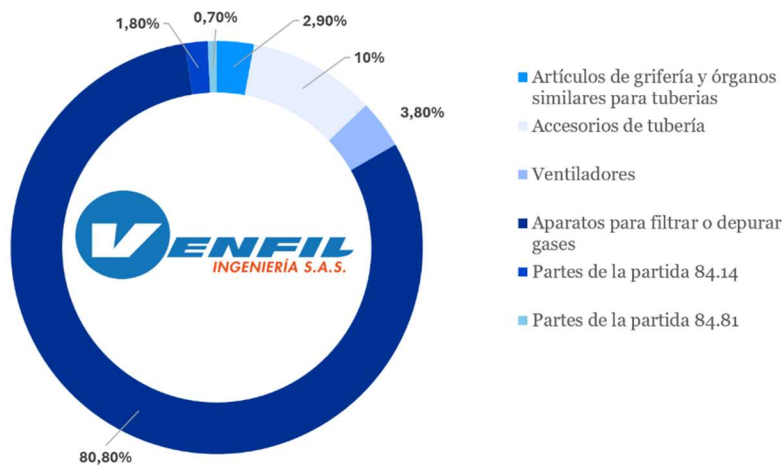


Fig. 2 Participación de productos en ingresos por exportaciones.
Fuente: Elaboración propia

Ante esta situación, se identifica una oportunidad estratégica de crecimiento para Venfil Ingeniería a través de uno de sus grupos de productos clave: los aparatos para filtrar o depurar gases. Estos aparatos representan el 80.8% del total de las exportaciones entre 2023 y 2024, consolidándose como el pilar fundamental de las ventas internacionales de la empresa, gracias a su alta demanda en mercados relevantes como El Salvador y Guatemala (Fig. 2 y Fig. 3). Este grupo de productos no solo destaca por el volumen de ventas, sino también por el alto margen de utilidad que genera.

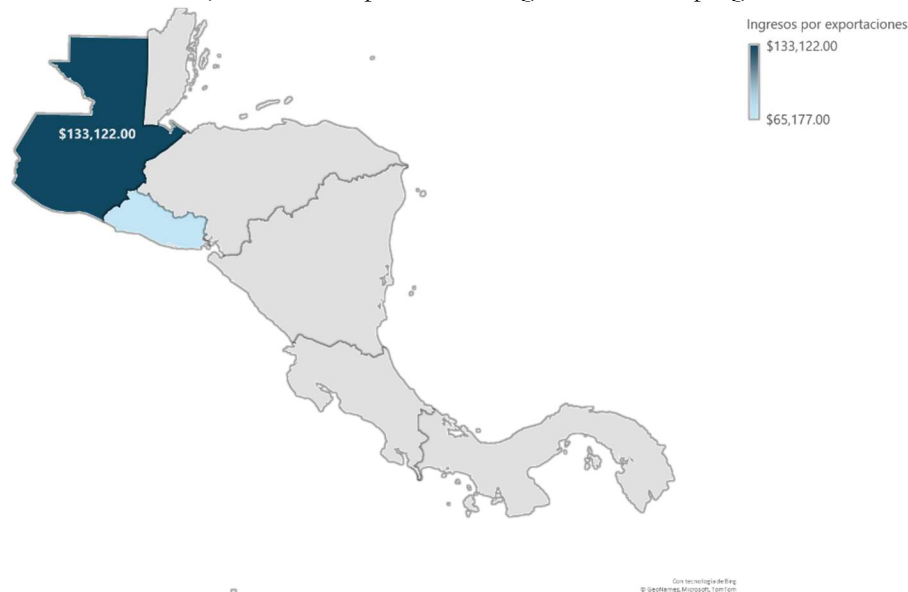


Fig. 3 Ingresos por exportaciones y país de destino 2023 en miles de USD.
Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el resto de los productos que contribuyen con el 19.2% del total de las exportaciones, aunque representan una menor proporción en comparación con los aparatos filtrantes, continúan desempeñando un papel relevante dentro de la estrategia global de la empresa. Si bien, estas líneas de productos contribuyen a diversificar la oferta, el presente análisis se centra en aquellos productos que generan una mayor rentabilidad; pues, en ellos radican las fortalezas de la empresa y se identifican los productos prioritarios para optimizar su proceso de producción.

Actualmente, el sistema de producción de Venfil Ingeniería opera bajo una estrategia *Assemble to Order* (ATO), un modelo que permite un alto grado de personalización, a cambio de plazos de entrega prologados [6]. Si bien, el sistema ATO es adecuado para satisfacer las necesidades de producción personalizada que ofrece la empresa, limita la capacidad para responder con agilidad ante fluctuaciones en la demanda o paradas operativas a causa de retrasos en los suministros de material. Esta falta de flexibilidad deriva en costos asociados a la inactividad, impactando negativamente la rentabilidad de la empresa. Esta situación se agrava aún más en entornos caracterizados por la incertidumbre económica y política; por lo

que las empresas necesitan sistemas productivos más dinámicos y adaptables para enfrentar cambios inesperados, como nuevas políticas económicas o restricciones logísticas.

Además de las dificultades externas, existen otros factores internos que han comprometido el desempeño óptimo de Venfil Ingeniería. En primer lugar, los directivos han señalado dificultades para desglosar los costos de producción de manera detallada, lo que complica la planificación financiera, la toma oportuna de decisiones estratégicas y la elaboración de cotizaciones precisas para los clientes. En segundo lugar, los controles de inventario no abarcan todos los materiales, lo que ocasiona demoras y errores en el proceso productivo. En tercer lugar, la falta de herramientas y tecnología avanzada para el corte de láminas de aluminio y acero (materiales clave para la fabricación de colectores) ha obligado a la empresa a tercerizar una gran parte de sus procesos.

La dependencia de proveedores externos nacionales ubicados en Bogotá para materias primas e internacionales ubicados en Italia, Alemania y España para componentes de alta tecnología genera una alta vulnerabilidad en el sistema, especialmente en momentos de alta demanda. Si bien, el modelo de operación actual ha funcionado de momento, los directivos reconocen la necesidad de implementar cambios que mejoren la productividad y eficiencia de la empresa. En este orden de ideas, el rediseño del sistema productivo enfocado en uno de sus productos principales como los colectores de cartucho, representa una excelente oportunidad para optimizar aspectos operativos, la disposición física de la planta, los procesos de costeo y cotización.

En este marco, para el desarrollo del proyecto se ha priorizado el producto con mayor margen de contribución en el transcurso del 2024: los colectores de cartuchos (Fig. 4) que forman parte de la categoría de aparatos filtrantes, posicionándose como una alternativa estratégica para impulsar el crecimiento y consolidar la sostenibilidad financiera de la empresa a largo plazo. Adicional a ello, el colector de cuatro cartuchos será el punto central del análisis, ya que es el más solicitado por los clientes en proyectos que requieren este tipo de equipos.



Fig. 4 Colectores de cartuchos de alta tecnología [5]

El proyecto plantea una transición hacia un sistema híbrido que combine la estrategia *Make to Stock* (MTS) con el modelo actual para la producción de colectores de cartucho. Este enfoque busca mejorar la capacidad de respuesta ante variaciones en la demanda, reducir costos operativos mediante la optimización de procesos internos y permitir una gestión más eficiente de los inventarios. Asimismo, se evaluará la incorporación de nuevas tecnologías de corte y manufactura, junto con la reorganización de la secuencia de actividades, con el objetivo de reducir los tiempos de ciclo. La implementación de estas mejoras para la producción en masa de colectores no solo permitirá satisfacer la demanda actual garantizando un nivel de servicio competitivo, sino que también fortalecerá la posición de Venfil Ingeniería en el mercado. Lo que facilitará el acceso de los clientes a soluciones para el control de polvo y polución ambiental, contribuyendo al bienestar del equipo humano, la preservación de la infraestructura empresarial y la protección del medio ambiente.

B. Grupos de interés

Una vez definido el contexto, se procede a la caracterización de los actores interesados (*stakeholders*) del proyecto, es decir, personas u organizaciones que pueden verse afectadas, directa o indirectamente, por los resultados finales o el proceso de desarrollo de este. Todos ellos comparten un denominador común: tienen algún interés en juego relacionado con el funcionamiento de la empresa, ya sea algo que desean obtener o evitar perder [7]. Su reconocimiento es de suma importancia puesto que sus expectativas o intereses en relación con el nivel de relevancia que tenga cada uno dentro del proyecto permite establecer los requerimientos específicos que deben abordarse. Seguidamente, se presentan los grupos de interés identificados en el contexto y alcance de este proyecto:

1. Directivos, propietarios y/o accionistas

Los propietarios de la empresa, al igual que la junta directiva, actualmente son representados por un profesional en Ingeniería Mecánica que ejerce el cargo de director de operaciones. Estas personas constituyen un grupo de interés interno

de alta importancia y alto nivel de impacto, ya que son quienes obtendrían beneficio económico directo si se incrementan las ventas y se aumenta la rentabilidad de la empresa. Adicional a ello, son los más interesados en mejorar su eficiencia operativa, aumentar su capacidad de respuesta ante variaciones de la demanda o imprevistos del mercado con el propósito de ser más resilientes y sostenerse en la industria a largo plazo. De esta manera, queda en evidencia la relevancia de los intereses y/o necesidades que manifieste este grupo en relación con el proyecto.

2. Empleados y operarios

Los empleados y operarios son la fuerza laboral que mantiene dinámica y funcional la organización, por una parte, es indiscutible el interés de este grupo en que Venfil Ingeniería S.A.S continúe activa en el mercado y este grupo cuente con estabilidad laboral; adicional a ello, las decisiones que se tomen en torno a las actividades operativas pueden incidir en sus labores, en su economía, salud y hasta en su vida personal. Inicialmente, los empleados enfrentarían un periodo de transición que implique cambios en sus tareas, reubicación de elementos dentro de las instalaciones o puestos de trabajo, inclusive podrían ser sometidos a reasignación de cargos o reajuste de personal (contratación o despidos), situación que podría generar inquietudes y preocupaciones en este grupo.

Pese a lo anterior, una vez el proyecto sea llevado a término, la organización de la planta, tareas, y flujos de materiales a lo largo del proceso productivo, junto con la gestión eficiente de la información asociada, pueden generar importantes beneficios. Acompañada de la implementación de tecnologías avanzadas, esta transformación mejorará las condiciones laborales, reforzará la seguridad del personal, los recursos materiales y la información, brindando nuevas oportunidades de desarrollo profesional.

3. Clientes

La empresa está en capacidad de atender clientes pertenecientes al sector de alimentos, farmacéutica, agro-insumos, metales, metalmecánica, cementera, siderúrgica, detergentes, papelería, minería, etc., de modo que cualquier empresa perteneciente a alguno de estos sectores, y que presente problemáticas por generación de partículas en suspensión que contaminen el aire exterior o sus espacios de trabajo al interior de las instalaciones, es un cliente potencial para solicitar las soluciones ofrecidas por Venfil Ingeniería S.A.S. Sin embargo, cada solución supone para los clientes una inversión económica elevada con impacto a mediano y largo plazo, en consecuencia, su interés va a estar enfocado en obtener soluciones con productos de alta calidad, precios asequibles, tiempos de entrega y procesos de instalación confiables.

Una reducción en los precios de los colectores, en los tiempos de entrega o instalación, o una mayor disponibilidad en inventario representaría un beneficio considerable para este grupo de interés, ya que facilitaría su acceso a estas soluciones. A su vez, generaría un mayor impacto ambiental positivo al reducir la contaminación atmosférica en el sector industrial y mejorar las condiciones de salud y seguridad de los trabajadores. Por el contrario, si la oferta de soluciones para el control de la polución atmosférica, como las que proporciona Venfil Ingeniería S.A.S., disminuyera, los clientes se verían obligados a recurrir a alternativas más costosas o de menor calidad para cumplir con las normativas vigentes sobre calidad del aire y seguridad laboral; generando mayores costos para las empresas. Dejando en evidencia la importancia de Venfil en el mercado y resaltando su gran potencial para expandir su alcance y consolidar su posición competitiva.

4. Proveedores

Los proveedores de la empresa tienen un interés primordial en establecer y mantener relaciones comerciales estables y duraderas. Una relación de largo plazo con la empresa les proporciona estabilidad financiera, factor crucial para la planificación y optimización de sus propios procesos productivos. Así mismo, la estabilidad en estas relaciones reduce la incertidumbre y les brinda la capacidad de optimizar sus procesos productivos, negociar condiciones más favorables y les asegura un lugar en la cadena de suministro. Además, un vínculo comercial duradero con la empresa puede traducirse en acuerdos más beneficiosos y a largo plazo, garantizando un flujo constante de ingresos y fortaleciendo su posición competitiva en el mercado.

La transición de la empresa hacia un sistema de manufactura MTS para la fabricación de los colectores representa una oportunidad significativa para este grupo de interés, ya que se prevé un aumento en la demanda de materias primas. Este sistema, que implica mantener un inventario regular en lugar de producir solo bajo pedido, requerirá compras más frecuentes y en mayores volúmenes, lo que asegura un flujo constante de pedidos para los proveedores. Esto es fundamental para la estabilidad financiera y operativa de los proveedores, ya que les permite optimizar sus ciclos de producción, reducir costos operativos y mejorar la gestión de sus recursos. Un flujo constante de pedidos también fomenta una colaboración más estrecha entre la empresa y sus proveedores, impulsando la mejora continua en la calidad de los productos y servicios suministrados.

5. Entidades gubernamentales

Las entidades gubernamentales son un grupo de interés crucial en el proyecto de Venfil Ingeniería, debido a su responsabilidad en promover el crecimiento económico y la estabilidad de sectores industriales clave, como la industria metalmecánica. Además, tienen la responsabilidad de establecer regulaciones de ley que aseguran el cumplimiento de estándares técnicos y éticos en la práctica de la ingeniería. Estas regulaciones incluyen normativas sobre el ejercicio profesional, que exigen que los ingenieros estén debidamente matriculados y habilitados para garantizar la calidad y seguridad

de los proyectos. También abarcan regulaciones ambientales que buscan proteger el entorno, así como normativas laborales que garantizan condiciones justas para los trabajadores.

El proyecto del rediseño del proceso de manufactura de producción de colectores de cartucho es relevante para las entidades gubernamentales porque, al aumentar la eficiencia y la capacidad de respuesta de la empresa, se espera que contribuya a la resiliencia del sector frente a las fluctuaciones económicas y políticas. Un sistema productivo más robusto permitirá a la empresa enfrentar mejor los desafíos del mercado incrementando su capacidad de producción e impulsando la industria manufacturera en la región. Esto es coherente con los objetivos gubernamentales de fortalecer la industria local y reducir la dependencia de importaciones, lo que refuerza la importancia del proyecto desde una perspectiva socioeconómica.

6. Competidores

En el Valle del Cauca y en Colombia, operan otras empresas dedicadas al control de la polución atmosférica. Un aumento en la eficiencia y capacidad de respuesta por parte de Venfil Ingeniería, daría la oportunidad de agilizar los procesos de cotizaciones y concretar mayor cantidad de soluciones vendidas. De este modo, al aumentar su competitividad, aumentará la presión en el sector y aquellos competidores menos competitivos se verán impactados de forma negativa.

Una vez identificados los beneficios y perjuicios que afectan a los grupos de interés, es fundamental clasificarlos mediante una metodología que permita evaluar su nivel de relevancia en función de los objetivos del proyecto. Esto es clave, ya que no todos los grupos presentan el mismo grado de interés, influencia, impacto o urgencia con respecto a los resultados esperados. Para ello se utilizará una matriz influencia – impacto en donde se agrupa a los stakeholders en función de dos componentes; influencia e impacto. La primera, determina la participación en el proyecto y la segunda, determina la capacidad de efectuar cambios a la ejecución o planificación del proyecto. En la Tabla 1 se muestra la implementación de la metodología de clasificación de los grupos de interés.

Tabla 1 Ponderación Matriz impacto-influencia

GRUPO DE INTERÉS	EFECTO (Del proyecto sobre el grupo de interés)	PONDERACIÓN	
		INFLUENCIA	IMPACTO
Directivos, propietarios y/o accionistas	Facilidad en cotizaciones de soluciones que involucren colectores de cartuchos, mayor control sobre el proceso productivo, nivel de servicio y beneficio económico.	10	10
Empleados y operarios	Estabilidad en su vacante laboral, organización de tareas y puesto de trabajo.	7	4
Clientes	Disminución en tiempos de cotizaciones y entregas de soluciones, precios competitivos.	2	6
Proveedores	Aumento de sus ventas en materia prima y componentes demandados por Venfil Ingeniería.	1	6
Entidades gubernamentales	Fortalecimiento del sector metalmecánico en el Valle del Cauca.	2	1
Competidores	Aumento de la competitividad en el sector industrial.	1	2

De acuerdo con la Fig. 5, los principales grupos de interés en los que debe centrarse el proyecto son los directivos y/o propietarios, seguidos por los empleados y operarios. Los propietarios son el grupo de mayor influencia e impacto en relación con los objetivos del proyecto, por lo que el proyecto estará principalmente dirigido a ellos. Este grupo cuenta con poder de decisión sobre el alcance del proyecto, ya que en caso de optar por implementar la propuesta planteada son ellos los responsables de proveer los medios necesarios, siendo los recursos económicos los más críticos. En la misma línea, los empleados también desempeñan un rol importante, pues, en compañía del primer grupo serán los que aporten conocimientos útiles al proyecto sobre el estado actual del sistema productivo y el estado esperado una vez se implemente el diseño propuesto. Así pues, los dos grupos mencionados anteriormente influyen directamente en el resultado del proyecto y serán los principales afectados por el resultado de este. En lo que concierne las otras partes interesadas, aunque los proveedores y clientes se verán impactados, no contarán con mayor poder de decisión sobre el desarrollo. Aun así, son grupos que no deben ser ignorados ya que parte del éxito del sistema híbrido ATO/MTS depende de la capacidad de abastecimiento de MP y/o componentes por parte de los proveedores, al igual que la capacidad de adquisición de los productos de la empresa por parte de sus clientes.

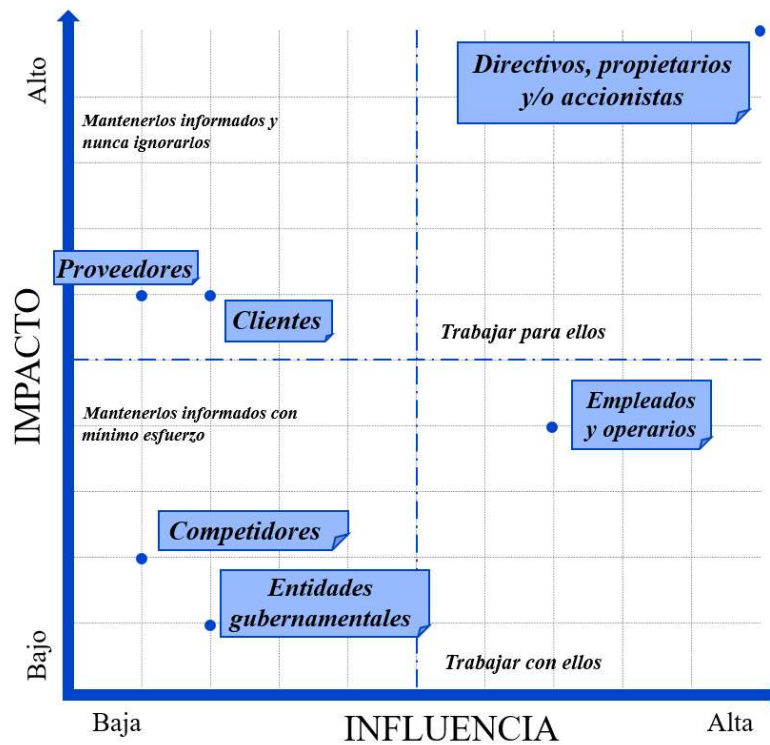


Fig. 5 Matriz influencia – impacto
Fuente: Elaboración propia

C. Diagnóstico del problema o necesidad

1. Plan de recolección de datos

La información del funcionamiento del sistema productivo de los colectores es fundamental para comprender las dificultades que presenta la empresa en su modelo de producción, e identificar los requerimientos de deban tenerse en cuenta en la propuesta de rediseño. Los directivos y operarios son fuentes de información primaria, a razón de que conocen en detalle los procesos y poseen datos históricos. Adicional a ello, los datos recolectados por el grupo de trabajo durante las visitas a la empresa también serán tomados como información de fuentes primarias. Por otra parte, como fuentes secundarias se consultarán bases de datos (Orbis) a través de la plataforma de la biblioteca de la universidad para obtener registros financieros de la empresa.

El plan de recolección de datos (PRD) incluye el diagrama de flujo del proceso productivo (PFD) de los colectores o en su defecto, un cursograma sinóptico que permita ver de forma gráfica todas las etapas del proceso de inicio a fin, así como su secuencia de desarrollo. El PFD ayuda a definir el tiempo de ciclo (T) actual, considerando el tiempo empleado por los trabajadores en cada etapa para completar la producción de un colector. De forma paralela, se hará un reconocimiento del tiempo de proceso (tp) y los tiempos ociosos o de espera (Tq) con el fin de determinar la eficiencia de T . Esto permite evaluar el desempeño del equipo y las máquinas en el sistema, lo cual es útil para desarrollar planes de acción y cumplir con la productividad esperada, o en caso contrario, se puedan proponer soluciones pertinentes.

El costo de producción unitario se concretará mediante la recolección de registros financieros y de producción para cada componente y posteriormente el cálculo de los costos indirectos de fabricación (CIFs) como alquiler de fábrica, servicios o depreciación de máquinas, la mano de obra directa (salarios y beneficios de los trabajadores) y el costo de MP (costos materiales de producción). Esta medida posibilita optimizar la asignación de los recursos, aumentar la rentabilidad y fijar precios competitivos que es uno de los objetivos de Venfil Ingeniería S.A.S.

El inventario promedio (\bar{I}) de materia prima (MP) se establecerá mediante el registro de los niveles de inventarios al inicio y final de un periodo específico, para luego calcular el promedio de ambos valores. El inventario de seguridad (\bar{S}) de MP se hallará con el registro del inventario disponible al evaluarlo, y luego se restará la demanda promedio (estimada a partir de datos históricos) que se espera tener en ese momento. Este cálculo permite fijar el inventario que se necesita para cubrir las posibles variaciones en las cantidades demandadas o retrasos de suministro de MP por parte de los proveedores. Por su parte, el costo de mantener el inventario (h) se establecerá mediante el cálculo de los costos asociados a la adquisición del inventario, los costos de almacenamiento y manejo, y el valor del inventario en libros. La finalidad de esta medida es ayudar a la organización a identificar los gastos asociados al almacenamiento de inventario, optimizar el nivel de stock y reducir costos innecesarios.

En la toma de datos asociados al tiempo se hará uso de cronómetros que permiten medir el tiempo desde el inicio hasta el final del proceso cuando las visitas coincidan con la producción de colectores en la planta. Sin embargo, considerando que la producción de este producto no es constante y no necesariamente todas las visitas se harán en días de elaboración de colectores, se consultará a los operarios expertos en el proceso por los tiempos empleados en cada tarea.

La capacidad de producción del sistema será otro factor por determinar, para esto se calculará la cantidad máxima que puede alcanzar el sistema bajo condiciones óptimas (con todos los recursos disponibles) en el sistema actual. Esta medición permite planificar la producción ya que se contará con un tiempo y cantidad de unidades estándar que servirán como referencia para validar si el proceso cumplirá con la demanda o si es necesario intervenirlo; ya sea eliminando tiempos muertos o proponiendo soluciones en las fases más lentas del proceso para ahorrar el costo de tiempos inactivos.

Tabla II Indicadores de desempeño a medir

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN	INDICADOR	INDICADOR ACTUAL
Costo unitario de producción	Aux	Parámetro de entrada a los modelos.	$C = MP + MOD + CIF$	COP 47.946.616
Tiempo de Ciclo (T)	KPI	Se utilizarán datos de tiempos de fuentes primarias.	$T = tp + Tq$ $T = \lambda * I$	5,45 días
Capacidad de producción del sistema	KPI	Capacidad teórica de colectores que pueden ser producidos por unidad de tiempo en un estado estable.	$\mu = \frac{1}{tp_{Cuello\ de\ botella}}$	0,33 und/día
Nivel de Inventario Promedio	KPI	Se considerarán todos los gastos asociados con el almacenamiento y la gestión del inventario. Se calculará la cantidad adicional de MP necesaria para mitigar las variaciones en la demanda y tiempos de entrega.	$I = \frac{Q}{2}$ $\bar{s} = I - \mu_0$ $h = \frac{C_k + C_{almacén}}{Valor\ Inventario\ en\ Libros}$	Componentes especiales: 11 und
Eficiencia del Tiempo de Ciclo	KPI	Se medirá el porcentaje de productividad obteniendo el valor del tiempo de manufactura del producto en relación con el tiempo de ciclo.	$eficiencia_T = \frac{tp}{T}$	55%
EVA	KPI	Se utilizarán fuentes secundarias como registros financieros de los que se recopilará y analizará: la Utilidad Operativa Después de Impuestos (UODI), el Activo Neto de la Empresa en Operaciones (ANDEO) y el Costo del Capital (CK)	$EVA = UODI - (ANDEO * C_k)$	USD 57.339,23

Con la información anterior se identificará el cuello de botella, que corresponde a la etapa del proceso de producción donde la capacidad es insuficiente, limitando el flujo de trabajo y ralentizando el rendimiento global del sistema. Este fenómeno ocurre cuando una etapa del proceso es más lenta que las demás, generando acumulación de trabajo y, en consecuencia, afectando la eficiencia general de la operación. Identificar el cuello de botella es fundamental para mejorar la eficiencia, eliminar desperdicios y determinar cuántas unidades pueden producirse en un periodo de tiempo específico; siendo esto último crucial para la planificación de la capacidad y la gestión de la demanda.

El EVA por sus siglas en inglés (*Economic Value Added*) es una marca registrada por la firma norteamericana Stern Steward & Company a principios de los 90 del siglo pasado [8]; fue concebido más como un modelo de desempeño financiero que como un indicador financiero, ya que pretende medir la capacidad que tiene cualquier empresa para para crear riqueza o valor de acuerdo con la eficiencia operativa de sus activos, su estructura de capital, así como las condiciones del entorno en donde se desenvuelve la organización.

El EVA se compone por la diferencia entre la Utilidad Operativa (UODI) después de Impuestos y el producto del Activo Neto de Operación (ANDEO) por el Costo de Capital (CK).

2. Medición del sistema actual

Como primer punto, se planteó el conocimiento y comprensión de todo el proceso productivo asociado a los colectores, como resultado, se encontró la empresa maneja un sistema de producción en línea, de modo que, dentro de la planta las máquinas y equipos de producción están distribuidos de acuerdo con la secuencia de operaciones necesarias para la fabricación de los equipos. La entrada de material se da por una de las puertas (puerta izquierda como se muestra más adelante en Fig. 14), y fluye a lo largo de la línea de montaje, es decir, se va desplazando por la planta de acuerdo con la operación en

la que se encuentre. Por su parte, cada operación específica como la soldadura, el pulido o el proceso de pintura es realizado por un operario en particular, aunque la empresa poco a poco ha trabajado para que los operarios adquieran habilidades en más de una tarea. En la Fig. 6 se planteó el cursograma sinóptico correspondiente, en este se muestran las operaciones concretar que se deben ejecutar durante el proceso productivo, así como algunas inspecciones y desplazamientos que se deben hacer en el transcurso de este.

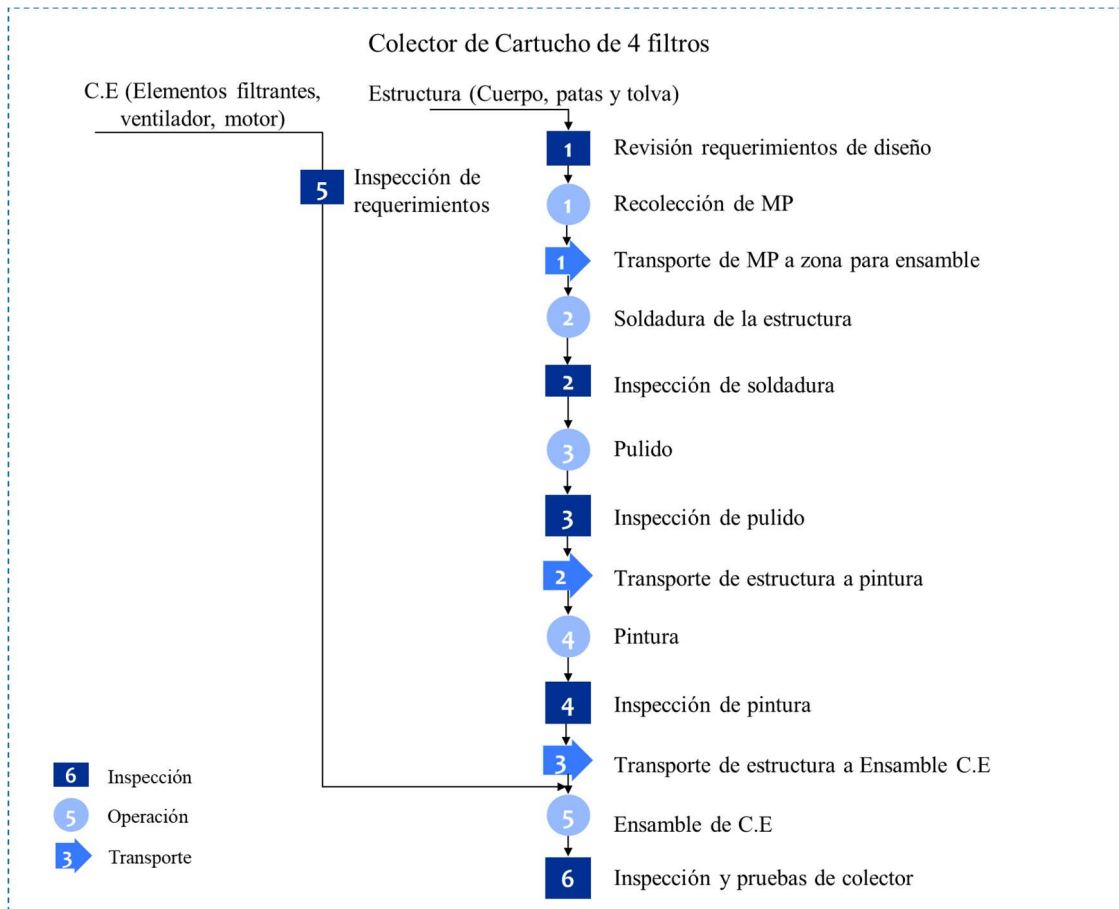


Fig. 6 Cursograma sinóptico proceso de fabricación de un colector
Fuente: Elaboración propia

Cuando se inicia un proyecto, la mayoría de las órdenes de compra son liberadas únicamente cuando se ha concretado el desarrollo del proyecto puesto que, inicialmente se revisa la lista de materiales para determinar cuáles piezas y/o componentes ya están disponibles en la planta y cuales deben adquirirse. Esta situación evita que la empresa tenga niveles de inventario altos, pero da lugar a que Venfil dependa en gran medida de la disponibilidad de sus proveedores, ya sean nacionales o internacionales. En el caso de los proveedores ubicados en Europa, específicamente en Italia, España y Alemania, se debe tener en cuenta ciertas épocas del año que suelen ser temporada alta, y se da prioridad a su demanda interna en comparación con pedidos extranjeros. Sumado a ello, se debe considerar la logística del transporte de los insumos desde los puertos marítimos hasta las instalaciones de la empresa, ya que los tiempos se relacionan directamente con la agilidad de las operaciones de desembarco, trámites legales, e incluso la movilidad terrestre en el país. Por otra parte, solo en casos especiales en los que la entrega de una solución a un cliente es de suma prioridad, se opta por el transporte aéreo para la importación.

