



III CADI  
IX CAEDI  
2016



## RESOLUCIÓN PRÁCTICA DE UN CASO SOBRE TEORÍA DE LAS RESTRICCIONES APLICANDO EL SOFTWARE DELMIA QUEST

**Oscar Manuel Pascal**, Universidad Nacional de Lomas de Zamora – Facultad de Ingeniería, Instituto de Investigaciones en Tecnología y Educación (IIT&E), oscarmpascal@gmail.com

**Pablo Gustavo Moret**, Universidad Nacional de Lomas de Zamora – Facultad de Ingeniería, Instituto de Investigaciones en Tecnología y Educación (IIT&E), Laboratorio de Simulación, pablomoret@yahoo.com.ar

**Flavia Camila Ivañe**, Universidad Nacional de Lomas de Zamora – Facultad de Ingeniería, Laboratorio de Simulación, flaviak1000a@yahoo.com.ar

**Resumen**— Uno de los inconvenientes por los que atraviesan los alumnos de las carreras técnicas y de la ingeniería en particular, es poder visualizar e imaginar algunos circuitos, traslados y transformaciones a los que serán sometidos los diferentes materiales, que luego formarán parte de un determinado producto, a través de la ingeniería de procesos.

El objetivo de este trabajo es poder simular a través del software Delmia Quest [1], un caso práctico de la cátedra Planeamiento y Control de la Producción, que actualmente se desarrolla de forma manual, el cual está referido a la temática de Teoría de las Restricciones [2].

La metodología a utilizar consistirá en poder desarrollar de manera detallada una guía de trabajo práctico de los pasos a seguir por los alumnos, insertando las correspondientes imágenes de pantalla con las funciones del software a utilizar.

La conclusión a la que aspiramos, es que como consecuencia del resultado de este tipo de experiencias, podamos ir replicando esta actividad en otras materias de la carrera, ya que debido al potencial con que cuenta esta herramienta, será sumamente importante seguir utilizándola en la investigación y desarrollo de numerosas aplicaciones.

**Palabras clave**— *restricciones, Quest, producción, recursos, tiempos.*

## **1. Introducción**

### **1.1 Antecedentes**

Comenzaremos definiendo a la teoría de las restricciones o TOC (del inglés theory of constraints) como “el método sistemático de administración, que se centra en administrar activamente las restricciones o cuellos de botella, que impiden el progreso de la empresa hacia su meta de maximizar el total de fondos o ventas con valor agregado, menos los descuentos y los costos variables” [2].

Resulta oportuno también definir al término cuello de botella como un tipo especial de restricción, que se relaciona con la falta de capacidad de un proceso y que bajo ciertas condiciones, también se lo conoce como recurso de restricción de capacidad; Cabe aclarar que “un sistema o proceso empresarial tiene por lo menos una restricción o cuello de botella, ya que de lo contrario, su producción sería ilimitada” [2].

Este cuello de botella actúa como limitante para producir en niveles tales que estén por encima de la capacidad de esta restricción, lo cual origina como consecuencia de esto, que por un lado se genere stock (aguas arriba de la restricción) y por otro, se genere capacidad ociosa (aguas abajo de la restricción).

En cuanto al concepto de teoría de las restricciones, podemos mencionar dos de los fundamentos más importantes. El primero de ellos nos indica que una hora perdida en un cuello de botella es una hora perdida en todo el sistema. Como contrapartida, una hora ahorrada en un recurso que no constituye un cuello de botella no redundará en un aumento en la eficiencia del sistema. El segundo, nos indica que solo se necesita inventario al frente de los cuellos de botella para impedir que estos queden ociosos, como así también frente a los puntos de ensamble y expedición, para proteger los programas de los clientes. Deben evitarse la generación de inventarios en cualquier otro sector productivo de la planta [2].

La metodología de enseñanza, con la cual tradicionalmente y habitualmente se aborda la aplicación de este tema sobre entornos productivos, es recurriendo por lo general a métodos manuales, tablas y planillas de cálculo.

