

Proyecto Final de Ingeniería Industrial

Análisis y Optimización del Proceso de Producción de Río Cuarto S.A.

Autores: Federico Bettucci

Santiago Pelaez

Tutor: Leandro Viaro

Análisis y Optimización del Proceso de Producción de Río Cuarto S.A.

Proyecto de Trabajo Integrador Final Materia: (10.01) Proyecto Final de Ingeniería Industrial





Federico Bettucci
fedebettucci@gmail.com
Santiago Pelaez
Santiagopelaez94@gmail.com

Resumen

Actualmente es común que en las pequeñas y medianas empresas (PyMes) en Argentina se den crecimientos de forma desordenada y los métodos utilizados en la producción no sean los óptimos, generando pérdidas de eficiencia. Este trabajo consiste en estudiar el proceso productivo de la empresa Río Cuarto S.A. como así también su gestión de stocks de forma tal de obtener una producción más eficaz y eficiente.

En este trabajo se desarrolla un nuevo sistema de planificación de la producción y se aumenta la capacidad del cuello de botella de la línea productiva. Para esto se utiliza el proceso DMAIC de Lean Six Sigma y una simulación por eventos discretos. Se tuvieron en cuenta indicadores productivos como la capacidad, eficiencia y nivel de stock, a su vez también se tuvo en cuenta el impacto económico de las mejoras desarrolladas generando un resultado favorable para compañía.

Abstract

It is common for small and medium company in Argentina to grow in a disorganized fashion while utilizing production methods that do not optimize their resources, generating a loss in efficiency. This paper consists in analyzing Rio Cuarto S.A.'s production process and stock management to obtain a faster and more efficient production.

In this paper, a new production planning system is developed and the capacity of the productive bottleneck is expanded. To achieve this the DMAIC methodology from Lean Six Sigma and discrete event modeling were used. The main indicators that where considered where capacity, efficiency and stock level, as well as the economic impact generated by this improvement.

Índice

Propósito	1
Objetivo	1
Alcance de la investigación	1
Metodología de trabajo	1
Marco Teórico	1
Desarrollo	2
Situación Actual	2
Análisis de la Línea	3
Descripción de la Línea	3
Equipos Principales	4
Equipos auxiliares	6
Layout de la planta	7
Detalles del funcionamiento y procedimientos actuales	9
Cuadro de situación	10
Observaciones	11
Análisis de Procesos Críticos	12
1. Altos niveles de despercicio	12
2. Baja productividad en la slotter	14
3. Aprovechamiento del espacio en planta	15
4. Paradas no programadas de máquinas	16
Selección de Procesos Críticos	17
Posibles Mejoras	17
Simulación	19
Modelo Anylogic	23
Descripción técnica del modelo	24
Generación de pedidos	24
Corrugadora	25
Logística interna de la planta	26
Slotter	27
Verificación y validación del modelo	27
Impacto de las mejoras en el modelo	29

Análisis económico de las mejoras	36
Configuración óptima de las mejoras	37
Análisis de la demanda	41
Conclusiones	42
Conclusiones y recomendaciones generales	42
Futuras líneas de investigación	43
Conclusiones académicas de la carrera de Ingeniería Industrial	43
Marco teórico conceptual	44
Six Sigma DMAIC	44
Simulación	45
Referencias Bibliográficas	50
Anexo	51





Propósito

Investigar la factibilidad de la mejora de la planificación de la producción y productiva en la industria del cartón corrugado usando Río Cuarto S.A. como muestra.

Objetivo

Mejorar el proceso productivo, reducir costos en lo que respecta al almacenamiento externo y mejorar los procesos de planificación de la producción en la industria del cartón corrugado. De forma tal que pueda aumentar su competitividad y absorber una mayor capacidad de demanda.

Alcance de la investigación

Debido a la extensión de la planta y de la gran cantidad posibles mejoras a realizar, se decidió acotar los límites de investigación de este trabajo al proceso productivo y de planificación aplicado en pequeñas y medianas empresas de la industria del cartón corrugado. Dejando de lado aspectos de la empresa como la gestión mano de obra, su estado financiero y contable, marketing y ventas, logística de distribución, sistemas de información y proveedores. Para ello se utilizó a Rio Cuarto S.A. como caso testigo para luego analizar la posibilidad de extrapolar a otras empresas de similares características en la misma industria.