Según los reportes de importaciones, en términos de la MP, concretamente los ventiladores integrados traídos desde Italia se gastan USD 68.449 anuales, USD 9.917 en ventiladores provenientes desde Alemania y USD 5.252 en España como se muestra en la Fig. 7.

Con los proveedores nacionales pueden ocurrir situaciones similares, por lo general materiales como las láminas de aluminio son compradas a proveedores nacionales, pero son remitidas a terceros que se encargan de procesos como cortes, soldaduras (dependiendo de los requerimientos del proyecto), o procedimientos específicos como *sandblasting*¹ en el caso de materiales que requieren de mayor protección frente a entornos altamente corrosivos. En la misma línea de servicios externos que Venfil requiere, puede ocurrir que deba contratar personal extra que se especialice en ciertos tipos de trabajo. Por lo general, la empresa dispone de contactos a los que suele acudir en dichas situaciones, no obstante, dependen de la

¹ También conocida como 'arena a presión'. Se utiliza en la limpieza de superficies por la acción de aire comprimido para propulsar partículas abrasivas granuladas a altas velocidades por medio de una boquilla. Con esta técnica se logran metales libres de contaminantes, con acabados sin defectos y protegidos de la oxidación.

disponibilidad de la persona, de modo que pueden verse obligados a esperar por los servicios del personal en cuestión, o buscar opciones adicionales para atender sus necesidades.



Fig. 7 Compras en MP (ventiladores) por país de origen
Fuente: Elaboración propia

En términos de costos, el costo unitario del colector de cartucho es de 47.946.616 pesos colombianos, calculado con base en los costos de materiales (láminas de acero, tuberías, accesorios especiales y consumibles), costos de mano de obra que incluye a los 6 operarios de planta y otros gastos generales, como los costos indirectos de fabricación. Como se puede evidenciar en la Fig. 8, el 63% del costo está compuesto por MP, el 26% corresponde a los costos indirectos de fabricación (CIFs), y el 11% restante corresponde a la mano de obra.

Distribución de costo unitario del colector de cartucho

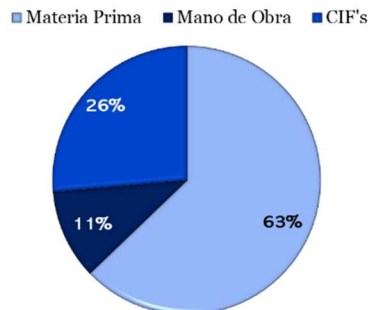


Fig. 8 Distribución de tiempo
Fuente: Elaboración propia

Actualmente, según lo comentado por el gerente de Venfil Ingeniería, la empresa ensambla en promedio 3 colectores de cartuchos al mes, con un máximo posible de 7, de los cuales varios pueden estar relacionados con el mismo proyecto. Cada colector toma 24 horas de trabajo, lo que lleva a un total mensual de 72 horas dedicadas a esta actividad. La planta tiene una capacidad de 160 horas al mes, utilizando solo el 45% para la fabricación de colectores. Además, la empresa ofrece el servicio de instalación, el cual se realiza una vez al mes y toma aproximadamente 40 horas semanales. Esto representa un 25% de la capacidad mensual de la planta. Sumando el ensamble y la instalación, la planta utiliza el 70% de su capacidad operativa, lo que deja un 30% restante para otros productos o posibles incrementos en la demanda, sin necesidad de aumentar el personal.

Tabla III Inventario promedio de componentes especiales

MATERIAL	CANTIDAD REQUERIDA	DEMANDA MENSUAL	INVENTARIO PROMEDIO
COMPONENTES ESPECIALES	7	21	11

La empresa cuenta con inventario únicamente de elementos filtrantes (componentes especiales, Fig. 9). Debido a acuerdos de confidencialidad con los proveedores y clientes, no se revelarán detalles específicos sobre estos componentes. En la Tabla III, se muestra una relación entre materiales, cantidad requerida, demanda mensual e inventario promedio de dichos componentes. La demanda mensual se estima multiplicando la cantidad requerida para una unidad por el promedio de tres colectores ensamblados mensualmente. A partir de este cálculo, el inventario promedio actual de los componentes especiales es la mitad de la demanda mensual, lo que significa que la empresa mantiene suficiente inventario para cubrir el 50% de la demanda proyectada de estos componentes.

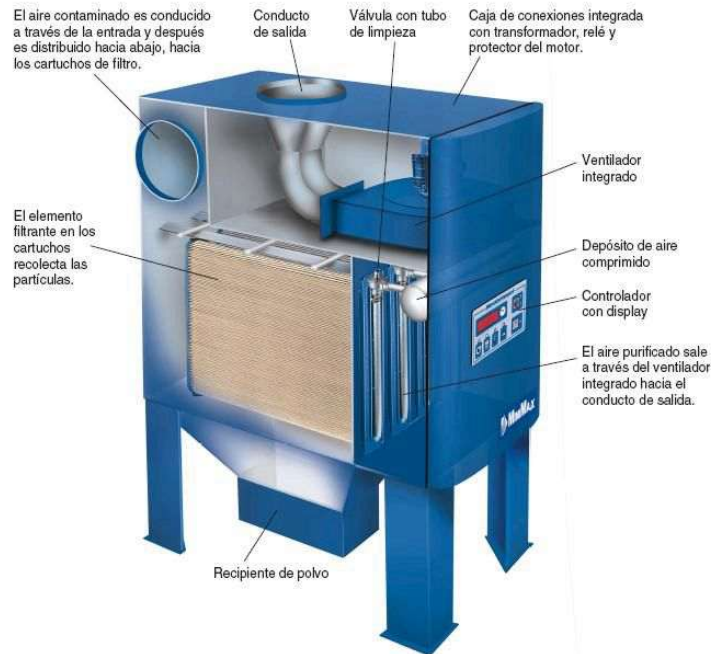


Fig. 9 Partes de un colector de cartuchos [5]

En cuanto a la eficiencia del tiempo de ciclo, se obtuvo que esta es del 55%, obtenida al dividir el tiempo de proceso de 3 días entre el tiempo de ciclo completo de 5,45 días. Este 55% representa el tiempo de proceso, es decir, el tiempo en el que las actividades de producción están activamente en marcha. El tiempo restante, que corresponde al 45%, es tiempo de cola, cuando los colectores están esperando ser procesados en alguna de las fases productivas (Fig. 10). Estas medidas se obtuvieron utilizando la notación de Kendall-Lee [9], correspondiente al sistema M/M/1 de la teoría de colas. Ante la falta de datos por parte de la empresa, se asumió que tanto los tiempos entre la recepción de pedidos como los tiempos de proceso siguen una distribución exponencial, lo que está representado en el modelo M/M/1. En este caso, la primera M indica que los tiempos entre llegadas siguen un proceso de Poisson, como se puede observar en la Fig. 13 más adelante, que muestra la ocurrencia de pedidos en un tiempo t . La segunda M hace referencia a los tiempos de servicio, que siguen una distribución exponencial, lo que es característico de sistemas con una única fase de atención. Finalmente, el número 1 denota que solo hay un servidor en el sistema de producción.



Fig. 10 Eficiencia del tiempo de ciclo de la fabricación de colectores y distribución de tiempos por procesos.
Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, la capacidad de producción del sistema está limitada principalmente por la fase de soldadura, identificada como el cuello de botella del proceso, lo que también se refleja en las Fig. 10, donde la soldadura representa el 48% del tiempo total del proceso, seguida por el ensamblaje con el 23%, pintura con el 17% y pulido con el 12%. Tras realizar los cálculos, se determinó que, bajo condiciones teóricas, es posible fabricar 0,333 unidades de colectores de cartucho al día.

Para el cálculo del EVA, se requiere el CK para el cual se utilizó información de la base de datos de Aswath Damodaran de la Universidad de Nueva York [9]. Esta fuente proporciona un análisis de los riesgos específicos reportados para las empresas del sector metalmeccánico en Colombia, lo cual permitió establecer un costo de capital ajustado a las condiciones del mercado local y sectorial.

En 2023, la empresa alcanzó una Utilidad Operativa de 178.360,94 USD con una inversión total en activos de 1.080.273,26 USD, lo cual generó una rentabilidad sobre el activo (ROA) del 16,51%. Este rendimiento superó el costo de capital del 15,17%, logrando una diferencia positiva del 1,34%. Aunque la ventaja sobre el costo de capital es relativamente pequeña, este margen indica que la empresa está operando con un nivel de eficiencia suficiente para cubrir los costos de financiamiento y, adicionalmente, crear valor para sus accionistas.



Fig. 11 Resultados de KPI's
Fuente: Elaboración propia

El EVA para el año fue de 57.339,23 USD (ver Fig. 11), lo que representa el valor económico adicional generado después de cubrir todos los costos de capital. Este resultado positivo indica una eficiente gestión operativa y financiera. Sin embargo, el margen sobre el costo de capital también sugiere que, aunque la empresa es rentable y agrega valor, está apenas por encima del umbral de rentabilidad mínima. Esto podría indicar oportunidades para mejorar la estructura de capital, reducir costos operativos o buscar una mayor eficiencia en el uso de los activos.

3. Análisis de causas

El objetivo principal del proyecto es diseñar un sistema híbrido ATO/MTS para la producción de colectores de cartucho de 4 filtros cuya demanda es más frecuente y por tanto representan un ingreso importante para la empresa. Este sistema tiene como objetivo reducir los tiempos de entrega a los clientes, que es actualmente 6 semanas por proyecto, mejorando la respuesta a los clientes durante periodos de alta demanda, y disminuir los tiempos ociosos en periodos de baja demanda. La incorporación de una estrategia MTS permitirá un incremento en la productividad de la empresa al minimizar el tiempo improductivo de los empleados, al igual que proporcionará una mayor flexibilidad a la empresa de adaptarse a cambios en la demanda.

El diagrama circular (Fig. 12) revela la distribución actual de las actividades de los operarios, en el cual el 30% del tiempo corresponde a tiempos ociosos en términos de la producción de colectores, mientras que el 45% se destina a la producción mensual y el 25% restante a la instalación de los colectores. El tiempo ocioso representa una oportunidad crítica para mejorar la eficiencia operativa. La empresa no solo optimizará la utilización de sus recursos, sino que también incrementa la capacidad de respuesta y reduce costos innecesarios. La reducción del tiempo ocioso se alinea con los objetivos del MTS al promover una operación más fluida y eficiente, maximizar el tiempo dedicado a actividades productivas y mejorar el desempeño general de la empresa.

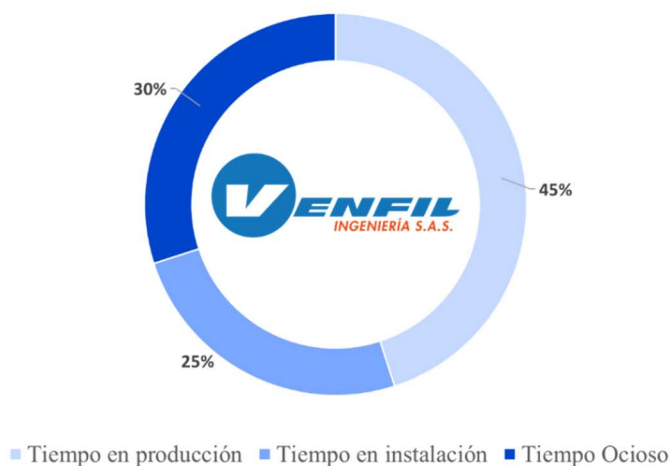


Fig. 12 Actividades de los Operarios.
Fuente: Elaboración propia

El sistema MTS abordará dos aspectos clave: *Critical To Cost (CTC)* y *Critical To Satisfaction (CTS)*. Los requisitos CTC se enfocan en optimizar los costos operativos al reducir el tiempo ocioso, mejorar la gestión de inventarios y minimizar los costos de producción bajo demanda, haciendo que la operación sea más rentable y sostenible. Los requisitos CTS se enfocan en que la eficiencia operativa se traduzca en una mayor satisfacción del cliente, al mejorar la disponibilidad de productos y al reducir los tiempos de espera. El equilibrio de ambos factores permitirá a la empresa tener un mejor posicionamiento frente a su competencia.

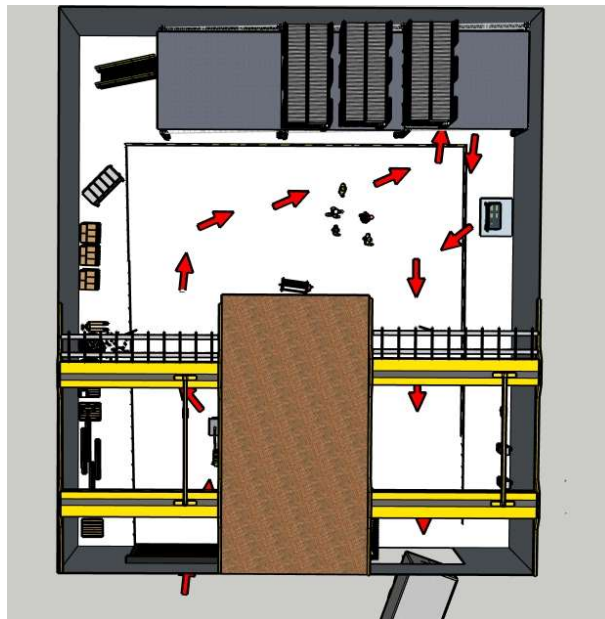


Fig. 13 Flujo de materiales durante el proceso de ensamble de un colector
Fuente: Elaboración propia

En la Fig. 13 se presenta la distribución de la planta de Venfil Ingeniería junto al flujo teórico del proceso de fabricación de los colectores de cartucho. La MP ingresa por el lado izquierdo de la planta, donde se inicia el proceso de ensamble. Generalmente, la MP se ubica en este sector sobre una estiba o en el suelo de manera desordenada, la estrategia que emplea la empresa para identificar los materiales y componentes de cada proyecto en curso es colocar una tarjeta de información relacionada con el proyecto en cuestión en la pared sobre la cuál esté ubicada la estiba, y al lado derecho de la zona de materiales se encuentra una soldadora. Continuando con el flujo, las cajas almacenan la tecnología filtrante importada de Europa (principalmente de Italia, España y Alemania), y en la parte superior se encuentra producto terminado de COLDUCTOS, otra empresa de Venfil. Junto al área de almacenaje de la tecnología europea, se localiza el área de pintura, que es la única estación de trabajo fija en toda la planta al ser un cuarto especializado para dicha actividad. Finalmente, en esta zona se encuentran más soldadoras, dobladoras y el producto terminado (colectores de cartucho).

Es importante señalar que este flujo representa el orden teórico planteado por la empresa. Sin embargo, en la práctica, el proceso es significativamente distinto debido a la ausencia de áreas de trabajo definidas, lo que obliga a los operarios a realizar las operaciones en cualquier espacio disponible de la planta. Esto genera desorganización y retrasa la producción, ya que los colectores deben ser movidos constantemente dentro de la planta. Dado el gran tamaño y peso de estos productos, este manejo ineficiente no solo aumenta la dificultad para los operarios, sino que también afecta de manera crítica la productividad general del sistema.

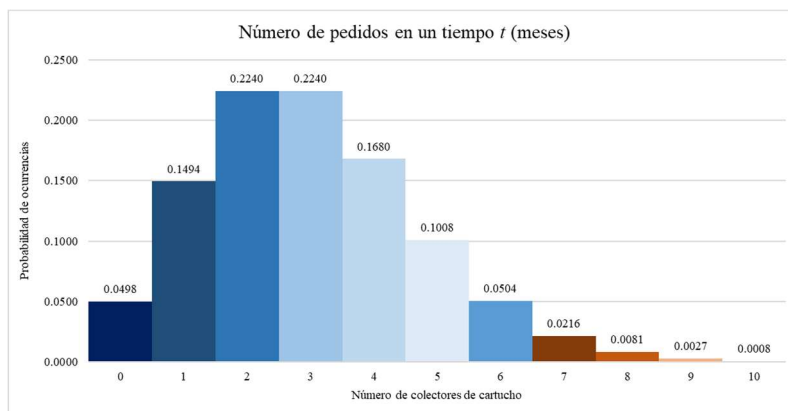


Fig. 14 Número de pedidos y su Ocurrencia en un tiempo t
Fuente: Elaboración propia

Para elaborar la gráfica, se utilizó la distribución de Poisson para modelar la probabilidad de que se realice cierto número de pedidos de colectores de cartucho en distintos periodos de tiempo, en este caso, meses. Ante la falta de datos, se asume que la demanda mensual sigue una distribución Poisson, ya que se trata de una demanda de productos de “baja rotación” [10]. En el eje x se muestra el número de colectores pedidos, mientras que en el eje y indica la probabilidad de que se realice esa cantidad de pedidos en un mes. La gráfica tiene una forma parecida a una campana de Gauss con un sesgo positivo, lo que refleja la naturaleza variable de la demanda de la empresa.

Se sigue la suposición de que el número de pedidos mensuales tiene una distribución de Poisson con una media de 3. Esta media se obtiene del comportamiento histórico de la empresa, donde se ha observado meses con demanda nula y meses con alta demanda que en conjunto equilibran la media general de 3 pedidos al mes.

Además, se consideró que el tiempo entre la llegada de órdenes sigue una distribución exponencial. Esto permite usar la distribución de Poisson para modelar cuántos pedidos se pueden esperar en un periodo de tiempo dado. Este enfoque proporciona una representación precisa de cómo varía la demanda, ayudando a la empresa a anticipar y planificar mejor en función de la probabilidad de recibir diferentes niveles de pedidos en sus operaciones.

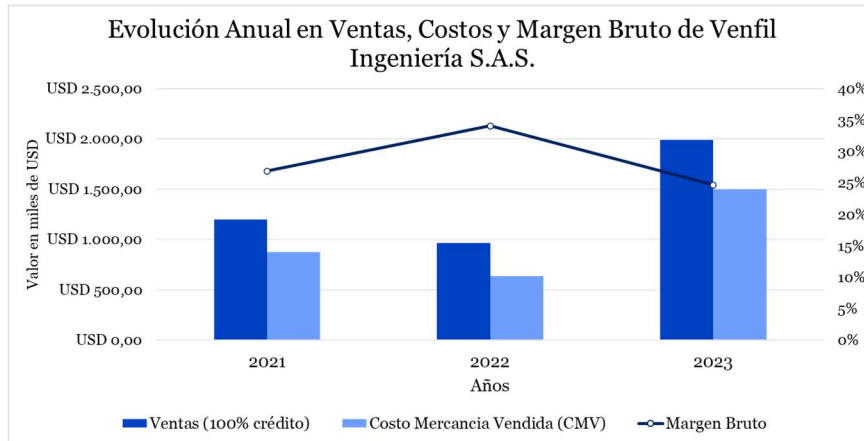


Fig. 15 Evolución Anual de Ventas, Costos y Margen Bruto
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Anexo 2.

En la Fig. 15 se logra observar que para el año 2023 la empresa duplicó sus ventas en comparación con los años anteriores, el incremento en los costos de productos fue también proporcionalmente mayor, lo que limitó la mejora en la utilidad bruta a pesar del aumento significativo en los ingresos. Este desajuste entre el aumento de ventas y el incremento de costos indica que el problema principal radica en la gestión de costos y no en la expansión de ventas.

Dado que la utilidad bruta no se ha incrementado en proporción al crecimiento de las ventas, es evidente que la empresa debe priorizar la optimización de los costos de producción. Implementar estrategias para reducir estos costos permitirá una mejora más eficiente en la rentabilidad y fortalecerá la posición financiera de la empresa. La focalización en la reducción de costos es crucial para lograr un crecimiento sostenible a largo plazo.

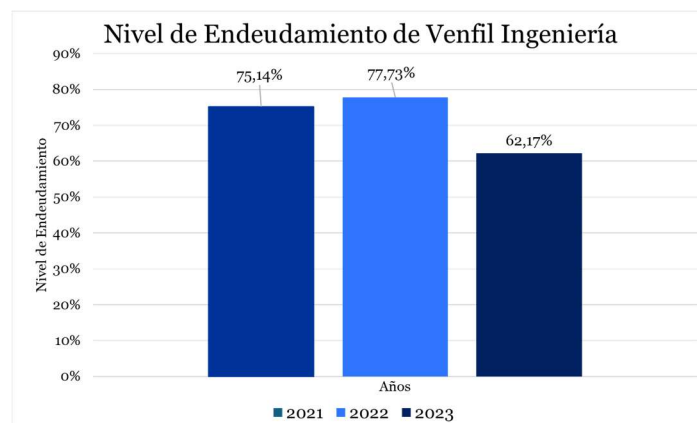


Fig. 16 Nivel de Endeudamiento Anual
Fuente: Elaboración propia

La gráfica del nivel de endeudamiento (Fig. 16) revela una evolución significativa en la estructura financiera de la empresa durante los últimos tres años. En 2021, el nivel de endeudamiento era del 75,14%, lo que significa una alta dependencia de financiamiento externo. Este porcentaje aumentó a 77,73% en 2022, indicando un incremento en la carga de deuda y un mayor riesgo financiero. Sin embargo, en 2023, se observó una notable reducción en el nivel de endeudamiento a

62,17%. Este descenso coincide con el año en el que la empresa logró el mayor margen bruto entre los tres años analizados, como se puede ver en la Fig. 17. Esta mejora en la utilidad bruta permitió a la empresa reducir su deuda de manera significativa.

Aunque la reducción en el nivel de endeudamiento refuerza la capacidad de afrontar desafíos financieros, es importante seguir reduciendo este indicador, con el fin de minimizar el riesgo financiero, optimizar la estructura de capital y asegurar una mayor estabilidad financiera a largo plazo.

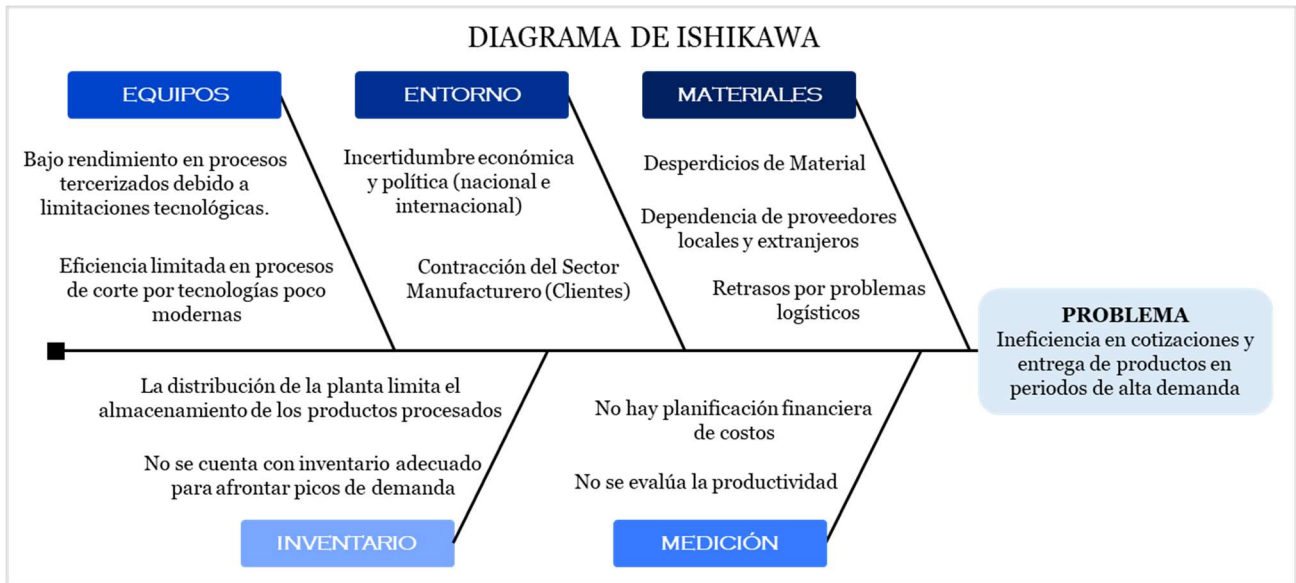


Fig. 17 Diagrama Ishikawa para análisis de causas
Fuente: Elaboración propia

Como herramienta para analizar la problemática presente en la empresa, se utilizó el diagrama de Ishikawa (Fig. 17). A través de este, se identifican aquellos aspectos que requieren mejoras estratégicas para optimizar el desempeño operativo de la empresa. El presente análisis tiene como objetivo identificar las decisiones que resultan complejas de tomar dentro del sistema actual de acuerdo con cada uno de los subsistemas del diagrama, para así evidenciar las mejoras que podrían lograrse mediante el rediseño de este. Esta evaluación permitirá comprender de manera integral las limitaciones existentes y cómo la implementación de un nuevo enfoque podría optimizar la eficiencia operacional.

Para gestionar la producción, desde la planeación se debe determinar de forma estratégica la cantidad colectores a producir en un periodo de tiempo específico, adicional a ello, todas las decisiones de planeación deben estar orientadas a la satisfacción de los clientes sin dejar de lado las necesidades propias de la empresa. Establecer el punto de desacoplamiento (CODP) óptimo para equilibrar la producción en serie con la personalización, y así apuntar a un flujo eficiente de productos es otro de los aspectos importantes a considerar. Decidir cómo gestionar los tiempos muertos, optimizar la secuencia de producción y establecer políticas de producción basadas en pronósticos de demanda, son esenciales para mejorar la capacidad de respuesta ante fluctuaciones en el mercado.

En cuanto a la mano de obra, una de las decisiones más complejas es la asignación eficiente de tareas a los operarios, especialmente en periodos de alta demanda. Esto incluye decidir si es necesario contratar personal adicional o capacitar el existente para que realicen múltiples tareas aumentando la flexibilidad en la producción. La redistribución de las áreas de trabajo es importante para reducir movimientos innecesarios, pues la falta de consolidación de estas puede impactar negativamente en la productividad de los trabajadores.

En lo que respecta a los materiales, las decisiones complejas incluyen determinar qué materiales deben mantenerse en inventario (MTS) y cuáles deben ser comprados bajo demanda (ATO). Además, se debe gestionar la cadena de suministro de materiales importados, que dependen de proveedores internacionales, y decidir cómo manejar los inventarios de seguridad para evitar tanto la escasez como el exceso de materiales.

En el contexto del entorno, las decisiones complejas incluyen cómo gestionar el impacto de las fluctuaciones económicas y políticas en la demanda y en los costos de producción, así como adaptarse a las normativas ambientales y de seguridad sin aumentar costos. Además, se debe manejar la incertidumbre en la demanda debido a la volatilidad del mercado. Para abordar estos desafíos, se pueden implementar sistemas de pronósticos de demanda más precisos, lo que permitiría anticipar cambios en el mercado y ajustar la producción. Establecer acuerdos a largo plazo con proveedores contribuiría a mitigar el impacto de las fluctuaciones económicas.

Las decisiones en el área de gestión y control de inventarios incluyen cómo implementar un sistema de control de inventarios eficiente que integre MTS y ATO, y cómo mejorar la precisión en las cotizaciones y la planificación financiera.

Además, se debe gestionar adecuadamente la información de producción y ventas para tomar decisiones estratégicas informadas.

D. Objetivos

1. Objetivo general

Rediseñar el sistema de producción de colectores de cartuchos en Venfil Ingeniería S.A.S. implementado una estrategia híbrida ATO/MTS para aumentar la capacidad de producción y su eficiencia.

2. Objetivos específicos

1. Definir qué componentes pueden ser producidos bajo una estrategia de inventarios MTS mediante un estudio de especificaciones técnicas de productos finales, listas de materiales y datos históricos de producción y ventas, para seleccionar las piezas que se mantendrían en inventario.
2. Diseñar un sistema de control de inventario bajo la estrategia MTS, articulado con la planificación de la producción, mediante el uso de modelos de inventario basados en la estimación de la demanda y los costos relevantes, así como la aplicación de técnicas que permitan optimizar los niveles de inventario, mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos totales del sistema híbrido ATO/MTS.
3. Cuantificar el impacto de la implementación del sistema de producción híbrido (ATO/MTS) a través de un análisis financiero y de operaciones utilizando modelos estocásticos y de simulación, con el fin de medir la viabilidad de su aplicación.
4. Definir los procedimientos del trabajo requerido para la aplicación del modelo MTS, con el fin de estandarizar el diseño planteado.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

En esta sección se examinan diversas alternativas para la introducción de un modelo *Make-to-Stock* (MTS) en Venfil Ingeniería S.A.S., con el fin de transformar su actual sistema *Assemble-to-Order* (ATO) en un sistema híbrido. Además, se analizan las implicaciones, ventajas y desventajas que trae consigo esta implementación. La literatura reciente sobre sistemas de producción híbridos destaca la integración de las estrategias MTS y ATO como una respuesta eficaz a la variabilidad de la demanda, permitiendo a las empresas gestionar la incertidumbre mientras optimizan la eficiencia en la administración de inventarios y mejoran la capacidad de respuesta a los clientes.

Esta combinación MTS/ATO equilibra la flexibilidad en la personalización de productos con la eficiencia operativa, al permitir la fabricación y almacenamiento anticipado de productos estandarizados, mientras que los pedidos personalizados se ensamblan bajo demanda. El uso de simulaciones y modelos de programación ha demostrado ser fundamentales para evaluar la viabilidad y optimización de estos sistemas híbridos. A continuación, se presenta un análisis de la literatura relevante, centrado en las metodologías empleadas por los autores para abordar los desafíos asociados a la implementación de estos sistemas.

- Metodologías de optimización: Programación Lineal Entera Mixta y Control Dinámico

El diseño de sistemas híbridos que combinan las estrategias ATO y MTS se ha convertido en un enfoque clave para optimizar la producción, gestionar la demanda cambiante y reducir los tiempos de entrega, en [11] se propuso un modelo de optimización basado en la programación lineal entera mixta (MILP) para definir políticas Push/Pull en entornos ATO. Este modelo equilibra el uso del espacio de almacenamiento y los tiempos de preparación, proporcionando una solución eficiente para gestionar piezas en sistemas de producción con una gran variedad de componentes y espacio limitado. El estudio de caso realizado en una fábrica italiana mostró que una política híbrida basada en MTS y MTO redujo considerablemente el espacio de almacenamiento necesario y los tiempos de configuración, una solución aplicable a Venfil S.A.S., donde la optimización de estos factores podría mejorar la producción de colectores de cartuchos y reducir los costos operativos.

Por otro lado, en [12] los autores desarrollaron un modelo de decisión basado también en la programación lineal entera mixta para gestionar un sistema de producción-inventario híbrido bajo condiciones de demanda incierta. Este modelo se estructura en dos fases: primero, se determina la cantidad de productos y componentes que se deben producir antes de que se revele la demanda; luego, se ajusta la asignación de componentes para personalizar los productos en función de la demanda real. Esta metodología es de gran relevancia para el proyecto de Venfil S.A.S., ya que permite la planificación y producción anticipada de componentes comunes, mientras se mantiene la flexibilidad para ensamblar productos personalizados según demanda, minimizando el exceso de inventario y optimizando los tiempos de entrega.

