Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

Análisis de inversión para segunda línea de producción por arranque de números de parte en empresa Tier 1 de la industria automotriz mediante simulación de capacidad instalada y análisis financieros

Investment analysis for a second production line by part number start-up in a Tier 1 company in the automotive industry by means of installed capacity simulation and financial analysis

Linares-Belmán, B.[a], Belmán-López, C.E.[b]*, Jiménez-García, J.A.[b], Franco-Barrón, J.E.[a], Toledo-Aguilar, L.A.[a]

[a] Departamento de Ingeniera Logística, Universidad Politécnica de Guanajuato.
[b] Departamento de Ingenieria Industrial, TecNM in Celaya; C.P 38010.
21039011@upgto.edu.mx; carlosbelman@gmail.com*; josealfredo.jimenez@itcelaya.edu.mx; d1903022@itcelaya.edu.mx; ltoledo@upgto.edu.mx

Innovación tecnológica: Diseño de sistemas de fabricación, producción y almacenes.
Área de aplicación industrial: Sistemas de fabricación, diseño de fábricas, simulación.

Recibido: 02 agosto 2024
Aceptado: 20 noviembre 2024

Abstract

This research presented the problem of an automotive company located in Valle de Santiago, Guanajuato when its client presented the opportunity to provide 3 new part numbers. The objective is to support the decision between two possible scenarios, (1) to adapt the current production line dedicated to producing a single number or (2) to invest in an additional production line taking care of the profitability of the business. The methodological design to support the decision was divided into phases. In the first phase, the necessary investments in both cases are quoted and the scenarios are simulated to obtain the installed capacity. In the second phase, takt time is calculated and financial analyses are carried out with respect to 3 possible prices, presenting the income statement considering the 5-year life of the project, generating financial indicators such as the net present value, the recovery period, the rate of return on investment and the profitability index. The results showed that the installed production capacity obtained through simulation and the financial

indicators calculated supported that the best option is to invest in an additional line. Furthermore, considering the new demand given the new part numbers and simulating both scenarios to obtain the installed capacity, it was observed that the only scenario that will meet the demand is through an additional production line. This new line will produce 185 containers per day with an occupancy rate of 80% at the workstations and a capacity of 1,850 containers per line. In addition, it has a positive net present value, a payback period of less than one year and a recovery rate of 99.25 for each dollar invested.

Keyword: Discrete simulation, Rate of return, Automotive industry, Investment analysis.

Resumen

Esta investigación presenta la problemática de una empresa automotriz ubicada en Valle de Santiago, Guanajuato cuando su cliente le presentó la oportunidad de proveer 3 nuevos números de parte. El objetivo es sustentar la decisión entre dos posibles escenarios, (1) adaptar la línea de producción actual dedicada a producir un solo número o (2) invertir en una línea de producción adicional cuidando la rentabilidad del negocio. El diseño metodológico para sustentar la decisión fue dividido en fases. En la primera fase se cotizan las inversiones necesarias en ambos casos y se simulan los escenarios para obtener la capacidad instalada. En la segunda fase se calcula el takt time y se realizan análisis financieros con respecto a 3 posibles precios presentando el estado de resultados considerando los 5 años de vida del proyecto generando indicadores financieros como el valor presente neto, el periodo de recuperación, la tasa de retorno de inversión y el índice de rentabilidad. Los resultados mostraron que la capacidad instalada productiva obtenida mediante simulación y los indicadores financieros calculados sustentaron que la mejor opción es invertir en una línea adicional. Además, considerando la nueva demanda dado los nuevos números de parte y simulando ambos escenarios para calcular la capacidad instalada, se observó que el único escenario que cumplirá con la demanda es mediante una línea de producción adicional. Mediante esta nueva línea se obtendrá una producción de 185 contenedores por día con ocupación en las estaciones de trabajo de un 80% y una capacidad de 1850 contenedores por línea. Además, se cuenta con un valor presente neto positivo, un periodo de recuperación menor a un año y un índice de recuperación de 99.25 por cada dólar invertido.

Palabras clave: Simulación discreta, Tasa de retorno, Industria automotriz, Análisis de inversión.

1. Introducción

Las industrias dedicadas a la manufactura se han guiado por metodologías y procedimientos que han ido sufriendo cambios constantemente [3, 15]. Derivado de esto empezaron a surgir un sinfín de sectores industriales donde las personas poco a poco comenzaban a emprender y formar sus propias empresas. Mientras estos desarrollos iban tomando fuerza, surgen cambios en la industria automotriz, desde el modelo T1 de Henry Ford hasta los autos sofisticados y tecnológicos que tenemos hoy en día [2].

De los 131 países que componen la clasificación del Índice Global de Innovación

2020, México ocupa la posición número 55; de los países de ingreso medio-alto, el lugar 11; y de América Latina, la segunda posición después de Chile [7]. Lo anterior, muestra que es necesario continuar fomentando la innovación en la actividad económica, pues con ello es posible incrementar los estándares de calidad y la competitividad en la región. Por ello, resulta necesario la mejora continua en los procesos y productos, así como la búsqueda de factores que ayuden a generar mayor innovación [4].

Es importante destacar que el automóvil es un ensamble, es decir, está formado por miles de componentes que forman sistemas y a su vez los sistemas forman el ensamble final. Para que todo esto ocurra, existe un proceso detrás, por ejemplo; la inyección de todos los materiales plásticos duros y suaves que conforman el automóvil, la manufactura de los componentes de acero o metálicos, el desarrollo de los proveedores, el almacenamiento de los componentes, la parte logística, el recurso humano que se necesita, la infraestructura, la inversión de la maquinaria necesaria, entre otros elementos [12].

En todas las fases que participan en la producción y manufactura del automóvil es necesario considerar inversiones. Algunas empresas en su búsqueda por aprovechar los recursos disponibles deciden elaborar nuevos productos sobre líneas de producción existentes, sin embargo, esto no siempre es posible o no resulta en la mejor decisión [14]. La mejor forma de tomar una decisión es mediante un análisis de capacidad y simulación del proceso corriendo los productos nuevos, fijando un presupuesto meta para tomar decisiones en base a ese presupuesto [16].

La empresa automotriz en la que se centra esta investigación es una empresa mediana con 54 empleados (administrativos y operadores) ubicada en el estado de Guanajuato. La empresa se dedica a la inyección de plásticos y tiene como clientes varias armadoras importantes, cuenta con equipo y maquinaria como pre-expansoras, prensas, silos, boiler, racks, montacargas, mesas de trabajo, entre otros.

Debido a la eficiencia en la producción del número de parte ya elaborado, se han asignado 3 números de parte más con las especificaciones y volúmenes anuales necesarios. Los productos son muy similares al que se produce actualmente con mínimas diferencias entre cada uno y por temas de presupuesto se considera usar la misma línea que se tiene actualmente. Esto representa un riesgo ya que pueden mezclarse materiales y productos, ocasionando retrasos, y el riesgo mayor de no cumplir con los requerimientos de los clientes.

Por lo tanto, el problema que se enfrenta la empresa consiste en analizar la información con la que se cuenta, auxiliarse mediante simulación y preparar un documento con la inversión total necesaria. Una vez que se tenga la información completa se tomará la decisión sobre si es necesario invertir en una nueva línea o se puede continuar trabajando con la línea actual sin arriesgar las demandas de producto terminado con el cliente. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación se centra en realizar un análisis sobre invertir en una nueva línea de producción o adecuar el volumen adicional en la línea actual, agregando los 3 números de parte, siguiendo las siguientes fases:

1. Evaluar los riesgos financieros, de calidad y de volumen de producción de correr varios números de parte en una misma línea de producción.
2. Identificar las ventajas y desventajas de invertir en una nueva línea de producción o integrar los nuevos números de parte en la línea actual.

3. Definir un presupuesto para la implementación de una nueva línea de producción.
4. Modelar mediante simulación, los procesos de producción y analizar la capacidad de producción con los requerimientos actuales e incrementos de entrega.
5. Calcular indicadores financieros que nos permitan sustentar la mejor decisión.

2. Métodos y materiales

Para considerar el desarrollo de una segunda línea de producción se debe tener conocimiento sobre el proceso de producción actual, estaciones de trabajo, especificaciones del producto y tiempos ciclo para cada número de parte, documentación PPAP (Proceso de Aprobación de Piezas de Producción) y contar con históricos de corridas pasadas. Los datos utilizados como base para el análisis consisten en tiempos ciclos de producción, cantidad de desechos producidos, contabilidad financiera, horarios de operación y número de operadores [13].

El enfoque metodológico empleado utiliza las siguientes variables:
Capacidad efectiva de producción como el límite que tiene una línea de producción para manufacturar su máximo nivel de piezas con los recursos que tiene disponibles. Esto va de la mano con una cantidad determinada de tiempo [6].

Takt time: el tiempo medio considerando el comienzo de la producción de una unidad y el comienzo de la siguiente unidad, este tiempo debe estar definido para coincidir con las demandas del cliente [5].

Cuello de botella: un proceso en general o una etapa del proceso que trabaja con un bajo nivel de eficiencia generando un retraso en las operaciones siguientes y limitando a la línea de producción que se pueden producir por largas colas de espera, tiempos muertos y paros en la línea [1].

Tiempo de maduración: tiempo que se deja en reposo la resina dentro de un silo después de someterse al proceso de pre-expansión. Este varía dependiendo del grado de expansión y de las especificaciones de la resina.

Tasa de retorno de inversión: sirve para calcular la factibilidad de inversión de un negocio, es un reflejo del margen de ganancias o pérdidas que se obtienen de una inversión en un periodo de tiempo [8].

Presupuesto: documento en el que se detallan los gastos y ganancias que se prevé que tenga un organismo, empresa o entidad en un lapso determinado [9].

Utilidad: beneficio o ganancia que resulta de un servicio o la venta de un producto, podemos manejarla como la satisfacción reflejada de manera monetaria [10].

Desechos y/o residuos derivados del proceso industrial (scrap).
Tiempo ciclo: métrica que mide lo que tarda un ítem en pasar de la columna “en progreso” a la columna “terminado”. Esta métrica ayuda a los equipos a determinar los tiempos de inicio y final de cada trabajo [11].

Además, se utilizaron variables de índole financiera como la tasa de retorno de inversión, la utilidad por los números de parte agregados y el presupuesto disponible. Mediante estas variables y los datos obtenidos mediante simulación sobre la producción en los diferentes turnos del día se intenta comprender si se cubre o no con los requerimientos del cliente y generar pronósticos con el incremento de producción esperada. Finalmente, se analizó la rentabilidad del negocio, el presupuesto que se tendrá disponible y la utilidad de cada número de parte, considerando la inversión

requerida para cubrir con los requerimientos mediante escenarios donde se cubre la totalidad del presupuesto, se usa menos de lo presupuestado y el impacto que generaría sobrepasar el presupuesto contemplado.