Este tipo de metodología, no permite al alumno poder imaginarse de manera clara, cual es la manera en que comienzan a generarse los cuellos de botella sobre las diferentes estaciones de trabajo, como por ejemplo algunos movimientos o acumulación de materiales o lotes de producción sobre un pallet, lo que les impedirá entonces poder detectar rápida y fácilmente sobre que estación de trabajo se presentarán las restricciones de recursos, para de esta manera enfocarles su atención y otorgándoles la debida prioridad. Esta situación queda evidenciada y acentuada sobre todo en aquellos que no tienen, o no han tenido la experiencia laboral dentro de plantas de manufactura de bienes, o de servicios.

De modo entonces es que desde nuestra Facultad, a través del Instituto de Investigaciones en Tecnología y Educación (IIT&E), y del laboratorio de Simulación, surge la necesidad de colaborar en el proceso de aprendizaje de los alumnos de la cátedra de Planeamiento y Control de la Producción (PCP), situada en el 5º año, primer cuatrimestre del ciclo superior de la carrera de ingeniería industrial (orientación gestión y orientación manufactura), acompañándolos y acercándoles una herramienta de simulación de procesos, tal como lo es el Delmia Quest utilizada en esta investigación, y con la cual contamos desde comienzos de 2014, para introducirlos en el ámbito de aprendizaje de la simulación de procesos, lo cual también se encuentra vinculado no solo a la habilidad para la resolución de los problemas, sino también a la toma de decisiones.

## **2. Materiales y Métodos**

### **2.1 Objetivo**

Aplicación de la teoría de las restricciones (TOC) a un caso práctico bajo entorno productivo, de una empresa fabricante de purificadores de agua, para ser aplicado a la cátedra Planeamiento y Control de la Producción (PCP), desarrollado a través del software de simulación de procesos Delmia Quest.

### **2.2 Métodos**

Como paso previo al diseño del caso, el equipo de trabajo le dedicó gran cantidad de horas al estudio y conocimiento del software, que además de tener cierta complejidad, resulta escasa la publicación de bibliografía, artículos o papers, relacionados con el aprendizaje del mismo.

Es así entonces que se ha recurrido permanentemente a la consulta del tutorial del programa [1], aunque el equipo de trabajo no estuvo exento de encontrarse con numerosas dificultades a lo largo de la investigación para la interpretación de algunos de los textos incluidos en él.

Por el lado del tratamiento teórico del tema, se fueron realizando las consultas pertinentes por medio de la bibliografía de referencia [2].

## **3. Resultados y Discusión**

Tal como se ha mencionado, el supuesto del caso se centra en una empresa que produce filtros industriales para la purificación de agua. El departamento de producción detecta que se producen algunas deficiencias en la línea, las cuales se traducen en problemas tales como incrementos de costos, disminución en el porcentaje de participación en el mercado, reclamos, y hasta inclusive la pérdida de algunos de sus mejores clientes.

Dicho esto, y para una mejor comprensión del estudio planteado, a lo largo de este punto, se irán planteando las consignas del caso y posteriormente se irán presentando de manera resumida, los pasos más representativos del mismo, a través de capturas de pantalla con las cuales se irán encontrando los alumnos.

### **3.1 Consignas iniciales**

Debido a nuevos compromisos tomados por la empresa, la misma requiere tamaños de lotes diarios de producción de 1000 unidades, para poder cumplir con los pedidos de sus clientes. Dadas estas condiciones, se requiere al equipo de trabajo encargado de analizar la situación actual de la línea de producción, detectar los posibles cuellos de botella, para posteriormente eliminarlos, aplicándoles la teoría de las restricciones (TOC).

El método se deberá aplicar de manera cíclica y simultánea, completando una planilla de cálculo, la cual servirá para poder realizar las comparaciones respectivas.

Este estudio se realizará para una jornada laboral de 7 hs. con la posibilidad de extenderlo a un horizonte de programación semanal o mensual.

### **3.1.1 Composición de la línea de producción**

La línea a analizar está integrada por tres centros de trabajo, un almacén de materia prima (almacén 1), un almacén de producto procesado (almacén 2), un almacén de producto terminado, y tres cintas transportadoras. La dotación de personal está compuesta por un supervisor y 2 operarios.

#### **Almacén de MP (almacén 1):**

Inicia la jornada con un stock de 1000 unidades, y a través de un operario, suministra piezas con un tiempo de ciclo MP = constante 0,28min/piezas, equivalente a una capacidad de producción de 3,5 piezas/min.