Xiong et al. [13] desarrollaron un modelo híbrido de MTS/MTO en un entorno de comercio de emisiones, utilizando programación matemática para minimizar los costos de producción y manejo de inventarios en sistemas de producción bajo límites de emisiones de carbono. Este enfoque es relevante para Venfil S.A.S., ya que demuestra cómo una estrategia híbrida

puede optimizar no solo los costos operativos sino también las emisiones, algo que podría implementarse en industrias preocupadas por el impacto ambiental.

- *Simulación de sistemas productos: Eventos discretos y ajustes dinámicos*

La simulación ha emergido como una herramienta indispensable para validar la viabilidad de sistemas híbridos de producción. Renna [14], utilizó simulación de eventos discretos para evaluar el rendimiento de sistemas MTS-MTO. Sus resultados indicaron que la revisión periódica del punto de desacoplamiento es la estrategia más eficaz en entornos con alta demanda, mientras que la revisión continua ofrece mayor flexibilidad en escenarios de demanda fluctuante. Esta metodología es especialmente relevante para Venfil S.A.S., ya que la implementación de revisiones periódicas podría ayudar a optimizar los tiempos de respuesta y reducir los costos asociados con la acumulación de inventarios.

Costa et al. [15] evaluaron varios modelos de liberación de órdenes en un entorno híbrido MTO/MTS con cuellos de botella. Los resultados indicaron que la elección del modelo de liberación cambia dependiendo de la severidad del cuello de botella y la estrategia de control. Este estudio aporta una nueva dimensión al control de inventario y la gestión de cuellos de botella en Venfil S.A.S., donde el flujo de trabajo puede optimizarse considerando la complejidad del sistema productivo.

- *Control de inventarios y decisiones del punto de desacoplamiento*

La correcta gestión de inventarios es crítica para la eficiencia operativa en sistemas productivos híbridos. Ghasemi et al. [16] propusieron un modelo que combina MTS, MTO y la gestión de inventario por parte del proveedor (VMI) en una cadena de suministro multinivel. Este enfoque permite asignar diferentes estrategias de producción a los clientes según el volumen de sus pedidos, optimizando la capacidad productiva y reduciendo costos asociados con pedidos no cumplidos. Este modelo es particularmente relevante para Venfil S.A.S., ya que podría facilitar la asignación de recursos de producción y almacenamiento en función de las necesidades de sus clientes, maximizando la eficiencia operativa en la producción de colectores.

Otro aspecto clave en la optimización de inventarios es la correcta identificación del punto de desacoplamiento de los pedidos del cliente (CODP). En [187 Lin et al. analizaron la dinámica del control de inventarios y de la producción en sistemas ATO, destacando la importancia de mantener un nivel adecuado de inventario en el CODP para minimizar la variabilidad en los tiempos de entrega. Este enfoque es vital para Venfil S.A.S., ya que su sistema actual de ATO presenta desafíos en cuanto a la falta de inventario, lo que alarga los tiempos de entrega. Al incorporar una estrategia MTS/ATO y gestionar eficientemente el inventario en el CODP, Venfil podría reducir significativamente los tiempos de respuesta y los costos asociados a la inactividad.

Fiems et al. [18] realizaron un análisis de rendimiento de sistemas híbridos MTS/MTO bajo demanda y producción estocástica. Implementaron un modelo que utiliza inventario de desacoplamiento para manejar productos semiterminados, permitiendo personalizar la producción cuando llegan los pedidos. Este modelo de gestión del punto de desacoplamiento (CODP) podría ser particularmente útil para Venfil S.A.S., mejorando la eficiencia en la gestión de inventarios en un entorno de demanda fluctuante.

- *Aplicaciones en la industria: Estudios de caso y estandarización de procesos.*

Un estudio realizado por Escobar Jaramillo [19] en una empresa metalmeccánica de Manizales destacó la importancia de la estandarización de procedimientos para gestionar entornos híbridos MTS/MTO. Utilizando el Proceso Analítico Jerárquico de Ordenación Grupal (GAHPO) y simulaciones de eventos discretos, se optimizó la secuenciación de la producción, mejorando tanto la eficiencia en el control de inventarios MTS como el nivel de servicio para productos fabricados bajo demanda. Para Venfil S.A.S., la implementación de un enfoque similar permitiría estandarizar procedimientos y definir qué componentes deberían mantenerse en inventario, aprovechando los datos históricos de ventas y la demanda proyectada para ajustar dinámicamente el flujo de producción.

En conclusión, la revisión de la literatura evidencia que los sistemas híbridos ATO/MTS representan una solución efectiva para mejorar tanto la capacidad de respuesta como la optimización de costos operativos en entornos productivos. La aplicación de modelos de programación lineal entera mixta y simulaciones de eventos discretos resulta esencial para validar la viabilidad y eficiencia de estos sistemas, tal como se requiere en el contexto de Venfil S.A.S. Además, una gestión adecuada de inventarios, junto con una estrategia dinámica de desacoplamiento de pedidos, permitiría a la empresa optimizar la producción de colectores de cartuchos, mejorando significativamente los tiempos de entrega y reduciendo los costos derivados de la inactividad y la acumulación de inventarios.

III. DISEÑO CONCEPTUAL Y PRELIMINAR

A. Requerimientos

Para el diseño o rediseño de un sistema productivo es de vital importancia considerar todos los aspectos que puedan incidir en la viabilidad del proyecto, de lo contrario, se corre el riesgo de omitir información importante que ponga en peligro

el desempeño del sistema una vez los cambios sean implementados, o que no se satisfagan las necesidades de los clientes del proyecto. Así pues, se reconoce la importancia de recurrir a herramientas que permitan comprender las necesidades o características deseadas, al igual que las limitaciones a las cuales debe adaptarse el diseño. En el rediseño del sistema productivo de los colectores de cartucho, es relevante considerar desde los aspectos técnicos, económicos y sociales que involucren no solo los clientes internos sino también los clientes externos.

1. Fijación de requerimientos del cliente

De acuerdo con el PMBOK® (Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos), un requerimiento es una condición o capacidad que un sistema, producto, servicio, resultado o componente debe satisfacer o poseer para cumplir con un contrato, norma, especificación u otros documentos formalmente impuestos. Los requisitos incluyen las necesidades, deseos y expectativas cuantificadas y documentadas del patrocinador, del cliente y de otros interesados [20]. Por tanto, la definición de los requerimientos de los clientes es de vital importancia porque es el vínculo entre los objetivos del proyecto y la solución que se presentará.

Para el rediseño del sistema de manufactura de los colectores de cartuchos bajo un enfoque híbrido ATO/MTS, fue crucial identificar las necesidades, deseos y expectativas de los grupos interesados. Se realizaron entrevistas con los principales stakeholders, lo que permitió definir aspectos comunes clave, como Buenas Prácticas, Factores Económicos, Factores de Servicio y Factores de Infraestructura. Para una mejor comprensión de estos requerimientos, se construyó un árbol de objetivos (Fig. 18) que ilustra claramente las principales necesidades de los clientes.

Las restricciones de diseño están directamente vinculadas con los factores económicos, de servicio, y de infraestructura que afectan la implementación del sistema productivo híbrido ATO/MTS en la fabricación de los colectores. Las restricciones económicas, las más relevantes para los inversores y gerentes de Venfil S.A.S., exigen que los costos operativos se mantengan bajos durante todo el proceso productivo, sin que ello implique sobrecostos innecesarios. Para garantizar esto, las cotizaciones de colectores deben ser precisas y competitivas. Subestimaciones pueden conducir a pérdidas financieras, mientras que sobreestimaciones podrían hacer que los productos pierdan competitividad en el mercado.

Otro aspecto crucial es la inversión en nuevas tecnologías y maquinaria. Específicamente, la adquisición de equipos de corte y soldadura será necesaria para mejorar la eficiencia operativa, reducir tiempos de producción y minimizar el desperdicio de materiales. Esto está alineado con los objetivos de reducción de desperdicios y optimización de procesos, que influyen directamente en la rentabilidad de la empresa y la satisfacción de los directivos.

En términos de restricciones de servicio, la flexibilidad del sistema para adaptarse a las variaciones en la demanda es fundamental. Los clientes esperan tanto calidad como rapidez en la entrega, lo que implica que el sistema híbrido ATO/MTS debe ser lo suficientemente ágil para responder a cambios en los volúmenes de producción sin comprometer los niveles de servicio. Esto asegura que la empresa mantenga relaciones comerciales sólidas y su reputación en el mercado.

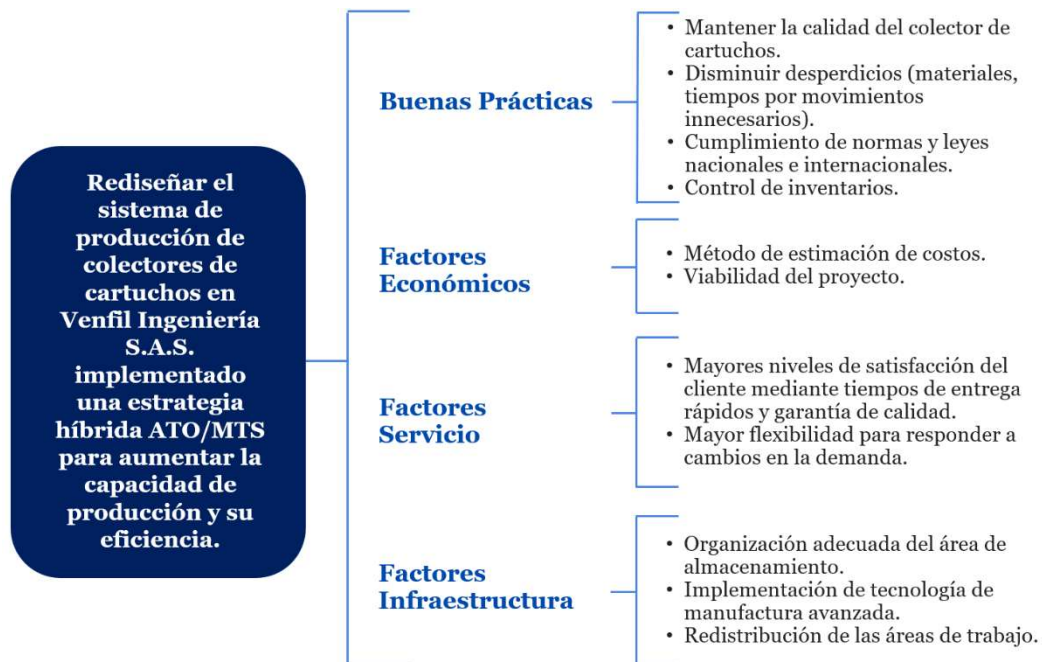


Fig. 18 Árbol de objetivos
Fuente: Elaboración propia

Desde una perspectiva de infraestructura y ergonomía, uno de los mayores retos será la redistribución de las áreas de trabajo. Las zonas actuales de producción no están claramente definidas, lo que afecta la eficiencia y aumenta los tiempos muertos. Será necesario reorganizar las áreas de producción para optimizar el flujo de trabajo y adaptar la planta al sistema híbrido. A su vez, debe considerarse el bienestar de los operarios. La reducción de distancias en las distintas fases de fabricación mejorará la comodidad de los empleados y reducirá la fatiga, lo cual es crítico dado el impacto directo de los factores ergonómicos en la productividad.

Además, el sistema MTS incrementará los niveles de inventario, lo que exige una planificación adecuada para evitar problemas de almacenamiento. La gestión eficiente del espacio será clave para reducir costos logísticos y mantener la operación fluida sin obstrucciones.

Como complemento a los factores identificados en el árbol de objetivos, es igualmente esencial abordar dos elementos clave que influyen directamente en el éxito del rediseño del sistema: Restricciones de diseño (Factibilidad) y Leyes, normas y estándares (Buenas prácticas). Las restricciones de diseño son aquellas limitaciones de carácter económico, social y ambiental que podrían condicionar la creación e implementación de una solución óptima al problema identificado. Por ello, es crucial preguntarse qué barreras podrían impedir alcanzar la mejor solución. De igual forma, las leyes, normas y estándares representan el marco regulatorio que debe cumplirse para asegurar la viabilidad y sostenibilidad del diseño, tanto a nivel legal como en términos de buenas prácticas industriales.

1.1 Restricciones de Diseño (Factibilidad)

Las restricciones de diseño están directamente vinculadas con los factores económicos, de servicio, y de infraestructura que afectan la implementación del sistema productivo híbrido ATO/MTS en la fabricación de colectores de cartuchos. Las restricciones económicas, las más relevantes para los inversores y gerentes de Venfil S.A.S., exigen que los costos operativos se mantengan bajos durante todo el proceso productivo, sin que ello implique sobrecostos innecesarios. Para garantizar esto, las cotizaciones de colectores deben ser precisas y competitivas. Subestimaciones pueden conducir a pérdidas financieras, mientras que sobreestimaciones podrían hacer que los productos pierdan competitividad en el mercado.

Otro aspecto crucial es la inversión en nuevas tecnologías y maquinaria. Específicamente, la adquisición de equipos de corte y soldadura será necesaria para mejorar la eficiencia operativa, reducir tiempos de producción y minimizar el desperdicio de materiales. Esto está alineado con los objetivos de reducción de desperdicios y optimización de procesos, que influyen directamente en la rentabilidad de la empresa y la satisfacción de los directivos.

En términos de restricciones de servicio, la flexibilidad del sistema para adaptarse a las variaciones en la demanda es fundamental. Los clientes esperan tanto calidad como rapidez en la entrega, lo que implica que el sistema híbrido ATO/MTS debe ser lo suficientemente ágil para responder a cambios en los volúmenes de producción sin comprometer los niveles de servicio. Esto asegura que la empresa mantenga relaciones comerciales sólidas y su reputación en el mercado.

Desde una perspectiva de infraestructura y ergonomía, uno de los mayores retos será la redistribución de las áreas de trabajo. Las zonas actuales de producción no están claramente definidas, lo que afecta la eficiencia y aumenta los tiempos muertos. Será necesario reorganizar las áreas de producción para optimizar el flujo de trabajo y adaptar la planta al sistema híbrido. A su vez, debe considerarse el bienestar de los operarios. La reducción de distancias en las distintas fases de fabricación mejorará la comodidad de los empleados y reducirá la fatiga, lo cual es crítico dado el impacto directo de los factores ergonómicos en la productividad.

Además, el sistema MTS incrementará los niveles de inventario, lo que exige una planificación adecuada para evitar problemas de almacenamiento. La gestión eficiente del espacio será clave para reducir costos logísticos y mantener la operación fluida sin obstrucciones.

1.2 Leyes, normas y estándares (Buenas prácticas)

Las restricciones asociadas a la calidad del producto están directamente ligadas a las leyes, normas y estándares que debe cumplir Venfil S.A.S. Al operar en un mercado internacional, la empresa debe cumplir diversas regulaciones para garantizar la calidad de sus productos y mantener su competitividad en la industria de soluciones para la polución. Por lo tanto, con la implementación de la nueva propuesta de sistema híbrido, es crucial que se mantenga el mismo nivel de calidad para no solo asegurar la acreditación de las siguientes normas técnicas, sino también para proteger la reputación de la empresa como líder en calidad:

- i. BPM INVIMA - Establece las Buenas Prácticas de Manufactura, asegurando que los productos cumplan con los estándares de calidad y seguridad requeridos.
- ii. OSHA - La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional se encarga de garantizar condiciones laborales seguras y saludables, lo que es fundamental para la producción y el bienestar de los empleados.
- iii. ACGIH - Esta organización promueve normas de salud ocupacional, incluyendo límites de exposición y directrices sobre contaminantes en el ambiente laboral.

- iv. SMACNA - Proporciona estándares para la fabricación e instalación de sistemas de control de aire, lo que es particularmente relevante para los colectores de cartuchos.
- v. NFPA - La Asociación Nacional de Protección contra Incendios establece normas de seguridad contra incendios que deben cumplirse en la producción y el diseño de equipos industriales.
- vi. AMCA International - La Asociación de Fabricantes de Control de Aire proporciona estándares para la eficiencia y el rendimiento de los sistemas de ventilación y filtración.

Es esencial que la nueva propuesta no solo cumpla con estas normativas, sino que también se incorpore una cultura de mejora continua que permita a Venfil S.A.S. adaptarse a futuros cambios en las regulaciones y estándares de la industria. Esto asegurará no solo la viabilidad del sistema híbrido ATO/MTS, sino también la confianza de los clientes en la calidad y seguridad de los productos ofrecidos.

2. Análisis funcional

El análisis funcional del sistema de producción de Venfil Ingeniería S.A.S., tiene como objetivo identificar y describir las acciones necesarias para el funcionamiento eficiente de la fabricación de colectores. En la situación actual mostrada en la Fig. 19 el proceso comienza con la cotización de la solución requerida por el cliente, lo cual toma alrededor de dos semanas debido a la naturaleza personalizada de los colectores de cartucho. Durante esta fase, se analizan las necesidades del cliente y se define la solución más adecuada, incluyendo detalles técnicos y económicos.

Tan pronto el cliente aprueba la cotización se formaliza el pedido y se especifican los requerimientos de diseño. Estos incluyen la selección de los ventiladores adecuados, la potencia del motor, el material de la estructura, el tipo de pintura y la cantidad de filtros que tendrá el colector. Con esto, se elabora la lista de materiales necesaria y se gestionan las órdenes de compra correspondientes. Estas órdenes incluyen tanto la adquisición de MP como la contratación de servicios tercerizados, como el corte y doblado de láminas de metal.

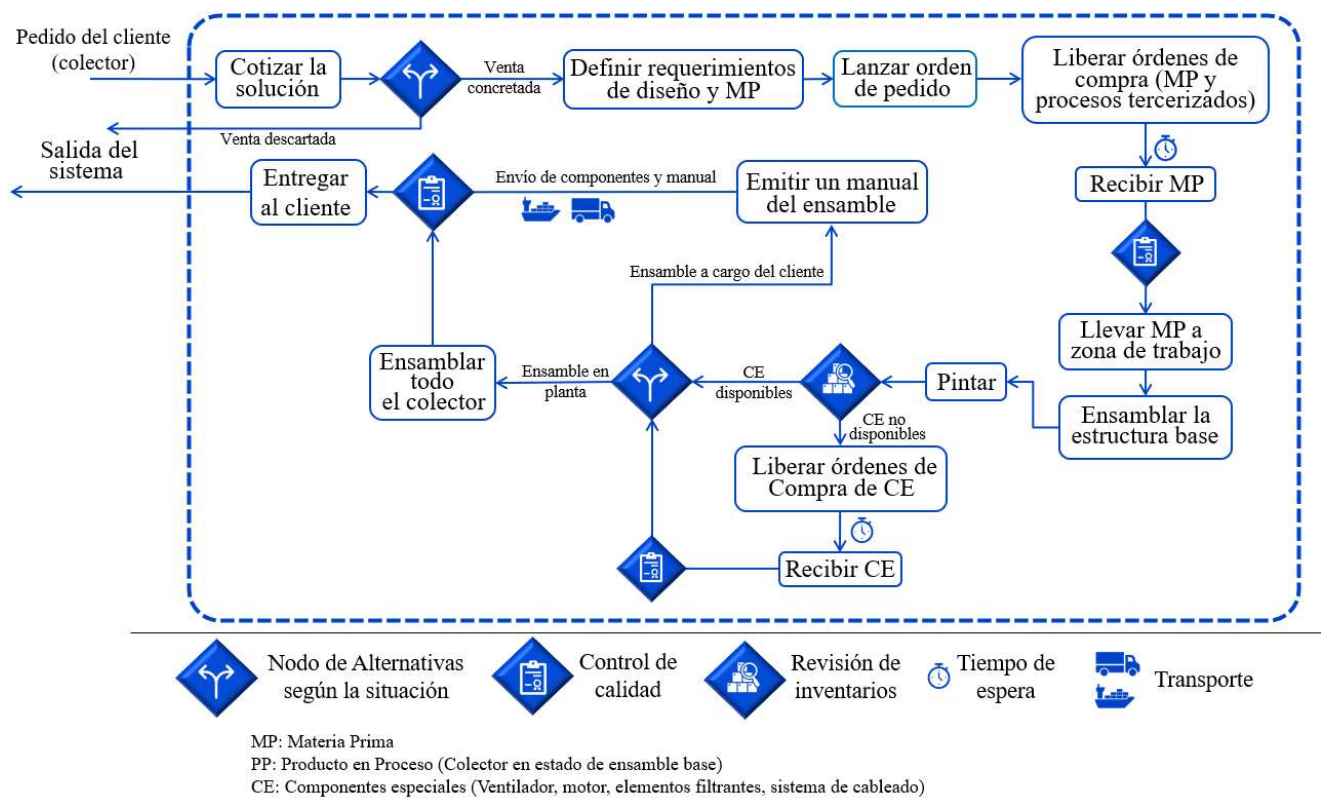


Fig. 19 Caja transparente del sistema productivo actual
Fuente: Elaboración propia

Una vez recibidos los materiales, comienza la fase de ensamblaje de la estructura del colector. Después del ensamblaje inicial, la estructura pasa por el proceso de pintura, el cual puede realizarse en la planta de Venfil en el área especializada para esta tarea. Sin embargo, si el cliente requiere un tipo de pintura específico, el proceso puede ser subcontratado a terceros.

Tras el pintado de la estructura, se procede a la instalación de los elementos filtrantes y el ventilador, además de la instalación del sistema de cableado. Cada uno de estos pasos se lleva a cabo con atención a los estándares de calidad establecidos para asegurar que el colector cumpla con las expectativas del cliente y funcione de manera óptima. El enfoque

actual permite adaptar el proceso de producción a las necesidades específicas de cada proyecto, asegurando que las piezas y componentes sean ensamblados de acuerdo con las especificaciones técnicas solicitadas.

En la situación propuesta (Fig. 20), si bien se conserva el sistema pull (ATO) en el que una vez ha sido concretada la orden de pedido del cliente se procede a la fabricación del equipo, el tiempo transcurrido entre el lanzamiento del pedido y el proceso de pintura podrá ser más corto. Esto se debe a que, el componente MTS del sistema no va a depender de las órdenes de pedido, sino que, en los tiempos disponibles, que suelen ser por la espera de componentes importados o procesos tercerizados, se van a fabricar de forma regular los modelos de los colectores según un pronóstico, y habrá disponibilidad de estos para posteriormente terminar de modificar el equipo (colector) de acuerdo con las especificaciones del cliente (ATO). Así pues, ante la llegada de un pedido (colector), siempre que se tenga inventario del ensamble base del colector se puede pasar directamente al punto de desacoplamiento (CODP), es decir, se toma el colector del inventario y se continúa con el proceso de fabricación. En el diseño propuesto, la pintura del colector se proyecta después del CODP para considerar los casos en los que se requieran procesos de pintado especializados.

Para el sistema push, se debe disponer de una política de control de inventarios que le permita conocer al encargado de la producción qué materiales, piezas y/o componentes tiene en inventario y en qué cantidades. Con dicha información, y de acuerdo con la política de reabastecimiento que se tenga implementada, el encargado deberá identificar las piezas del sistema MTS que estén por debajo de su punto de reorden y proceder con su fabricación siempre y cuando cuenten con el tiempo y recursos disponibles. Un aspecto que es importante recalcar, es que la prioridad de la producción va a ser dirigida a los proyectos activos, y lo que se pretende es aprovechar los tiempos muertos o de espera que se presenten durante el desarrollo de dichos proyectos, dedicando dichos tiempos a la producción MTS.

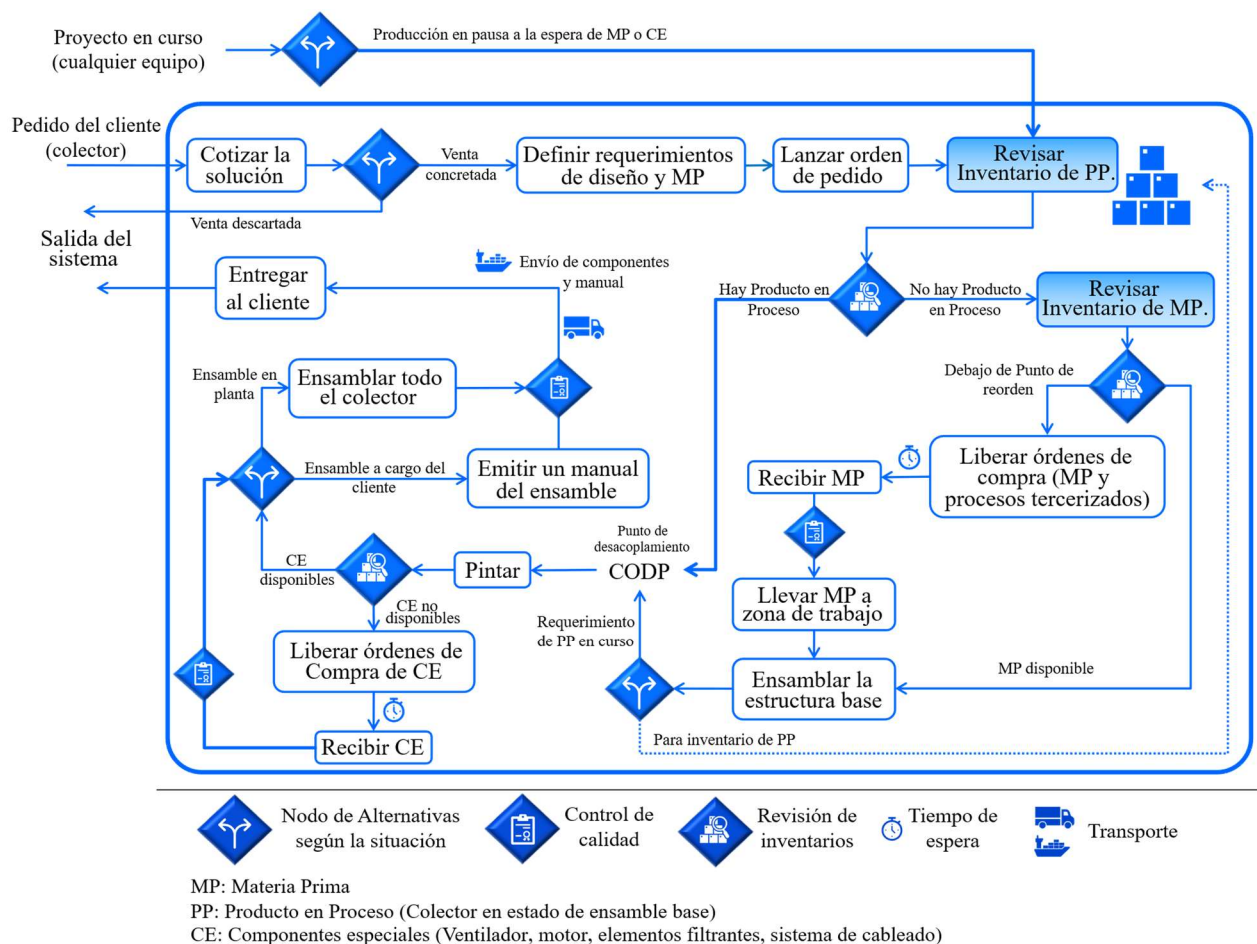


Fig. 20 Caja transparente del sistema productivo propuesto
Fuente: elaboración propia

Finalmente, una vez elaborados el árbol de objetivos, la definición de los requerimientos de diseño, la identificación de las leyes y normas aplicables, y el análisis funcional del sistema propuesto, es fundamental consolidar los requerimientos del cliente y alinearlos con los objetivos específicos del proyecto para garantizar una comprensión integral de estos elementos. En la tabla IV, se presentan todos los objetivos específicos del proyecto junto a los requerimientos del cliente a los que cada uno de ellos responde. Esta estructura permite visualizar de manera clara cómo cada objetivo específico contribuye a satisfacer las expectativas del cliente, facilitando así la identificación de prioridades y la alineación de esfuerzos en el desarrollo del sistema de producción híbrido ATO/MTS.

Tabla IV Listado de Cross Requerimientos de diseño

Objetivos	Requerimientos del cliente
<p>1. Analizar los componentes que puedes ser producidos bajo una estrategia MTS mediante un estudio de especificaciones técnicas de productos finales, listas de materiales y datos históricos de producción y ventas, para identificar las piezas que se mantendrían en inventario.</p>	<p>Flexibilidad en las opciones de personalización: Identificar los componentes que se pueden tener en inventario y los que se deben producir con el requerimiento del cliente estándar para mantener flexibilidad en la personalización.</p> <p>Calidad consistente del producto: Asegurar que los componentes seleccionados cumplan con las especificaciones de calidad establecidas.</p>
<p>2. Determinar el sistema de control de inventario MTS y sus parámetros mediante la aplicación de modelos de inventario basados en la estimación de parámetros de demanda y costos asociados al sistema ATO, para minimizar los costos relevantes.</p>	<p>Bajos costos operativos: Optimizar costos de inventario seleccionando un sistema de control adecuado.</p> <p>Alta capacidad de respuesta a la demanda: Diseñar un sistema de inventario que permita responder rápidamente a variaciones en la demanda.</p>
<p>3. Validar el impacto de la implementación del sistema de producción híbrido (ATO/MTS) a través de un análisis financiero y de operaciones utilizando modelos estocásticos y de simulación, con el fin de determinar la viabilidad de su aplicación.</p>	<p>Inversión en maquinaria: Evaluar si la inversión en el sistema híbrido es viable y genera valor.</p> <p>Entrega rápida y confiable: Analizar si el modelo híbrido menora los tiempos de respuesta en la entrega.</p>
<p>4. Definir los procedimientos del trabajo requerido para la aplicación del modelo MTS, con el fin de estandarizar el diseño planteado.</p>	<p>Redistribución de planta: Estandarizar procedimientos que consideren la reorganización de espacios en la planta.</p>

3. Determinación de características de ingeniería

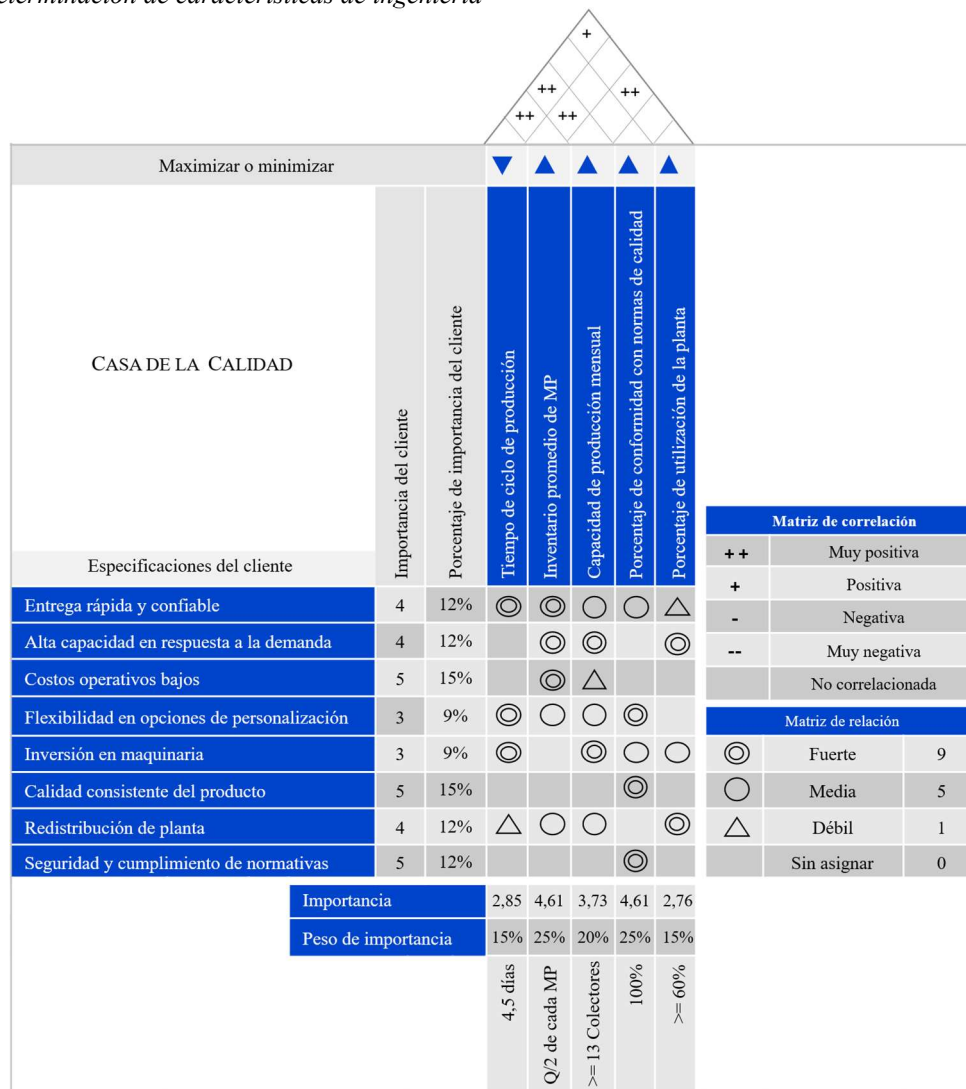


Fig. 21 Matriz QFD. Fuente: Elaboración propia

En la determinación de características de ingeniería, la herramienta *Quality Function Deployment (QFD)* ayuda con la traducción de las especificaciones del cliente en características de diseño concretas. El análisis muestra una alineación clara entre las necesidades de los clientes y las características técnicas del sistema propuesto. Los factores clave incluyen mejoras en la calidad del producto, reducción de desperdicios, cumplimiento normativo y flexibilidad ante variaciones de demanda. La calidad del colector es fundamental, no solo para cumplir con normativas internacionales sino también para mantener la competitividad en el mercado. Además, la reducción de desperdicios y movimientos innecesarios apunta a una mayor eficiencia operativa, lo que impacta directamente en la reducción de costos y mejora de la productividad.