2.1 Primer escenario de investigación (modificar línea actual)

La población se limita al recurso humano que participa en la línea de producción en cuestión. Para el primer escenario se trabaja solamente con la línea de producción actual que cuenta con un total de 4 operadores, 1 montacarguista, 1 facilitador, 1 líder de producción y 1 técnico de calidad. La muestra corresponde a un total de 14,160 felpas ensambladas y 4,720 componentes. Lo que resulta en un total de 1,180 piezas producidas en la línea en los dos turnos que trabaja la compañía con el 2% de desechos (scrap) del total de la producción y un total de 118 contenedores de plástico. Además, se cuenta con dos prensas de inyección, 5 moldes de acero, 1 conveyor, 60 carros de material semiterminado, 3 mesas de trabajo y 1 estación de sensado con 4 configuraciones diferentes.

2.2 Segundo escenario de investigación (invertir en una nueva línea)

Para el segundo escenario donde se plantea invertir en una segunda línea de producción se habla de un total de 8 operadores, 1 montacarguista, 2 facilitadores, 1 líder de producción y 1 técnico de calidad. La muestra corresponde a un total de 28,320 felpas ensambladas y 9,440 componentes. Lo que resulta en un total de 2,360 piezas producidas en la línea mediante los dos turnos que trabaja la compañía con 2% de desechos del total de la producción y un total de 236 contenedores de plástico. Además, se consideran dos prensas de inyección, 6 moldes de acero, 2 conveyor, 120 carros de material semiterminado, 6 mesas de trabajo y 2 estaciones de sensado con 4 configuraciones diferentes.

2.3 Herramientas utilizadas

Se realizó una recolección de datos sobre las variables definidas mediante el uso de diferentes instrumentos, formatos y herramientas de la Ingeniería Industrial. A continuación, se mencionan las herramientas e información considerada:

- Arranque “start-up” para nuevos proyectos: se analizó el tiempo necesario para el arranque de producción en masa que considera turnos trabajados, días laborales, inventario y requerimiento de cliente. La variable por medir es la capacidad de producción. Esta información permitió determinar en qué semana empezar a inyectar, a expandir material, los turnos necesarios para llegar de manera progresiva al tope de producción (100% de los requerimientos de cliente).
- Análisis del takt time ideal para hacer la comparativa contra el tiempo ciclo real y evaluar la factibilidad de cubrir con los requerimientos de cliente.
- ProModel: simula los dos escenarios ya descritos, ingresando número de locaciones, entidades, tiempos ciclo en cada estación, número de operadores, movimientos, entre otros. La información recolectada son los tiempos de proceso. Mediante esta simulación fue posible determinar los cuellos de botella dentro de la línea de producción.
- Panel de control en sistema de silos: mediante un software con el que cuenta la red de silos dentro de la planta es posible bloquear o desbloquear un silo para ingresarlo a producción. Las especificaciones de maduración para cada tipo de resina están en el formato de parámetros que controla mantenimiento y

producción, la variable a medir es tiempo de maduración.

- Análisis de negocios para nuevos proyectos: determina la tasa de retorno de inversión, el precio de la pieza en base a la utilidad deseada y el presupuesto disponible para el proyecto.
- Hoja de instrucción de proceso: cada estación de trabajo cuenta con su hoja de instrucción en donde se indica el tiempo ciclo, norma de empaque, paso a paso en el área de trabajo, etc. El objetivo de este formato es la estandarización del proceso en la línea de trabajo, con esta hoja se controlan los tiempos ciclos y los pasos a seguir para cumplir con la actividad en el tiempo definido, es una ayuda para la recolección de la variable tiempo ciclo.
- Reporte de producción: reporte de producción al final de cada turno, se alimenta con las piezas producidas, los desechos generados (scrap) y tiempo de producción.

2.4 Fases de la investigación

La recolección de datos de producción arrancó en abril 2022. Adicionalmente, se realizó un estudio de tiempos con las herramientas mencionadas y se desarrolló un modelo de simulación en ProModel para producir los nuevos números de parte utilizando solo la línea de producción existente y otro modelo de simulación considerando una nueva línea de producción adicional. El desarrollo del proyecto se realizó mediante fases que se mencionan a continuación.

- **Fase 1**: inicia con la cotización de los nuevos números de parte y carta de asignación del negocio, recolección de cotizaciones para modificar línea de producción y para nueva línea adicional, definición de operaciones, layout y simulación de procesos en los dos escenarios contemplados.
- **Fase 2**: mediante el análisis de capacidad de producción obtenida en los escenarios de simulación y calculo del takt time, se contemplan los indicadores financieros y la factibilidad del negocio.
- **Fase 3**: corrida de pruebas con 30 piezas, comienzo de entrenamiento de operadores, toma de tiempos, cierre de periodo de cotizaciones y primera toma de porcentaje de desechos (scrap).
- **Fase 4**: corrida de 120 piezas con estaciones de trabajo terminadas, cierre de modificaciones a parámetros de proceso, diseños congelados, tiempos ciclo congelados, precio congelado, cierre de inversiones al proyecto, capacidad de producción cerrada y porcentaje de desechos definido.
- **Fase 5**: “start-up cerrado”, primeras corridas expansión de material y entrenamiento a personal cerrado.
- **Fase 6**: primeras corridas producción masiva, firma de contrato y análisis financiero cerrado.

3. Resultados

La prueba piloto se realizó en el periodo de mayo 2022 – marzo 2023. A continuación, se detallan los resultados de cada una de las 6 fases contempladas. Por cuestiones de confidencialidad se evitará información específica o detallada que comprometa la identidad de la compañía.

3.1 Fase 1 (estado inicial, modelos de simulación)

Se recibe la carta de asignación por parte del cliente en dónde se informa de la proveeduría de 3 números de parte adicionales. Además, se preparan las cotizaciones (Tabla 1) y se comienza con el diseño y definición de presupuesto para el proyecto. En la fase inicial, se elaboraba un solo número de parte para este cliente, por lo que se define la capacidad actual de la línea y el riesgo de agregar números de parte. De igual manera,

se calcularon los flujos de efectivo para los 5 años de vida del proyecto, la tasa de retorno de inversión, el índice de rentabilidad y el valor presente neto.

Tabla 1. Cotizaciones para nueva línea o modificación de la actual.

Precios (USD)	Cotización nueva línea (USD)	Cotización para modificar línea (USD)
Pieza: 20.233 - Materia prima: 11.233 - Ensamble: 5.6 - Empaque: 3.4 - EAU: 160 K	**Nueva línea (total):** 25,500. - Mesas de trabajo: 8,000. - Estación de sensado: 4,000. - Conveyor: 13,500.	**Total de cambios:** 15,000 - Controladores lógicos programables (PLCs): 4,000 - Jigs (plantillas) para nuevos números de parte: 3,000 - Adaptación del conveyor: 8,000 **Inversión en moldes (gasto cubierto por cliente):** 40,000 **Moldes necesarios:** 6

3.1.1 Simulación con una sola línea de producción

La Fig. 1 presenta el diagrama de flujo que se siguió para la elaboración del modelo, simulando que se trabaja con una línea de producción solamente.

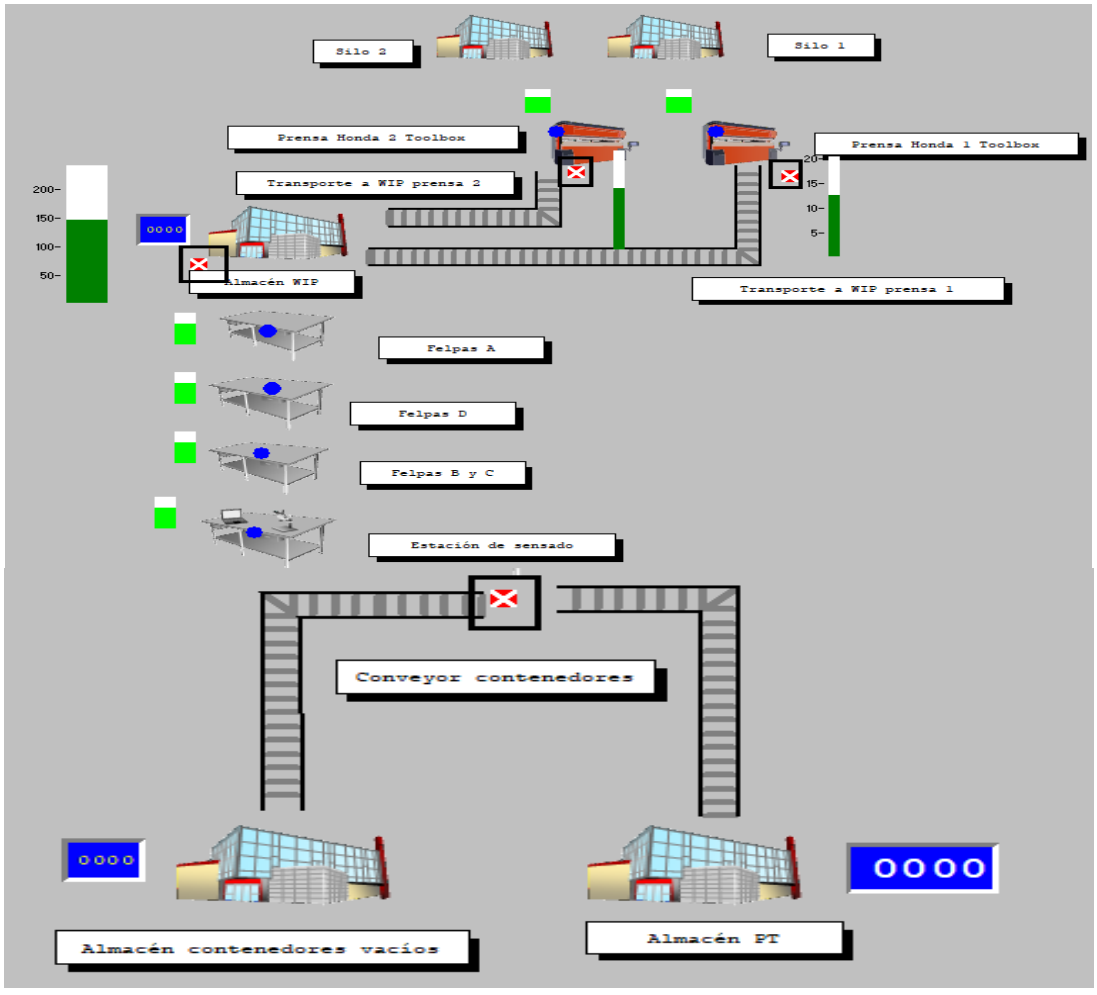


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso actual.