#### **Centro de trabajo 1:**

Posee un tiempo de ciclo para procesar materia prima de ciclo1= constante 0,25 min/piezas, con un grado de procesamiento del producto del 33,33%.

#### **Centro de trabajo 2:**

Posee un tiempo de ciclo para procesar producto semielaborado de ciclo2=constante 0,5 min/piezas, con un grado de procesamiento del producto del 66,66%.

#### **Centro de trabajo 3:**

Posee un tiempo de ciclo para procesar producto semielaborado de ciclo3= constante 0,5. Debido a las características propias de la máquina 3, su capacidad o tiempo de ciclo no puede ser modificado.

#### **Almacén de producto procesado (almacén 2):**

Inicia la jornada con un stock de 2000 unidades, y cada 10 minutos proporciona 60 piezas.

#### **Almacén de producto terminado:**

En referencia a la política de stock definida por la empresa, la misma consiste en liberar para la venta, lotes de 500 unidades.

### **3.1.2 Materiales y piezas**

En cuanto a los materiales y piezas que van a ser transportadas a través de la línea de producción, las mismas estarán identificadas con diferentes colores, de acuerdo a la etapa del proceso por la cual esté atravesando, y de acuerdo al siguiente detalle:

- ✓ Color verde: materia prima
- ✓ Color naranja: producto en proceso con 33% de valor agregado.
- ✓ Color violeta: producto en proceso con 66% de valor agregado.
- ✓ Color negro: piezas que se ensamblan a las piezas violetas.
- ✓ Color negro y violeta: producto terminado con 100% de valor agregado.

La estructura o lista de materiales del producto (BOM) es la siguiente (Figura 1) :

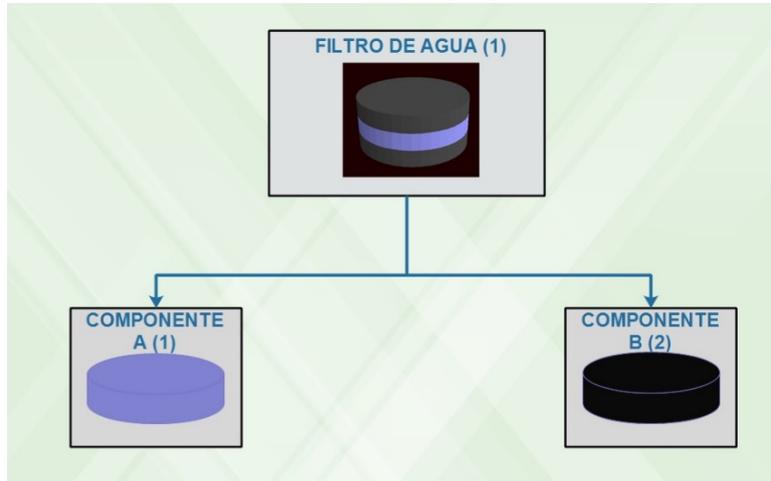


Figura 1. Estructura de componentes del producto (BOM)  
Fuente: elaboración propia

Por lo tanto, de la Figura 1 se desprende entonces, que para producir una unidad de filtro de agua se requiere:

- ✓ 1 unidad del componente A.
- ✓ 2 unidades del componente B.

### 3.1.3 Conceptos teóricos a ser utilizados

- ✓ costos operativos
- ✓ costos de almacenamiento.
- ✓ lotes de transferencia vs lotes de producción.
- ✓ tiempos ociosos de máquinas y operarios.
- ✓ planificación de los recursos.
- ✓ capacidad de producción (medida en unidades/tiempo).
- ✓ tiempos de ciclo (medida en tiempo/unidades)
- ✓ tasa de producción (medida en tiempo/unidades)

## 3.2 Desarrollo del caso

A continuación se irán mostrando de manera secuencial, los pasos necesarios para desarrollar el presente caso.