A partir de los resultados arrojados por la Matriz QFD (Fig. 21), todos los requerimientos de diseño son relevantes, aunque se debe prestar especial atención al inventario promedio de MP, el porcentaje de conformidad con normas de calidad, que se pretende sea del 100% y la capacidad de producción mensual para que sean más de 13 colectores.

B. Exploración de ideas y selección de alternativa

Después de definir los requisitos específicos de los clientes y las correspondientes especificaciones de diseño, se identificaron fases clave (Fig. 22) que se alinean con la propuesta planteada anteriormente en el análisis funcional y que van a requerir intervención, desde la recepción de pedidos hasta la entrega del producto final. Con el propósito de abordar las demandas del sistema productivo híbrido, se exploraron alternativas de solución enfocadas en optimizar el desempeño de Venfil Ingeniería S.A.S. En este apartado, se presentan opciones que buscan mejorar el sistema productivo actual, con el objetivo de identificar la alternativa que mejor se adapte a las necesidades de la empresa.



Fig. 22 Fases del sistema productivo.
Fuente: Elaboración propia

1. Exploración y selección

1.1 Alternativas de solución

Después de haber definidos los requerimientos de los clientes y los de diseño, es preciso indagar sobre potenciales alternativas que permitan alcanzar la solución o estado del sistema deseado. Así pues, se optó por utilizar una matriz morfológica como herramienta sistemática y flexible que permite generar múltiples soluciones a partir de alternativas concretas para cada elemento del sistema. De este modo, la matriz facilita la descomposición de problemas complejos en componentes específicos, lo que a su vez brinda la posibilidad de explorar un amplio espectro de alternativas particulares que contribuyan al desarrollo de una solución completa.

En este orden de ideas, la tabla V muestra el desarrollo de la matriz morfológica. Para su elaboración, primero se definieron las fases o áreas específicas del sistema híbrido propuesto, teniendo en cuenta el análisis funcional desarrollado previamente. El principio de la matriz es proponer y evaluar posibles combinaciones de soluciones para cada uno de los componentes críticos que conforman el sistema híbrido del proceso productivo en cuestión, para ello, se consideraron elementos relacionados con la matriz QFD, como las especificaciones del cliente y los respectivos requerimientos de diseño.

Tabla V Matriz Morfológica

SOLUCIONES						ÁREAS						
	1	2	3	4	5	6	7	CLASIFICACIÓN DE MP	CONTROL DE INVENTARIO	DISTRIBUCIÓN DE PLANTA	SISTEMA DE COSTEO	ANÁLISIS DE INVERSIÓN EN TEC
	1							Implementar un sistema de clasificación ABC para materias primas y productos terminados, priorizando recursos en función de su valor y frecuencia de uso.	Aplicar un sistema de Revisión Continua (s,Q) para componentes críticos, asegurando niveles óptimos de inventario y reduciendo riesgos de desabastecimiento.	Utilizar Diseño Celular para agrupar estaciones de trabajo según familias de productos, reduciendo tiempos de transporte y facilitando la producción en lotes.	Implementar Costeo Basado en Actividades (ABC) para asignar costos indirectos en función de los procesos que consumen más recursos.	Realizar un Análisis Costo-Beneficio para evaluar la compra de maquinaria automatizada, considerando ahorros en mano de obra y reducción de tiempos.
	2							Clasificación XYZ basada en la volatilidad de la demanda: X para demanda estable, Y para moderada y Z para volátil.	Implementar el modelo Just-In-Time (JIT), acompañado de Kanban para el flujo de materiales según demanda de producción, minimizando inventarios.	Adoptar una Distribución por producto para organizar áreas de trabajo en función de los productos.	Utilizar el Costeo Directo para enfocar los costos en materiales y mano de obra directa, facilitando la toma de decisiones rápidas en precios.	Emplear Simulación de Monte Carlo para analizar escenarios de retorno de inversión bajo diferentes condiciones de mercado y demanda.
	3							Implementar un sistema de clasificación Pareto para identificar el 20% de materiales que representan el 80% del valor total, optimizando recursos.	Utilizar una política de Revisión Periódica (R,S) para productos de bajo valor, revisando inventarios a intervalos regulares para minimizar costos.	Emplear el método SLP (Systematic Layout Planning) para mejorar la disposición de la planta mediante análisis de relaciones entre áreas de trabajo.	Aplicar Costeo Basado en Actividades (ABC) combinado con Costeo Total para capturar todos los costos del ciclo de vida de los productos.	Realizar Simulación de Eventos Discretos con software como FlexSim para evaluar el impacto operativo de la nueva tecnología antes de la implementación.
	4							Utilizar Clasificación de Kraljic para segmentar materiales en función del riesgo de suministro y el impacto en el costo, orientando estrategias de compra.	Aplicar una estrategia de Inventario de Seguridad para componentes críticos y minimizar el riesgo de escasez.	Implementar CORELAP para distribuir la planta según el flujo de producción óptimo, minimizando las distancias de transporte.	Utilizar un Costeo por Órdenes de Producción en procesos que requieren alta personalización, calculando los costos por cada pedido.	Realizar un Análisis de Opciones Reales para evaluar la flexibilidad de la tecnología ante cambios en demanda y capacidad de expansión.
	5							Aplicar la Clasificación 80/20 para enfocarse en el 20% de materiales con mayor impacto en costos de producción.	Utilizar el modelo Base-Stock para mantener niveles fijos de inventario en componentes con alta variabilidad de demanda.	Aplicar el método ALDEP (Automated Layout Design Program) para optimizar el espacio considerando limitaciones de la planta y flujo de materiales.	Emplear el Costeo por Proceso para empresas que trabajan con productos estandarizados, optimizando los costos por cada fase de producción.	Implementar un Análisis de Impacto Operacional utilizando simulación para proyectar mejoras en tiempos de ciclo y capacidad de producción.
	6							HML: clasificación en High, Medium, Low según el precio de los materiales.	MRP (Material Requirements Planning) para planificación de materiales en función de la demanda.	Distribución en U para minimizar tiempos de transporte y mejorar la ergonomía.	Costeo Absorbente para asignar costos fijos y variables.	Valor Presente Neto (VPN) para calcular el valor actual de los beneficios futuros de la inversión en tecnología.
	7							FSN: clasificación en Fast, Slow, Non-moving según la velocidad de movimiento de los materiales.	EOQ (Economic Order Quantity) para determinar el tamaño óptimo de pedido, equilibrando costos de orden y de inventario.	Distribución por proceso para organiza los equipos y maquinarias en una misma área.	Costeo Estándar para productos repetitivos, estandarizando costos y facilitando la comparación de rendimientos.	Tasa Interna de Retorno (TIR) para evaluar la rentabilidad de la inversión en términos de tasa de retorno esperada.

En la primera matriz (tabla V) se dejan enunciadas todas las posibles soluciones a cada área, mientras que en la segunda matriz (tabla VI) se muestran número específicos que representan la relación de cada área con su respectiva solución, es decir, la nomenclatura M2,1 hace referencia a la alternativa propuesta con la solución 6 para el área de clasificación de MP (área 1). Dicha nomenclatura permitirá posteriormente plantear de forma sencilla la comparación entre las rutas de solución.

Cada alternativa fue comparada respecto a estos criterios bajo un Proceso Analítico Jerárquico (AHP por sus siglas en inglés), y la alternativa con el puntaje más alto en la matriz AHP fue seleccionada como la más adecuada.

Tabla VI Matriz Morfológica – Nomenclatura de alternativas

Matriz Morfológica					
	Clasificación de Materia Prima	Control de Inventario	Distribución de la Planta	Sistema de Costeo	Análisis de Inversión de Tecnología
Solución 1	M1,1	M1,2	M1,3	M1,4	M1,5
Solución 2	M2,1	M2,2	M2,3	M2,4	M2,5
Solución 3	M3,1	M3,2	M3,3	M3,4	M3,5
Solución 4	M4,1	M4,2	M4,3	M4,4	M4,5
Solución 5	M5,1	M5,2	M5,3	M5,4	M5,5
Solución 6	M6,1	M6,2	M6,3	M6,4	M6,5
Solución 7	M7,1	M7,2	M7,3	M7,4	M7,5

Una vez aclarado el sistema productivo que se planea intervenir, se desarrollaron cuatro alternativas de solución que se puedan implementar en el proceso productivo y permitan alcanzar el sistema híbrido deseado. Estas alternativas resultaron de la combinación entre las diferentes opciones de solución para cada área como se puede observar más adelante en la tabla VII. En dichas alternativas se consideraron factores como la eficiencia de la solución propuesta, la facilidad de implementación, la compatibilidad con los sistemas actuales y el grado de automatización del proceso. Para la selección de la mejor alternativa de solución dentro del rediseño del sistema híbrido, se emplearon dos metodologías de análisis: la *Ponderación Lineal Normalizada* (SN) y el *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Se optó por utilizar ambos enfoques para reforzar la solidez de la decisión y evitar que la elección dependa exclusivamente de un solo método.

El primer método aplicado fue la ponderación lineal normalizada, el cual consiste en asignar valores a cada criterio de evaluación según su importancia y posteriormente ponderar las calificaciones de cada alternativa. Los respectivos criterios que se tuvieron en cuenta son descritos a continuación.

1.2 Criterios de evaluación

- **Costo:** Evalúa el costo de implementación de cada alternativa.
- **Mantenimiento y Facilidad de Uso:** Considera qué tan fácil es operar y mantener la solución a largo plazo.
- **Facilidad de Implementación:** Evalúa el grado de complejidad en la implementación de cada alternativa.
- **Compatibilidad con el Sistema Existente:** Mide qué tan bien se integra la solución con el sistema productivo actual.
- **Nivel de Automatización del Proceso:** Cuantifica el nivel de automatización que introduce cada alternativa.
- **Precisión en la Gestión de Inventarios:** Evalúa la capacidad de cada alternativa para mejorar la gestión del inventario

Tabla VII Selección de alternativas

COMBINACIONES	
ALTERNATIVAS	1 M1,1→M1,2→M7,3→M2,4→M3,5
	2 M7,1→M3,2→M3,3→M2,4→M6,5
	3 M4,1→M6,2→M7,3→M2,4→M2,5
	4 M1,1→M3,2→M7,3→M2,4→M3,5

1.3 Resultados de la Ponderación lineal Normalizada

Los pesos de los criterios fueron definidos con base en la opinión de los stakeholders del proyecto. Posteriormente, se asignaron puntuaciones a cada alternativa según su desempeño en cada criterio, los cuales fueron ponderados según su peso asignado. Los resultados obtenidos, presentados en la Tabla VIII, muestran que la alternativa 4 obtuvo la mejor calificación con un 81.39% del valor óptimo, superando significativamente a las demás opciones. En contraste, las alternativas 2 y 3 resultaron ser las menos adecuadas con una calificación del 55.35%.

Tabla VIII Resultados Scoring Normalizado

Criterios	Ponderación de criterios para cada alternativa			
	Alternativas			
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Costo	63	45	54	81
Mantenimiento y facilidad de uso	36	18	30	48
Facilidad de implementación	56	32	40	56
Compatibilidad con el sistema	72	63	36	81
Nivel de automatización del proceso	32	24	36	28
Precisión en la gestión de inventarios	70	56	42	56
	%76.511	%55.35	%55.35	%81.40

1.4 Resultados de la Matriz AHP

Cada alternativa fue comparada respecto a los criterios descritos anteriormente, y la alternativa con el puntaje más alto en la matriz AHP fue seleccionada como la más adecuada. El desarrollo de la metodología se encuentra disponible en el Anexo 6, en este se evidencia la calificación de cada alternativa según los criterios establecidos, así como la matriz de comparación por pares (entre criterios) con la cual se determina la prioridad o importancia de cada criterio en la calificación final. En la tabla VIII se muestran los resultados finales de la calificación de alternativas. Por una parte, se puede evidenciar que el criterio de mayor relevancia fue el costo, seguido el mantenimiento y facilidad de uso.

Tabla IX Resultados calificación de alternativas

Evaluación Final								
Alternativa \ Criterio	VP C ₁	VP C ₂	VP C ₃	VP C ₄	VP C ₅	VP C ₆	VP Criterio	Total
A ₁	0,3224	0,4209	0,4354	0,3984	0,3525	0,3919	0,3819	0,37894766
A ₂	0,0578	0,1064	0,0792	0,1442	0,0809	0,1129	0,2781	0,08583513
A ₃	0,2724	0,0517	0,0499	0,0589	0,0713	0,0427	0,1615	0,13716054
A ₄	0,3474	0,4209	0,4354	0,3984	0,4953	0,4525	0,0939	0,39805667
							0,0538	
							0,0309	

Los resultados del análisis mediante la matriz AHP indicaron que la Alternativa 4 fue la ganadora, destacándose en varios criterios claves como la clasificación de materia prima, control de inventario, distribución de planta, sistema de costeo y análisis de inversión en tecnología. Esta alternativa incluye la Clasificación ABC para la gestión de materias primas, un control de inventario mediante revisión periódica (R, S) para productos de bajo valor, con el fin de minimizar costos revisando inventarios en intervalos regulares, una distribución por proceso para organizar los equipos y maquinarias en una misma área, un sistema de costeo directo y, finalmente, un análisis de inversión en tecnología mediante simulación de eventos discretos en FlexSim.

Si bien la Alternativa 1 también obtuvo un puntaje elevado, la diferencia principal entre ambas radicó en el método de gestión de inventarios. Mientras que la Alternativa 4 utiliza un sistema de revisión periódica (R, S), la alternativa 1 emplea un sistema de revisión continua (s, Q). Aunque esta última es una opción eficiente, la revisión periódica se ajusta mejor a las necesidades específicas de Venfil Ingeniería S.A.S. en cuanto al manejo de productos de bajo valor. Por esta razón, la Alternativa 4 se identificó como la opción más viable para cumplir con los objetivos de optimización del sistema productivo.

Una vez distinguida la Alternativa 4 como la opción más viable, se plantearon herramientas que podrían ser utilizadas en dicho contexto para optimizar el proceso y garantizar un control eficiente. Ante esto, se describen en la Tabla IX opciones de herramientas con sus respectivas características.

Tabla X Herramientas para el diseño preliminar

Programación Lineal Entera Mixta (MILP)	Modelos de Simulación
Utilizado para optimizar control de inventarios y costeo, especialmente al manejar restricciones discretas (ej., mínimo de unidades a ordenar). Puede integrarse en herramientas como Power BI para optimizar políticas de reabastecimiento considerando varias restricciones.	Permite simular diversos escenarios en el sistema de costeo automatizado y gestión de inventarios, comparando políticas de reabastecimiento o cambios en costos de producción. Se puede prever el impacto de variaciones en precios o inventarios, ajustando estrategias proactivamente.
<p>Potencial beneficio</p> <ul style="list-style-type: none"> Optimizar el uso del tiempo muerto para producir elementos estándar (estructura base del colector) bajo el sistema MTS. Minimizar tiempos de entrega para el producto solicitado bajo la modalidad ATO. Con esto se puede prestar más atención a los componentes específicos como el ventilador, el motor o los elementos filtrantes. Balancear los inventarios para garantizar que la MP está disponible para la llegada de un pedido. 	<p>Potencial beneficio</p> <ul style="list-style-type: none"> Modelar las variaciones en la demanda y los tiempos de importación. Simular el impacto de una estrategia MTS en los tiempos de producción y los costos asociados con el almacenamiento de inventario. Probar la flexibilidad operativa del sistema para responder a fluctuaciones imprevistas en la demanda. Analizar la viabilidad de inversiones en nuevos equipos y/o maquinaria.
<p>Restricciones</p> <ul style="list-style-type: none"> Capacidad limitada de planta (recursos y espacio). Retrasos logísticos (proveedores locales y externos). Variabilidad en demanda y tiempos de llegada de pedidos. Costos de mantenimiento de inventarios. 	<p>Restricciones</p> <ul style="list-style-type: none"> Requiere de un mayor costo computacional cuando se simulan escenarios complejos o con un elevado número de variables. Dependencia de datos precisos y confiables para lograr simulaciones efectivas. Mayor tiempo de configuración y ajuste inicial.
<p>Viabilidad</p> <p>Es viable si existen datos históricos robustos de demanda y tiempos de ciclo para ajustar el modelo. La integración en herramientas como Power BI facilita su implementación y uso, aprovechando datos en tiempo real para toma de decisiones informadas.</p>	<p>Viabilidad</p> <p>Permite evaluar el impacto de la incertidumbre en el sistema de producción y probar políticas de inventario. Es útil si se cuenta con datos confiables de demanda y costo, además de una infraestructura que soporte simulaciones en múltiples escenarios.</p>

2. Especificación del diseño preliminar

Para la alternativa de Automatización del sistema de costeo e inventarios, se plantea un diseño preliminar con las siguientes especificaciones:

- **Funcionalidad:** La implementación de un sistema de clasificación ABC permitirá priorizar el manejo de inventarios de acuerdo con el valor y frecuencia de uso de los materiales. El control de inventario bajo una revisión periódica (modelo R, S) asegurará que los productos de alto valor y alta rotación se gestionen con mayor frecuencia, reduciendo la probabilidad de escasez o exceso.

El costo directo de los materiales podrá ejecutarse con la ayuda de las bases de datos sobre los listados de materiales, especificaciones técnicas y costos, dichas bases de datos servirán como insumo para el sistema de gestión de inventarios en Excel o Power BI. Adicional a ello, la integración con *AppSheet* facilitaría la interacción del usuario, en este caso los operarios o directores proyectos, con el sistema de costeo. La aplicación permitiría el ingreso de información de forma rápida contribuyendo a la actualización instantánea de los datos de inventario y la emisión de alertas automáticas para el reabastecimiento, así pues, el uso de esta herramienta proporcionaría visibilidad y control sobre el stock disponible.

- **Rendimiento:** La implementación de este sistema está diseñada para reducir significativamente los tiempos de respuesta en la generación de cotizaciones, permitiendo a los operadores realizar estimaciones más veloces y precisas. Se espera una mejora en la eficiencia general del proceso productivo, optimizando la utilización de recursos y minimizando los tiempos de espera.

El costeo directo permitirá una evaluación rápida y precisa de los costos por cada producto, lo que facilitará una respuesta ágil en la cotización y planificación de órdenes de producción.

- **Seguridad:** Se integrarán soluciones de seguridad en la nube que asegurarán la protección de los datos sensibles relacionados con el costeo y la gestión de inventarios. Estas soluciones cumplirán con los estándares internacionales de protección de datos, garantizando la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información crítica para el negocio. Por su parte, los datos asociados a la recepción de materiales y movimientos de inventario con procesos de validación aumentarán la confiabilidad de los datos.

- **Sostenibilidad:** La automatización del sistema no solo reducirá la carga de trabajo manual, sino que también minimizará el margen de error humano, contribuyendo a un proceso más eficiente y sostenible. Al optimizar el uso de los recursos y disminuir la necesidad de recursos físicos, se alineará con las prácticas sostenibles y la responsabilidad ambiental de la empresa.

- **Estética:** Se desarrollará un Dashboard interactivo en Power BI que permitirá a los usuarios visualizar los datos de inventario de manera clara y comprensible. Este diseño estético facilitará la toma de decisiones informadas en tiempo real, mejorando la experiencia del usuario y la accesibilidad a la información crítica.

Dado lo anterior, el proceso de fabricación de colectores de cartuchos va a requerir de ciertos pasos para garantizar tanto la funcionalidad y eficiencia del sistema, la calidad de los colectores y el cumplimiento de las especificaciones previamente definidas.

El éxito del sistema híbrido propuesto dependerá en gran medida de la efectividad del control de inventarios que se lleve a cabo. Para ello, y en relación con la alternativa seleccionada, se desarrollará una hoja de cálculo en Excel con las bases de datos que servirán de insumo para gestionar los inventarios de MP y PP. Con este propósito, se contemplará el uso de diversas herramientas como macros, tablas dinámicas y/o fórmulas avanzadas que ayuden con la automatización del registro de entradas y salidas del inventario, adicionalmente, se evaluará el uso de Programación Lineal Entera Mixta (MILP) o macros en Excel para plantear modelos que ayuden a definir la política de gestión de inventarios adecuada para la situación dada, la(s) metodologías seleccionadas dependerán del curso de desarrollo que vaya tomando el proyecto, esto en concordancia con los requerimientos de Venfil Ingeniería así como de los recursos disponibles. Para controlar la recepción de materiales, se propone registrar en hojas de cálculo de forma detallada la información sobre cada material (fecha de recepción, cantidad, proveedor, entre otros) y será de suma importancia la validación de los datos para garantizar la confiabilidad de los materiales y de todos los flujos materiales y económicos.

Así pues, Excel servirá como base de datos para gestionar órdenes de compra, producción y componentes, y en caso de ser necesario podrá ser conectada a otras aplicaciones del paquete Office como Access. Como complemento, la incorporación de la aplicación *AppSheet* les facilitará a los encargados interactuar de forma amigable con las hojas de cálculo para el ingreso y revisión de información, no obstante, su uso directo no está considerado de forma obligatoria dentro del alcance de este proyecto, se implementará si sus beneficios resultan indispensables para este proyecto.

La programación de las actividades directamente relacionadas con la fabricación y/o ensamble del colector también deberá estar constatada en el sistema de información, esto con el ánimo de controlar el avance de cada proyecto en tiempo real. Finalmente, se usarán herramientas como FlexSim para simular el sistema propuesto, la redistribución de la planta y, de ser posible, la implementación de nueva maquinaria (no obligatoria). Inicialmente se propone el uso de Power BI para la visualización y análisis de información teniendo en cuenta que Power BI puede ser vinculada a los datos, ya sea desde Excel o desde Access, y se pueden crear Dashboard que visualicen el estado de los inventarios y órdenes de producción en curso

con su respectivo avance. De esta manera, el equipo, directivos u operarios dado el caso, podrán tener visibilidad en tiempo real de los KPI's críticos. Durante el desarrollo del proyecto se definirá si en efecto, se hace uso de Power BI para fines informativos o se opta por otra herramienta o estrategia.

C. Plan de Trabajo (PdT)

Después de haber identificado y aclarado todos los requerimientos de diseño, para posteriormente determinar las especificaciones del diseño preliminar, es preciso entonces definir aquellas actividades que, en la segunda fase de desarrollo del proyecto, permitirán satisfacer tanto las necesidades de los clientes del proyecto como los objetivos definidos previamente. Para ello, se expone en la Tabla X las actividades propuestas para el cumplimiento de cada objetivo, así como el área IISE (Fig. 23) con la cual tiene mayor relación. Adicional a ello, se especifican los entregables y las fechas de entrega que se consideran necesarios y adecuadas en cada caso. Como complemento a la información de la tabla, en el [Anexo 7] se encuentra el desarrollo del diagrama de Gantt correspondiente a las actividades mencionadas en la tabla.



Fig. 23 Cuerpo de conocimientos del IISE

Tabla XI Plan de trabajo

Objetivo	Área IISE	Herramientas de Ingeniería Industrial	Actividad	Entregable (alcance)	Fecha entrega
1. Definir qué componentes pueden ser producidos bajo una estrategia de inventarios MTS mediante un estudio de especificaciones técnicas de productos finales, listas de materiales y datos históricos de producción y ventas, para seleccionar las piezas que se mantendrían en inventario.	2, 8	Análisis de datos históricos, Excel, métodos de pronósticos de inventarios.	1. Pronóstico y análisis de la demanda de colectores de cartucho. 2. Análisis de costos y especificaciones técnicas para identificar los componentes con alta demanda y bajo costo de almacenamiento, mediante simulaciones de políticas de inventario y técnicas de optimización. 3. Configurar una hoja de cálculo en Excel para clasificar las materias primas en categorías A, B y C, según su valor.	Informe de análisis de demanda. Hoja de cálculo con clasificación ABC implementada.	Domingo 23 de febrero.
2. Establecer el sistema de control de inventario MTS y sus parámetros mediante la aplicación de modelos de inventario basados en la estimación de parámetros de demanda y costos asociados, así como el uso de otras técnicas que optimicen la gestión de inventarios y contribuyan a la reducción de los costos totales relevantes dentro del sistema ATO/MTS.	2, 3, 7, 8, 11	Modelo de MRP considerando EOQ y análisis de costos. Excel	1. Cálculo de inventario de seguridad según los parámetros de variabilidad de la demanda y tiempo de reabastecimiento, así como costos de mantener inventario y de lanzamiento de pedidos. Prueba y ajuste de los inventarios con escenarios de demanda simulada	Manual de procedimientos para la gestión de inventarios MTS y parámetros recomendados. Reporte de pruebas y ajustes en inventarios	Domingo 9 de marzo Domingo 23 de marzo
3. Cuantificar el impacto de la implementación del sistema de producción híbrido (ATO/MTS) a través de un análisis financiero y de operaciones utilizando modelos estocásticos y de simulación, con el fin de medir la viabilidad de su aplicación.	3, 4, 7, 12	FlexSim para simulación de la distribución. Simulación Excel	Diseñar una distribución de planta que facilite un flujo continuo en el proceso de producción, reduciendo tiempos de espera entre estaciones. Desarrollo de un modelo de simulación del sistema productivo híbrido ATO/MTS en Flexsim para observar su comportamiento bajo diferentes escenarios de demanda y tiempos de entrega. Análisis financiero del sistema híbrido ATO/MTS.	Informe distribución de planta por procesos y simulación. Informe de simulación con resultados de diferentes escenarios y su impacto en el sistema híbrido Informe de viabilidad financiera.	Domingo 6 de Abril Domingo 20 de Abril Domingo 27 de Abril
4. Definir los procedimientos del trabajo requerido para la aplicación del modelo MTS, con el fin de estandarizar el diseño planteado.	1, 9, 12	Documentación de procesos, Diseño de flujos	Documentación de procesos para la operación del sistema ATO/MTS, identificación e interpretación de resultados que permitan fomentar una cultura de mejora continua en la gestión de inventarios	Manual de operación ATO/MTS.	Domingo 11 de mayo

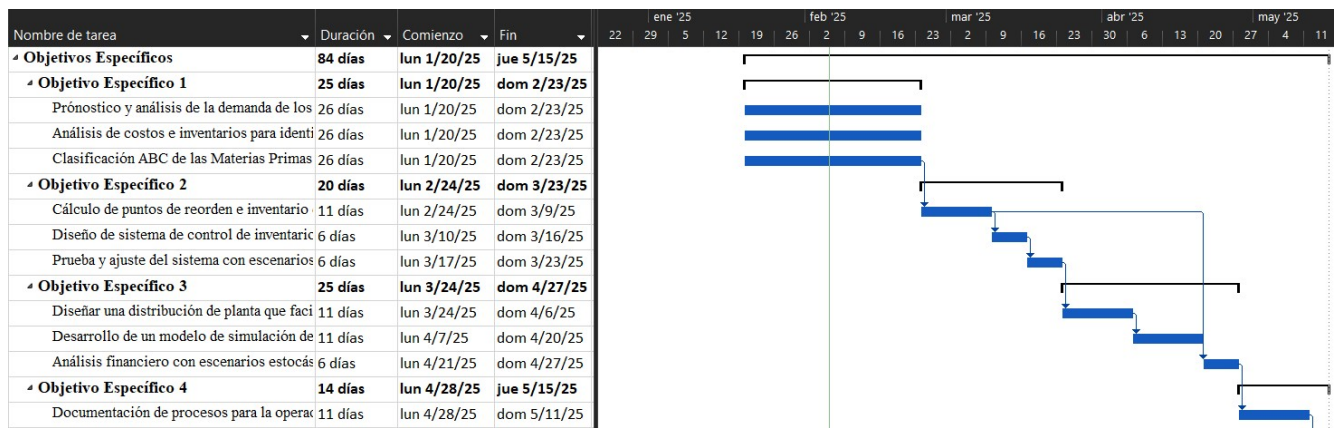


Fig. 24 Diagrama de Gantt Plan de Trabajo

IV. DISEÑO DETALLADO

En un entorno de producción híbrido, como el propuesto en este estudio, una parte del sistema (generalmente las etapas iniciales) opera bajo la estrategia *Make to Stock* (MTS), mientras que las fases posteriores lo hacen bajo un enfoque *Make to Order* (MTO) o *Assemble to Order* (ATO), según la naturaleza del producto. Esta configuración permite combinar las ventajas de ambos modelos: se aprovecha la eficiencia de la producción anticipada característica del MTS, al tiempo que se garantiza una respuesta ágil y personalizada a los requerimientos del cliente mediante el ATO. En este contexto, las métricas de desempeño se orientan a la gestión eficiente de pedidos y al control de inventario. Particularmente en el enfoque ATO, los indicadores clave de rendimiento incluyen el tiempo promedio de respuesta y de entrega, priorizando ciclos de entrega más cortos y confiables. No obstante, este tipo de sistema también enfrenta desafíos importantes, como la planificación de capacidad, la toma de decisiones frente a la aceptación o rechazo de pedidos, y el cumplimiento puntual de las fechas de entrega. Estas condiciones reflejan de forma directa la situación operativa actual de la empresa y sustentan la elección del modelo híbrido como una estrategia viable.