Metodología de trabajo

Para hallar la solución a las necesidades mencionadas se realizó un relevamiento de la situación actual de la planta aplicando un análisis FODA sobre los procesos claves identificados y comprendidos en el alcance.

Utilizando la metodología DMAIC de Lean Six Sigma se buscaron soluciones para los problemas que se encontraron en el relevamiento. Sumado a eso también se utilizó una simulación de la planta basada en eventos discretos y eventos discretos desarrollada con el software Anylogic para investigar el nivel de impacto tendrían las mejoras propuestas en cuanto a indicadores de productividad e indicadores económicos como el valor actual neto.

Marco Teórico

Análisis F.O.D.A. (Fortalezas Oportunidades Debilidades y Amenazas)

Es una herramienta de estudio de la situación de una empresa, se basa en el análisis de sus características inherentes, sus Fortalezas y Debilidades, como así también se basa en las interacciones de ésta con su entorno, las llamadas Oportunidades y Amenazas. Esta información se vuelca en una matriz F.O.D.A. a través de la cual se pueden identificar puntos críticos de la empresa a mejorar.

DMAIC

Es una herramienta de Lean Six Sigma que consiste en 5 pasos, Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Se comienza con un problema bien definido y se utiliza la recolección de datos y estadísticas para analizar la causa raíz del problema y poder encontrar mejoras. Finalmente se implementan controles para prevenir que se modifique la implementación de la solución encontrada.

Simulación basada en eventos discretos

Es un tipo de modelo computacional que permite describir un sistema que puede ser definido por una secuencia de operaciones. Cada evento ocurre en un momento particular y modifica el estado del sistema a diferencia de otros tipos de modelos que trabajan en un continuo.

Conocimientos utilizados de Ingeniería Industrial

Organización de la producción I: Diagrama Layout y Relevamiento de planta, Diagrama de operaciones, Matriz de dificultad e impacto, SMED.

Organización de la producción II: Lote óptimo

Estadística Aplicada: Intervalos de confianza,

Presupuesto y control: Análisis financiero Flujo de fondos

Gestión de la Calidad: DMAIC

Simulación: Anylogic como herramienta de simulación, Modelización

Desarrollo

Situación Actual

Río Cuarto SA es una empresa argentina la cual dedica sus fines comerciales a la producción de cajas de cartón corrugado y todo tipo de complementos para ese material desde el año 1967. Actualmente está radicada en la localidad Valentín Alsina partido de Lanús, en la calle Chile altura 1982. En esta ubicación se encuentran tanto las oficinas comerciales como la planta productora en un predio de alrededor de 4000 m2.

El rubro de la producción de envases de cartón corrugado es muy competitivo y tiene varios jugadores en el mercado, a esto se le suman nuevos competidores que ingresan año a año. El producto es muy homogéneo en cuanto a la calidad de producción por parte de las diferentes empresas por lo que los factores de diferenciación para marcar ventajas competitivas entre los diferentes competidores se dan por precio y nivel de servicio.





Análisis de la Situación Actual

Descripción de la Línea

El proceso de producción se compone de las siguientes actividades principales, en una primera etapa en la corrugadora se realiza la conformación de las planchas de cartón corrugado a partir de bobinas de papel y adhesivo. En una segunda etapa en el equipo denominado Slotter se realiza la impresión, troquelado y pegado de estas planchas. Por último, se realiza el embalado y paletizado desde el cual se enviará a la playa de despacho.

Como operaciones secundarias se pueden hallar en planta la producción del pegamento a base de almidón de maíz y el procesamiento de los residuos de cartón de cada operación en la enfardadora.

Diagrama de operaciones

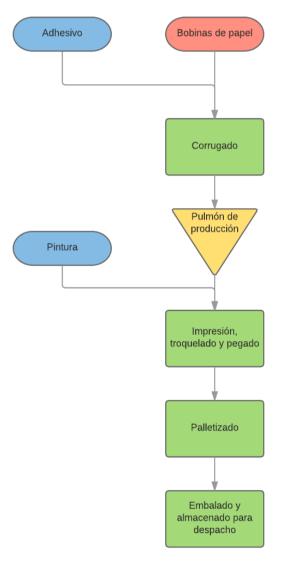


Figura 1 – Diagrama de procesos de la planta

Se realizó un diagrama de operaciones para relevar la producción de cajas a nivel general. Se registraron todas las actividades involucradas en la línea, tanto las que agregan valor al producto como las que no. Con la utilización de este esquema se busca todos los procesos que fueron vistos en planta, y poder ver de forma clara los pasos que se realizan en la fabricación del producto elegido.