### 3.2.1 Etapa 1

En esta etapa el alumno se encontrará con el siguiente escenario (Figura 2):

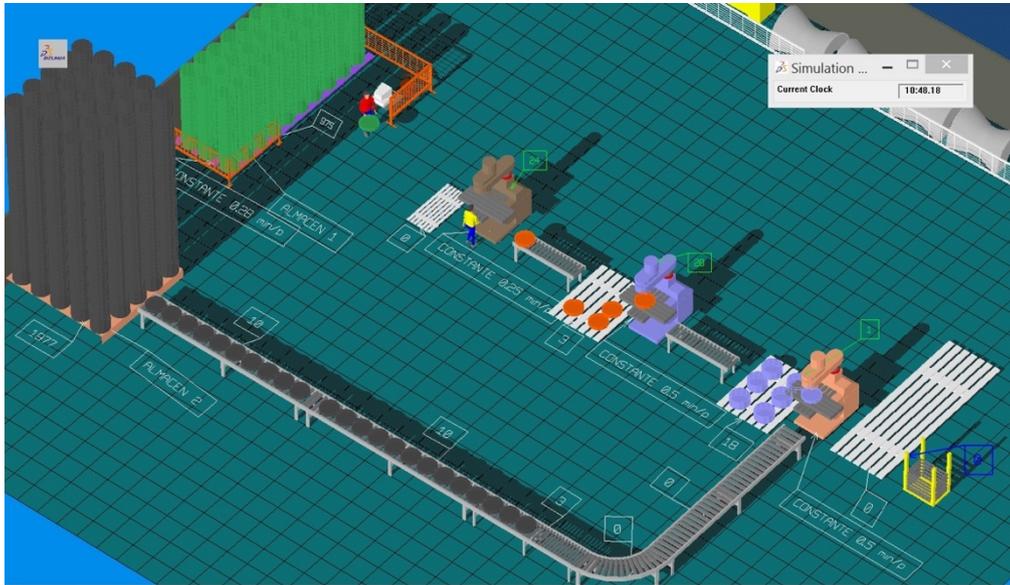


Figura 2. Vista inicial de la planta productiva.  
Fuente: elaboración propia

A continuación se procederá a obtener los indicadores iniciales del proceso productivo para ser analizados y tenidos en cuenta, para a partir de ellos, poder alcanzar las posibles alternativas de solución.

Los pasos posteriores son los siguientes:

- ✓ Verificar las unidades de trabajo.
- ✓ Simular el modelo con un tiempo de 7 hs o su equivalente de 420 minutos, y determinar la velocidad de simulación, presionando el botón intervalo  $\rightarrow 0.004$ .

Para que el alumno pueda familiarizarse con el software y el entorno del sistema productivo que deberá analizar, se le proporcionarán algunos minutos para interactuar con el modelo.

Posteriormente deberá completar la siguiente planilla de cálculo (Figura 3).

ANÁLISIS ETAPA 1_Situación Actual													
Costos de tenencia													
Materia Prima_1		\$		3,00									
Materia Prima 2		\$		5,00									
Stock interproceso 1		\$		5,00									
Stock interproceso 2		\$		8,00									
Stock Prod Terminado		\$		25,00									

Almacén 1		Maq 1	Stock interproceso 1		Maq 2	Stock interproceso 2		Maq 3	Almacén 2		Stock producto terminado		Jornada Laboral	Unidades vendidas	Total de piezas prod.	Tasa de producción
Unid	Costos de stockear MP	CICLO Min/P	unid	Costos de stock con un 33,33% de avance	CICLO Min/P	unid	Costos de stock interproceso con un 66,66% de avance	CICLO Min/P	unid	Costos de stockear MP	unid	costos de stock de producto terminado 100% procesado	Minutos	Unid	Unid	min/pieza
39	\$ 117	0,25	123	\$ 615	0,5	75	\$ 600	0,5	474	\$ 2.370	263	\$ 6.575	420	500	763	0,55

RESUMEN							
Costos operativos normales/jornada	Costo total de stocks	Cant. Producida	Cant. Vendida	Precio de venta	Beneficios	Tasa de producción	
\$ 380	\$ 7.907	763	500	\$ 120	\$ 51.713	0,55	min/p

Figura 3. Planilla de carga valores iniciales “Análisis Etapa 1- Situación Actual”

Fuente: elaboración propia

### 3.2.2 Etapa 2

En esta etapa se aplicará el método TOC y se evaluarán los resultados.

Se les entrega a los alumnos una pauta de trabajo la cual indica que el centro de trabajo 2 está en condiciones de elevar su capacidad productiva desde 2 piezas/min a 4 piezas/min. Estos incrementos de capacidad son extremadamente exagerados, debido que persiguen el objetivo que el alumno reconozca fácilmente la mejora introducida.