La incorporación de un componente *Make to Stock* (MTS) dentro de la estrategia de producción conlleva la necesidad de anticipar la demanda y planificar su gestión mediante inventario. Esto introduce nuevos desafíos operativos, tales como la planificación de inventarios, la determinación de tamaños de lote y la elaboración de pronósticos de demanda [21]. En consecuencia, variables como la tasa de producción y los niveles de inventario deben ser incorporadas dentro del sistema de control y monitoreo de rendimiento. Según Kalantari et al. [22], una ventaja clave de este enfoque híbrido es la oportunidad de aplicar el principio de Diferenciación Retrasada (*Delayed Differentiation*), que consiste en postergar el momento en que un producto adquiere su configuración final, permitiendo fabricar inicialmente una versión genérica o base del producto que luego será personalizada una vez recibida la orden de pedido del cliente.

La implementación de este principio se operacionaliza mediante la definición del Punto de Desacoplamiento del Pedido del Cliente (*Customer Order Decoupling Point*, CODP) que representa el momento en la cadena de valor donde un producto genérico se vincula con una orden específica. Desde el punto de vista operativo, las actividades previas al CODP se ejecutan en función de pronósticos (fase MTS) mientras que las posteriores se realizan de acuerdo con los requerimientos reales del cliente (fase ATO). Esta separación es crucial para estructurar eficientemente el flujo de materiales, gestionar los niveles de inventario y asegurar la disponibilidad de productos semiterminados listos para su personalización bajo demanda.

En el caso particular del colector de cartuchos, el CODP se establece en la estructura base del equipo. Esto implica que dicha estructura se produce y almacena anticipadamente bajo un enfoque MTS, tal como se ilustró en el análisis funcional (ver Fig. 19), aprovechando los tiempos ociosos generados por la espera de materiales específicos necesarios para los pedidos ATO. Una vez recibido el pedido del cliente, la producción continúa desde este punto, integrando los componentes personalizados o finales que permiten satisfacer los requerimientos específicos. Esta estrategia híbrida contribuye a reducir significativamente los tiempos de entrega, aumentar la eficiencia operativa y mantener la flexibilidad necesaria para adaptarse a la demanda real.

En este contexto, la correcta identificación y gestión del CODP es fundamental, ya que permite equilibrar los niveles de inventario, minimizar los costos asociados al almacenamiento y asegurar una respuesta oportuna frente a la llegada de nuevos pedidos. A partir de este concepto, es posible establecer políticas diferenciadas de producción e inventario para cada fase del sistema, optimizando así el rendimiento global de la operación.

Dada a la naturaleza dual del sistema híbrido, resulta esencial definir con precisión qué productos o componentes deben ser fabricados bajo pedido y cuáles deben mantenerse disponibles en inventario. En el caso concreto de la empresa, esta pregunta se traduce en determinar (respecto al objeto de análisis de este estudio) qué componentes del colector deben estar disponibles en inventario para el ensamble de la estructura base, y cuáles deben adquirirse bajo pedido para completar el

ensamblaje final. Para responder a esta necesidad, se plantea un análisis técnico de la lista de materiales (BOM) del colector, con el fin de clasificar cada componente dentro de la fase MTS o ATO del sistema, según corresponda.

Una vez completada esta clasificación, surgen nuevas interrogantes relacionados con las políticas de producción e inventario, el siguiente paso consiste en establecer políticas operativas concretas que garanticen la eficiencia del sistema. Estas incluyen, la definición de niveles mínimos de inventario para productos en proceso y criterios para la reposición de materia prima. Dado que el éxito del modelo híbrido depende en gran medida de una planificación alineada con la demanda real, se complementa este esquema con modelos de pronóstico confiables y herramientas de control que permitan el cumplimiento de los objetivos operativos establecidos.

A. Objetivo específico 1: Definición de componentes a producir bajo estrategia MTS.

En las secciones siguientes se describe el proceso de clasificación de componentes, la aplicación del análisis ABC para la gestión de inventarios, y el desarrollo de modelos de pronóstico que permiten estimar la demanda futura del producto. Estas herramientas permiten establecer una base técnica sólida para la implementación efectiva de la estrategia de producción híbrida de los colectores.

1. Clasificación de Componentes para Inventario

Con base en la información recopilada, se realizó un análisis detallado de la lista de materiales necesarios para la fabricación de cada colector, con el propósito de identificar qué componentes debían mantenerse en inventario bajo la estrategia MTS. Como resultado, se determinaron cuatro elementos (CEVF1, CEVF2, CEVF3, CEVF4) que no forman parte de la estructura base estándar del colector y, debido a su relación con aspectos específicos de cada proyecto, no serán considerados para inventario. Estos componentes seguirán siendo adquiridos únicamente bajo pedido una vez se confirme una orden de compra.

En la mayoría de los pedidos de este equipo, las principales variaciones corresponden a componentes vinculados a la capacidad operativa, los cuales regulan factores como el caudal de aire (CFM) y la eficiencia de filtración. El primero hace referencia a la cantidad de aire que el colector puede procesar en un tiempo determinado, en función de la carga de material particulado en el ambiente y del volumen de aire a tratar. La eficiencia de filtración, por su parte, indica el porcentaje de partículas capturadas en relación con el total de partículas en suspensión.

Dentro de esta categoría se incluyen los elementos filtrantes (cartuchos) cuyo tipo varía según el fluido a tratar y/o el tamaño de las partículas en el ambiente. Asimismo, el ventilador con motor es esencial para generar el flujo de aire necesario en el proceso de filtrado, por lo que su configuración depende del caudal de aire requerido y la eficiencia de filtración garantizada. Dado su alto costo y la necesidad de personalización según los requerimientos técnicos de cada cliente, estos componentes no se mantienen en inventario y solo se adquieren bajo demanda.

Dado lo anterior, los componentes especiales fueron excluidos del análisis ABC, el cual se enfocó exclusivamente en los elementos estándar de la estructura externa del colector que no presentan variabilidad entre proyectos y pueden gestionarse bajo un esquema MTS. Cabe destacar que Venfil Ingeniería S.A.S. dispone de un plan estructurado para la gestión de estos componentes, especialmente aquellos importados desde Europa, por lo que su administración queda fuera del alcance de este análisis, centrado en la implementación de la estrategia MTS.

Por razones de confidencialidad, las descripciones técnicas completas de los componentes analizados no se detallan en este documento. No obstante, para efectos del análisis, cada componente recibió un código de identificación (ID) y se clasificó dentro de las seis categorías de materiales establecidas, tal como se presenta a continuación.

Tabla XII Listado de materiales y clasificación por categoría.

ID	Categoría	Ítem ID	Categoría	Ítem ID	Categoría
LM	Láminas	LMVF1	LM	AEEVF5	AEE
PER	Perfilería	LMVF2	LM	AEEVF6	AEE
TB	Tubería	LMVF3	LM	AEEVF7	AEE
ME	Materiales asociados al ensamble	LMVF4	LM	AEEVF8	AEE
AEE	Accesorios especiales para ensamble	PERVF1	PER	AEEVF9	AEE
CE	Componentes especiales	TBVF1	TB	AEEVF10	AEE
Ítems excluidos del análisis ABC Componentes especiales		TBVF2	TB	AEEVF11	AEE
		MEVF1	ME	AEEVF12	AEE
		MEVF2	ME	AEEVF13	AEE
		MEVF3	ME	AEEVF14	AEE
		MEVF4	ME	AEEVF15	AEE
		MEVF5	ME	AEEVF16	AEE
		MEVF6	ME	AEEVF17	AEE
AEEVF1	AEE	AEEVF18	AEE	CEVF1	CE
AEEVF2	AEE	CEVF2	CE		
AEEVF3	AEE	CEVF3	CE		
AEEVF4	AEE	CEVF4	CE		

Para llevar a cabo el análisis ABC de los componentes utilizados en la fabricación del colector, se estimó la demanda o frecuencia de uso de cada ítem. Esta estimación se obtuvo multiplicando la cantidad requerida de cada pieza para fabricar una unidad del colector por la demanda total del equipo en el último año [Anexo 10]. Este cálculo permite evaluar la importancia de cada componente en función de su consumo total, lo que resulta fundamental para su categorización dentro del análisis ABC. El objetivo de este análisis es priorizar la gestión de inventarios identificando los ítems que representan un mayor impacto en términos de consumo y, por ende, requieren una atención más detallada en su control y reposición. Conocer la demanda o frecuencia de uso de cada componente facilita su clasificación en las categorías A, B o C, lo que optimiza la asignación de recursos y gestión de inventarios.

Para la clasificación de los componentes dentro del análisis ABC, se consideraron tres criterios clave:

- Demanda o consumo: Representa el total de unidades solicitadas por el sistema productivo y es un criterio fundamental para clasificar materias primas y repuestos.
- Valor o costo unitario: Permite identificar los ítems que, aunque tengan una menor demanda, pueden representar una inversión significativa.
- Tiempo de entrega (*lead time*): Evalúa el tiempo requerido para la reposición de cada componente, lo que impacta directamente la disponibilidad de inventario y la continuidad operativa.

Dado que este análisis involucra múltiples criterios de decisión, se aplicó un Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para obtener una medida escalar que refleje la importancia relativa de cada ítem dentro del inventario en función de los pesos asignados a los tres criterios. La aplicación del AHP y sus resultados se presentan en la Tabla XIV.

Tabla XIII Aplicación del AHP para ponderación de criterios

Criterios	Matriz de comparación por pares			Matriz Normalizada			Vectores			N° indicadores	
	D	V	LT	D	V	LT	Prioridad	Ponderado	Consistencia	Promedio Vector	Consistencia
Demanda	1	3	1/2	0,3000	0,4286	0,2727	0,3338	1,0208	3,0584	Índice consistencia CI	3,0538
Valor	1/3	1	1/3	0,1000	0,1429	0,1818	0,1416	0,4277	3,0214	Razón de Consistencia CR	0,0269
Lead Time	2	3	1	0,6000	0,4286	0,5455	0,5247	1,6169	3,0817	Índice consistencia Aleatorio RI	0,58
TOTALES	3,333	7	1,833	1	1	1	1			¿Es consistente?	SI

Seguidamente, el puntaje compuesto de cada ítem fue nombrado como ‘Peso Total’ y se obtuvo a través de la siguiente expresión.

$$Peso\ Total_i = (w_D D_i) + (w_{LT} LT_i) + (w_V V_i)$$

donde:

- D_i, LT_i, V_i son los valores normalizados de Demanda, Lead Time y Valor Unitario para cada ítem i .
- w_D, w_{LT}, w_V son los pesos asignados a cada criterio (Tabla XV).

Tabla XIV Resultados de pesos asignados a cada criterio

Vector Principal Demanda (w_D)	0,33377
Vector Principal Lead Time (w_{LT})	0,5247
Vector Principal Valor (w_V)	0,1416
	1,00

Una vez calculados los pesos totales de cada ítem, se ordenaron de mayor a menor y se aplicó la clasificación ABC. Para ello, se consideró que las categorías A, B y C agrupan aproximadamente el 20%, 30% y 50% de los ítems, los cuales generan el 80%, 15% y 5% del impacto total, respectivamente. Con base en esta premisa, la cantidad de ítems asignados a cada categoría se determinó multiplicando el total de elementos analizados (32 en este caso) por el porcentaje correspondiente a cada nivel. Como resultado, la categoría A incluye los 6 ítems con mayor peso total, la categoría B agrupa los siguientes 10, y la categoría C comprende los 16 restantes (Tabla XVI).

Tabla XV Cantidad de ítems por categoría A, B y C.

Total ítems	32
A = 20% de ítems	6
B = 30% de ítems	10
C = 50% de ítems	16
Total (Suma)	32

El Anexo 12 contiene el desarrollo completo del análisis ABC. Por su parte, la Tabla XVI resume la clasificación final de los 32 ítems analizados, permitiendo visualizar su distribución en las categorías A, B y C según su impacto en la gestión de inventarios.

Tabla XVI Clasificación ABC para ítems en inventario

		Clasificación			
		A	B	C	
Ítem ID			AEEVF3		
			AEEVF4	LMVF4	PERVF1
	AEEVF2		AEEVF17	AEEVF6	AEEVF15
	AEEVF1		AEEVF9	AEEVF14	AEEVF10
	AEEVF7		AEEVF8	AEEVF11	MEVF1
	MEVF5		LMVF2	TBVF2	TBVF1
	MEVF4		AEEVF18	AEEVF16	MEVF6
	MEVF3		AEEVF5	AEEVF13	MEVF2
			LMVF3	AEEVF12	MEVF7
			LMVF1		

2. Pronóstico y análisis de demanda de colectores de cartucho.

El análisis de demanda se llevó a cabo a partir de la información proporcionada por Venfil Ingeniería S.A.S. El reporte recibido (Anexo 12) recopila datos de los proyectos concretados entre enero y diciembre de 2024, detallando aspectos clave como el tipo y la cantidad de equipos adquiridos, descripciones y observaciones técnicas, método de pago y la moneda de negociación utilizada.

Dado que se trata de un producto nuevo, únicamente se dispone de datos de ventas correspondientes al año 2024. Para mejorar la proyección de la demanda y reducir la incertidumbre en el pronóstico, se incorporaron datos simulados para el año 2023 con el apoyo del equipo de Venfil. Esta información complementaria permitió realizar un análisis más preciso de tendencias y patrones de compra. En la Figura 24, los datos simulados se representan en color gris.

En línea con las políticas de seguridad de la empresa, cada registro en la base de datos fue identificado mediante un código único (ID) asegurando así la confidencialidad de la información. El resto de los datos proporcionados se manejó de manera discreta y bajo estrictas medidas de seguridad.

Para los fines de este análisis, el enfoque principal se centró en la cantidad de artículos vendidos en cada período. Dado que la base de datos incluía información sobre distintos tipos de equipos, se aplicó un primer filtro para seleccionar únicamente los proyectos relacionados con la fabricación de colectores. Inicialmente, se consideraron todos los colectores de cartuchos; sin embargo, el análisis se restringió posteriormente a los colectores de cuatro cartuchos, identificando un total de 35 unidades vendidas durante el período evaluado (Figura 24). A partir de estos datos, se observó que febrero de 2024 fue el único mes en el que no se registró demanda para este equipo.

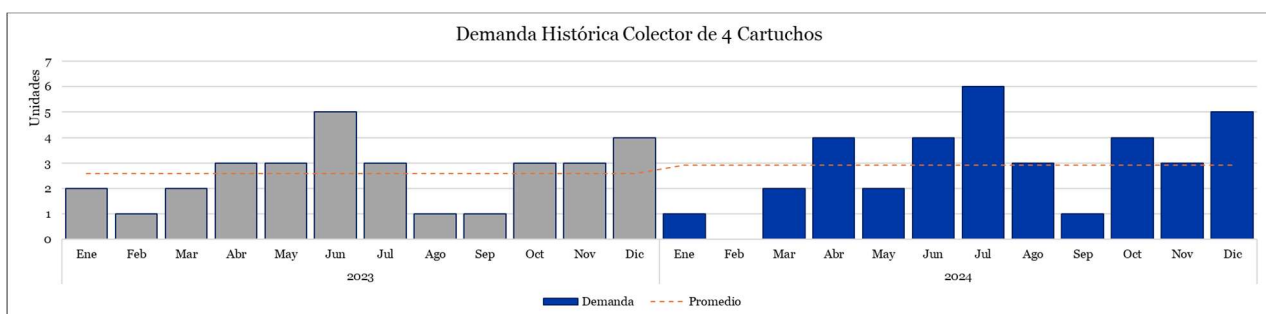


Fig. 25 Comportamiento demanda Colector de 4 cartuchos.

Es importante destacar que la demanda proyectada de colectores se utilizará hasta el punto de desacoplamiento dentro del sistema ATO/MTS propuesto. Esto significa que la demanda servirá exclusivamente para calcular los requerimientos de la parte externa del colector, permitiendo mantener en inventario una estructura parcialmente ensamblada. Una vez confirmada una orden de compra con especificaciones particulares del cliente, si existen unidades en proceso, el ensamblaje continuará desde el punto de desacoplamiento hasta su finalización. En caso contrario, se iniciará la fabricación desde el inicio. Esta estrategia permite optimizar el equilibrio entre la disponibilidad de inventario y la flexibilidad en la personalización del producto, garantizando eficiencia en la producción y tiempos de entrega más competitivos.

Para proyectar la demanda de colectores en los próximos seis meses, correspondientes al año 2025, se evaluaron distintos métodos de pronóstico. En particular, se aplicaron los modelos de suavizado exponencial simple, Holt y Winter's,

seleccionados según la dinámica de los datos: el suavizado exponencial simple para series sin patrones definidos, el método de Holt para datos con tendencia y el modelo de Winter's para aquellos que presentan tanto tendencia como estacionalidad.

Para optimizar los parámetros de cada modelo, se empleó Solver, una herramienta que permite resolver problemas matemáticos y determinar valores óptimos en fórmulas. En este análisis, Solver se configuró para minimizar el error cuadrático medio (ECM) ajustando los parámetros alfa (α) beta (β) o gamma (γ) según las especificaciones de cada método. Esta optimización permitió mejorar la precisión del pronóstico y reducir la incertidumbre en las proyecciones de demanda.

Tabla XVII Parámetros Métodos de pronóstico de demanda

Método	α	β	γ	ECM
Suavizado exponencial	0,09738	-	-	2,47722
Método de Holt	0,02	0,78	-	2,26960
Método de Winter	0,05	0,05	0,0966	1,76114

En la Tabla XII se observa que el método de Winter presenta el menor error cuadrático medio (ECM) con parámetros óptimos de 0,05 para alfa, 0,05 para beta y 0,09658 para gamma, lo que refleja una mejor capacidad de ajuste del modelo a la serie temporal analizada. Para visualizar estas diferencias en el desempeño de cada modelo, en la Figura 25 se presentan los resultados de los distintos métodos de pronóstico aplicados.

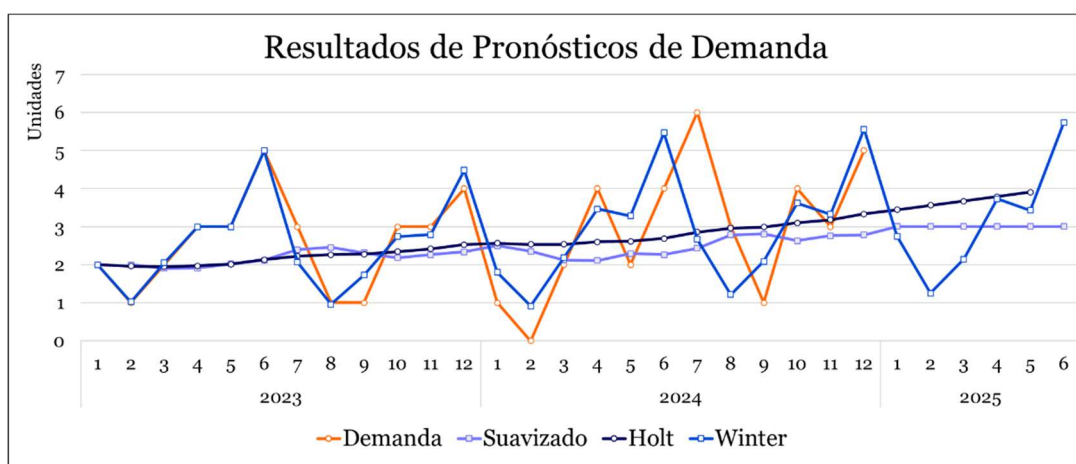


Fig. 26 Resultados métodos de pronósticos [Anexo 12]

En concordancia con estos resultados, la Figura 25 muestra que el método de Winter sigue más de cerca las fluctuaciones de la demanda en comparación con los modelos de Holt y el suavizado exponencial simple, lo que indica que es el más preciso para capturar tanto la tendencia como la estacionalidad presente en los datos.

Por su parte, el método de Holt, si bien logra reflejar la tendencia creciente de la demanda, no se adapta a las variaciones estacionales, lo que genera pronósticos más rígidos y menos representativos en ciertos períodos. En contraste, el suavizado exponencial simple presenta la menor capacidad predictiva, ya que mantiene un comportamiento plano y no responde a los cambios en la demanda, haciéndolo inadecuado para este conjunto de datos.

En términos generales, el ajuste logrado con el método de Winter permite generar pronósticos más precisos y alineados con la dinámica observada en la demanda histórica, consolidándose como la opción más confiable para proyectar el comportamiento del mercado en los próximos seis meses.

B. Objetivo específico 2: Sistema de control de inventario

En la implementación de un sistema híbrido ATO/MTS dentro de una empresa que tradicionalmente ha operado bajo un esquema exclusivamente ATO, surgen nuevos retos operativos relacionados con la gestión de inventarios y la asignación eficiente de los recursos de producción. Bajo este nuevo enfoque, se busca aprovechar los tiempos de inactividad que se presentan durante la espera de materiales para la fabricación de pedidos ATO, mediante la producción anticipada de componentes estandarizados bajo un esquema MTS. En particular, se plantea que, siempre que se cuente con disponibilidad de materiales y capacidad productiva, se pueda avanzar en la fabricación de la estructura base del colector.

Una vez realizada la clasificación de los ítems, se procedió a definir las políticas de control de inventario para cada categoría. Siguiendo el principio ABC, los artículos tipo A requieren un control riguroso debido a su alta importancia, mientras que los de categoría B demandan un nivel de control intermedio y los tipo C pueden gestionarse con menor frecuencia.

Para la gestión y control de inventarios, una de las herramientas más utilizadas son los sistemas ERP (*Enterprise Resource*

Planning), los cuales ofrecen una solución integral para la administración empresarial al integrar módulos como contabilidad, compras, producción y logística. Sin embargo, la implementación de un ERP implica una inversión significativa, tanto en términos económicos como en tiempo de capacitación y adaptación. Debido a estas limitaciones y a las restricciones presupuestarias de la empresa, se optó por implementar directamente el MRP (*Material Requirements Planning*), una solución más flexible y asequible que permite una planificación eficiente de materiales sin la necesidad de un sistema ERP completo.

El MRP permite realizar una planificación eficiente de materiales a partir de la demanda del producto final, sin requerir una infraestructura tecnológica robusta como la que demandan los sistemas ERP. Aunque existen modelos matemáticos avanzados para la gestión óptima de inventarios y la programación de la producción, su aplicación requiere condiciones que no siempre están presentes en las empresas, como información precisa, personal especializado o herramientas de simulación y análisis. En cambio, el MRP constituye una alternativa viable que, con un diseño estructurado y una base de datos confiable, puede ofrecer resultados eficientes en contextos reales. Su implementación facilita una sincronización efectiva entre demanda y suministro, reduciendo acumulaciones innecesarias de inventario y minimizando riesgos de desabastecimiento, sin necesidad de acudir a técnicas de optimización más complejas.

En cuanto a la relación entre el MRP y la gestión de inventarios, este sistema contribuye a la reducción de los niveles de stock, ya que al calcular la cantidad exacta de materiales requeridos se evita acumulaciones innecesarias. Asimismo, permite sincronizar la demanda con el suministro mediante la generación de órdenes de compra en el momento necesario, reduciendo los costos de almacenamiento. Además, minimiza el riesgo de desabastecimiento al planificar los materiales en función de la demanda esperada e incorporar reglas de loteo como *Lot for Lot (LxL)*, *Economic Order Quantity (EOQ)* o *Fixed Order Period (FOP)*, optimizando así las órdenes de compra y producción.

Para garantizar una planificación efectiva a través del MRP, es fundamental considerar varios aspectos clave:

- *Datos de demanda*: Es esencial contar con información precisa sobre la demanda esperada o pronosticada, la cual puede derivarse de registros históricos o de un plan maestro de producción. En este estudio, los datos pronosticados se obtuvieron mediante el método de Winter.
- *Reglas de loteo*: Definen cuánto pedir o producir en cada período. Entre las más comunes se encuentran:
 - *Lot for Lot (LxL)*.
 - *Economic Order Quantity (EOQ)*.
 - *Fixed Order Period (FOP)*.
- *Lead time de cada ítem*: Para implementar un MRP se debe conocer el tiempo de entrega de cada material para determinar el momento óptimo de emisión de órdenes de compra o producción.
- *Stock de seguridad*: Es necesario definir si se incluirán reservas para mitigar posibles variaciones en la demanda o retrasos en los tiempos de entrega.
- *Niveles de inventario actual o inicial*: Dado que la empresa cuenta con existencias de algún material, estas deben ser tenidas en cuenta en el momento en que se dé inicio al periodo de planificación, esto con el ánimo de ajustar las cantidades requeridas en función del inventario existente y así evitar sobreestimaciones.
- *Horizonte de planificación*: La planificación del MRP se realiza de acuerdo con el periodo de tiempo que se necesite, y por lo general se recomienda un horizonte alineado con los tiempos de producción y reabastecimiento, por ejemplo, periodos semanales o mensuales.

En este caso, se formularon tablas MRP específicas para los 32 ítems, adaptando las reglas de loteo según la categoría ABC, con el objetivo de mejorar la planificación de compras y producción, reducir costos de almacenamiento y minimizar el riesgo de desabastecimiento. Esta estrategia permite aprovechar las ventajas del MRP de manera flexible, asegurando una gestión de inventarios alineada con las necesidades operativas sin incurrir en los costos elevados de un sistema ERP ni en la complejidad técnica de modelos matemáticos avanzados.

Para la implementación del MRP, se consultó inicialmente a la empresa sobre la existencia de una jerarquía de procesos definida o información equivalente a un *Bill of Materials (BOM)* que facilitara la planificación de los requerimientos de materiales. Sin embargo, se identificó que no contaban con esta información detallada, lo que llevó a la formulación de ciertos supuestos para el desarrollo del sistema.

En este contexto, se asumió que el nivel 0 del MRP correspondería a la demanda de la estructura base del colector, planificada con base en los pronósticos previamente obtenidos. Dado que no se cuenta con una jerarquización explícita de los componentes, se estableció que los demás ítems pertenecen al mismo nivel dentro del sistema y que ninguno depende de la combinación de otros componentes, ya que se trata de un ensamble. Esto garantiza que todos los materiales estén disponibles en inventario al momento de iniciar la producción del colector, hasta su punto de desacoplamiento en el esquema ATO/MTS, tal como se muestra en la Figura 26.

Bajo esta configuración, el MRP permite anticipar los requerimientos de materiales y establecer un plan de abastecimiento coherente con la demanda esperada, evitando retrasos y optimizando los niveles de inventario.

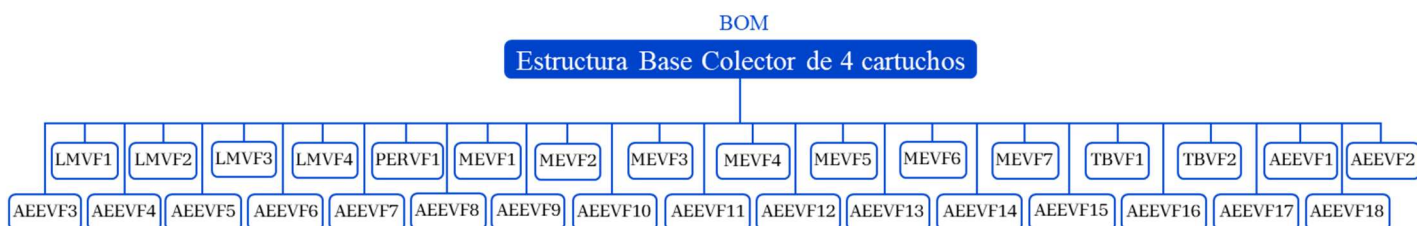


Fig. 27 Bill of Material para estructura base del colector.
Fuente: Elaboración propia

Para la construcción de las tablas del MRP, además de definir el nivel jerárquico de cada ítem dentro del sistema, se consideró la clasificación ABC de los materiales. Esta clasificación permitió asignar reglas de loteo diferenciadas, optimizando la gestión del inventario y ajustando la frecuencia y volumen de reposición según la importancia de cada ítem.

- Categoría A: Dado que estos materiales son los más críticos y requieren un control más estricto, se aplicó la regla *Lot for Lot* (LxL). Esta estrategia ajusta los órdenes de compra o producción exactamente a la cantidad necesaria en cada periodo, minimizando los costos de almacenamiento.
- Categoría B: Para estos materiales de importancia moderada, se utilizó la regla de *Cantidad Económica de Pedido* (*Economic Order Quantity*, EOQ), que optimiza el tamaño de los pedidos al equilibrar los costos de adquisición y almacenamiento.
- Categoría C: Al tratarse de materiales de menor impacto y consumo menos frecuente, se implementó la regla de *Período Fijo de Orden* (*Fixed Order Period*, FOP = 2). Esta estrategia consiste en realizar reposiciones en intervalos de tiempo predefinidos simplificando así su gestión, en este caso se harán reposiciones cada 2 meses.

Se estableció un nivel de servicio del 99%, asegurando una alta probabilidad de satisfacer la demanda sin incurrir en desabastecimientos. Para determinar el parámetro *k* asociado a este nivel, se empleó la función inversa de la distribución normal estándar. Además, se incorporaron los valores de lead time (τ) proporcionados por la empresa, lo que permitió estimar la demanda esperada durante dicho período y ajustar la desviación estándar al mismo horizonte temporal.

Con el fin de garantizar la disponibilidad de materiales y mitigar los riesgos derivados de las fluctuaciones en la demanda y los tiempos de entrega, se calculó el Stock de Seguridad (SS) para cada ítem. Este cálculo se basó en el *Gross Requirement* (ver Tabla XVII), obtenido al multiplicar la demanda proyectada de la estructura base del colector por la cantidad de unidades requeridas de cada ítem para la fabricación del producto final.

El SS se incorporó estratégicamente en la planificación de pedidos dentro del MRP, agregándolo como una segunda fila de *Gross Requirements* (Gross Req. SS) en el primer período. De este modo, la primera orden de compra o producción incluyó tanto los requerimientos netos del período como el inventario de seguridad, asegurando su disponibilidad desde el inicio. A partir de esta estructura, se calcularon los *Net Requirements*, el balance de inventario y la programación de pedidos, aplicando la regla de loteo correspondiente a cada categoría de ítem (LxL, EOQ o FOP).

En la Tabla XVIII se muestra un ejemplo del MRP aplicado a un ítem de categoría A, evidenciando el cálculo de los *Net Requirements*, el balance de inventario y la programación de pedidos.