Para este escenario (Fig. 2), la materia prima queda almacenada en el silo 1 y el silo 2, después de esto se pasa el material a las 2 prensas de trabajo donde se mueve en carros de trabajo en proceso (WIP) al almacén de WIP (20 piezas forman un carro de WIP). Posterior a esto se pasan a las mesas de ensamble que son Felpas A, Felpas D, Felpas B y C y finalmente, a la estación de sensado. Una vez que la pieza aprobó la estación de sensado pasa al conveyor de contenedores para ser empacada como material terminado (10 piezas forman un contenedor de producto terminado o PT). Por último, al empacar las 10 piezas se pasa el contenedor al almacén de PT. La Fig. 3 y 4 muestran las locaciones y entidades utilizadas en este escenario.

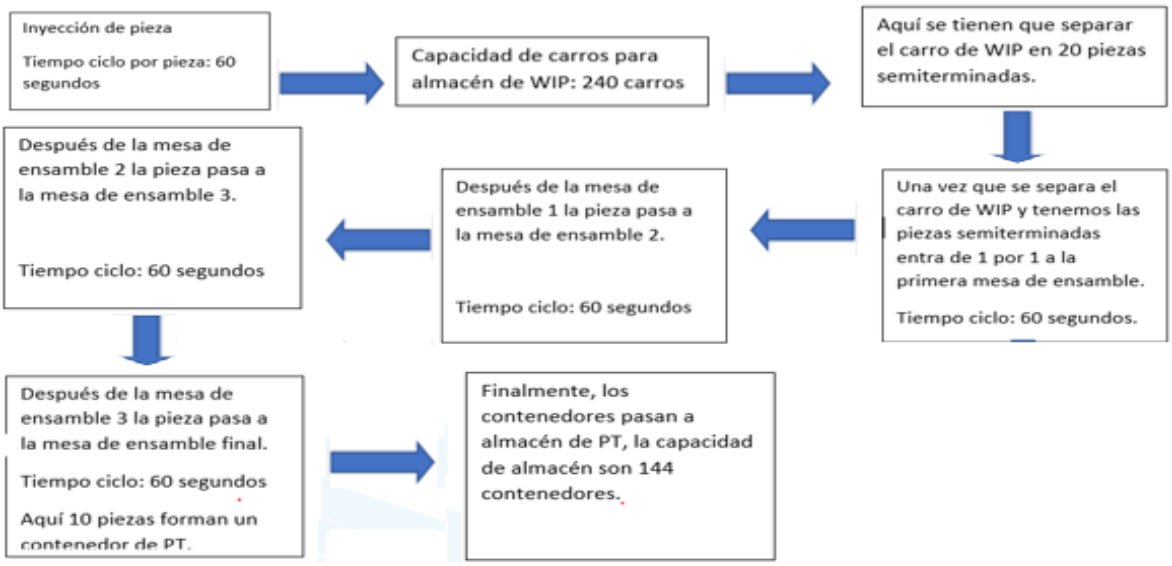
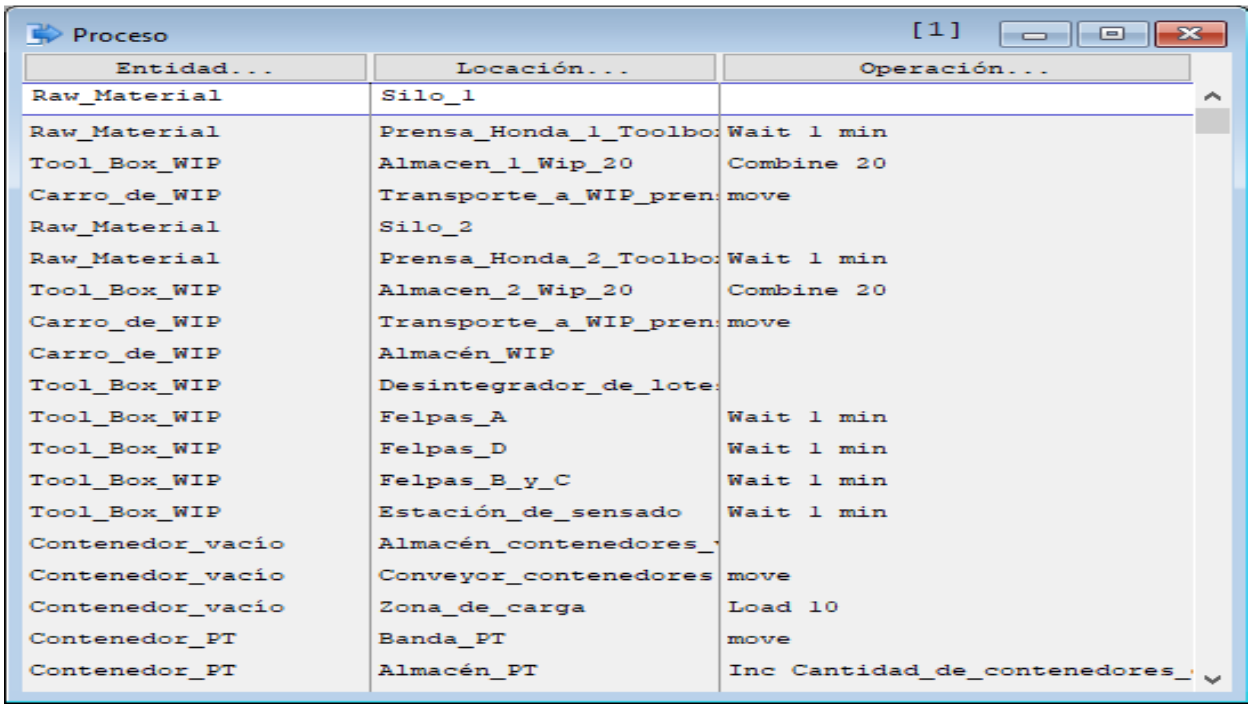
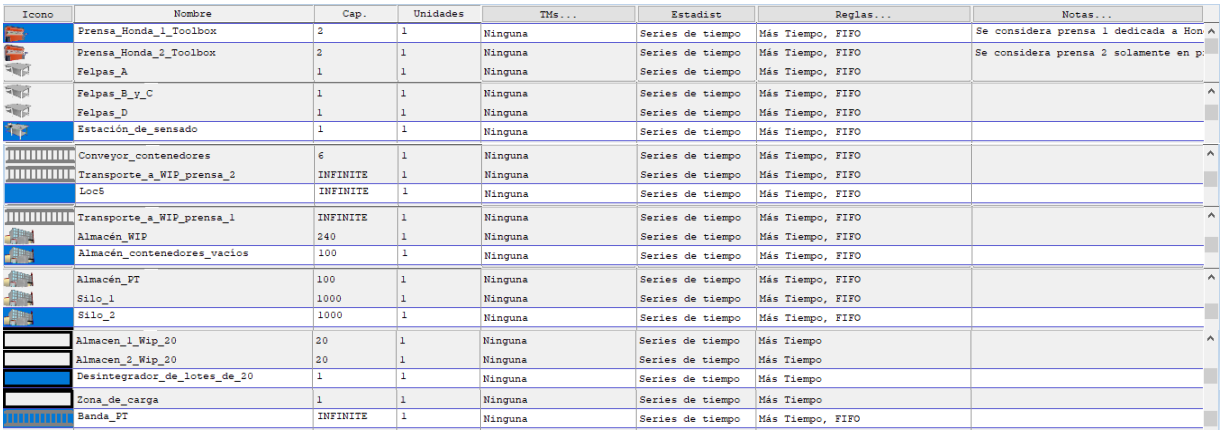


Figura 2. Proceso con una línea de producción.



Entidad...	Locación...	Operación...
Raw_Material	Silo_1	
Raw_Material	Prensa_Honda_1_Toolbo:	Wait 1 min
Tool_Box_WIP	Almacen_1_Wip_20	Combine 20
Carro_de_WIP	Transporte_a_WIP_pren:	move
Raw_Material	Silo_2	
Raw_Material	Prensa_Honda_2_Toolbo:	Wait 1 min
Tool_Box_WIP	Almacen_2_Wip_20	Combine 20
Carro_de_WIP	Transporte_a_WIP_pren:	move
Carro_de_WIP	Almacén_WIP	
Tool_Box_WIP	Desintegrador_de_lote:	
Tool_Box_WIP	Felpas_A	Wait 1 min
Tool_Box_WIP	Felpas_D	Wait 1 min
Tool_Box_WIP	Felpas_B_y_C	Wait 1 min
Tool_Box_WIP	Estación_de_sensado	Wait 1 min
Contenedor_vacío	Almacén_contenedores_	
Contenedor_vacío	Conveyor_contenedores	move
Contenedor_vacío	Zona_de_carga	Load 10
Contenedor_PT	Banda_PT	move
Contenedor_PT	Almacén_PT	Inc Cantidad_de_contenedores_

Figura 3. Estaciones y movimientos en el primer escenario.



Icono	Nombre	Cap.	Unidades	TMs...	Estadist	Reglas...	Notas...
	Prensa_Honda_1_Toolbox	2	1	Ninguna	Series de tiempo	Más Tiempo, FIFO	Se considera prensa 1 dedicada a Hon
	Prensa_Honda_2_Toolbox	2	1	Ninguna	Series de tiempo	Más Tiempo, FIFO	Se considera prensa 2 solamente en p
	Felpas_A	1	1	Ninguna	Series de tiempo	Más Tiempo, FIFO	
	Felpas_B_y_C	1	1	Ninguna	Series de tiempo	Más Tiempo, FIFO	
	Felpas_D	1	1	Ninguna	Series de tiempo	Más Tiempo, FIFO	
	Estación_de_sensado	1	1	Ninguna	Series de tiempo	Más Tiempo, FIFO	
	Conveyor_contenedores	6	1	Ninguna	Series de tiempo	Más Tiempo, FIFO	
	Transporte_a_WIP_prensa_2	INFINITE	1	Ninguna	Series de tiempo	Más Tiempo, FIFO	
	Loc5	INFINITE	1	Ninguna	Series de tiempo	Más Tiempo, FIFO	
	Transporte_a_WIP_prensa_1	INFINITE	1	Ninguna	Series de tiempo	Más Tiempo, FIFO	
	Almacén_WIP	240	1	Ninguna	Series de tiempo	Más Tiempo, FIFO	
	Almacén_contenedores_vacios	100	1	Ninguna	Series de tiempo	Más Tiempo, FIFO	
	Almacén_PT	100	1	Ninguna	Series de tiempo	Más Tiempo, FIFO	
	Silo_1	1000	1	Ninguna	Series de tiempo	Más Tiempo, FIFO	
	Silo_2	1000	1	Ninguna	Series de tiempo	Más Tiempo, FIFO	
	Almacen_1_Wip_20	20	1	Ninguna	Series de tiempo	Más Tiempo	
	Almacen_2_Wip_20	20	1	Ninguna	Series de tiempo	Más Tiempo	
	Desintegrador_de_lotes_de_20	1	1	Ninguna	Series de tiempo	Más Tiempo	
	Zona_de_carga	1	1	Ninguna	Series de tiempo	Más Tiempo	
	Banda_PT	INFINITE	1	Ninguna	Series de tiempo	Más Tiempo, FIFO	

Figura. 4. Locaciones en el primer escenario.