En base a esta modificación el alumno deberá realizar los siguientes pasos:

- ✓ Realizar el seteo o configuración del centro de trabajo 2, calculando el nuevo tiempo de ciclo. Se cambiará el valor constante 0,5 por 0,25 (Figura 4).

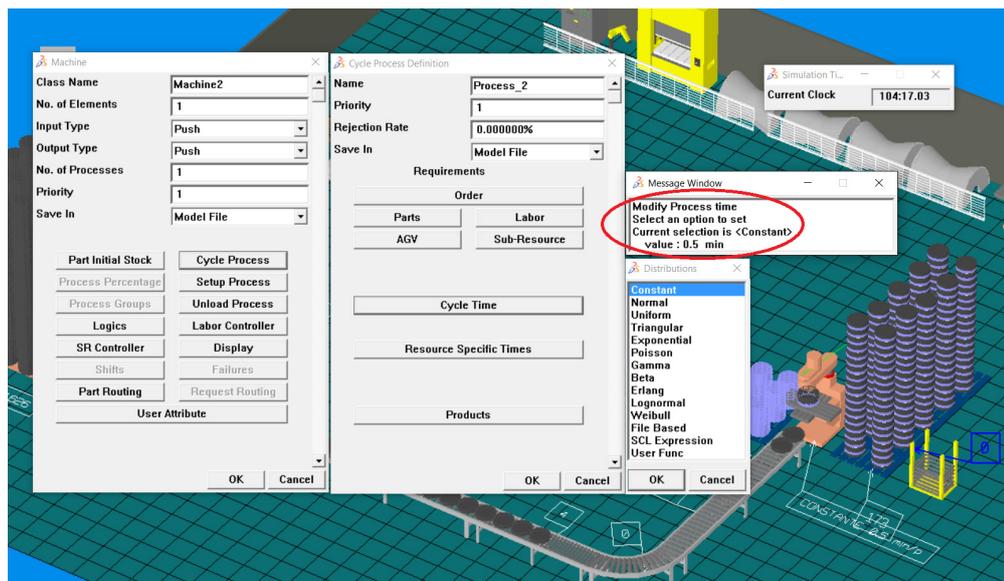


Figura 4. Configuración del centro de trabajo 2.

Fuente: elaboración propia.

- ✓ Cambiar la leyenda del cartel indicativo de la capacidad de la simulación con la nueva configuración del centro de trabajo 2, y luego simular el modelo en Delmia Quest (Figura 5).



Figura 5. Cambio de leyenda cartel indicativo del centro de trabajo 2.

Fuente: elaboración propia

- ✓ Completar la planilla de cálculo “ANÁLISIS ETAPA 2” (Figura 6)

ANÁLISIS ETAPA 2													
Costos de tenencia													
Materia Prima_1	\$	3,00											
Materia Prima 2	\$	5,00											
Stock interproceso 1	\$	5,00											
Stock interproceso 2	\$	8,00											
Stock Prod Terminado	\$	25,00											

Almacén MP 1		Maq 1	Stock interproceso 1		Maq 2	Stock interproceso 2		Maq 3	Almacén 2		Stock producto terminado		Jornada laboral	Unidades vendidas	Total de piezas prod.	Tasa de producción
Unid	Costos de stockear MP	CICLO Min/P	unid	Costos de stock con un 33,33% de avance	CICLO Min/P	unid	Costos de stock interproceso con un 66,66% de avance	CICLO Min/P	unid	Costos de stockear MP	unid	costos de stock de producto terminado 100% procesado	Minutos	Unid	Unid	min/pieza
39	\$ 117	0,25	1	\$ 5	0,25	197	\$ 1.576	0,5	471	\$ 2.355	263	\$ 6.575	420	500	763	0,55

RESUMEN						
Costos operativos normales/jornada	Costo total de stocks	Cant. Producida	Cant. Vendida	Precio de venta	Beneficios	Tasa de producción
\$ 380	\$ 8.273	763	500	\$ 120	\$ 51.347	0,55 min/p

Figura 6. Planilla de carga valores “Análisis Etapa 2”.

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente se le solicita al alumno que realice la comparación entre la situación de la Etapa 1 y la situación en la Etapa 2, analizando tasas de producción, costos y beneficios.