Tabla XVIII MRP para ítem de categoría A

Nivel 1	Clasificación		A					
TORNILLOS+DOBLE ARANDELA+GUASA+ TUERCA 3/8 x 1-1/2"								
MEVF5	0	1	2	3	4	5	6	
Gross Req.		150	100	150	200	300	300	
Gross Req. (SS)		1.448	100	150	200	300	300	
Scheduled Receipts								
Adjusted SRs								
On-hand	0	-1.448	-1.548	-1.698	-1.898	-2.198	-2.498	
Net Requirements		1.448	100	150	200	300	300	
Balance		0	0	0	0	0	0	
Planned Orders Receipts		1.448	100	150	200	300	300	
Planned Orders Releases		1.448	100	150	200	300	300	
	LT	0,033						LxL

Verificación	Sigma	83,66600	[und/mes]
	miu	200	[und/mes]
	tao	0,033	mes
2.498	miu tao	6,667	mes
	sigma tao	15,275	und/tao
2.498	SS	1.297,575	
	R	1.304,242	
	k	\$ 15.264,41	
	h	\$ 188,41	
	Costo Política		
	Costo k	\$ 91.586,45	
	Costo h	\$ -	
	Total	\$ 91.586,45	

Continuando con la lógica de los ítems de categoría A, en cuanto a la incorporación del Stock de Seguridad (SS), se presenta la Tabla XIX, que muestra el MRP aplicado a los ítems de categoría C. En esta tabla se evidencia el cálculo de los requerimientos netos (*Net Requirements*), el balance de inventario y la programación de pedidos, considerando la regla de loteo *Fixed Order Period* (FOP=2). Esta metodología permite consolidar los pedidos cada dos periodos, optimizando la gestión de inventarios para estos ítems de menor valor y volumen de consumo.

Tabla XIX MRP para ítem de categoría C

Nivel 1	Clasificación		C				
LAM. 6mm BRIDAS, PLACAS ANCLAJE							
LMVF4	0	1	2	3	4	5	6
Gross Req.		0,30	0,20	0,30	0,40	0,60	0,60
Gross Req. (SS)		0,33	0,20	0,30	0,40	0,60	0,60
Scheduled Receipts							
Adjusted SRs							
On-hand	0	-0,33	-0,53	-0,83	-1,23	-1,83	-2,43
Net Requirements		0,33	0,20	0,30	0,40	0,60	0,60
Balance		0,20	0,00	0,40	0,00	0,60	0,00
Planned Orders Receipts		0,53		0,70		1,20	
Planned Orders Releases		0,53	0,00	0,70	0,00	1,20	0,00
	LT	0,167		FOP	2		

Verificación	Sigma	0,167332005	[und/mes]
	miu	0,400	[und/mes]
	tao	0,167	mes
2	miu tao	0,067	mes
	sigma tao	0,068	und/tao
2	SS	0,026	
	R	0,093	
	k	\$ 193.615,50	
	h	\$ 997,49	
Costo Política			
	Costo k	\$ 580.846,50	
	Costo h	\$ 1.196,99	
	Total	\$ 582.043,49	

Para la aplicación de las reglas de loteo, las estrategias *LxL* y *FOP* se implementaron de manera directa, mientras que la regla *EOQ*, utilizada en los ítems de categoría B, requirió la consideración de los *costos de lanzamiento de pedido* y *costos de almacenamiento*. Dado que la empresa no disponía de valores definidos para estos costos, fue necesario estimarlos para aplicar correctamente la metodología.

El costo de mantener inventario (*h*) se calculó como la suma de la tasa de mantenimiento (r_h) y el costo de capital (r_w o c_k). La tasa de mantenimiento estimada fue del 7%, considerando un ‘*Administration costs*’ de 3%, ‘*Company Owned, Leased, or Rented Storage*’ de 3% y ‘*Damage to Items*’ de un 1%, mientras que el r_w obtenido equivale al 15,17% (Tabla XX). Este último valor se obtuvo con información del EVA determinado en el Anexo 11.

El cálculo del *costo de capital* (r_w) se realizó mediante la siguiente ecuación, que combina el financiamiento por deuda y patrimonio:

$$r_w = \left(\frac{\text{Deuda} * K_d * (1 - \text{Tax})}{\text{Deuda} + \text{Patrimonio}} \right) + \left(\frac{\text{Patrimonio} * K_e}{\text{Deuda} + \text{Patrimonio}} \right)$$

donde,

- *Tax*: Tasa de impuestos, asumida en 35%.
- *Kd*: Costo de la deuda, equivalente a un 16%, calculado como el tipo de gasto financiero sobre el total de las deudas financieras.
- *Ke*: Costo del patrimonio, calculado de manera similar sobre el total de patrimonio.

La combinación de la *tasa de mantenimiento* (r_h) y el *costo de capital* (r_w) resultó en un *costo de almacenamiento* (*h*) total del 22,17%, valor utilizado en el cálculo del *EOQ* para los ítems de categoría B.

Tabla XX Resultados del valor de Costo de Capital y Costo de mantener inventario

Fuente Financiamiento	W o proporción	K o tasa de costo
Deuda	62,17%	16%
Patrimonio	37,83%	23%
Total financiamiento	100%	
Tax impuestos	35%	
	WACC	15,17%

Costo de mantener inventarios h	
r_w / c_k	15,17%
Administration costs	3%
Company Owned, Leased rente	3%
Damage to items	1%
r_h	7%
	h
	22,17%

Además del costo de mantener inventario también fue necesario hallar el valor del costo de lanzamiento de pedido. En este nuevo componente se consideraron el costo de la mano de obra encargada de gestionar las compras en la empresa y costo de transporte. Para el costo de mano de obra, se tomó el monto del salario base mensual para un trabajador de la empresa, y se llevó a su costo equivalente anual, considerando a su vez el incremento en costos relacionado con las prestaciones que le corresponden a un trabajador. De este modo, el salario mensual se multiplicó por los doce meses del año y se le aplicó un incremento del 50%, siendo esta la tasa estimada para cubrir todos los conceptos de prestaciones. Este último resultado obtenido se distribuyó entre el total de colectores fabricados durante el 2024 según la información histórica de la demanda, y posteriormente se distribuyó también entre el total de ítems o SKU tenidos en cuenta para el inventario por cada unidad de la parte externa del colector (Tabla XXI).

De la mano del costo de mano de obra directa (MOD) se estimó un costo de transporte específico para tres escenarios principales diferentes, es decir, un costo de transporte específico para los materiales que son importados, otro costo para los materiales que la empresa trae desde Bogotá, así como para los materiales obtenidos dentro de la misma ciudad (Cali). Una vez conocidos todos ambos componentes del costo de lanzamiento de un pedido, se sumaron dichos componentes y se determinó el valor relacionado a cada escenario, obteniendo los valores concretos que se muestran a continuación.

Tabla XXI Resultados de Costo de lanzamiento de pedido k

Cálculo de k	
Salario mensual del trabajador encargado de realizar los procesos de compras \$ 3.500.000 COP	Costo Mano de Obra \$ 56.250 COP 450,7327273 USD
Salario anual del trabajador considerando prestaciones \$ 63.000.000 COP	Costo trans. Import \$ 1.802.930,91 Importados
Demanda de Colectores de 4 cartuchos 2024 35 Und	costo trans. Bogota \$ 1.492.674,00 SICETAC Bog-Ymbo
Total ítems considerados en inventario/und de producto (estructura base) 32 SKU	costo trans. Cali \$ 279.567,00 SICETAC Cali-Yumbo
	k importado \$ 1.859.180,91
	k Bogota \$ 1.548.924,00
	k Cali \$ 335.817,00

Con todos los costos necesarios para calcular el EOQ conocidos, se calcula para cada periodo la diferencia absoluta entre el requerimiento neto del periodo y el valor del EOQ, siendo la diferencia mínima la que indique hasta qué periodo resulta conveniente lanzar la orden de pedido, un ejemplo de ello se muestra en la Tabla XXII.

Tabla XXII MRP para ítem de categoría B.

Nivel 1	Clasificación	B					
LAM. 2,0mm PUERTA							
LMVF1	0	1	2	3	4	5	6
Gross Req.		1,50	1,00	1,50	2,00	3,00	3,00
Gross Req. (SS)		2,15	1,00	1,50	2,00	3,00	3,00
Scheduled Receipts							
Adjusted SRs							
On-hand	0	-2,15	-3,15	-4,65	-6,65	-9,65	-12,65
Net Requirements		2,15	1,00	1,50	2,00	3,00	3,00
Balance		10,50	9,50	8,00	6,00	3,00	0,00
Planned Orders Receipts		12,65					
Planned Orders Releases		12,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LT		0,167					

Net	Acum	Dif
1 2,15	2,15	26,851
2 1,00	3,15	25,851
3 1,50	4,65	24,351
4 2,00	6,65	22,351
5 3,00	9,65	19,351
6 3,00	12,65	16,351

Verificación	Sigma	0,836660027	[und/mes]
13	miu		2 [und/mes]
	tao		0,167 mes
13	miu tao		0,333 mes
	sigma tao		0,342 und/tao
	SS		0,649
	R		0,982
	k	\$	193.615,50
	h	\$	997,49
	a		2,11
	EOQ		29

Costo Política	
Costo K	\$ 193.615,50
Costo h	\$ 36.907,12
Total	\$ 230.522,62

Para cada tabla del MRP, se calculó también el costo de la política aplicada. Una vez obtenidos los respectivos costos de cada ítem, se estimó el costo total de la política implementada. Finalmente, se consolidaron todos los lanzamientos de pedido en la tabla resumen del MRP, la cual presenta los pedidos ordinarios que la empresa debería realizar bajo un esquema de producción basado en la demanda pronosticada y alineado con el sistema ATO/MTS.

Es importante señalar que, si bien se establecen guías para que la empresa pueda gestionar la producción y mantener inventario de la parte externa de los colectores, la ejecución de estas estrategias sigue dependiendo de la disponibilidad de tiempo, mano de obra y recursos económicos. Además, se debe considerar que la empresa no se dedica exclusivamente a la producción de colectores de cartuchos, sino que también puede recibir pedidos para otros equipos.

El propósito de seguir el MRP es garantizar la disponibilidad de la parte externa de los colectores en inventario, reduciendo así los tiempos de entrega cuando se reciba una orden de pedido. En este punto, el sistema operaría desde el punto de desacoplamiento, permitiendo que la empresa agilice la adquisición de los componentes especiales requeridos para cada equipo específico.

C. Objetivo específico 3: Impacto de la implementación del sistema híbrido.

La implementación de un sistema híbrido ATO/MTS en Venfil Ingeniería S.A.S. exige un análisis detallado de la distribución actual de la planta, con el objetivo de determinar si la configuración es la adecuada para una operación eficiente bajo el nuevo enfoque productivo. Este análisis preliminar busca establecer si las condiciones físicas existentes permiten una articulación fluida de los procesos, tal como lo demanda un sistema que combina características de ensamble bajo pedido (ATO) y producción para inventario (MTS). En caso de que la disposición actual resulte insuficiente, será necesario proponer una redistribución estratégica que optimice el flujo de materiales, reduzca los tiempos improductivos y promueva condiciones ergonómicas y de seguridad adecuadas para el personal.

Los procesos de producción en Venfil Ingeniería S.A.S. siguen una secuencia específica diseñada para responder a las exigencias del modelo ATO, permitiendo un grado de personalización acorde con los requerimientos del cliente. La cadena de producción se inicia con el corte de materiales, seguido por la preparación y el ensamblaje preliminar de componentes. A continuación, las unidades son trasladadas a la estación de soldadura, donde se asegura la integridad estructural de las piezas. Posteriormente, estas pasan por las etapas de pulido y pintura, procesos orientados a garantizar la calidad estética, resistencia y durabilidad de los productos. Finalmente, se lleva a cabo el ensamblaje final y una inspección de calidad antes de proceder con la entrega al cliente.

1. Distribución de planta

1.1 Plano de la Planta (Distribución Actual)

Para evaluar si la disposición física actual de la planta permite una implementación eficaz del sistema híbrido ATO/MTS, se realizó un análisis detallado de su configuración espacial, lo cual permitió identificar oportunidades de mejora orientadas a optimizar la eficiencia en los flujos de trabajo.

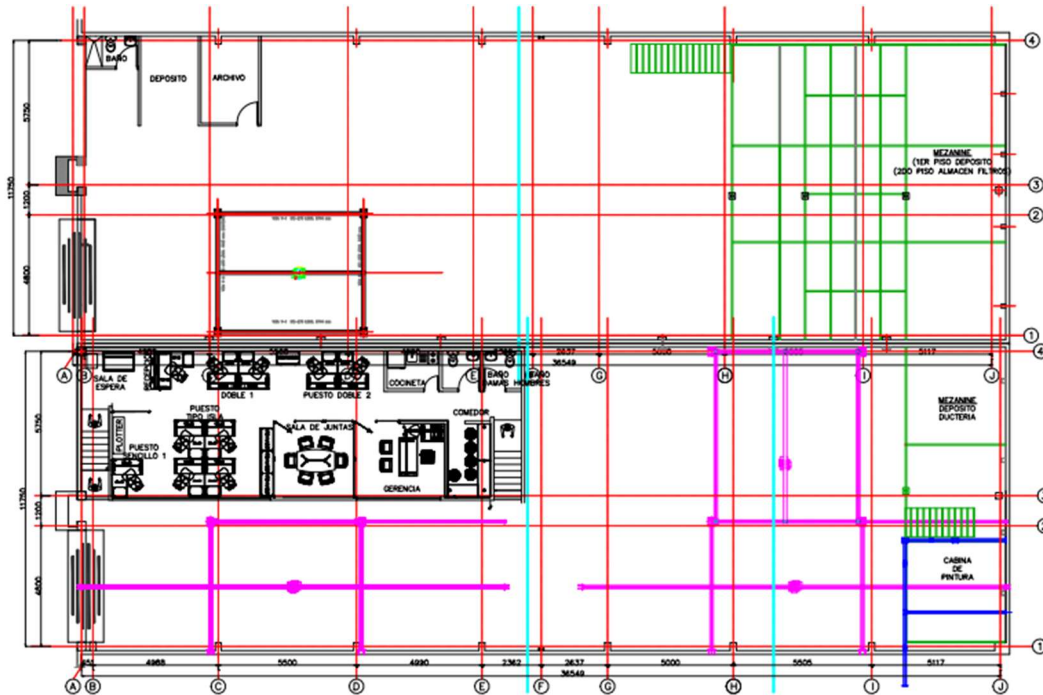


Fig. 28 Plano de planta – Primer y Segundo Piso. Fuente: Venfil Ingeniería SAS

La Figura 27 presenta el plano general de la planta desde una vista superior que permite observar el primer y segundo piso. En el segundo piso se encuentran ubicadas las áreas administrativas principales, mientras que el primer piso concentra las operaciones productivas. Al excluir la zona del segundo piso y el área situada directamente debajo de este (la cual alberga oficinas auxiliares y otras áreas de apoyo) el espacio netamente asignado a los procesos productivos adopta una configuración en forma de “U”, como se ilustra en la Figura 28.

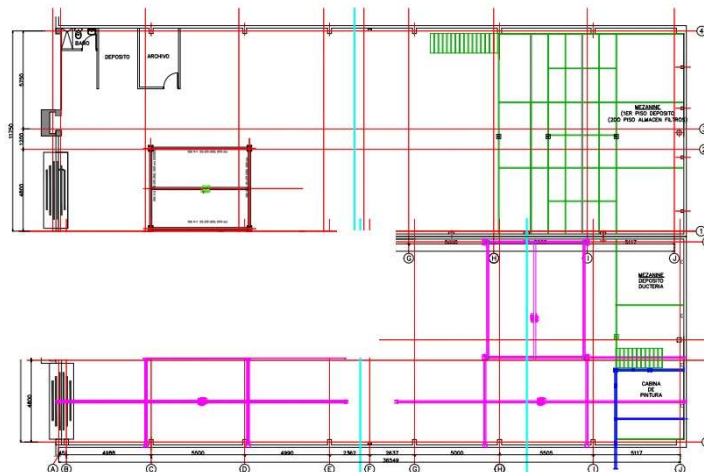


Fig. 29 Plano de Planta - Estructura en forma de 'U'. Fuente: Venfil Ingeniería SAS

Para efectos de análisis y claridad en la interpretación del plano, se denominará “lado derecho de la planta” al sector inferior de la imagen, y “lado izquierdo” al sector superior. Esta designación se basa en la ubicación de las entradas principales, que se encuentran en el lado izquierdo del plano, y corresponde a la perspectiva que tendría un operario al ingresar a la planta.



Fig. 30 Plano de planta - Segundo Piso Lado derecho. Fuente: Venfil Ingeniería SAS

La Figura 29 presenta el segundo piso, que contiene oficinas administrativas y áreas de gestión, desde las cuales se tiene visibilidad directa hacia el lado derecho de la planta en el primer piso, permitiendo la supervisión continua de las operaciones.

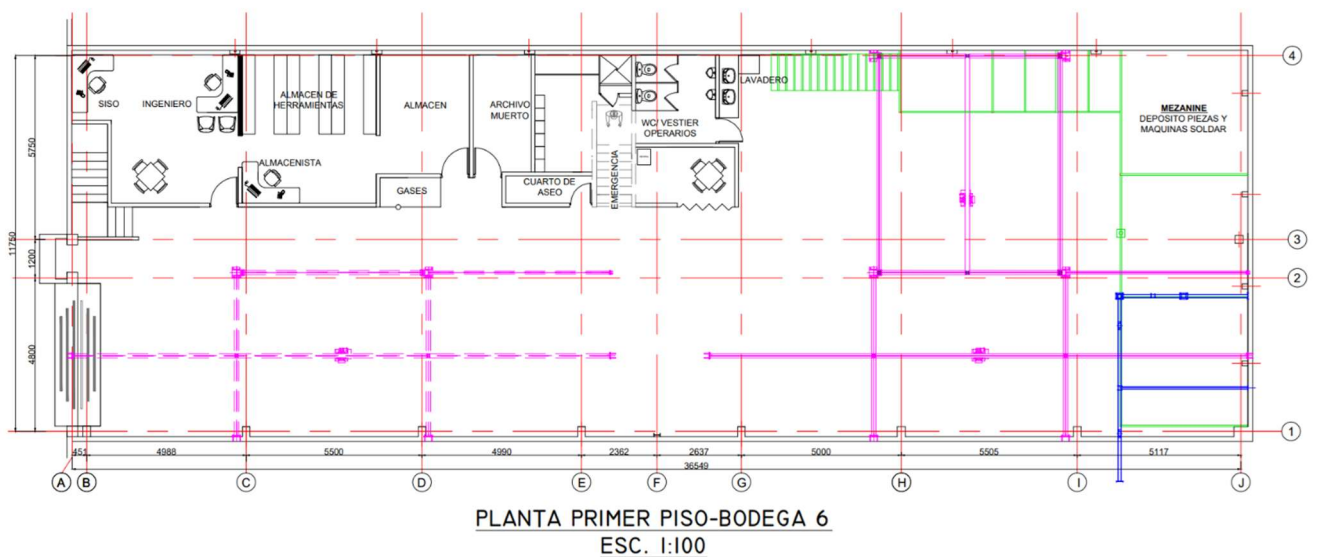
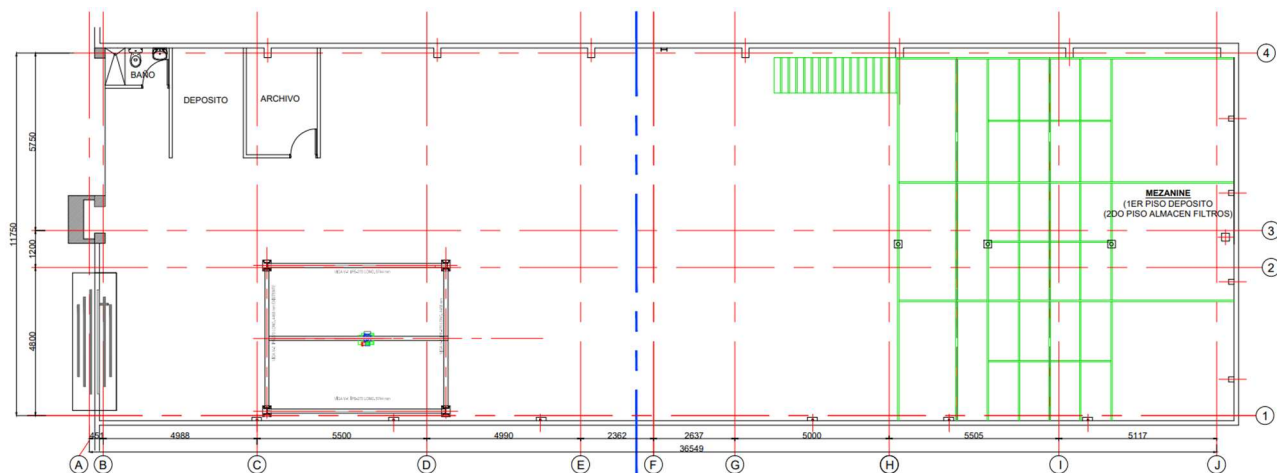


Fig. 31 Plano Planta - Primer Piso Lado derecho. Fuente: Venfil Ingeniería SAS

La Figura 30 ilustra el lado derecho del primer piso, donde se concentran distintas áreas productivas y operativas. La zona directamente debajo del segundo nivel cuenta con oficinas auxiliares, áreas de descanso, almacén de herramientas y servicios generales, como los baños. Se destaca la cabina de pintura, delimitada con líneas de color azul, como el único espacio claramente definido, mientras que el resto de las áreas carece de una asignación específica.



PLANTA -BODEGA 5
ESC. 1:100

Fig. 32 Plano Planta - Lado izquierdo. Fuente: Venfil Ingeniería SAS

Por su parte, la Figura 31 muestra el lado izquierdo de la planta, donde no se detalla la ubicación de las áreas de trabajo, a excepción del área de almacenamiento de filtros, los cuales corresponden a otra línea de productos dentro del portafolio de la empresa. La ausencia de zonas de trabajo definidas en esta área pone en evidencia una de las principales deficiencias de la planta: la falta de organización espacial que facilite el flujo continuo de materiales y minimice interferencias entre procesos.

Este análisis preliminar de la disposición actual de la planta tuvo como objetivo validar, en primera instancia, la viabilidad operativa del sistema híbrido ATO/MTS bajo las condiciones físicas existentes. No obstante, los hallazgos permiten evidenciar de forma inmediata que no existen áreas de trabajo fijas, más allá del almacén de filtros y la cabina de pintura. Esta falta de definición espacial revela una carencia estructural que dificulta el flujo eficiente de materiales y procesos, lo cual va en contra de los principios fundamentales de eficiencia operativa requeridos por el modelo híbrido. En consecuencia, se hace evidente la necesidad de desarrollar una nueva distribución de planta como requisito esencial para una transición efectiva hacia el sistema ATO/MTS.

Aunque el sistema híbrido propuesto no modifica la secuencia de ensamblaje del colector, la forma en que se organizará físicamente la planta resulta crucial para garantizar un flujo continuo y eficiente de producción. Esta situación impacta directamente en la calidad y eficiencia, ya que en cada área se realiza una inspección para verificar el cumplimiento de los estándares establecidos, y ante la detección de no conformidades, los productos deben ser enviados a reproceso, lo que incrementa tanto los tiempos de ciclo como los costos operativos. Para ello, se plantean tres principios clave que deben guiar el rediseño de la distribución:

- Proximidad: Las estaciones de trabajo deben disponerse de tal manera que se favorezca el movimiento fluido de materiales entre procesos relacionados, reduciendo desplazamientos innecesarios.
- Flexibilidad: La disposición debe permitir adaptarse con agilidad a cambios en la demanda o en las especificaciones de los pedidos, algo fundamental en un entorno ATO/MTS.
- Ergonomía: El diseño debe propiciar condiciones laborales seguras y cómodas, minimizando el riesgo de lesiones y favoreciendo la sostenibilidad operativa.

La incorporación de estos principios constituye la base para una distribución de planta coherente con los objetivos del sistema híbrido y con capacidad de adaptación a las dinámicas del mercado. Con el fin de profundizar en el análisis y contar con métricas que orienten de manera más precisa la redistribución de espacios, se considerarán tres categorías de factores clave que influyen directamente en la eficiencia operativa de la planta: físicos, humanos y económicos, los cuales se describen a continuación.

Factores Físicos

- Espacio disponible: La evaluación del área total de la planta permite identificar oportunidades de optimización y garantizar un uso eficiente del espacio, evitando acumulaciones innecesarias y facilitando un flujo continuo de las operaciones.
- Disposición de equipos y maquinaria: Es fundamental analizar la ubicación actual de los recursos técnicos para verificar que se encuentren estratégicamente posicionados. Esto contribuye a reducir desplazamientos innecesarios y tiempos improductivos.

- Infraestructura existente: Se considera la localización de puntos de energía, iluminación y ventilación, ya que estos elementos condicionan directamente la operatividad, funcionalidad y seguridad de los procesos productivos.

Factores Humanos

- Ergonomía: El diseño de las estaciones de trabajo debe promover posturas adecuadas y minimizar el esfuerzo físico de los operarios, lo cual impacta positivamente en su bienestar y en el rendimiento general.
- Seguridad: La delimitación clara de las zonas de trabajo y la prevención de interferencias entre procesos son esenciales para reducir el riesgo de accidentes y mantener un entorno laboral seguro.

Factores Económicos

- Costos asociados: Se analizan los costos vinculados a la reubicación de maquinaria y a las modificaciones necesarias en la infraestructura, priorizando alternativas que representen un equilibrio entre la inversión requerida y los beneficios esperados.
- Impacto en la productividad: La redistribución debe garantizar una mejora sostenible en los flujos de trabajo, minimizando interrupciones y tiempos muertos tanto durante la transición como en su implementación definitiva.

1.2 Equipos y herramientas disponibles

La planta cuenta con una serie de herramientas y equipos que apoyan el proceso productivo, contribuyendo a mejorar la eficiencia operativa. Los equipos disponibles incluyen:

1. *Puente Grúa (2 unidades)*: Utilizado para facilitar el ensamblaje de productos de gran tamaño y altura, permitiendo la manipulación segura de piezas pesadas y voluminosas. Garantiza precisión en el ensamblaje final.
2. *Máquina de pintura*: Diseñada para aplicar recubrimientos uniformes de pintura sobre las piezas, asegurando acabados de alta calidad y consistencia en cada aplicación.
3. *Máquina para Soldar*: Esencial para la unión de materiales, proporcionando estructuras sólidas y duraderas. Cumple con los requisitos de precisión y calidad en las uniones, asegurando la integridad de las piezas.
4. *Pulidora*: Herramienta utilizada para alisar superficies y eliminar imperfecciones, mejorando el acabado final de las piezas, especialmente aquellas sometidas al proceso de soldadura.
5. *Montacarga Manual*: Optimiza el transporte interno de materiales y productos, facilitando la manipulación de cargas ligeras y medianas. Contribuye a la mejora de los flujos de trabajo dentro de la planta.
6. *Rack de Almacenamiento*: Estructuras diseñadas para organizar materiales y productos, maximizando el uso del espacio disponible y reduciendo los tiempos de búsqueda y acceso.

1.3 Diagnóstico de Distribución de la Planta Actual

La falta de áreas de trabajo fijas en la planta representa una limitación significativa, especialmente cuando aumenta la cantidad de pedidos en proceso. Esta situación provoca desorden operativo, desplazamientos innecesarios y una disminución en la eficiencia. La inexistencia de una organización espacial clara impide establecer un flujo de trabajo coherente, lo que repercute negativamente en la productividad. Por otra parte, aunque existe una zona destinada al almacenamiento de componentes especiales (CE) y algunas materias primas, no se dispone de un sistema formal que garantice una gestión eficiente de inventarios. Esta deficiencia dificulta el acceso oportuno a los materiales y afecta la continuidad del proceso productivo.

Ante este escenario, la propuesta de implementación del sistema híbrido ATO/MTS contempla la creación de áreas de almacenamiento definidas para materias primas y productos en proceso. Esta estrategia busca establecer un orden lógico en la circulación de materiales dentro de la planta, facilitando su localización, trazabilidad y control en cada etapa. Del mismo modo, se plantea la asignación de estaciones de trabajo fijas, con el objetivo de mejorar la organización y reducir tiempos de desplazamiento.

1.3.1 Problemas encontrados

1. *Ausencia de una Disposición Adecuada*: La planta carece de una distribución clara y organizada de las áreas de trabajo, lo que genera tiempos muertos y disminuye la eficiencia operativa. Esta falta de estructura impide una circulación fluida de materiales y productos, resultando en interrupciones frecuentes y un uso ineficiente de los recursos disponibles. Los procesos tienden a verse interrumpidos debido a los conflictos por el uso compartido de espacios no asignados, lo que provoca un entorno de trabajo caótico y desorganizado.
2. *Falta de Áreas de Trabajo Definidas*: Las actividades de soldadura, pulido y ensamblaje se realizan en cualquier espacio

disponible, sin una asignación de áreas específica para cada proceso. Esto genera movimientos innecesarios de los operarios, aumenta el tiempo de desplazamiento y reduce la eficacia de las operaciones. Además, la falta de definición en las áreas de trabajo dificulta tanto la planificación como el seguimiento de los flujos de trabajo, afectando directamente la productividad.

3. *Interferencia entre Procesos:* La proximidad entre ciertos procesos, como el pulido y la pintura, genera conflictos. Las partículas provenientes del proceso de pulido pueden contaminar áreas cercanas a la pintura o el ensamblaje, afectando la calidad del producto final y generando retrabajos innecesarios.
4. *Acumulación de Inventario en Proceso:* La presencia de cuellos de botella en áreas clave como la soldadura y la pintura genera acumulación de materiales en espera de ser procesados. Esta congestión en el flujo de trabajo afecta la eficiencia de la planta y aumenta los tiempos de fabricación, dificultando la capacidad de la empresa para cumplir con los plazos de entrega y ajustarse a los requerimientos de los clientes.
5. *Condiciones Ergonómicas Subóptimas:* Las áreas improvisadas para trabajar no están diseñadas para facilitar posturas adecuadas ni movimientos ergonómicos. Esto incrementa el riesgo de lesiones y fatiga entre los operarios, lo cual no solo afecta su bienestar, sino que también puede influir negativamente en su rendimiento y en la calidad de las operaciones realizadas.
6. *Falta de Señalización y Delimitación de Espacios:* La ausencia de marcas visuales para delimitar las zonas de trabajo, almacenamiento y circulación dificulta la organización dentro de la planta y eleva el riesgo de accidentes. Sin una clara demarcación de las áreas, se genera confusión y mayor probabilidad de interferencia entre los diferentes procesos.
7. *Deficiente Manejo de Materiales:* Los movimientos de materiales dentro de la planta son ineficientes debido a la falta de rutas claras y la ausencia de un sistema estructurado para su transporte. Esto aumenta los tiempos de traslado, causa un desgaste innecesario del montacarga manual y ralentiza todo el proceso de producción.