A continuación, se listan a detalle las locaciones usadas en este modelo.

1. Prensa_Honda_1_Toolbox: Prensa donde se inyecta la pieza.
2. Prensa_Honda_2_Toolbox: Prensa donde se inyecta la pieza.
3. Felpas_A: Mesa de ensamble.
4. Felpas_B_y_C: Mesa de ensamble.
5. Felpas_D: Mesa de ensamble.
6. Estación_ de_sensado: Revisión con sensores de contraste para asegurar que todos los componentes se hayan ensamblado en la pieza.
7. Conveyor_contenedores: a través de este conveyor pasan los contenedores de un punto a otro.
8. Transporte_a_WIP_Prensa_2: carro de WIP formado por 20 piezas inyectadas.
9. Loc5: Almacén.
10. Carro de WIP formado por 20 piezas inyectadas.
11. Transporte_a_WIP_Prensa_1: carro de WIP formado por 20 piezas inyectadas.
12. Almacén WIP: lugar donde se almacenan los carros de WIP.
13. Almacén_contenedores_vacíos: almacenen para contenedores vacíos.
14. Almacén_PT: Almacenen para los contenedores con material terminado.
15. Silo_1: lugar donde se almacena la materia prima.
16. Silo_2: lugar donde se almacena la materia prima.
17. Almacén_WIP_1_20: lugar temporal previo a entrar a mesas de ensamble.
18. Almacén_WIP_2_20: lugar temporal previo a entrar a mesas de ensamble.
19. Desintegrador_de_lotes_de_20: Se separan los carros de WIP en piezas unitarias para pasar a mesas de ensamble.
20. Zona_de_carga: lugar para empaque de material terminado.
21. Banda_PT: banda por donde los contenedores pasan de un punto a otro con material terminado.

Debajo se muestran las entidades utilizadas en este modelo:

Raw_Material: Materia prima utilizada para la inyección de las piezas.

Tool_Box_PT: Pieza inyectada con componentes.

Carro_de_WIP: Carro utilizado para almacenar el Tool Box.

Contenedor_vacío: Contenedor sin Tool Box.

Contenedor_PT: Contenedor con 10 Tool Box.

Tool_Box_WIP: Pieza inyectada sin componentes.

Tool_Box_con_felpas: Tool Box con componentes, pero sin proceso de sensado.

Se realizó la simulación corriendo 1 día de producción (24 horas). Los resultados (Fig. 5) nos muestran el porcentaje de ocupación para el contenedor PT y para el Toolbox WIP así como los contenedores de PT finales

producidos en un día, tenemos un total de 92 contenedores de PT por día.

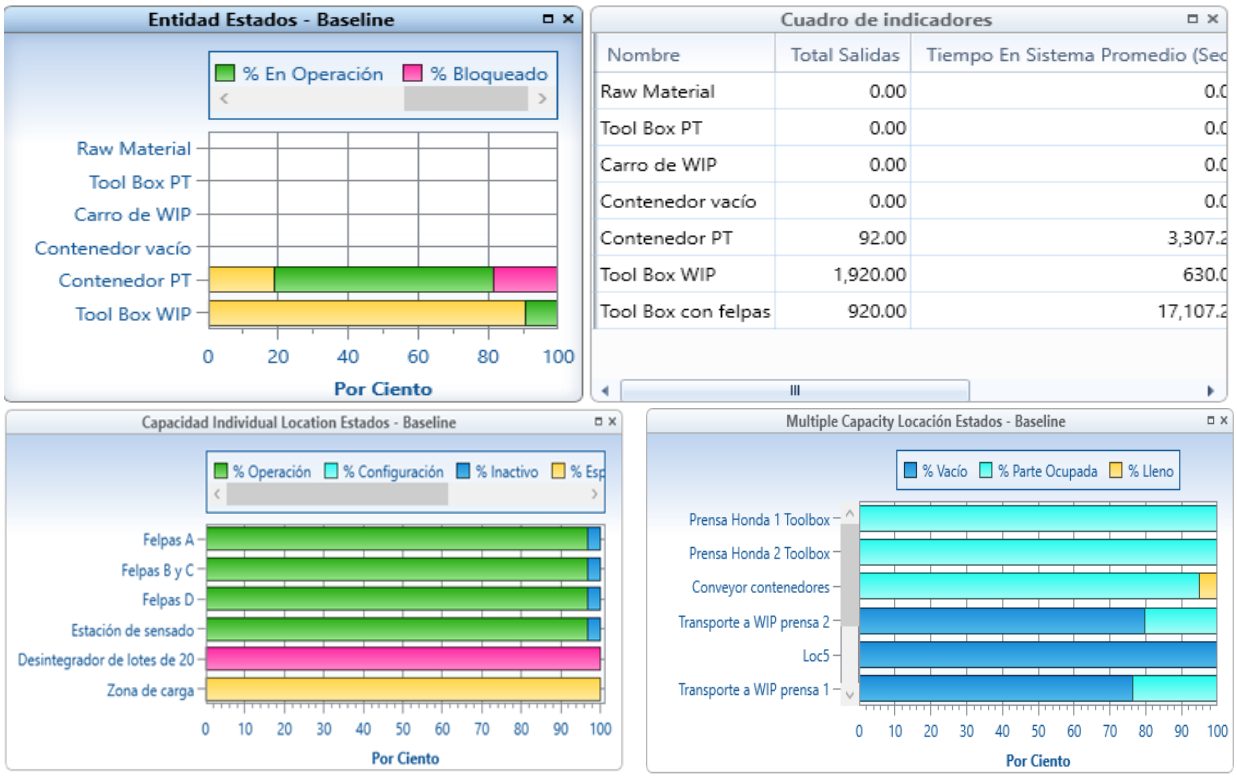


Figura 5. Resultados del primer escenario.

De igual manera, se puede observar que las estaciones están casi en 100% de operación, no se desperdicia tiempo con máquinas o estaciones paradas. También las prensas se encuentran ocupadas en su totalidad y los transportes de WIP parcialmente ocupados.

4.1.2 Simulación con línea adicional

La Fig. 6 presenta el modelo de simulación que trabaja con dos líneas de producción. Las locaciones y entidades son las mismas que en el primer escenario.

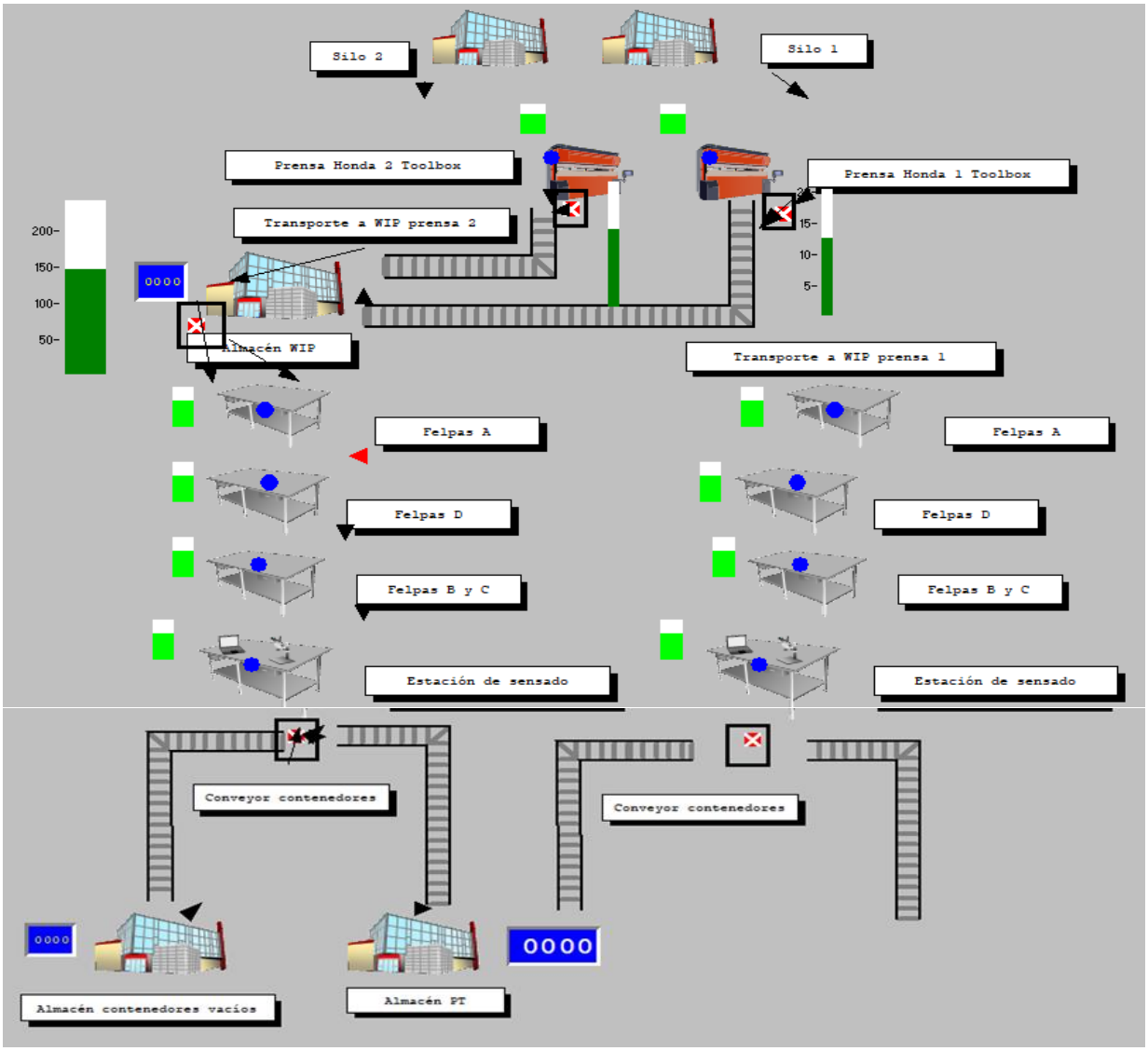


Figura 6. Modelo con línea adicional.

La Fig. 7 nos muestra los tiempos en las operaciones y la Figura 8 los resultados obtenidos. Los resultados muestran porcentajes muy similares en cuanto a movimientos comparado con el escenario con una línea de producción, sin embargo, agregando una línea más de ensamble tenemos un total de 185 contenedores de PT terminados en un total de 2 turnos. El porcentaje de operación muestra que se mantienen ocupadas casi en su totalidad todas las estaciones de trabajo. Mismo caso para espacios en las diferentes estaciones de trabajo. Los requerimientos mensuales (piezas necesarias) para los números de parte son 4.3 K, 4.2 K, 4.9 K y 14 K para el numero de parte nuevo 1, 2, 3 y actual, respectivamente. La Tabla 2 muestra los tiempos ciclo de la simulación para los números de parte, así como su capacidad calculada para 1 y 2 líneas.