Por último se procede a guardar el modelo con el nombre Etapa 3.

### 3.2.3 Etapa 3

En esta última etapa, se aplicará nuevamente el método TOC y los conceptos teóricos señalados en el punto 3.1.3., para de este modo poder evaluar los respectivos resultados y obtener las correspondientes conclusiones.

En este, debido a que la capacidad de la máquina 3 no puede ser modificada y que el sector de mantenimiento, se encuentra en condiciones de poder acondicionar una máquina de idénticas características, se la conectará en paralelo.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- ✓ Conectar la máquina al buffer y al conveyor (Figura 7).

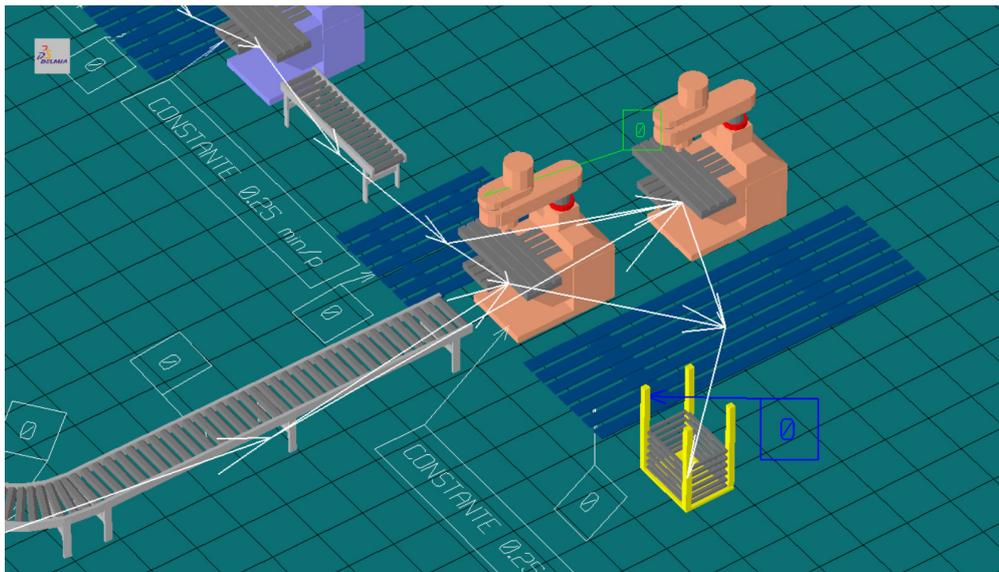


Figura 7. Conexión de máquina en paralelo.

Fuente: elaboración propia.

- ✓ Verificar las conexiones.
- ✓ Cambiar la leyenda de la capacidad (Figura 8).

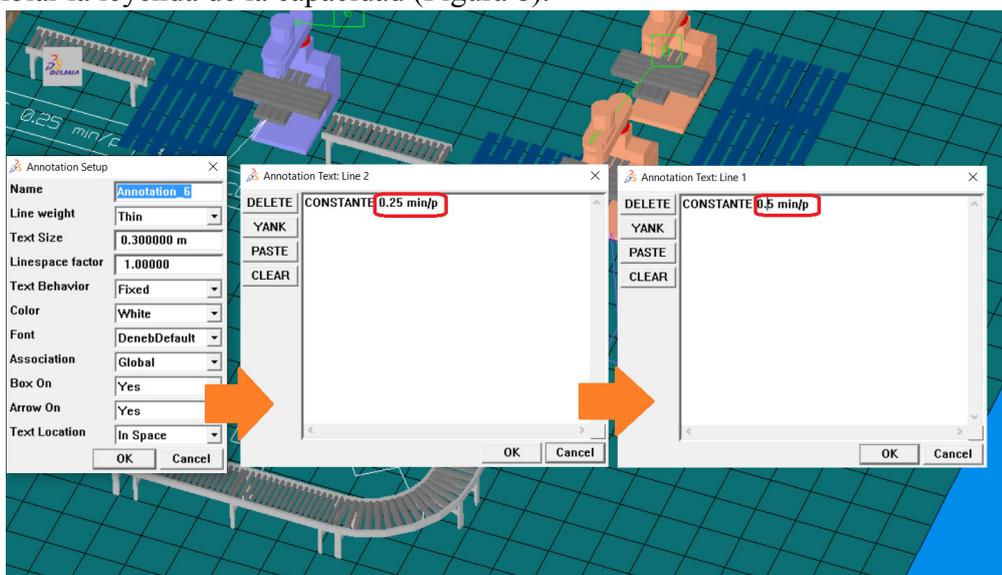


Figura 8. Cambio de la leyenda o cartel indicador de la capacidad de la máquina.