1.3.2. Diagrama de recorrido

Tabla XXIII Notación para áreas de trabajo en diagramas de recorrido

N°	Área
1	Revisión Requerimientos
2	Almacén/Bodega
3	Soldadura
4	Pulido
5	Pintura
6	Ensamble

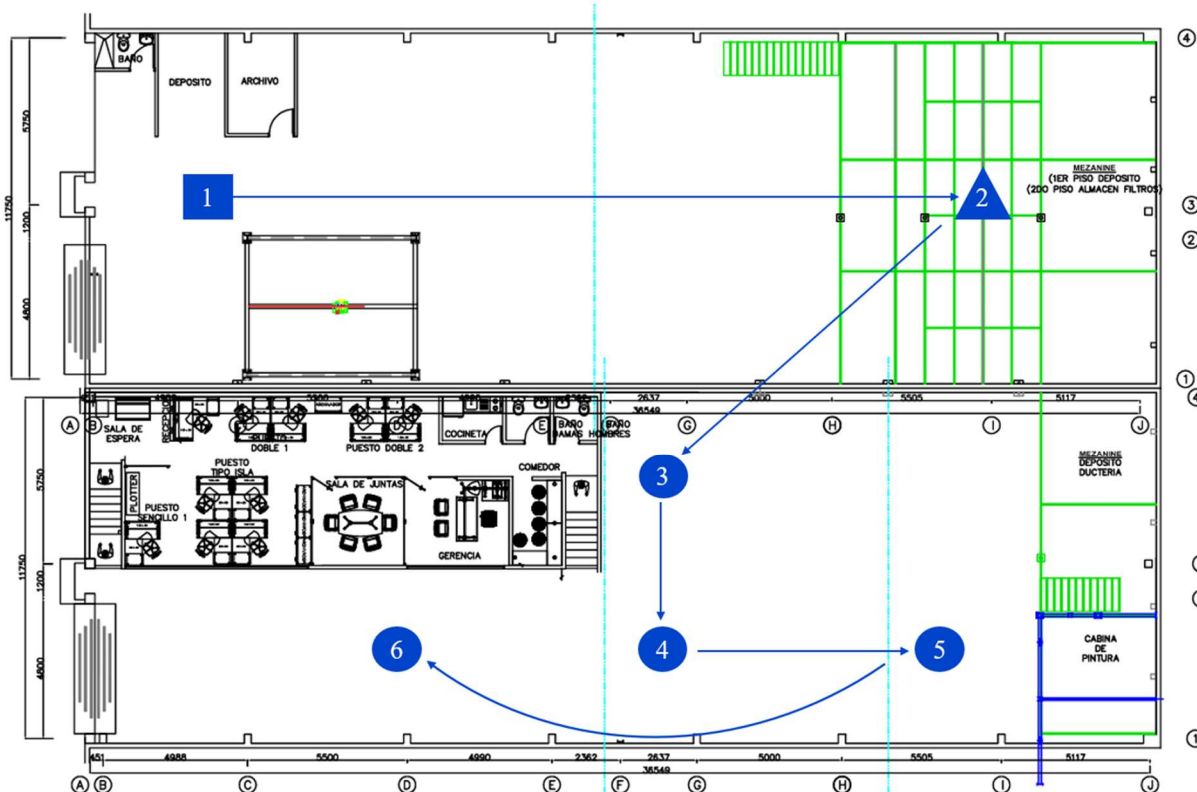


Fig. 33 Diagrama de recorrido - Colectores de cartucho

La Figura 32 presenta el diagrama de recorrido ideal que se busca implementar para productos que requieren ensamblaje completo, como los colectores de cartucho. Sin embargo, en la práctica, este flujo no siempre se respeta, ya que las actividades se realizan en función de la disponibilidad de espacio y no en estaciones fijas. Esta flexibilidad forzada introduce una fuente adicional de inestabilidad operativa que ya se ha identificado como un obstáculo en el diagnóstico general.

Más allá de la ausencia de puntos de trabajo definidos, el propio diagrama revela que el flujo de materiales no es completamente lineal ni continuo. Un caso crítico se observa entre los puntos 4 (pulido) y 5 (cabina de pintura), donde existe un retroceso que expone el proceso a riesgos de contaminación. Las partículas generadas durante el pulido pueden adherirse a las piezas que pasan directamente a pintura, comprometiendo la calidad del acabado final. Esta configuración no solo genera movimientos innecesarios y retrabajos, sino que también pone en evidencia la necesidad de una redistribución espacial más lógica y eficiente, que permita trayectorias secuenciales, directas y controladas.

1.3.3. Análisis de requerimientos por actividades

Con base en el diagnóstico de la distribución vigente, se desarrolló un análisis detallado de requerimientos específicos por actividad, con el objetivo de identificar las condiciones necesarias en términos de espacio, equipamiento, relaciones funcionales y flujo de materiales.

Tabla XXIV Dimensiones totales de la planta

Dimensiones de la planta	
Ancho	11,750 m
Largo	36,549 m
Área Total	429,45 m ²

La imagen presenta las dimensiones generales de la planta, la cual dispone de un área total de 429 metros cuadrados destinados a la ejecución de todas las operaciones productivas.

Tabla XXV Requerimientos Actividad: Soldadura

Soldadura	
Dimensiones sugeridas 6 m (ancho) x 8 m (largo) → Área: 48 m ²	
Categoría	Detalle
Servicios	Energía eléctrica trifásica, ventilación local, conexión a tierra adecuada para máquinas de soldar.
Infraestructura	Ventilación con sistema de extracción localizada para humos y vapores. Cable de masa en óptimo estado, aislado y con certificación industrial.
Peligros	Gases inflamables, riesgo de quemaduras, chispas y descargas eléctricas.
Ventilación	Extractores industriales con filtros de carbono activado; renovación constante del aire.
Cableado	Conductores especiales con aislamiento térmico y protección contra picos de corriente.
Factores de relación	Alta conexión con el área de pulido (reducción de tiempos de traslado). Pasillos de 3.5 m para transporte de materiales.

Para la actividad de soldadura se considera una ventilación robusta debido a la generación constante de humos, vapores y partículas metálicas, que pueden representar un riesgo para los operarios y el medio ambiente. La conexión a tierra asegura que las operaciones de soldadura sean seguras y conformes con normativas internacionales.

Tabla XXVI Requerimientos Actividad: Pulido

Pulido	
Dimensiones sugeridas 4,5 m (ancho) x 6 m (largo) → Área: 27 m ²	
Categoría	Detalle
Servicios	Energía eléctrica, aire comprimido.
Infraestructura	Paredes con recubrimientos antiestáticos para evitar acumulación de partículas.
Peligros	Emisión de partículas finas, riesgo de contaminación cruzada con pintura.
Ventilación	Filtros especializados para partículas metálicas, temperatura controlada (20-25°C).
Cableado	Instalación eléctrica protegida, adecuada para herramientas de alta rotación.
Factores de relación	Alta conexión con soldadura y baja conexión con pintura (para evitar contaminación cruzada). Pasillos laterales de 3 m para circulación.

En la actividad de pulido, el control de partículas asegura que los residuos del proceso de pulido no interfieran con el área de pintura ni con otros procesos. La temperatura controlada optimiza la calidad de los acabados al mantener la superficie en condiciones ideales de trabajo.

Tabla XXVII Requerimientos Actividad: Pintura

Pintura	
Dimensiones sugeridas 4,8 m (ancho) x 5,117 m (largo) → Área: 24,5616 m ²	
Categoría	Detalle
Servicios	Agua, desagües, energía eléctrica.
Infraestructura	Cabina cerrada con sistema de extracción y filtración para gases tóxicos; cimientos reforzados para soportar maquinaria.
Peligros	Acumulación de vapores inflamables, posibilidad de incendios, riesgos químicos por pinturas volátiles.
Ventilación	Sistema extractivo continuo con filtros HEPA y filtros de carbón activado para gases tóxicos.
Cableado	Sistema eléctrico aislado y protegido contra chispas, con certificación para ambientes inflamables.
Factores de relación	Alta conexión con la bodega y moderada con el área de ensamble.

Para el área de pintura, el diseño de una cabina cerrada con ventilación especializada minimiza los riesgos asociados a la acumulación de vapores inflamables y gases tóxicos. Esto es fundamental para cumplir con normas de seguridad y calidad en la operación. El ensamble por su parte requiere espacio amplio y cercano a las grúas en forma de L para facilitar el movimiento de piezas pesadas. Debe ubicarse estratégicamente entre las áreas de soldadura, pintura y bodega.

Tabla XXVIII Requerimientos Actividad: Ensamble

Ensamble	
Dimensiones sugeridas 10 m (ancho) x 12 m (largo) → Área: 120 m ²	
Categoría	Detalle
Servicios	Energía eléctrica, iluminación, acceso a herramientas neumáticas y manuales.
Infraestructura	Suelo resistente al impacto, soportes para materiales; grúas cercanas.
Peligros	Caídas de herramientas, riesgo de lesiones por movimientos repetitivos.
Ventilación	Sistema de ventilación natural o asistida, acorde al flujo de personas y materiales.
Cableado	Instalación eléctrica adecuada para herramientas portátiles.
Factores de relación	Alta conexión con bodega y soldadura; moderada conexión con pintura.

Respecto a la bodega de almacenamiento, esta debe estar próxima al área de pintura para facilitar el flujo de productos terminados y materias primas. Los demás requerimientos del área se muestran a continuación.

Tabla XXIX Requerimientos Actividad: Almacenamiento en Bodega

Almacenamiento en Bodega	
Dimensiones sugeridas 5,75 m (ancho) x 5,117 m (largo) → Área: 29,406 m ²	
Categoría	Detalle
Servicios	Energía eléctrica, iluminación adecuada.
Infraestructura	Estanterías reforzadas para almacenamiento de materiales pesados.
Peligros	Caída de materiales, acumulación de polvo.
Ventilación	Ventilación natural asistida para prevenir acumulación de humedad.
Cableado	Instalación eléctrica básica para iluminación y herramientas ocasionales.
Factores de relación	Alta conexión con pintura; moderada conexión con ensamble.

Consideraciones extra:

- *Pasillos:* Se reservan al menos 2 m de ancho en pasillos principales para el movimiento de materiales y personas.
- *Movimiento de materiales:* Se prioriza la proximidad de las áreas más interconectadas (soldadura, pintura, ensamble).
- *Seguridad:* Todos los sistemas deben cumplir normativas de seguridad industrial, minimizando riesgos para operarios y equipos.

1.3.4. Matriz de relaciones y Diagrama relacional de actividades

Con base en los requerimientos técnicos identificados por proceso, se construyó una matriz de relaciones para analizar las necesidades de proximidad entre las áreas clave del proceso productivo. Esta herramienta permite identificar el nivel de interdependencia entre estaciones como soldadura, pulido, pintura, ensamble y almacenamiento, clasificando las relaciones según su importancia y el tipo de interacción requerida. La Figura 33 presenta la matriz de razón, la cual constituye un insumo esencial para proponer mejoras en la distribución, priorizando la eficiencia en el flujo de materiales, la minimización de tiempos improductivos y la reducción de riesgos operativos.

Código	Razón
1	Relación directa en el flujo de materiales o procesos. Estas áreas necesitan estar próximas para minimizar tiempos de traslado y mejorar la eficiencia operativa.
2	Existe un riesgo crítico de contaminación cruzada o interferencia de procesos. Estas áreas no deberían estar próximas para evitar problemas de calidad o seguridad.
3	Relación funcional moderada por necesidades compartidas de infraestructura o servicios, pero sin dependencia directa en el flujo de procesos.
4	Relación indirecta debido a requisitos compartidos, pero con baja relevancia para la operación diaria.
5	Relación mínima basada en el uso compartido de servicios o infraestructura, sin impacto operativo significativo.
6	Relación complementaria alta debido a infraestructura compartida, servicios comunes o proximidad estratégica que optimiza la seguridad y el flujo de materiales.

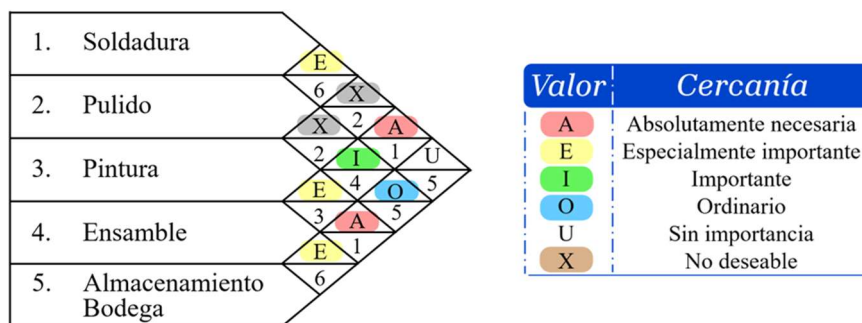


Fig. 34 Matriz de relaciones entre áreas productivas

En la Figura 34 el “área de revisión” no se incluye en el análisis del diagrama de relaciones, ya que corresponde a un preproceso que se lleva a cabo antes del inicio del flujo productivo en las áreas principales. Por esta razón, no forma parte directa de las interacciones entre las áreas involucradas en el proceso de producción.

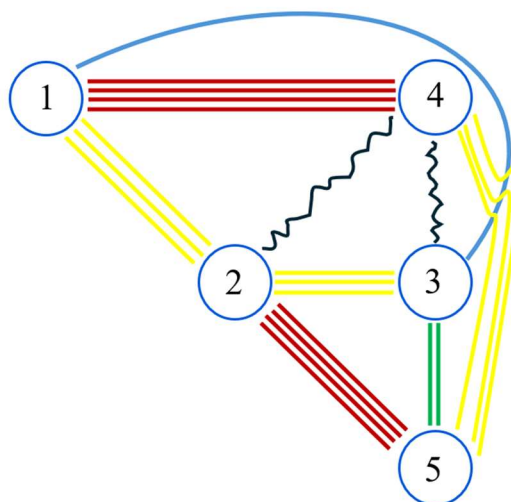


Fig. 35 Diagrama relacional de actividades

1.3.5. Plan detallado de distribución (Método de Guerchet)

Para llevar a cabo un análisis detallado de la distribución de planta actual, se aplicó el método de Guerchet, ampliamente reconocido por su utilidad en la planificación de espacios industriales. Esta herramienta permite determinar con precisión el área requerida para cada estación de trabajo, considerando tanto las dimensiones físicas de las máquinas como factores relevantes, tales como el número de operarios y los espacios libres necesarios para garantizar una circulación segura y eficiente dentro de la planta [24]. En el caso de Venfil Ingeniería S.A.S., el método Guerchet fue aplicado para calcular los requerimientos espaciales de las áreas involucradas en el proceso productivo (soldadura, pulido, pintura, ensamblaje y almacenamiento). El resultado obtenido fue un dimensionamiento claro y justificado de cada zona, lo que permitió identificar oportunidades de mejora en la disposición actual y formular propuestas de redistribución más eficientes. Es importante destacar que las áreas actuales utilizadas para esta comparación son estimativas, debido a la ausencia de una delimitación precisa para cada actividad en la distribución vigente.

Tabla XXX Máquinas y medidas de cada una junto a los lados libres que requiere

Elementos	n	L	A	H	N
Soldadura	1	3,6	2,7	1,5	1
Pulidora	1	2,7	2,025	1,3	1
Pintura	1	2,30265	2,16	1,4	1
Ensambladora	1	5,4	4,5	1,6	1
Bodega	1	2,30265	2,5875	3	1

En la siguiente tabla se presentan las medidas de las máquinas y los espacios libres necesarios para cada estación de trabajo, considerando los factores definidos por el método de Guerchet.

Tabla XXXI Aplicación del método Guerchet

Área	Ss	Sg	Ss · n	Ss · n · H	Se	St	S _T = (St · n)
Elementos Fijos Soldadura	9,72	9,72	9,72	14,58	9,46809364	28.9080936	28.9080936
Pulidora	5,4675	5,4675	5,4675	7,10775	5,32580267	16.2608027	16.2608027
Pintura	4,973724	4,973724	4,973724	6,9632136	4,84482352	14.7922715	14.7922715
Ensambladora	24,3	24,3	24,3	38,88	23,6702341	72.2702341	72.2702341
Bodega	5,95810688	5,95810688	5,95810688	17,8743206	5,80369484	17.7199086	17.7199086
TOTAL			50,4193309	85,4052842			132,231402 m ²

Elementos	Ss	H _m	Ss
Móvil Operarios	0,5	1,7	1,05
			H _m 1,7
			K 0,809524

Los resultados obtenidos revelan que el área requerida para cada estación de trabajo, según el método Guerchet, es significativamente menor que el espacio actualmente asignado, lo que representa una oportunidad importante para optimizar el uso del área disponible. Por ejemplo, la estación de soldadura, que actualmente dispone de aproximadamente 48 m², presenta un requerimiento real de solo 28,91 m² según el análisis efectuado. De forma similar, el área destinada a la ensambladora, que ocupa 120 m², podría funcionar eficientemente en apenas 72,27 m². La implementación de estos ajustes permitiría una utilización más eficiente del espacio, además de favorecer una reorganización más lógica y funcional de los flujos de trabajo dentro de la planta.

Tabla XXXII Áreas propuestas

Área	Área actual (m ²)	Área propuesta (m ²)
Soldadura	48	28.90809364
Pulidora	27	16.26080267
Pintura	24,5	14.79227152
Ensambladora	120	72.27023411
Bodega	30	17.71990859

1.4 Distribución de planta Propuesta

La propuesta de redistribución presentada en la Figura 35 reorganiza la planta bajo un esquema de flujo lineal, alineado con la secuencia ideal del proceso productivo (soldadura → pulido → pintura → ensamblaje). Se ha decidido mantener la ubicación actual del área de pintura para evitar costos adicionales derivados de su reubicación.

En cuanto a la optimización del flujo productivo, el rediseño elimina los reprocesos y devoluciones entre estaciones, permitiendo un proceso significativamente más fluido en comparación con la disposición actual. Asimismo, se incorpora un área específica para el almacenamiento de producto en proceso, lo que facilita la implementación de un sistema *Make to Stock* (MTS). Esta estrategia permite contar con inventario adelantado, lo que mejora la capacidad de respuesta ante nuevos pedidos y contribuye a una gestión de inventarios más eficiente, reforzando el control de la producción.

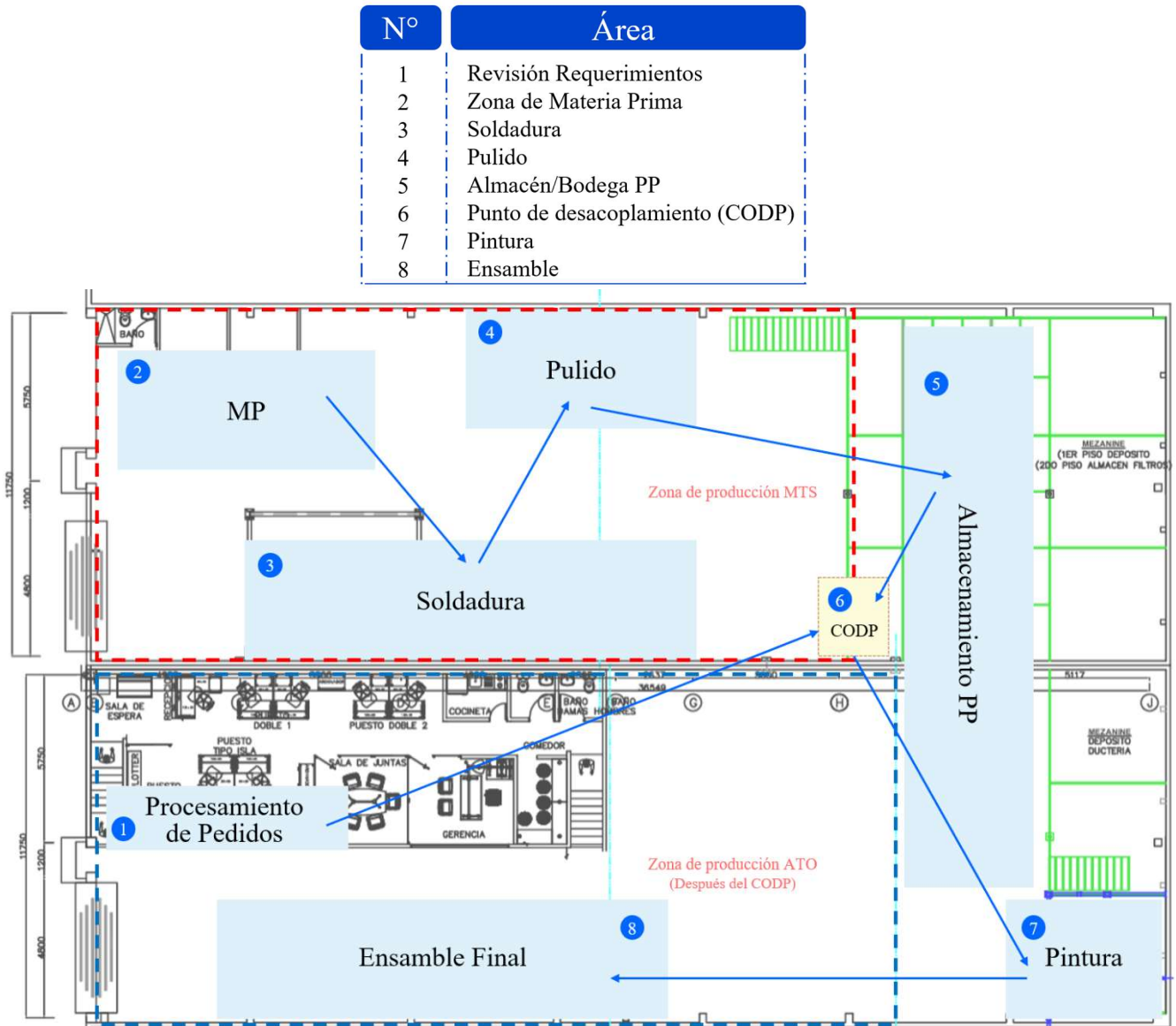


Fig. 36 Propuesta de distribución de planta

Cabe aclarar que, aunque previamente se aplicó el método de Guerchet para determinar el área necesaria de cada estación de trabajo considerando dimensiones, espacios libres y circulación segura, las zonas sombreadas en la figura tienen un carácter ilustrativo. Por tanto, su representación gráfica no refleja de manera estricta las proporciones de área (en metros cuadrados) que resultaron del análisis técnico detallado.

En síntesis, el rediseño de la planta propuesto responde directamente a las principales deficiencias identificadas en la configuración actual, como la falta de delimitación de áreas de trabajo, recorridos productivos ineficientes, acumulación de inventario en proceso y condiciones ergonómicas subóptimas. La nueva distribución promueve una operación más ordenada, continua y segura, al tiempo que optimiza el uso del espacio y mejora la eficiencia en los desplazamientos entre estaciones. Además, incorpora criterios técnicos precisos derivados de la aplicación del método de Guerchet. Esta propuesta fue seleccionada tras evaluar, en conjunto con los trabajadores de Venfil Ingeniería S.A.S., diversas alternativas de redistribución,

siendo considerada la más coherente y alineada con las necesidades reales del proceso productivo, tanto desde una perspectiva técnica como operativa. Se espera que su implementación optimice el rendimiento global de la planta y fortalezca su capacidad de respuesta ante variaciones en la demanda.

2. Modelo de simulación

Con el propósito de analizar el desempeño actual del proceso de ensamblaje de colectores de cartucho en la empresa Venfil Ingeniería S.A.S. y evaluar la viabilidad de una propuesta de mejora basada en un sistema híbrido ATO/MTS, se desarrolló un modelo de simulación en el software FlexSim. Este modelo permite replicar el comportamiento dinámico del sistema productivo, facilitando la identificación de cuellos de botella, tiempos ociosos y niveles de utilización de los recursos. Cabe aclarar que la réplica no busca representar con total exactitud la realidad operativa, sino ofrecer una visión idealizada del sistema, omitiendo factores externos que, en la práctica, podrían afectar el desempeño del proceso.

El primer paso en la construcción del modelo consistió en configurar los tiempos de llegada de las entidades al sistema, representadas en este caso por los pedidos de colectores. Para determinar esta configuración, se consideró un horizonte de trabajo de 20 días productivos por mes, con jornadas laborales de 8 horas diarias, resultando en un total de 160 horas disponibles mensualmente. De acuerdo con la información suministrada en conversaciones con los directivos de la empresa, se estableció que, en promedio, se reciben tres órdenes de colectores por mes. Dividiendo el total de horas disponibles entre el número de pedidos mensuales (160/3), se obtuvo un valor aproximado de 53,33 horas, indicando que, en promedio, cada 53,33 horas ingresa un nuevo pedido al sistema. En consecuencia, el *source* del modelo de simulación fue configurado bajo una distribución exponencial, con una media de 53,33 horas, para reflejar adecuadamente la aleatoriedad de la llegada de pedidos.

Adicionalmente, fue necesario configurar los tiempos de procesamiento de las estaciones de trabajo involucradas en la fabricación de los colectores. Para este propósito, se solicitó el apoyo de la empresa en la recolección de información de campo, con el fin de determinar los tipos de distribución estadística que mejor representaran el comportamiento de los tiempos de procesamiento reales. Aprovechando que el desarrollo del presente proyecto inició en el segundo semestre de 2024, se pidió a los operarios que, a partir de agosto, registraran los tiempos requeridos para el procesamiento de cada unidad. Durante dicho periodo, la empresa procesó un total de 16 órdenes de colectores de cuatro cartuchos, correspondientes a los meses de agosto a diciembre. La información recolectada por la empresa se presenta en el Anexo 12.

Los tiempos proporcionados por la empresa a partir de 16 observaciones estaban registrados en un formato mixto de horas y minutos, por lo que fue necesario estandarizarlos y convertirlos completamente a unidades de horas para facilitar su análisis. El estudio de ajuste de distribuciones se llevó a cabo inicialmente mediante el software *Risk Simulator*, con el objetivo de identificar la función de probabilidad que mejor representara los tiempos de procesamiento asociados a cada actividad. Para validar la adecuación de las distribuciones teóricas seleccionadas frente a los datos empíricos, se aplicaron pruebas de bondad de ajuste, específicamente Chi-cuadrado (χ^2) y Kolmogórov-Smirnov (KS).

Posteriormente, durante la fase de validación y comparación de herramientas, se incorporó el uso del software *EasyFit*, el cual demostró ofrecer ajustes más robustos y precisos. Este software permitió confirmar los resultados obtenidos con *Risk Simulator*, mediante la aplicación de las mismas pruebas estadísticas de bondad de ajuste (χ^2 y KS), brindando mayor confiabilidad en la selección final de las distribuciones utilizadas para construir el modelo de simulación.

Cabe destacar que *EasyFit* genera un ranking para cada variable analizada, en el cual clasifica las distribuciones según su nivel de ajuste a los datos, con base en los resultados de las pruebas de bondad (χ^2 y KS). No obstante, se observó que algunas de las distribuciones mejor posicionadas en este ranking no están disponibles dentro del conjunto estándar de distribuciones ofrecidas por el software FlexSim, utilizado para el modelado de la simulación. Por esta razón, la selección final de las distribuciones para cada proceso se realizó considerando tanto la posición en el ranking generado por EasyFit como la disponibilidad de la distribución en FlexSim, garantizando así un equilibrio entre la precisión estadística y la viabilidad operativa del modelo.

Las distribuciones obtenidas para cada proceso fueron las siguientes:

- Soldadura: Distribución Uniforme, con parámetros $\alpha = 9,41$ y $\beta = 13,61$.

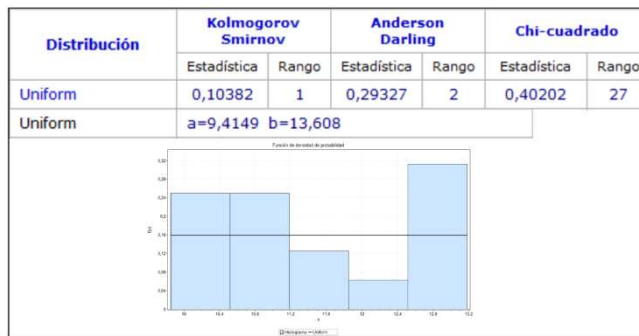


Fig. 37 Ajuste de distribución para proceso de Soldadura. Fuente: EasyFit

- Pulido: Distribución Normal, con una media (μ) de 4,42 horas y una desviación (σ) de 2,30.

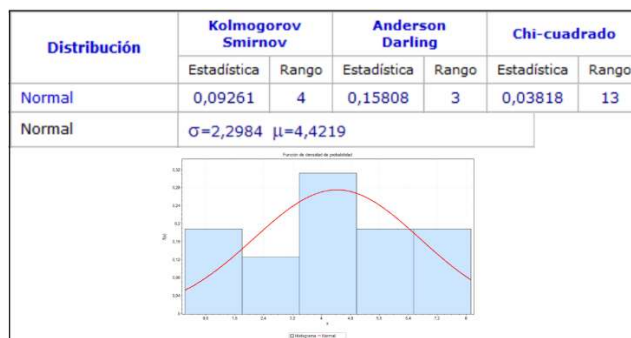


Fig. 38 Ajuste de distribución para proceso de Soldadura. Fuente: EasyFit

- Pintura: Distribución Weibull, con parámetros de forma $\alpha = 3,76$ y escala $\beta = 3,08$

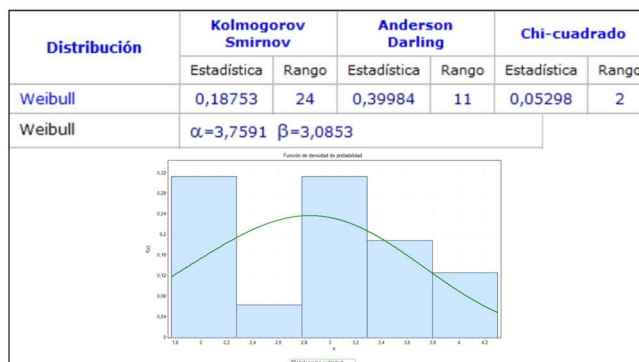


Fig. 39 Ajuste de distribución para proceso de Pintura. Fuente: EasyFit

- Ensamble de componentes especiales: Distribución Lognormal, con una media (μ) de 1,70 horas y una desviación (σ) de 0,17.

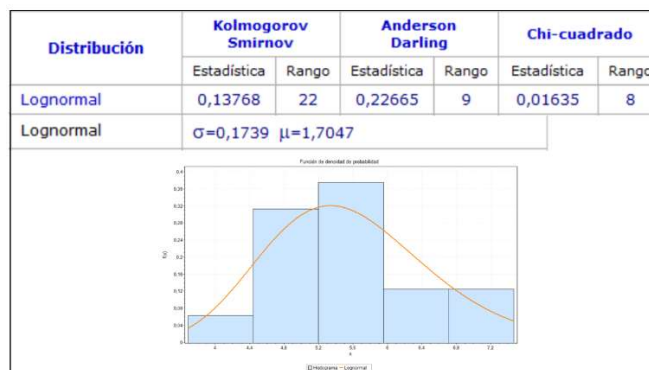


Fig. 40 Ajuste de distribución para proceso de Ensamble de CE. Fuente: EasyFit

Para cada conjunto de datos recolectados por operación, se evaluó la distribución estadística que mejor se ajustara a su comportamiento, apoyándose en pruebas de bondad de ajuste. No obstante, además del ajuste estadístico, también se consideró como criterio de selección la viabilidad de implementar dichas distribuciones dentro del entorno del software FlexSim, con el fin de garantizar su compatibilidad en el modelo de simulación. El análisis y la selección de las distribuciones se realizaron utilizando el software EasyFit, cuya aplicación puede consultarse detalladamente en el Anexo 13, el en la Tabla XXXIII se muestra el resumen de los parámetros usados en la simulación de cada proceso.

Tabla XXXIII Parámetros del modelo de simulación

Área	Distribución	Parámetros	
Soldadura	Uniforme	$\alpha = 9,4149$	$\beta = 13,608$
Pulidora	Normal	$\mu = 4,4219$	$\sigma = 2,2984$
Pintura	Weibull	$\alpha = 3,7591$	$\beta = 3,0853$
Ensamble	Log-normal	$\mu = 1,7047$	$\sigma = 0,1739$

Se construyeron dos modelos independientes en FlexSim, los cuales permiten comparar el desempeño del sistema actual frente a la propuesta de mejora:

- Modelo de la situación actual: reproduce el flujo operativo tal como se ejecuta actualmente en la planta, considerando las restricciones de capacidad, la secuencia real de los procesos y la asignación actual de recursos.
- Modelo del sistema híbrido propuesto: incorpora modificaciones estructurales tanto en la distribución física del trabajo como en la asignación de recursos, con el objetivo de reducir tiempos de procesamiento y aumentar la capacidad de respuesta ante eventuales incrementos en la demanda.