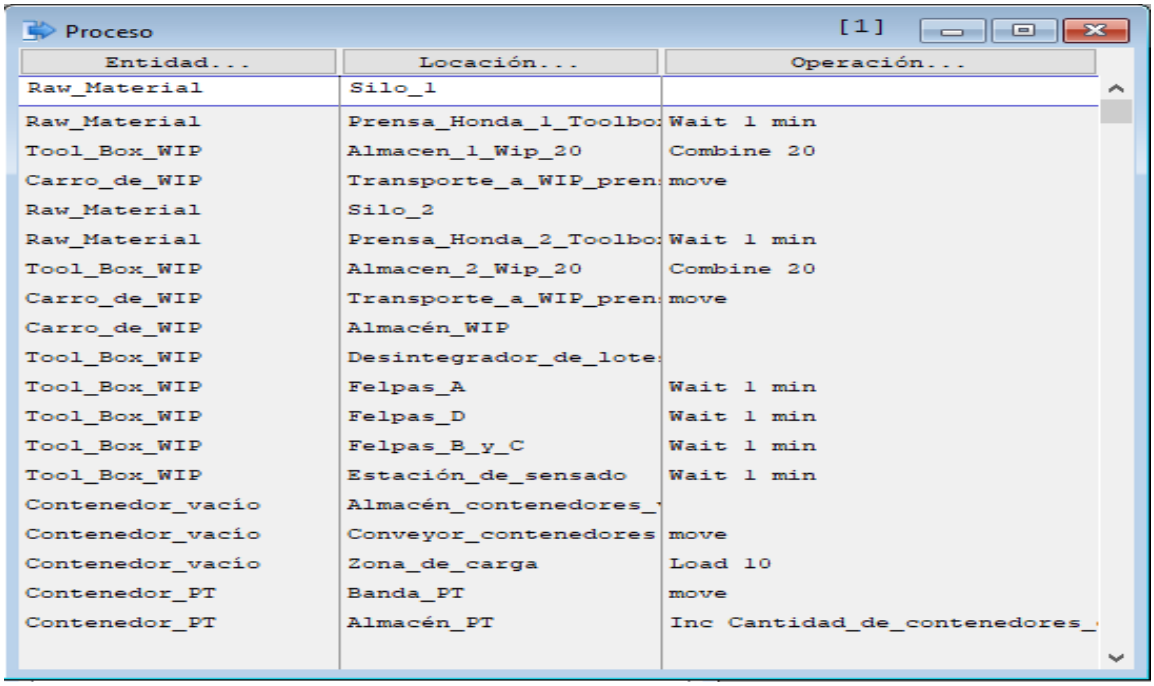


Figura 7. Proceso con línea adicional.

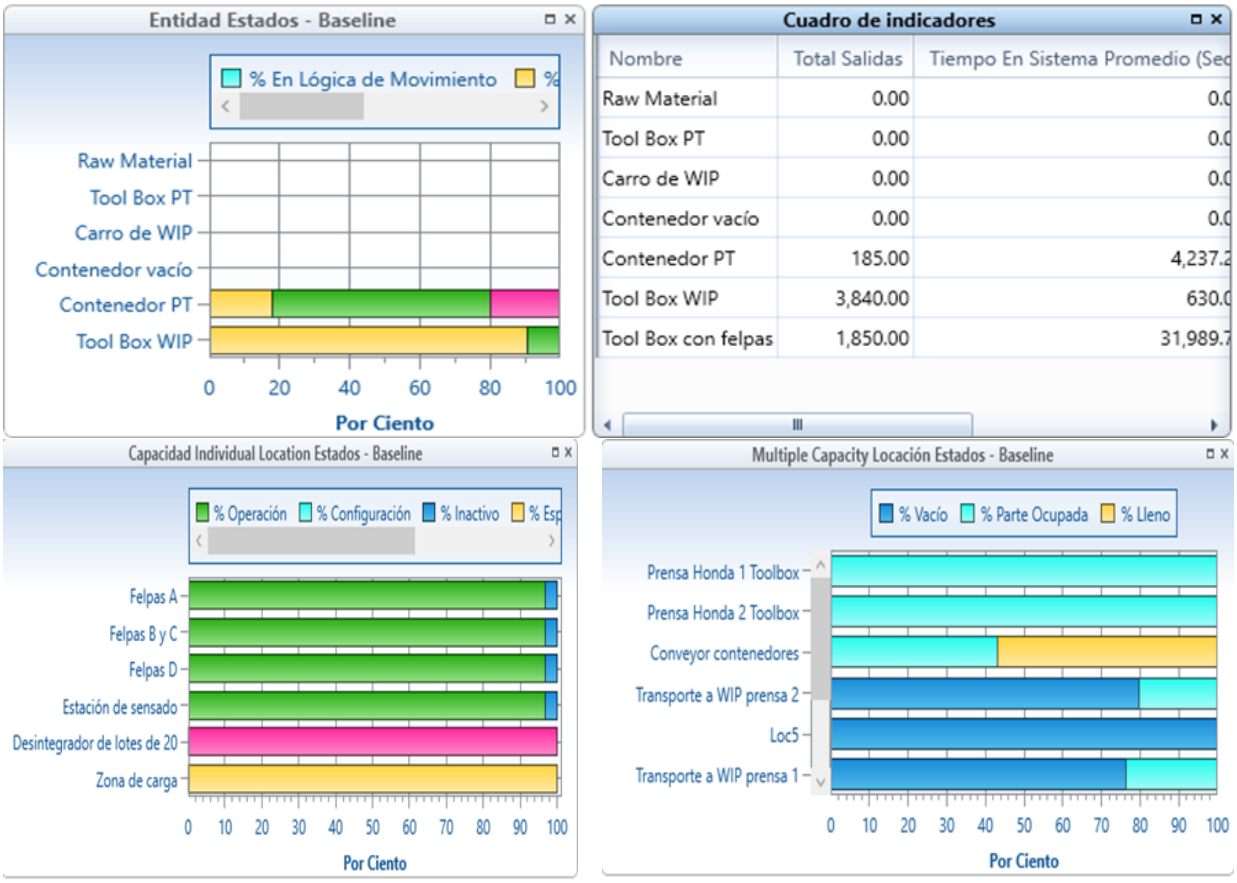


Figura 8. Resultados del segundo escenario.

Tabla 2. Tiempos ciclo simulado y capacidad calculada.

Tiempo ciclo simulado	Capacidad calculada mensual (1 línea)	Capacidad calculada mensual (2 líneas)
Número de parte nuevo 1: 65 s. Número de parte nuevo 2: 65 s. Número de parte nuevo 3: 65 s. Número de parte actual: 60 s.	Número de parte nuevo 1: 2.8 K piezas. Número de parte nuevo 2: 3 K piezas. Número de parte nuevo 3: 2.2 K piezas. Número de parte actual: 14 K piezas.	Número de parte nuevo 1: 5.3 K piezas. Número de parte nuevo 2: 5 K piezas. Número de parte nuevo 3: 5.7 K piezas. Número de parte actual: 14 K piezas.

4.2 Fase 2 (takt time y análisis financieros)

Se definieron las operaciones que conforman el proceso de inyección y ensamble. Además, se marcó un layout y se comenzó con la fabricación de los moldes (2 moldes por cada número de parte) con un tiempo de entrega de 12 semanas. En esta fase se cuenta con los takt times obligatorios para cubrir con la demanda. Estos se listan a continuación:

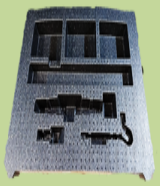
- ✓ Takt time para número de parte nuevo 1: 70 s.
- ✓ Takt time para número de parte nuevo 2: 70 s.
- ✓ Takt time para número de parte nuevo 3: 70 s.
- ✓ Takt time para número de parte actual: 60 s.

La operación de la línea de producción consta de las siguientes estaciones: pre-expansión, moldeo, almacenamiento WIP, ensamble 1, ensamble 2, ensamble 3, ensamble 4, conveyor, almacenamiento PT y embarque.

Adicionalmente, se realizó un estudio de tiempos con ayuda de 4 operadores en dónde se simula el ensamble de las felpas y componentes en la pieza (véase Tabla 3 y Fig. 9), haciendo una muestra de 10 piezas y anotando la información recopilada. A continuación, se muestra el ensamble de los diferentes componentes y como es que se dividen en el proceso de producción del Toolbox.

Tabla 3. *Estudio de tiempos.*

Time study



Op.	Description	Time 1 (s)	Time 2 (s)	Time 3 (s)	Time 4 (s)	Time 5 (s)	Time 6 (s)	Time 7 (s)	Time 8 (s)	Time 9 (s)	Time 10 (s)	Moda (s)
1	Assembly of tape on corners (x2 pcs)	55	53	50	47	51	48	58	49	40	51	**51**
2	Assembly of cushion felts "A" (X6 pcs)	58	55	53	53	52	55	58	50	60	58	**58**
3	Assembly of cushion felts "B" (X4 pcs)	60	61	65	54	60	53	56	60	65	64	**60**
4	Assembly of pantograph	15	15	16	17	15	16	10	14	10	14	**15**
5	Assembly of bar jack	15	14	14	16	15	15	10	14	10	16	**15**
6	Assembly of Wheel wrench	16	13	12	14	14	13	11	11	15	11	**11**
7	Sensing felts and tools placed and labeling	15	16	15	17	15	15	12	13	15	17	**15**
8	Packaging	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	**30**
	Total (s)	**264**	**257**	**255**	**248**	**252**	**245**	**245**	**241**	**245**	**261**	**255**