Descripción del proceso productivo



Figura 2 – Proceso productivo

Equipos Principales

1) Corrugadora (Desbobinado y corrugado + encolado, pegado y refilado)

El primer paso del proceso es la producción de planchas de cartón corrugado con las especificaciones del cliente. Para lograr esto se colocan bobinas de papel con la calidad especificada en la corrugadora. Esta produce una plancha de cartón corrugado a partir de tres tiras de papeles, de las cuales la del medio está corrugada, conformando así una lámina continua de cartón. Luego, a misma máquina corta esta lámina en planchas más pequeñas que luego se convertirán en cajas.

A la corrugadora se le pueden programar hasta dos medidas diferentes y cortar hasta 5 planchas de cartón a lo ancho de la bobina. Por lo que un ciclo de la corrugadora puede tener hasta dos pedidos de clientes. Como se puede ver en la figura 3, al combinar pedidos existe una diferencia entre el ancho de la bobina y el ancho utilizado. Esta diferencia se denomina refile y es un desperdicio del proceso. Existe un refile mínimo de 1 cm, que se utiliza para darle una terminación a la plancha debido a que los bordes de las bobinas suelen estar desgastados.

A la hora de comenzar una nueva corrida de producción existen tres tipos de setups diferentes, cambio de medidas, cambio de papel y cambio de formato. El setup de cambio de medida es el más rápido y solo requiere que se cambien las medidas de la caja a

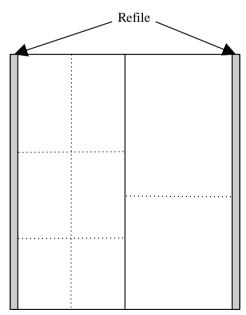


Figura 3 – Combinación de dos pedidos en una bobina

producir manteniendo las mismas bobinas. El setup de cambio de papel ocurre cuando la corrida requiere un tipo de papel diferente a la anterior, pero mantiene el mismo ancho. Por





esta razón se deben cambiar las bobinas lo que genera un desperdicio y un tiempo extra de setup. El setup de cambio de formato requiere que se cambien las bobinas por otras de mayor ancho, esto produce un mayor desperdicio y tiempo muerto que en los anteriores.

La corrugadora tiene una capacidad máxima de producción de 110 metros lineales por minuto, pero solo puede trabajar a 60 metros por minutos debido a la falta de espacio en la zona de descarga del equipo, lo que imposibilita ubicar mayores cantidades de operarios para descargarla. Es el segundo equipo de este tipo que posee la compañía, la cual llegó para reemplazar a un modelo más viejo y lento. El nuevo equipo, de origen chino, utiliza vapor que es generado por una caldera el cual luego circula por rodillos que calientan el papel, esto produce la apertura de los poros en el papel de forma que este pueda retener de forma óptima el adhesivo y que se de un pegado correcto. Es una mejora con respecto al equipo que entró en reciente desuso ya que este no solo tenía un ritmo de producción más bajo, sino que también utilizaba fuego directo sobre el papel en vez de vapor lo cual era un proceso más riesgoso. Actualmente el equipo viejo se movió a otra zona de la planta y se encuentra a la venta y armada para realizar demostraciones lo que ocupa aproximadamente 50 (2,5 x 20) metros cuadrados de la planta dificultando el almacenamiento interno y movimiento de pallets en esa zona de la planta.



Figura 4 - Final de la corrugadora, en la imagen se pueden ver como salen 2 planchas correspondientes a dos modelos de caja diferente y el refilado.