2.1. Construcción del modelo Actual

Para el desarrollo del modelo correspondiente a la situación actual, se utilizó la información contenida en los planos 2D de la empresa, a partir de los cuales se replicó la distribución de las estaciones de trabajo respetando su ubicación real, como se evidenció previamente en la sección de diagnóstico de distribución de planta. El modelo completo está disponible en el Anexo 14.

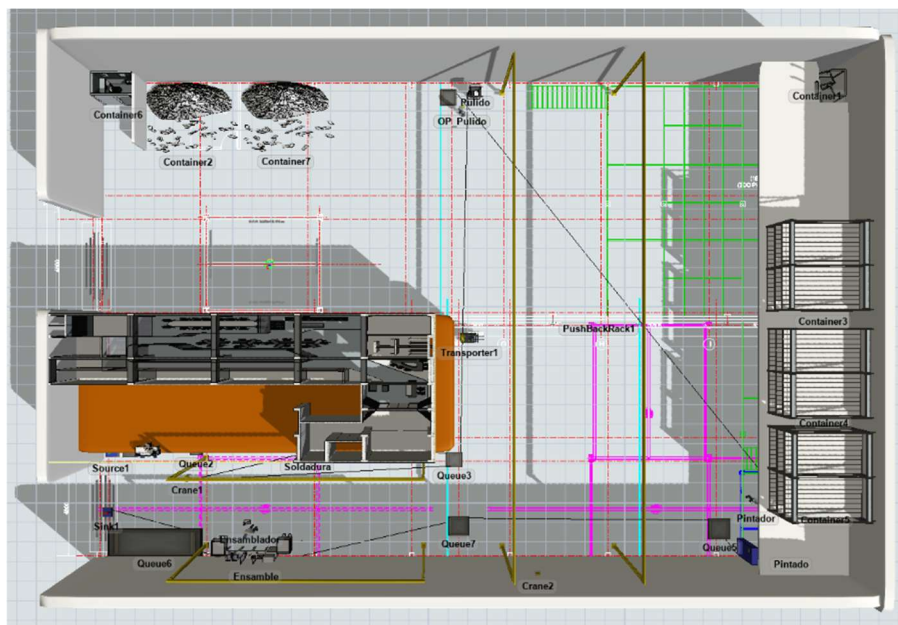


Fig. 41 Vista superior Modelo Situación Actual FlexSim. Anexo [12]

Composite Tiempo de Ciclo		
AvgStaytime	MinStaytime	MaxStaytime
45.84	35.15	64.46



Fig. 42 Estadísticas Modelo de Situación Actual

A partir de la ejecución del modelo de simulación para la situación actual, fue posible obtener métricas clave sobre el comportamiento del sistema de producción bajo la configuración operativa vigente como se muestra en las figuras 40 y 41. En primer lugar, el análisis de utilización de recursos permitió ratificar que la estación de soldadura es la de mayor carga operativa dentro del flujo productivo, con un 17,18 % del tiempo dedicado a procesamiento activo según la ejecución de la simulación. Le siguen las estaciones de ensamble, pulido y pintado, con niveles de utilización del 9,02 %, 7,10 % y 4,28 % respectivamente. Cabe aclarar que estos niveles de utilización corresponden exclusivamente a la producción de colectores de cartucho, sin considerar otros tipos de equipos que también pueden ser fabricados por la empresa. Estos resultados confirman que la soldadura constituye un cuello de botella en el sistema, al concentrar una mayor proporción del esfuerzo productivo.

Por otro lado, la métrica de tiempo de ciclo compuesta (*Composite Staytime*) muestra que una entidad (colector de cartuchos) permanece en promedio 45,84 horas dentro del sistema productivo, únicamente considerando la fase de manufactura. Este valor puede interpretarse como el tiempo requerido desde que un pedido inicia su procesamiento hasta que concluye todas las operaciones de fabricación. Si se traduce a días laborales de 8 horas, equivale aproximadamente a 5,73 días de trabajo continuo.

2.2. Construcción del modelo propuesto

Con el objetivo de optimizar el flujo productivo y mejorar la respuesta frente a la demanda, se reorganizaron los procesos actuales de la empresa dividiéndolos en dos estrategias de producción: *Make to Stock (MTS)* y *Assemble to Order (ATO)*. Bajo la modalidad MTS se agruparon las actividades de soldadura y pulido, mientras que bajo ATO se contemplaron las actividades de pintura e instalación de componentes especiales, esta versión del modelo puede encontrarse en el Anexo 15.

Para facilitar esta transición, se estableció un punto de desacoplamiento entre las etapas de “pulido” y “pintura” (Fig. 42), tal como se propuso en el análisis funcional anteriormente. Este punto marca una diferencia entre las estrategias MTS y ATO [6], aquí se almacena el inventario de las estructuras base de los colectores como producto en proceso, lo cual asegura la disponibilidad inmediata de unidades parcialmente fabricadas para que los procesos bajo la modalidad ATO puedan continuar de forma independiente. Cuando llega una nueva orden de pedido, si existen unidades disponibles en el punto de desacoplamiento (lo cual es el escenario ideal) un colector se libera para continuar con las actividades ATO, iniciando las fases de “pintura” y “ensamblaje de componentes especiales”. De forma simultánea, se emite una orden de producción hacia el área de soldadura para reponer el colector extraído del inventario en proceso, asegurando así la continuidad del stock de seguridad definido. Esta reposición es posible gracias a la planificación anticipada que considera la demanda esperada, permitiendo a la empresa contar oportunamente con los materiales necesarios en el momento en que se requiera fabricar una nueva unidad.

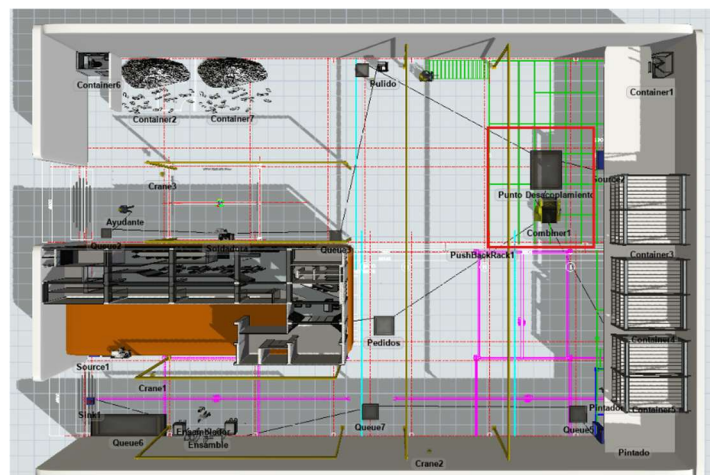


Fig. 43 Vista superior Modelo Propuesto Flexsim

Este enfoque está directamente vinculado con el diseño del sistema de Planificación de Requerimientos de Materiales (MRP) el cual organiza estratégicamente los elementos del colector gestionados bajo la modalidad MTS, optimizando el uso del tiempo disponible y mejorando la flexibilidad operativa ante la diversidad de productos fabricados. Asimismo, se introdujo un ajuste importante en el primer proceso del flujo: la recepción y procesamiento de órdenes. Anteriormente, este paso tenía un tiempo variable con una distribución uniforme con parámetros *alpha* de 7,9 horas y *beta* de 19,2 horas de trabajo; sin embargo, considerando la implementación del MRP y la consecuente disponibilidad anticipada de materia prima, se asume una reducción en los tiempos de espera. En este sentido, se fija un nuevo tiempo variable con una distribución uniforme con parámetros *alpha* de 5,6 horas y *beta* de 10,9 horas laborales para procesar órdenes, contemplando un margen de seguridad frente a posibles imprevistos. No obstante, el escenario ideal sería alcanzar un tiempo de 4 horas (equivalente a medio día laboral), alineándose con las mejoras esperadas en eficiencia y agilidad del proceso de recepción.

Como se mencionó anteriormente, para la simulación en FlexSim, se utilizaron los planos de la empresa cargados desde AutoCAD, lo que permitió acondicionar los espacios de la planta conforme a la nueva propuesta de distribución. En el modelo, se implementó un punto de desacoplamiento entre los procesos de "pulido" y "pintura", mediante un "combiner", donde se definió una cantidad fija de dos colectores como producto en proceso. Es importante señalar que, debido a limitaciones de tiempo y el enfoque del proyecto, sólo se incluyó el colector de cuatro cartuchos en la simulación, aunque la empresa produce otro tipo de productos. Así, cuando se recibe una nueva orden de pedido y sale un colector de la cola de productos en proceso, este se envía al área de pintura, y automáticamente, el ensamblador recibe una notificación para producir un nuevo colector y reponer el que salió del inventario, manteniendo siempre por lo menos dos colectores en la zona de desacoplamiento.

En el Anexo 16 se encuentra disponible la simulación de la situación propuesta. Los resultados obtenidos al finalizar la simulación fueron los siguientes:

- *Utilización de los procesos*



Fig. 44 Estadísticas Modelo de Situación Propuesta.

Al comparar los resultados de utilización entre el modelo de situación actual y el nuevo escenario propuesto, se evidencia un aumento significativo en la carga operativa de la estación de soldadura, que pasa del 17,18 % al 26,10 %. Esto refleja una mayor concentración de trabajo en dicha estación bajo el nuevo esquema. Asimismo, se observan incrementos moderados en las estaciones de pulido, ensamble y pintado. Estos cambios sugieren una mejora en la utilización general del sistema como resultado de una asignación de recursos más eficiente y una reducción de tiempos ociosos.

- *Tiempo de ciclo del ATO y capacidad*

Esta métrica incluye el tiempo de cola de los procesos ATO y el tiempo de proceso, dando como resultado 22,17 horas, equivalente a 2,77 días. La eficiencia del tiempo de ciclo aumentó a 60,61%, lo que se debe a la reducción de los tiempos de espera en el proceso de procesamiento de pedidos.

Se asume este valor como el tiempo de ciclo total de un colector, ya que, una vez que se recibe una orden de pedido, esta es procesada y enviada directamente al CODP. Desde allí, la unidad continúa exclusivamente con las actividades asociadas a la estrategia ATO, es decir, pintura y ensamblaje de componentes especiales, sin considerar los tiempos previos correspondientes a la estrategia MTS. Por tanto, el tiempo de ciclo del ATO representa efectivamente el tiempo necesario para completar un colector desde el momento en que se genera la orden de cliente.

Tiempo de Ciclo MTS		
AvgStaytime	MinStaytime	MaxStaytime
22.17	16.38	31.88

Tiempo de Ciclo ATO		
AvgStaytime	MinStaytime	MaxStaytime
21.09	14.99	31.09

Fig. 45 Métrica de tiempo de ciclo situación propuesta

Al comparar estos resultados con la situación actual (Fig. 41), donde el tiempo de ciclo promedio era de 45,84 horas, se evidencia una mejora significativa. En el modelo propuesto, la suma de los tiempos de ciclo promedio de MTS y ATO (22,17 + 21,09 horas) da un total de 43,26 horas, lo que representa una reducción global del tiempo de permanencia promedio en el sistema. Además, considerando que un pedido de colector que llegue al sistema será procesado e irá directamente al CODP, el tiempo promedio que tardaría en sistema es de 21.09 horas, esto representaría una disminución del 54% aproximadamente. Sumado a ello, se observa una disminución tanto en el tiempo mínimo como en el máximo de permanencia, reflejando un comportamiento más eficiente y predecible del flujo de producción. Estas mejoras en los tiempos de ciclo refuerzan la efectividad del modelo híbrido propuesto.

En cuanto a la capacidad de producción, los resultados muestran que se incrementó considerablemente, pasando de 13,62 unidades por mes a 30,59 unidades por mes, equivalente a 1,53 unidades por día aproximadamente al implementar el modelo híbrido y mantener siempre 2 unidades de colectores en el punto de desacoplamiento.

Este enfoque no solo mejoró la eficiencia de los procesos productivos a través de indicadores claves como el tiempo de ciclo y su eficiencia, así como la capacidad de producción del sistema, tal como se muestra la Tabla XXXIV, sino que también permitió una mejor planificación y respuesta frente a la demanda, optimizando el flujo de trabajo y aumentando la capacidad de producción de la empresa. Con esto se demuestra el cumplimiento de las expectativas planteadas en la determinación de las características de ingeniería durante la primer fase del proyecto.

Tabla XXXIV Comparación KPI's

Indicadores Claves	Simulación Actual	Simulación Propuesta
Tiempo de Ciclo	5.73 días	2.63 días
Capacidad Producción	3.16 und/sem	7.64 und/sem
Eficiencia Tiempo de Ciclo	56.3%	60.61%

2.3. Análisis Financiero del Sistema Propuesto

El análisis financiero del sistema propuesto se basó en los resultados obtenidos mediante simulación, destacando principalmente la rotación del inventario. En este sentido, se identificó que los colectores permanecen un promedio de 96.89 horas en inventario de producto en proceso, lo que equivale aproximadamente a 12 días. Este valor fue fundamental para calcular el costo asociado al inventario dentro del nuevo esquema operativo.

Para determinar los costos de mantenimiento, se consideró únicamente el valor unitario de los colectores hasta la etapa de pulido, ya que esta corresponde a la parte gestionada bajo la estrategia *Make to Stock* (MTS). A su vez, el análisis se realizó tomando como base los dos colectores que permanecerían constantemente como inventario de producto en proceso, según lo definido en el punto de desacoplamiento de la simulación. El parámetro *h*, correspondiente al costo de mantener inventario, fue extraído del análisis realizado previamente en el módulo de MRP.

El costo total de mantenimiento de inventario se vería reflejado de la siguiente manera:

$$I_{\$} = c \times h \times I$$

Donde:

c: Costo unitario del colector hasta la etapa de pulido.

h: Porcentaje de mantenimiento anual.

I: Número de unidades promedio en inventario.

Adicionalmente, se utilizó la tasa de cambio promedio del dólar correspondiente al año 2023 asegurando consistencia con los reportes financieros del mismo año. En esta situación, la inversión en inventario tanto de materia prima como de producto en proceso se consideró como un activo. No obstante, para efectos del análisis financiero, se asumió que dicha inversión sería financiada, con el fin de reflejar el impacto en el balance general mediante la modificación de activos y pasivos.

Como se muestra en la Figura 45, el Valor Económico Agregado (EVA) del sistema propuesto resultó en USD 56,407.071, frente a un EVA actual de USD 57,339.233, reflejando una reducción de solo USD 932,162. Esta disminución es relativamente baja si se compara con las mejoras operativas alcanzadas, tales como una mayor disponibilidad de inventario, mejor nivel de servicio y una reducción considerable en los tiempos de respuesta del sistema. En consecuencia, aunque el beneficio financiero directo no es sustancial, los indicadores operativos respaldan la viabilidad del rediseño desde una perspectiva integral.

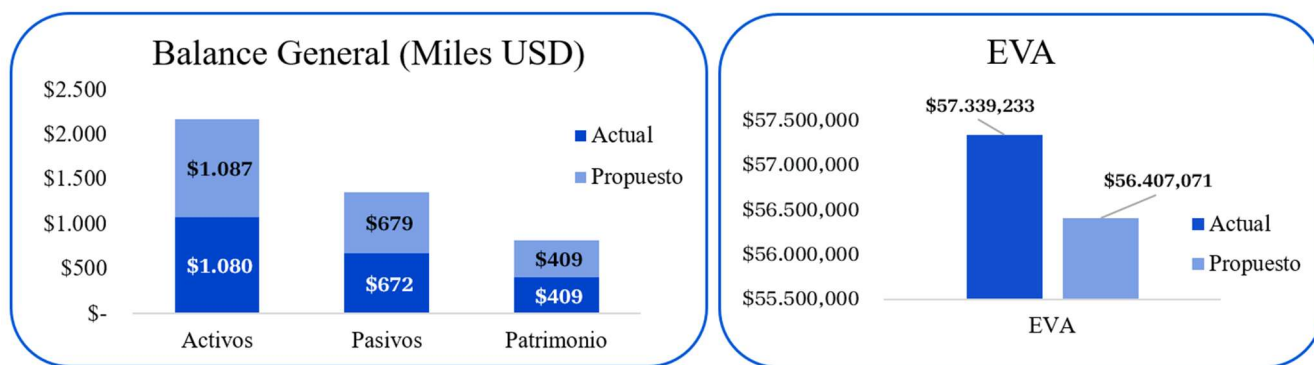


Fig. 46 Resultado Análisis Financiero

D. Objetivo específico 4: Definición de procedimientos para el funcionamiento y estandarización del sistema ATO/MTS.

Con el fin de consolidar el rediseño del sistema productivo de Venfil Ingeniería S.A.S., se establece la necesidad de definir e implementar procedimientos que garanticen el funcionamiento adecuado del sistema híbrido ATO/MTS y que permita su estandarización en el largo plazo. Esta estandarización tiene como propósito optimizar la gestión operativa, facilitar la capacitación del personal, reducir errores en la ejecución de tareas y promover la trazabilidad de los procesos de fabricación y ensamble de los colectores de cuatro cartuchos.

El diseño de estos procedimientos parte de una estructura híbrida en la que se distinguen claramente dos rutas: la fabricación de componentes bajo una estrategia *Make to Stock* (MTS) y el ensamble personalizado de acuerdo con las especificaciones del cliente bajo la lógica *Assemble to Order* (ATO). En este contexto, el sistema se basa en la identificación de un punto de desacoplamiento (CODP) que define el momento en la que la producción cambia de una etapa estandarizada a una personalizada, permitiendo así una respuesta ágil a la demanda sin comprometer la calidad del producto final.

Los procedimientos propuestos se agrupan en dos ejes fundamentales: planificación y pronóstico de la demanda y ejecución operativa.

1. Planificación y pronóstico de la demanda

El procedimiento de planificación de la producción en el marco del sistema híbrido ATO/MTS se fundamenta en un análisis de la demanda histórica del colector de cartucho de cuatro filtros, que constituye el producto de mayor rotación dentro del portafolio de Venfil Ingeniería S.A.S. Esta etapa es crítica para garantizar que la producción bajo la estrategia *Make to Stock* (MTS) se alinee con los niveles reales de demanda y evite tanto el desabastecimiento como la sobreproducción.

Inicialmente, se sugiere usar los datos históricos de demanda mensual registrados para realizar pronósticos de demanda. Los datos de los últimos 12 a 18 meses son útiles para alimentar los métodos de pronósticos disponibles, permitiendo obtener estimaciones con bajos niveles de error según la cantidad de información disponible. Estos datos se analizan con el objetivo de identificar tendencias, estacionalidades y patrones recurrentes. Aunque en un inicio se consideraron métodos clásicos de pronóstico como el suavizado exponencial simple y el modelo de Holt, se determinó que el comportamiento de la demanda del colector presenta una componente estacional significativa. Por esta razón, el modelo que mejor se ajustó a la naturaleza de la demanda fue el modelo de Winter, que permite capturar simultáneamente las variaciones de nivel, tendencia y estacionalidad.

Para estandarizar la implementación de este modelo, se estableció un procedimiento específico que debe ser ejecutado por la persona encargada de la planificación de producción, utilizando la hoja de cálculo en Microsoft Excel diseñada con las fórmulas del modelo de Winter, disponible en el Anexo 17. Esta herramienta incluye los espacios para agregar la información sobre la demanda de los colectores, así como celdas definidas para los parámetros de suavizamiento *alpha* (α) *beta* (β) y *gamma* (γ).

La estandarización de este procedimiento implica que la persona debe utilizar el complemento Solver de Excel para optimizar automáticamente los valores de los parámetros α , β y γ . El objetivo de Solver será minimizar el error cuadrático medio (ECM) entre los valores pronosticados y la demanda real registrada en los periodos históricos. El procedimiento que se sigue para lograr lo anterior es:

- 1) Ingresar los datos mensuales de demanda real en la tabla correspondiente
- 2) Configurar en Solver una celda objetivo (la celda del ECM), indicando que se desea minimizar ese valor.
- 3) Definir como variables de decisión las celdas que contienen los parámetros α , β y γ .

4) Establecer restricciones para estos parámetros, que se mantengan entre 0 y 1.

5) Ejecutar el Solver hasta encontrar la combinación de parámetros que minimicen el error de pronóstico (ECM).

No obstante, en la hoja de cálculo se ha incluido una macro que ejecuta automáticamente el Solver necesario para hallar los parámetros, siguiendo los pasos enunciados previamente. Una vez optimizados los parámetros del modelo de Winter, el operario podrá generar los valores pronosticados para los siguientes seis meses, los cuales servirán como base para la programación de la producción bajo estrategia MTS.

2. Ejecución operativa: producción MTS y ensamble ATO

Una vez se ha completado el pronóstico de demanda mediante el modelo de Winter y se han proyectado los valores correspondientes para los próximos seis meses, los resultados se trasladan directamente a la herramienta de gestión operativa contenida en el Anexo 11 – Sistema de Gestión de Inventario. Esta hoja de Excel constituye una herramienta integral para la ejecución de la producción bajo la estrategia MTS, ya que consolida múltiples variables necesarias para la toma de decisiones en cuanto a política de inventario, costos asociados y planificación de producción.

En esta hoja se registran los valores pronosticados de demanda mensual, los cuales son introducidos por la persona encargada en la sección correspondiente del archivo. A partir de estos datos de entrada, la hoja activa sus cálculos automáticos, vinculando la información del pronóstico con variables clave como el costo de mantener inventario h , el costo de lanzamiento de pedido k y el costo de capital, previamente definidos para cada categoría de ítems (A, B y C) de acuerdo con la clasificación ABC.

Adicionalmente, la herramienta de Excel emplea estos valores para alimentar un modelo de planificación de requerimientos de materiales (MRP) que indica, para cada componente relevante:

- Cuándo debe realizarse el lanzamiento del pedido, considerando el tiempo de reposición (lead time).
- Qué cantidad debe solicitarse en cada lote, con base en el lote económico calculado.
- Cuál será el costo total de las políticas, considerando tanto la cantidad de unidades almacenadas como el costo de lanzar cada pedido.
- Qué componentes se deben producir en lotes fijos y cuáles bajo demanda directa.

Con base en esta información, el supervisor de planta genera las órdenes internas de producción MTS para aquellos componentes estandarizados que deben ser fabricados anticipadamente y almacenadas en la zona de productos semiterminados. Una vez recibida una orden de compra de un cliente, el flujo operativo se ajusta para responder bajo la lógica *Assemble to Order* (ATO). A partir de las unidades fabricadas y almacenadas, se inicia el proceso de personalización y ensamble final, que incluye: aplicación de pintura específica, instalación de tecnología filtrante importadas, válvulas, accesorios especiales y prueba funcional.

V. REFERENCIAS

- [1] B. Betancourt Guerrero y J. A. Cruz Jaramillo, “Escenarios futuros del sector metalmeccánico. Municipio de Tuluá y su zona de influencia. Horizonte 2018-2028”, *Informador Técnico*, vol. 82, n° 2, pp. 181-208, Sep 2018. Doi: 10.23850/22565035.1408.
- [2] P. Lozano Galves y J. F. Quintero Herrera, “Volatilidad de la TRM y su Impacto en la Industria” Pereira, 2024.
- [3] DANE, “Índice de Producción Industrial (IPI) Junio 2024,” Bogotá D.C., 2024.
- [4] DANE, “Índice de Producción Industrial (IPI) Noviembre 2024,” Bogotá D.C., 2024.
- [5] Venfil Ingeniería S.A.S., “Venfil Ingeniería S.A.S.”, [En línea]. Disponible en: <https://venfil.com/>.
- [6] S. Bravo Guzmán Tutor and M. Calle Suárez, “Estudio en un entorno de producción híbrida MTS/MTO mediante simulación,” Sevilla, 2022.
- [7] J. L. Fernández Fernández y A. Bajo Sanjuán, “La Teoría del Stakeholder o de los Grupos de Interés, pieza clave de la RSE, del éxito empresarial y de la sostenibilidad”, *aDResearch ESIC International Journal of Communication Research*, vol. 6, n° 6, pp. 130-143, Jun 2012. Doi: 10.7263/adr.rsc.006.07.
- [8] CFI Corporate Finance Institute, "Valor Económico Agregado (EVA) - Economic Value Added", Corporate Finance Institute, 2024. [En línea]. Disponible: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/valuation/economic-value-added-eva/>. [Accedido: 29-oct-2024].
- [9] D. G. Kendall, “Some problems in the theory of queues”. *J. R. Statist. Soc. Ser. B13*, pp. 151–173, 1951.
- [10] S. E. A. 1937-, P. D. F, y P. R. 1937-, Eds., *Inventory management and production planning and scheduling*, 3rd ed. New York: Wiley, 1998.
- [11] M. Bortolini, M. Faccio, F. G. Galizia, y M. Gamberi, "Push/Pull Parts Production Policy Optimization in the ATO

- Environment," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 6570, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/14/6570>
- [12] D. Zhang, X. Li, X. Li, S. Li, y Q. Qian, "An Optimal Decision Model of Production-Inventory with MTS and ATO Hybrid Model Considering Uncertain Demand," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2015, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2015/241536>
- [13] S. Xiong, Y. Feng, and K. Huang, "Optimal MTS and MTO Hybrid Production System for a Single Product Under the Cap-And-Trade Environment," *Sustainability*, vol. 12, no. 2426, pp. 1-16, Mar. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/6/2426>
- [14] P. Renna, "Comparison of Dynamic Decoupling Point and Dynamic Buffer Level for Flexible Flow Shops in a Hybrid MTS–MTO Production Model," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 7975, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/17/7975>
- [15] F. Costa, K. Kundu, and A. Portioli-Staudacher, "Comparative study of bottleneck-based release models and load-based ones in a hybrid MTO-MTS flow shop: an assessment by simulation," *Operations Management Research*, vol. 16, no. 1, pp. 33-48, 2023. [En línea]. Disponible en: doi: 10.1007/978-3-030-85914-5_30
- [16] E. Ghasemi, N. Lehoux, y M. Rönnqvist, "A multi-level production-inventory-distribution system under mixed make to stock, make to order, and vendor managed inventory strategies: An application in the pulp and paper industry," *International Journal of Production Economics*, vol. 271, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2024.109201>
- [17] J. Lin, M. M. Naim, y V. L. M. Spiegler, "Delivery time dynamics in an assemble-to-order inventory and order-based production control system," *International Journal of Production Economics*, vol. 223, no. 107531, 2020. [En línea]. Disponible en: 10.3390/math8111925
- [18] D. Fiems, E. De Cuyper, K. De Turck, and D. Claeys, "Performance Analysis of Hybrid MTS/MTO Systems with Stochastic Demand and Production," *Mathematics*, vol. 8, no. 1925, pp. 1-16, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/math8111925>
- [19] P. Escobar, J. Giraldo, D. Cárdena, "Programación de Sistemas de Producción Híbridos, Para Inventario/Bajo pedido, mediante un Proceso Analítico Jerárquico de Ordenación Grupal (GAHPO)", *Información Tecnológica*, vol. 23, no. 5, 2012. [En línea]. Doi: [10.4067/S0718-07642012000500005](https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000500005)
- [20] Guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide). Project Management Institute, Inc., 2021.
- [21] C. A. Soman et al., "Combined make-to-order and make-to-stock in a food production system", *International Journal of Production Economics*, vol. 90, no. 2, pp. 223-235, 2004. [En línea]. Doi: 10.1016/S0925-5273(02)00376-6
- [22] M. Kalantari et al., "A decision support system for order acceptance/rejection in hybrid MTS/MTO production systems", *Applied Mathematical Modelling*, vol. 35, no. 3, pp. 1363-1377, 2011. [En línea]. Doi: [10.1016/j.apm.2010.09.015](https://doi.org/10.1016/j.apm.2010.09.015)
- [23] F. Costa, K. Kundu, and A. Portioli-Staudacher, "An Assessment of Order Release Models in Hybrid MTO-MTS Flow Shop with Bottleneck," in *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol. 634, pp. 277–287, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-85914-5_30.
- [24] R. Muther, "Distribución en Planta", 2da Edición, Barcelona, España, Editorial Hispano-Europea, 1970.

VI. ANEXOS

Tabla XXXV Tabla de anexos

No. Anexo	Nombre	Desarrollo	Descripción	Tipo de Archivo
1	2024206 Anexo 1 - Exportaciones 2023 Venfil.xlsx	Terceros	Archivo de Excel con los reportes de exportaciones de Venfil Ingeniería.	Excel
2	2024206 Anexo 2 – Importaciones 2023 Venfil.xlsx	Terceros	Archivo de Excel con los reportes de importaciones de Venfil Ingeniería.	Excel
3	2024206 Anexo 3 – Análisis financiero de Venfil.xlsx	Propio	Archivo de Excel en el que se elaboró el análisis de los reportes financieros de Venfil Ingeniería.	Excel
4	2024206 Anexo 4 – Análisis Operacional de Venfil.xlsx	Propio	Descripción del análisis operacional realizado a la empresa Venfil Ingeniería.	Excel
5	2024206 Anexo 5 – Planta de Venfil Ingeniería.skp	Propio	Archivo SketchUp de la distribución de planta actual de Venfil Ingeniería.	SKP
6	2024206 Anexo 6 – Análisis SN y AHP para selección de alternativas.xlsx	Propio	Desarrollo de las metodologías SN y AHP para la selección de la alternativa de solución en el diseño preliminar	Excel
7	2024206 Anexo 7 – Plan de trabajo.mpp	Propio	Diagrama de Gantt con el Plan de trabajo a desarrollar durante la segunda fase del proyecto	Project
8	2024206 Anexo 8 – Gráficos de apoyo.pptx	Propio	Desarrollo de todas las herramientas de comunicación gráfica usadas en el documento	PowerPoint
9	2024206 Anexo 9 – Cálculos de Medición Actual.xlsx	Propio	Archivo con los cálculos de medición actual de Venfil Ingeniería	Excel
10	2024206 Anexo 10 – Análisis de demanda.xlsx	Propio	Archivo con información sobre demanda y su respectivo análisis	Excel
11	2024206 Anexo 11 – Sistema de Gestión de Inventario. xlsx	Propio	Archivo con información sobre costos de almacenamiento, lanzamiento de pedidos y desarrollo del MRP para cada ítem.	Excel
12	2024206 Anexo 12 - Datos de tiempos de procesamiento. xlsx	Terceros	Archivo con información sobre tiempos de procesamiento de cada estación de trabajo	Excel
13	2024206 Anexo 13 - Análisis Datos Procesamiento.efp	Propio	Archivo con los ajustes de distribución implementados	EasyFit
14	2024206 Anexo 14 - Modelo de simulación Actual.fsm	Propio	Archivo con el modelo de simulación actual de planta en FlexSim	Flexsim
15	2024206 Anexo 15 – Modelo de simulación Propuesto.fsm	Propio	Archivo con el modelo de simulación propuesto de planta en FlexSim	Flexsim
16	2024206 Anexo 16 - Modelo de simulación.xlsx	Propio	Archivo con los resultados de los indicadores de rendimiento de los modelos de simulación.	Excel
17	2024206 Anexo 17 - Plantilla Sistema Híbrido ATO-MTS.xlsm	Propio	Archivo con plantilla para agregar información de demanda y aplicar método de pronóstico de Winter.	Excel