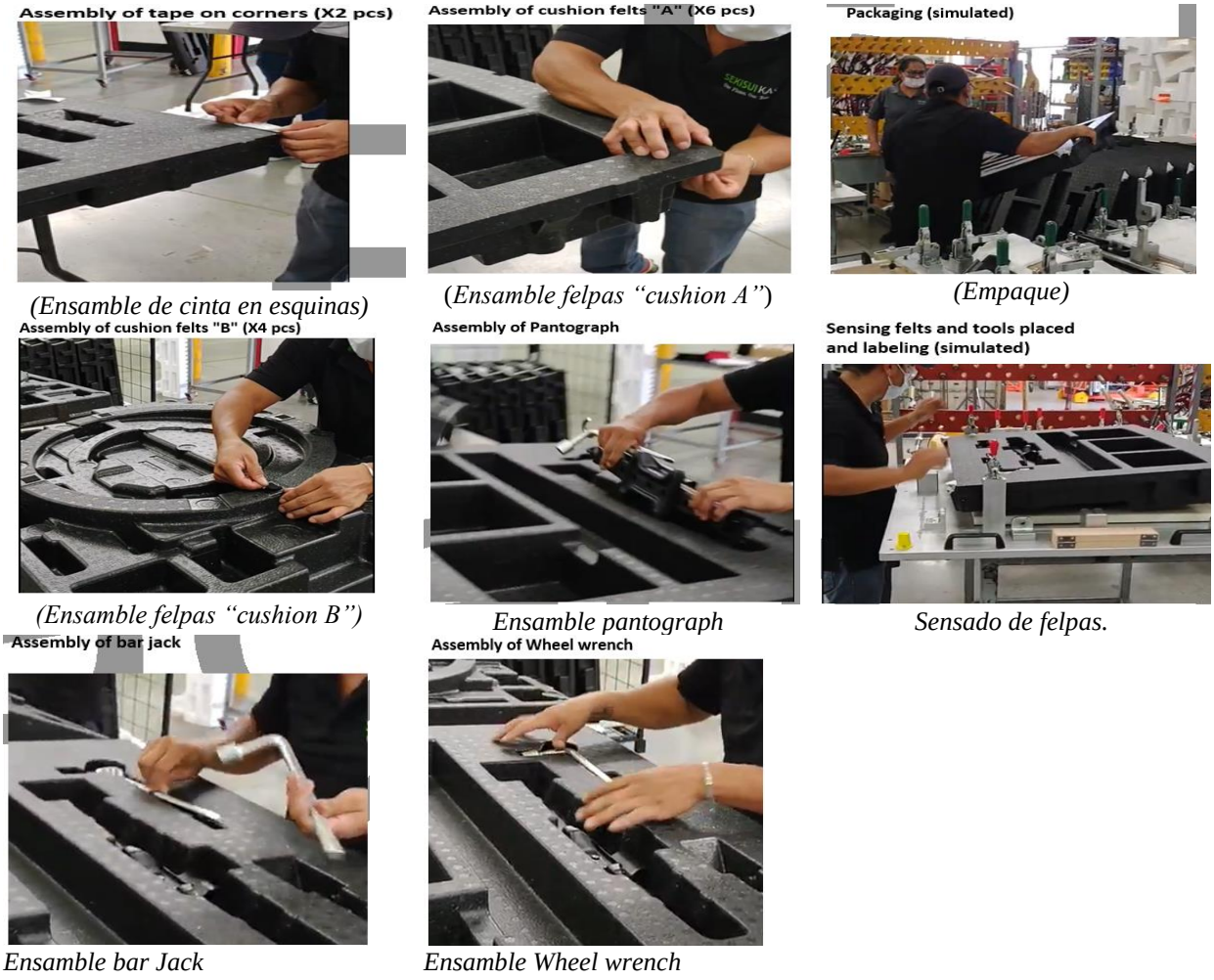


Figura 9. Ensambles utilizados.

4.2.1 Indicadores financieros para una sola línea de producción

Como primera opción se analiza adaptar la línea de producción actual a las necesidades de los nuevos números de parte para ser capaces de cumplir con las especificaciones del cliente. La Tabla 4 muestra el análisis de inversión para modificar la línea actual y la Tabla 5 presenta el estado de resultados para el peor escenario considerando los 5 años de vida del proyecto. Se observa un valor presente neto positivo, un periodo de recuperación menor a un año, una tasa de retorno positiva y un índice de recuperación de 17.30 dólares por cada dólar invertido (Tabla 6).

El siguiente escenario corresponde al precio base (Tabla 7) donde se aprecia un valor presente neto positivo, un periodo de recuperación menor a un año, una tasa de retorno de inversión positiva y un índice de rentabilidad de 136 dólares por cada dólar invertido (Tabla 6).

Tabla 4. Evaluación y análisis de inversión para modificar línea actual.

Evaluación análisis de inversión			PEOR	BASE	MEJOR
TASA IMP.	30%	**Unid. Vendidas**	144720	160800	176880
INV INICIAL	$ 15,000	**Precio de Venta**	18.2097	20.233	22.2563
Costo capital	12%	**Costo Variable**	17.5	15.2	12.3
		Costos Fijos	1150	1150	1150

Tabla 5. Estado de resultados para el peor escenario.

PEOR	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos	$ 2,635,308	$ 2,635,308	$ 2,635,308	$ 2,635,308	$ 2,635,308
Gastos	$ 2,533,750	$ 2,533,750	$ 2,533,750	$ 2,533,750	$ 2,533,750
Ut. Ant. De imp y Dep.	$ 101,558	$ 101,558	$ 101,558	$ 101,558	$ 101,558
Depreciación	$ 3,000	$ 3,000	$ 3,000	$ 3,000	$ 3,000
Ut. Neta ant. De imp.	$ 98,558	$ 98,558	$ 98,558	$ 98,558	$ 98,558
Impuestos	$ 29,567	$ 29,567	$ 29,567	$ 29,567	$ 29,567
Ut. Neta desp. De imp.	$ 68,990	$ 68,990	$ 68,990	$ 68,990	$ 68,990
Depreciación	$ 3,000	$ 3,000	$ 3,000	$ 3,000	$ 3,000
Flujo + de Efectivo	$ 71,990	$ 71,990	$ 71,990	$ 71,990	$ 71,990

Tabla 6. Indicadores financieros para trabajar con una sola línea.

Peor escenario

VPN	$244,509.46
PR	0.21
TIR	479.863%
IR	17.30

Escenario base

VPN	$2,027,500.37
PR	0.02647326
TIR	3777.40%
IR	136.17

Mejor escenario

VPN	$4,429,127.58
PR	0.01
TIR	8218.962%
IR	296.28

Tabla 7. Estado de resultados para escenario base.

BASE	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos	$ 3,253,466	$ 3,253,466	$ 3,253,466	$ 3,253,466	$ 3,253,466
Gastos	$ 2,445,310	$ 2,445,310	$ 2,445,310	$ 2,445,310	$ 2,445,310
Ut. Ant. De imp y Dep.	$ 808,156	$ 808,156	$ 808,156	$ 808,156	$ 808,156
Depreciación	$ 3,000	$ 3,000	$ 3,000	$ 3,000	$ 3,000
Ut. Neta ant. De imp.	$ 805,156	$ 805,156	$ 805,156	$ 805,156	$ 805,156
Impuestos	$ 241,547	$ 241,547	$ 241,547	$ 241,547	$ 241,547
Ut. Neta desp. De imp.	$ 563,609	$ 563,609	$ 563,609	$ 563,609	$ 563,609
Depreciación	$ 3,000	$ 3,000	$ 3,000	$ 3,000	$ 3,000
Flujo + de Efectivo	$ 566,609	$ 566,609	$ 566,609	$ 566,609	$ 566,609

Por último, la Tabla 8 presenta el flujo de efectivo para el mejor escenario. En este ejercicio tenemos un valor presente neto positivo, un periodo de recuperación menor a un año, una tasa de retorno de inversión positiva y un índice de rentabilidad de 296 dólares por cada dólar invertido (Tabla 6 y 9).

Tabla 8. Estado de resultados mejor escenario.

MEJOR	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos	$ 3,936,694	$ 3,936,694	$ 3,936,694	$ 3,936,694	$ 3,936,694
Gastos	$ 2,176,774	$ 2,176,774	$ 2,176,774	$ 2,176,774	$ 2,176,774
Ut. Ant. De imp y Dep.	$ 1,759,920	$ 1,759,920	$ 1,759,920	$ 1,759,920	$ 1,759,920
Depreciación	$ 3,000	$ 3,000	$ 3,000	$ 3,000	$ 3,000
Ut. Neta ant. De imp.	$ 1,756,920	$ 1,756,920	$ 1,756,920	$ 1,756,920	$ 1,756,920
Impuestos	$ 527,076	$ 527,076	$ 527,076	$ 527,076	$ 527,076
Ut. Neta desp. De imp.	$ 1,229,844	$ 1,229,844	$ 1,229,844	$ 1,229,844	$ 1,229,844
Depreciación	$ 3,000	$ 3,000	$ 3,000	$ 3,000	$ 3,000
Flujo + de Efectivo	$ 1,232,844	$ 1,232,844	$ 1,232,844	$ 1,232,844	$ 1,232,844

Tabla 9. *TIR para una sola línea.*

TIR		
PEOR	BASE	MEJOR
-$ 15,000	-$ 15,000	-$ 15,000
$ 71,990	$ 566,609	$ 1,232,844
$ 71,990	$ 566,609	$ 1,232,844
$ 71,990	$ 566,609	$ 1,232,844
$ 71,990	$ 566,609	$ 1,232,844
$ 71,990	$ 566,609	$ 1,232,844

Se observa en base a los estados de resultados que en los 3 escenarios se tiene indicadores financieros con resultados positivos, sin embargo, el hecho de trabajar con el peor escenario nos reduce el índice de rentabilidad de 296 a 17.30 dólares. Una vez que se finalizó la corrida financiera se tiene un camino para continuar con la fase 3 en el proceso de investigación. Gracias a los análisis financieros realizados se aprobó la decisión de una nueva línea de producción.

4.2.2 Indicadores financieros para línea adicional

En el segundo escenario se considera la inversión para una línea de producción nueva, se toma la inversión inicial, tasa de importación, costo capital, el pronóstico de venta para el 2023 y se toman 3 panoramas de venta dependiendo de la negociación del precio por pieza. La Tabla 10 muestra el flujo de efectivo para los 5 años que tiene de vida el proyecto empezando por el peor escenario mientras la Tabla 11 muestra los resultados obtenidos del flujo de efectivo en donde tenemos un valor presente neto positivo, un periodo de recuperación menor a un año, una tasa de retorno positivo y una recuperación de 8.80 USD por cada dólar invertido (Tabla 12).

Tabla 10. Análisis de inversión.

Evaluación análisis de inversión			PEOR	BASE	MEJOR
TASA IMP.	30%	Unid. Vendidas	144720	160800	176880
INV INICIAL	$ 25,500	Precio de Venta	18.2097	20.233	22.2563
Costo capital	12%	Costo Variable	17.6	14	11.21
		Costos Fijos	1500	1500	1500

Tabla 11. Estado de resultados para el peor escenario.

PEOR	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos	$ 2,635,308	$ 2,635,308	$ 2,635,308	$ 2,635,308	$ 2,635,308
Gastos	$ 2,548,572	$ 2,548,572	$ 2,548,572	$ 2,548,572	$ 2,548,572
Ut. Ant. De imp y Dep.	$ 86,736	$ 86,736	$ 86,736	$ 86,736	$ 86,736
Depreciación	$ 5,100	$ 5,100	$ 5,100	$ 5,100	$ 5,100
Ut. Neta ant. De imp.	$ 81,636	$ 81,636	$ 81,636	$ 81,636	$ 81,636
Impuestos	$ 24,491	$ 24,491	$ 24,491	$ 24,491	$ 24,491
Ut. Neta desp. De imp.	$ 57,145	$ 57,145	$ 57,145	$ 57,145	$ 57,145
Depreciación	$ 5,100	$ 5,100	$ 5,100	$ 5,100	$ 5,100
Flujo + de Efectivo	$ 62,245	$ 62,245	$ 62,245	$ 62,245	$ 62,245

Tabla 12. Indicadores financieros para dos líneas de producción.