2) Slotter (Impresión, troquelado y pegado)

El equipo solotter es el más relevante del proceso de producción ya que es el proceso más lento en la línea con una velocidad de entre 1500 y 6000 cajas por hora. Este equipo tiene la capacidad de imprimir hasta 3 colores a cada plancha de cartón para lo cual posee 3 rodillos, uno por cada color, en los cuales se colocan los grabados de impresión. Estos

grabados generalmente están ubicados en un manto, que es una lámina de plástico a la cual están adheridos. Los mantos permiten un cambio de un set de grabados a otro de manera rápida y precisa al colocar el manto directamente sobre cada rodillo de color dejando como paso posterior la sincronización de rodillos, la operación dura alrededor de 10 minutos. También existe la posibilidad de tener los grabados sueltos e ir ubicando individualmente cada grabado en los rodillos, lo que alarga el tiempo de setup, este se incrementa a mayor cantidad de grabados y más colores. Las impresiones más complejas ubicando grabados individualmente pueden tomar hasta 5 veces más que con mantos.

Luego de la impresión las planchas son troqueladas para dar finalmente la forma de la caja, posteriormente se pegan lo que luego serán los laterales de la caja para terminar la operación con una unidad de tamaño reducido y maximizar la cantidad de cajas que puedan ubicarse en un pallet.

La carga del equipo se realiza de manera manual, entre uno y dos operarios transportan las planchas desde un pallet que se posiciona delante de la boca del equipo hasta la alimentación del slotter. La descarga también se produce manualmente entre uno y dos operarios que reciben grupos de cajas que tienen que precintar y posicionar en un pallet. La velocidad máxima del slotter va a depender de la cantidad de operarios que estén disponibles para cargar y descargar y del tamaño de las planchas a procesar.

Río Cuarto cuenta además con un segundo equipo Slotter más pequeño y lento el cual solo realiza impresión y troquelado de planchas de cartón. Para realizar el pegado y terminar la operación cuentan con una pegadora la cual está en serie con el slotter chico. Este segundo grupo en conjunto cuenta con una velocidad de procesamiento de 1800 cajas por minuto.

Equipos auxiliares

Embaladora

Luego de que sale un pallet de la slotter este es transportado a la embaladora con un autoelevador y luego es embalado y enviado al depósito para esperar el envío al cliente.

Enfardadora

Cada equipo genera una determinada cantidad de recortes de cartón como residuo, estos no se tiran, sino que se los procesa y compacta en fardos para luego ser vendidos a Figura 5 - Embaladora empresas que reciclan este tipo de materiales.



Los ingresos de papel a la enfardadora provienen de dos lugares. Por un lado, en el final de la corrugadora, la cual tiene aspiradoras que succionan el papel residual del refilado y lo llevan continuamente a la enfardadora. Por otro, las máquinas que no tienen este proceso automático cuentan con un operario que va juntando los desperdicios en bolsas para luego llevar todos los recortes a la enfardadora. Para poner en marcha la enfardadora es necesario que esta esté parada.