Fuente: elaboración propia

- ✓ Simular el nuevo modelo (Figura 9).

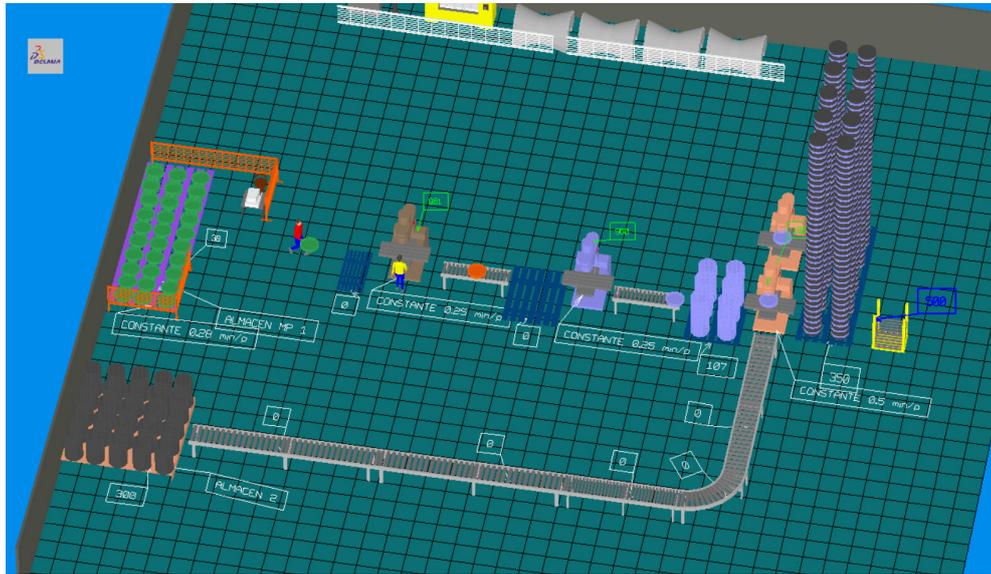


Figura 9. Simulación con el agregado de la máquina nueva.

Fuente: elaboración propia.

- ✓ Completar la planilla de cálculo “ANÁLISIS ETAPA 3 – Mejora 1” (Figura 10)

ANÁLISIS ETAPA 3													
Costos de tenencia													
Materia Prima_1	\$	3,00											
Materia Prima 2	\$	5,00											
Stock interproceso 1	\$	5,00											
Stock interproceso 2	\$	8,00											
Stock Prod Terminado	\$	25,00											

Almacén de MP 1		Maq 1	Stock interproceso 1		Maq 2	Stock interproceso 2		Maq 3	Almacén 2		Stock producto terminado		Jornada laboral	Unidades vendidas	Total de piezas prod.	Tasa de producción
Unid	Costos de stockear MP	CICLO Min/P	unid	Costos de stock con un 33,33% de avance	CICLO Min/P	unid	Costos de stock interproceso con un 66,66% de avance	CICLO Min/P	unid	Costos de stockear MP	unid	costos de stock de producto terminado 100% procesado	Minutos	Unid	Unid	min/pieza
39	\$ 117	0,25	1	\$ 5	0,25	3	\$ 24	0,25	84	\$ 420	208	\$ 5.200	420	750	958	0,44

RESUMEN							
Costos operativos normales/jornada	Costo total de stocks	Cant. Producida	Cant. Vendida	Precio de venta	Beneficios	Tasa de producción	
\$ 380	\$ 5.346	958	750	\$ 120	\$ 84.274	0,44	min/p

Figura 10. Planilla “Análisis Etapa 3” con todas las mejoras incorporadas.