Peor escenario

VPN	$198,879.47
PR	$ 0.41
TIR	243.588%
IR	8.80

Escenario base

VPN	$2,505,292.54
PR	0.036321347
TIR	2753.20%
IR	99.25

Mejor escenario

VPN	$4,906,514.00
PR	$ 0.02
TIR	5365.446%
IR	193.41

El segundo escenario se analizó con el precio base negociado con el cliente. La Tabla 13 presenta el flujo de efectivo para los 5 años de vida del proyecto en este escenario. De igual manera se hace el cálculo de indicadores financieros para el escenario base donde se observa un valor presente neto positivo, un periodo de recuperación menor a un año, la tasa de rentabilidad es positiva y el índice de recuperación de 99.25 por cada dólar invertido (Tabla 12).

Por último, se consideró el mejor escenario (Tabla 14) en donde se logra negociar un mejor precio al esperado. En este ejercicio se tiene un valor presente positivo, un periodo de recuperación menor a un año, una tasa de rentabilidad positiva y finalmente un índice de recuperación de 193.41 dólares por cada dólar invertido (Tabla 12).

Tabla 13. Estado de resultados escenario base.

BASE	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos	$ 3,253,466	$ 3,253,466	$ 3,253,466	$ 3,253,466	$ 3,253,466
Gastos	$ 2,252,700	$ 2,252,700	$ 2,252,700	$ 2,252,700	$ 2,252,700
Ut. Ant. De imp y Dep.	$ 1,000,766	$ 1,000,766	$ 1,000,766	$ 1,000,766	$ 1,000,766
Depreciación	$ 5,100	$ 5,100	$ 5,100	$ 5,100	$ 5,100
Ut. Neta ant. De imp.	$ 995,666	$ 995,666	$ 995,666	$ 995,666	$ 995,666
Impuestos	$ 298,700	$ 298,700	$ 298,700	$ 298,700	$ 298,700
Ut. Neta desp. De imp.	$ 696,966	$ 696,966	$ 696,966	$ 696,966	$ 696,966
Depreciación	$ 5,100	$ 5,100	$ 5,100	$ 5,100	$ 5,100
Flujo + de Efectivo	$ 702,066	$ 702,066	$ 702,066	$ 702,066	$ 702,066

Tabla 14. Estado de resultados mejor escenario.

MEJOR	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos	$ 3,936,694	$ 3,936,694	$ 3,936,694	$ 3,936,694	$ 3,936,694
Gastos	$ 1,984,325	$ 1,984,325	$ 1,984,325	$ 1,984,325	$ 1,984,325
Ut. Ant. De imp y Dep.	$ 1,952,370	$ 1,952,370	$ 1,952,370	$ 1,952,370	$ 1,952,370
Depreciación	$ 5,100	$ 5,100	$ 5,100	$ 5,100	$ 5,100
Ut. Neta ant. De imp.	$ 1,947,270	$ 1,947,270	$ 1,947,270	$ 1,947,270	$ 1,947,270
Impuestos	$ 584,181	$ 584,181	$ 584,181	$ 584,181	$ 584,181
Ut. Neta desp. De imp.	$ 1,363,089	$ 1,363,089	$ 1,363,089	$ 1,363,089	$ 1,363,089
Depreciación	$ 5,100	$ 5,100	$ 5,100	$ 5,100	$ 5,100
Flujo + de Efectivo	$ 1,368,189	$ 1,368,189	$ 1,368,189	$ 1,368,189	$ 1,368,189

Tabla 15. TIR para dos líneas de producción.

TIR		
PEOR	BASE	MEJOR
-$ 25,500	-$ 25,500	-$ 25,500
$ 62,245	$ 702,066	$ 1,368,189
$ 62,245	$ 702,066	$ 1,368,189
$ 62,245	$ 702,066	$ 1,368,189
$ 62,245	$ 702,066	$ 1,368,189
$ 62,245	$ 702,066	$ 1,368,189

4.3 Fase 3 y 4

Esta fase ya se cuenta con el molde liberado y se realiza una corrida de 30 piezas en las instalaciones. Se aprovechó la corrida para iniciar el entrenamiento de los operadores que van a participar en el proceso y se hace un análisis de tiempos. Además, se recopilaron datos de los desechos generados para futuras corridas. Los resultados en esta fase fueron:

- **Corrida con 30 piezas:** OK, 75 s de tiempo ciclo (debe mejorar).
- **Entrenamiento de operadores:** 30%
- **Porcentaje de desechos:** 35% (debe mejorar).

En la fase 4 se hizo una corrida larga de 120 piezas, ya con las estaciones de trabajo terminadas, se tienen los parámetros de proceso cerrados, se cuenta con los diseños liberados y congelados por parte de cliente, precio congelado, cierre de inversiones al proyecto, capacidad de producción cerrada y porcentaje de desechos definido. Además, se tiene lista la línea para comenzar con producción en masa. El layout final (Fig. 10) para las mesas de trabajo quedó de la siguiente manera.

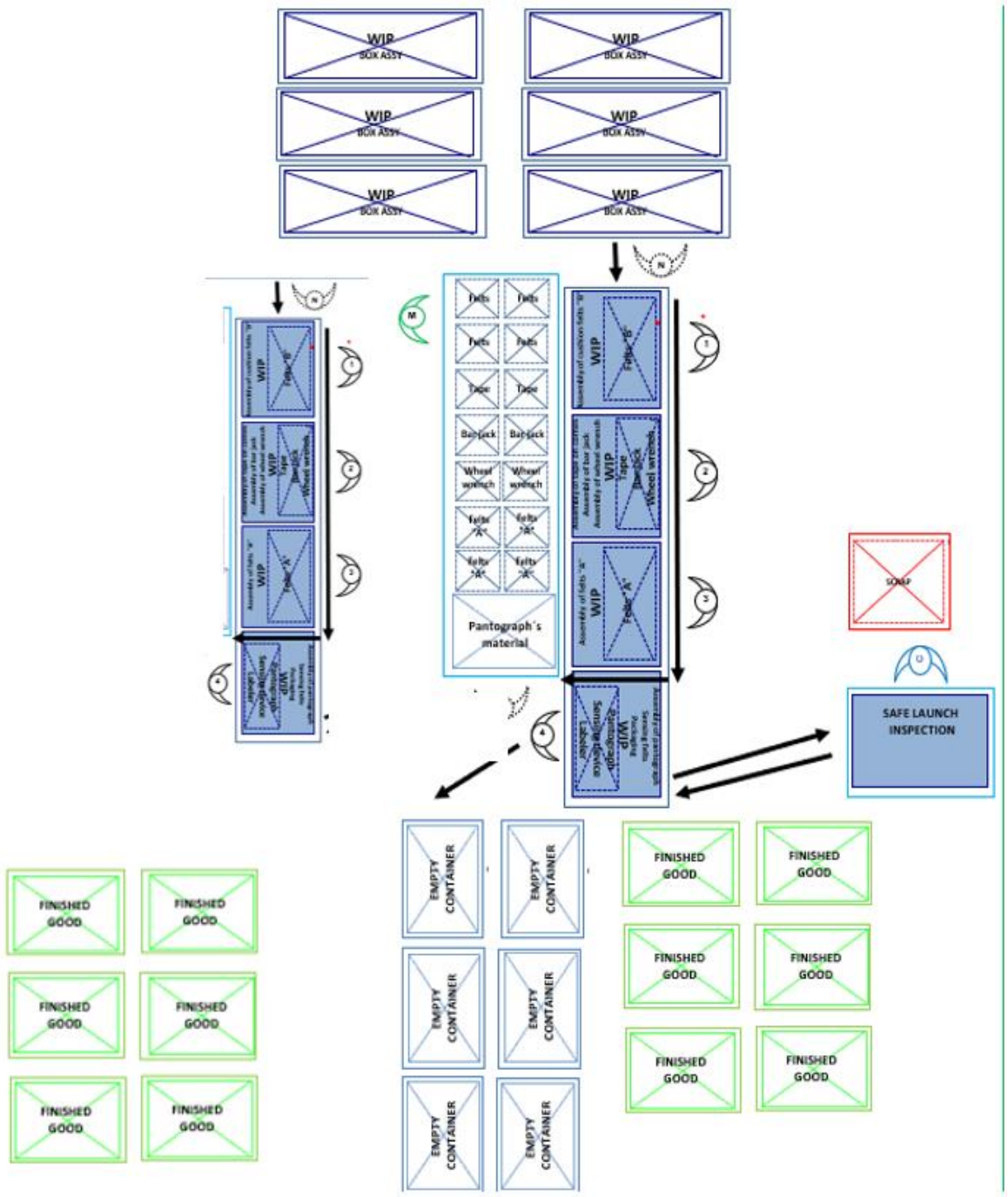


Figura 10. Layout final.

De igual manera se explica cómo se redefinió el ensamble (Fig. 11) para cada una de las mesas de trabajo (submódulos) donde se realizó nuevamente un estudio de tiempos (Tabla 16), una vez completado el entrenamiento de los operadores y con las mesas de trabajo finales.

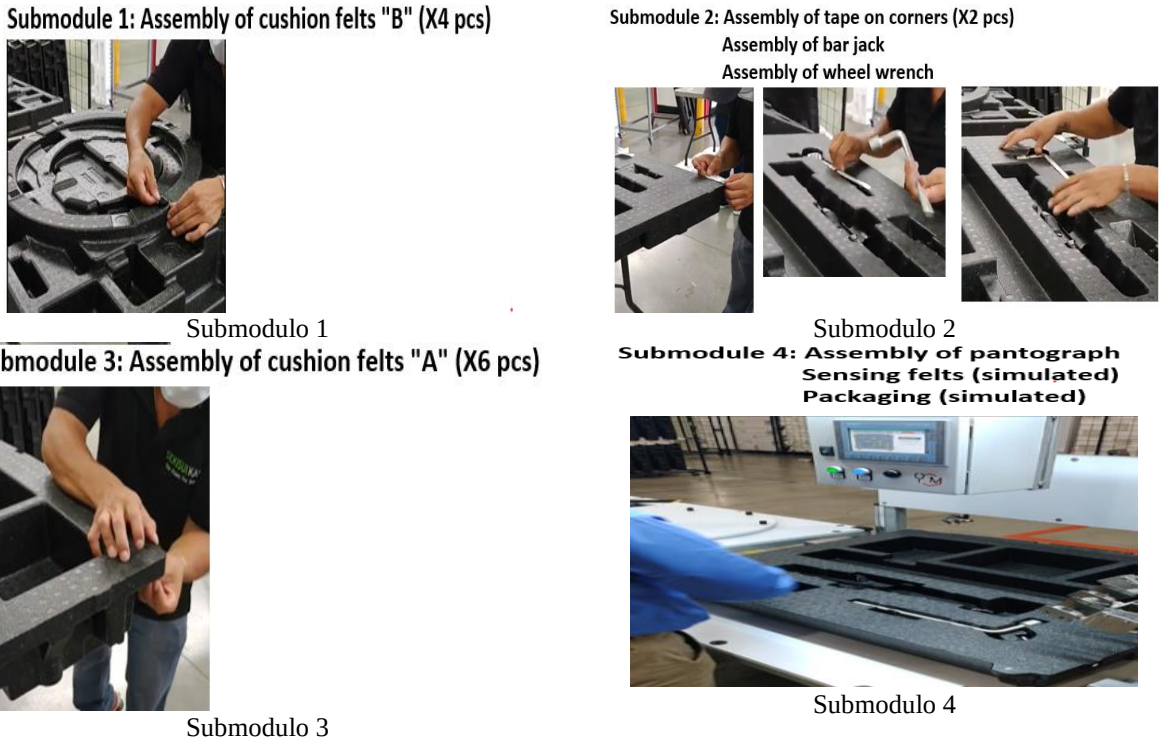


Figura 11. Submódulos 1, 2, 3 y 4.