Fuente: elaboración propia

Por último, se le plantea al alumno que analice el comportamiento de diferentes variables , aplicando su propio criterio y ejercitando la toma de decisiones. Para esto se le brinda un menu de opciones e interrogantes, tales como:

- ✓ Si no ha encontrado cambios sustanciales, evalúe la posibilidad de efectuar modificaciones en el tamaño de los lotes de transferencia. ¿Qué ocurre con la frecuencia del flujo de ingreso de dinero a la empresa y los gastos de logística?
- ✓ Evaluar la gestión de los almacenes de materia prima.
- ✓ Verificar qué tamaño de stock posee cada sector. ¿Qué mención puede hacer respecto a los stocks de seguridad?
- ✓ Evaluar los tiempos ociosos.
- ✓ Planifique los requerimientos. Desde el comando model->Build->modify.
- ✓ Realizar una última simulación (Figura 11).

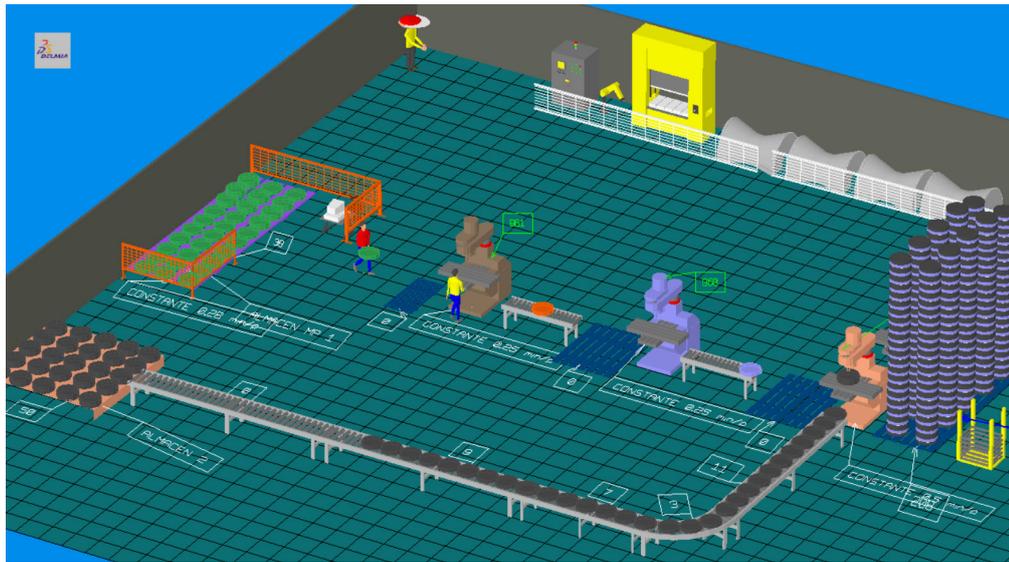


Figura 11. Simulación final.

Fuente: elaboración propia

- ✓ Redacte las conclusiones de la práctica realizada

#### **4. Conclusiones y recomendaciones**

A través de esta investigación, el equipo de trabajo ha podido descubrir la gran capacidad de procesamiento de datos con la que cuenta la herramienta Delmia Quest, quedando pendiente todavía una gran cantidad de funcionalidades por descubrir, la cuales seguramente serán objeto de estudio y aplicación, en futuras investigaciones.

El diseño del caso no solo fue aceptado y aprobado por la cátedra de Planeamiento y Control de la Producción, sino también que el mismo ya fue explicado a los alumnos a través de una guía de trabajos prácticos y de una clase de exposición en nuestro laboratorio, teniendo una muy buena aceptación por parte de ellos y de los docentes. La duración del trabajo práctico nos ha tomado una clase completa de 4 hs reloj aproximadamente.

La creación de esta práctica, permite avanzar sobre metodologías de enseñanza que no habían sido exploradas hasta el momento, facilitando a los alumnos, poder conectar de una manera más rápida y sencilla, los conceptos tomados de la teoría.

Visto estos tan buenos resultados, el equipo de trabajo seguirá investigando sobre más potencialidades de este software, de modo de poder incursionar en otras temáticas de la carrera de ingeniería industrial, a fin de mejorar la enseñanza sobre nuestros alumnos.

## **5. Referencias**

[1] DASSAULT SYSTEMES.(2015).*Tutorial Delmia Quest*.

[2] KRAJEWSKY,L. et al, (2008).*Administración de operaciones.Procesos y cadena de valor*. Pearson-Prentice Hall,8ª Ed., Mexico.