Tabla 16. Estudio de tiempos entrenamiento completado.

Time study													
Op.	Description	Time 1 (s	Time 2 (s	Time 3 (s	Time 4 (s	Time 5 (s	Time 6 (s	Time 7 (s	Time 8 (s	Time 9 (s	Time 10 (s	Moda per operation	Moda per submodule
1	Assembly of cushion felts "B" (X4 pcs)	60	61	62	61	60	63	62	60	60	63	60	60
2	Assembly of tape on corners (x2 pcs)	55	53	50	47	50	48	58	49	47	51	50	60
	Assembly of bar jack	6	5	7	6	5	5	5	6	5	5	5	
	Assembly of Wheel wrench	5	5	5	6	7	6	6	5	5	5	5	
3	Assembly of cushion felts "A" (X6 pcs)	58	55	53	53	52	55	58	50	60	58	58	58
4	Assembly of pantograph	15	15	16	17	15	16	10	14	10	14	15	60
	Sensing felts and tools placed and labeling	15	16	15	17	15	15	12	13	15	17	15	
	Packaging	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
	Total (s)	244	240	238	237	234	238	241	227	232	243	238	238

Parámetros en prensa y pre-expansora: Congelados.
Dibujos: Congelados.
Precio piezas: Congelado y cargado en portal de cliente.
Inversión al proyecto: Finalizada con un monto de 40,000 USD.
Porcentaje de desechos en corrida: 4% (aceptable, pero puede mejorar).
Corrida 120 piezas: OK, 60 s de tiempo ciclo (tiempo ciclo OK).

4.4 Fase 5 y 6

En la fase 5 se termina el entrenamiento a los operadores, se comienza con las primeras corridas de expansión de la resina y el entrenamiento al personal es completado. El plan de arranque es el siguiente: expansión de materia prima en 2023, se trabaja solamente un turno en pre-expansora. Además, se empezó a trabajar en prensa de moldeo con un turno y arrancó línea de ensamble con 1 turno (Tabla 17). Finalmente, en la fase 6 se realizaron las primeras corridas de

producción masiva y se cierra contrato con cliente.

Tabla 17. Horas de trabajo disponibles.

	1ER TURNO	
	HORAS	HORARIO
	1	7 A 8
	1	8 A 9
160 MIN	1	9 A 10
2 HORAS Y 40 MIN	10 MIN	10 A 10:10
	50 MIN	10:10 A 11
	1	11 A 12
	1	12 A 1
	30 MIN	1 A 1:30
	30 MIN	1:30 A 2
	1	2 A 3
	10 MIN	3 A 3:10
	50 MIN	3:10 A 4
	30 MIN	4 A 4:30
TOTAL:	8 H Y 40 MIN	
	50 MIN	DESCANSOS
	9.5 HORAS	

	2DO TURNO	
	HORAS	HORARIO
	30 MIN	4:30 A 5
	1	5 A 6
	1	6 A 7
	10 MIN	7 A 7:10
	50 MIN	7:10 A 8
	1	8 A 9
	1	9 A 10
	30 MIN	10 A 10:30
	30 MIN	10:30 A 11
	1	11 A 12
	10 MIN	12 A 12:10
	50 MIN	12:10 A 1
TOTAL:		
	7 H Y 40 MIN	
	50 MIN	DESCANSOS
	8.5 H	

4. Conclusiones, recomendaciones y trabajo futuro

Esta investigación realiza el análisis de dos posibles escenarios buscando una mayor rentabilidad al menor costo posible. En búsqueda de tomar la mejor decisión se realizaron análisis financieros para cada una de las situaciones. Para ambos casos se tiene un valor presente neto positivo, una tasa de retorno de inversión positiva y una tasa de rentabilidad positiva. Se tiene un menor valor presente neto en el segundo escenario donde se invierte en una línea de producción adicional, sin embargo, la tasa de retorno de inversión es mayor en el segundo escenario, así como el índice de rentabilidad. Por lo tanto, la mejor decisión desde el punto de vista financiero es el segundo escenario donde se invierte en una línea de producción adicional. Ahora desde el punto de vista de capacidad de producción, se realizó la simulación con ambos escenarios. En el primer escenario se tiene una capacidad total de 92 contenedores por día lo que equivale a 920 piezas diarias. En el segundo escenario se tiene una capacidad total de 185 contenedores por día lo que equivale a 1850 piezas diarias. Haciendo la comparativa de ambos escenarios y considerando que la demanda nueva con los números de parte adicionales será de 1370 piezas diarias se llega a la conclusión de que el único escenario que cumplirá con la demanda es el segundo donde se invierte en una línea de producción adicional. Una vez revisado esta información se tomó la decisión de instalar una nueva línea de producción. Esta decisión está directamente relacionada con el balanceo entre las fases del proceso, takt time, la eliminación de cuellos de botella y no depende directamente del presupuesto definido. En ninguno de los dos escenarios se presentó un cuello de botella, ya que las operaciones están balanceadas a un tiempo ciclo aproximado de 60 segundos y un porcentaje de operación cercano al 100%. Además, todas las estaciones de trabajo funcionan al mismo ritmo y con la misma eficiencia, gracias a un correcto balanceo de línea y al óptimo entrenamiento de los operadores. En ambos escenarios el periodo de recuperación es menor a 2 años.

Como conclusión, se decidió invertir en una línea de producción adicional. La base para tomar la decisión fue el análisis financiero tomando como indicadores el valor presente

neto, el periodo de recuperación, la tasa de retorno de inversión y el índice de rentabilidad y la simulación realizada en ProModel en ambos escenarios. Mediante la decisión de invertir en la línea de producción adicional se obtuvo una producción de 185 contenedores por día con ocupación en las estaciones de trabajo de un 80% y una capacidad de 1850 contenedores por línea. Además, se cuenta con un valor presente neto positivo, un periodo de recuperación menor a un año y un índice de recuperación de 99.25 por cada dólar invertido. Dentro de las limitaciones del estudio se encuentran el tiempo de vida del desarrollo del proyecto, así como el tiempo de simulación utilizado donde un periodo de simulación más largo con cierto número de replicas podría disminuir la variabilidad de los resultados y permitir analizar los resultados mediante estimaciones por intervalo. Se deja una línea de investigación futura sobre el análisis y reducción en los desechos generados (scrap) en ambos escenarios.

6. References

[1] Asana, Inc. (2024). *¿Qué son los cuellos de botella en la gestión de proyectos? 3 formas de identificarlos*. Obtenido de https://asana.com/es/resources/what-is-a-bottleneck

[2] Belman-Lopez, C., Jiménez-García, J., & Hernández-González, S. (2020). Análisis exhaustivo de los principios de diseño en el contexto de Industria 4.0. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 432-447. doi:https://doi.org/10.4995/riai.2020.12579

[3] Belman-López, C., Jiménez-García, J., Vázquez-Lopez, J., & Camarillo-Gómez, K. (2023). Diseño de una arquitectura para sistemas y aplicaciones en Industria 4.0 basada en computación en la nube y análisis de datos. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 137-149. doi:https://doi.org/10.4995/riai.2022.17791

[4] Belman-López, C., Jiménez-García, J., Vázquez-López, J., Hernández-González, S., & Franco-Barrón, J. (2020). Elementos fundamentales del sistema de manufactura inteligente en la era de Industria 4.0. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 1-26.

[5] Borja. (2019). *Indicadores lean: takt time, lead time y cycle time.* Obtenido de https://arrizabalagauriarte.com/indicadores-lean-takt-time-lead-time-y-cycle-time/

[6] Coll, F. M. (2022). *economipedia*. Obtenido de https://economipedia.com/definiciones/capacidad-de-produccion.html

[7] Cornell University, INSEAD, & WIPO. (2020). *Who Will Finance Innovation? Ithaca, Fontainebleau, and Geneva.* Obtenido de https://bit.ly/3tdjmoU

[8] EGA Futura. (2024). *Tasa de retorno*. Obtenido de https://www.egafutura.com/glosario/tasa-retorno

[9] Enciclopedia Concepto. (2024). *Presupuesto*. Obtenido de https://concepto.de/presupuesto/

[10] Galan, J. (2016). *Utilidad: Qué es y cómo representarla*. Obtenido de economipedia.com:

https://economipedia.com/definiciones/utilidad.html

[11] Lee, C., Zhang, S., & Ng, K. (2019). In-Plant Logistics Simulation Model for the Catering Service Industry Towards Sustainable Development: A Case Study. *sustainability*, 1-13. doi:https://doi.org/10.3390/su11133655

[12] Rosen, D. (2019). Thoughts on Design for Intelligent Manufacturing. *Engineering*, 1-6. doi:https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.07.011

[13] Sahba, R., Radfar, R., Ghatari, A. R., & Ebrahimi, A. P. (2021). Development of Industry 4.0 predictive maintenance architecture for broadcasting chain. *Advanced Engineering Informatics*, 1-11. doi:https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101324

[14] Sony, M., Antony, J., Mc Dermott, O., & Garza-Reyes, J. (2021). An empirical examination of benefits, challenges, and critical success factors of industry 4.0 in manufacturing and service sector. *Technology in Society*, 1-12. doi:https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101754

[15] Uribe, J. (2021). *Fundamentos de control estadístico de procesos para gestores y administradores tecnológicos.* Instituto Tecnologico Metropolitano.

[16] Wankhede, V. A., & Vinodh, S. (2021). Analysis of Industry 4.0 challenges using best worst method: A case study. *Computers & Industrial Engineering*, 1-13. doi:https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107487