Layout de la planta

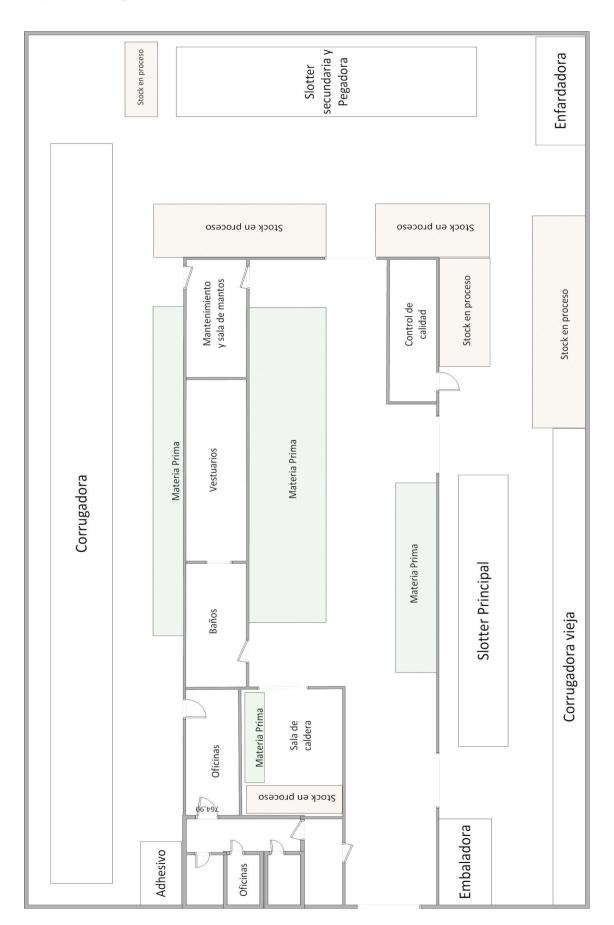


Figura 6 – Layout de la planta

En el diagrama se puede observar que la distribución de los equipos en el área de producción sigue una forma de "C" por lo que pareciera tener una distribución adecuada. El movimiento de producto en proceso de un equipo al siguiente se realiza mediante el paletizado de dicho producto y el posterior transporte con autoelevadores hacia el próximo paso de la producción.

Además, sobre el lateral derecho de la planta, se encuentra que la Slotter secundaria tiene el flujo de producción en el sentido inverso al camino que se haría de la corrugadora hacia la Slotter $N^{\circ}1$, lo que no es recomendable.

En el diagrama también se marcó las zonas en las que generalmente se tiene producto semi terminado acumulado a lo largo de la línea de producción y la distribución de la materia prima.

Como se puede ver en el diagrama de layout (figura 6), se observan grandes cantidades de stock en proceso y terminado lo que genera conflictos con el proceso productivo en planta. Además, debido a la falta de espacio se ha llegado a ubicar pallets con producto semiterminado y en proceso en la sala de máquinas donde está ubicada la caldera que alimenta con vapor a la corrugadora (Figura 7).



Figura 7 - Bobinas y producto terminado en la sala de caldera

La ubicación de estos pallets de producto terminado y materia prima cerca de la caldera es peligrosa, debido a un riesgo de incendio en caso de un desperfecto en la caldera. Esta disposición también implica la entrada y salida constante de autoelevadores en una zona inapropiada. Con tanto movimiento dentro de la sala se corre peligro de colisión de los autoelevadores con la caldera pudiendo tener consecuencias catastróficas no solo para la instalación y la infraestructura sino para quienes estén cerca de la zona afectada.





Detalles del funcionamiento y procedimientos actuales

Para la *programación de la producción* se toman como inputs los pedidos de los clientes que incluyen variables como dimensiones de la caja, cantidades a producir y nivel de resistencia de la caja en cuestión. Con esta información se determina que bobinas se utilizarán de acuerdo a su ancho y gramaje para darle la resistencia deseada.

Actualmente la programación de la producción la realiza el encargado de producción Gabriel Javkin de forma manual. El cual involucra la combinación de distintos pedidos para maximizar la utilización de las bobinas en el proceso de corrugado, por lo que se puede tener hasta 2 pedidos diferentes en proceso mientras la corrugadora esté funcionando. Es un trabajo que consume mucho tiempo debido a la variedad de especificaciones que pueden tener los diferentes pedidos por lo que hallar pedidos que se complementen correctamente toma su debido tiempo de análisis.

El sistema de generación de órdenes que emplean en Río Cuarto S.A. consiste en tener todos los pedidos que utilizan el mismo tipo de papel en una planilla con sus especificaciones técnicas de longitud, ancho, cantidad y fecha límite de entrega para luego poder analizar cuáles de esos pedidos se pueden combinar. El primer paso del proceso consiste en analizar la generación de una orden que utilice el mismo tipo papel y el mismo formato de bobina que la orden anterior, de esta manera se evitan setups más complejos. Para decidir cómo combinar los pedidos Río Cuarto toma en cuenta el refile que se produce, la longitud relativa de los dos pedidos y la fecha en la cual se tienen que entregar. Si no consigue ninguna combinación de pedidos que satisfaga correctamente los requisitos previamente mencionados, se busca poder combinar pedidos con otros tipos de papel, pero que mantengan el mismo formato de bobina. Finalmente, si tampoco se encuentra combinaciones factibles en esta etapa, se busca qué formato y tipo de papel sería mejor para usar y comienza el proceso nuevamente.

El setup del slotter, es un proceso que suele realizarse con mantos, pero por razones de presupuesto del cliente puede contar sólo con los grabados individuales, lo que alarga los tiempos de setup. Los pedidos que se producen primero en la slotter son aquellos que tienen fecha de entrega más cercana.

La slotter secundaria se utiliza solo para productos que no requieran de una calidad muy alta debido a su bajo desempeño en terminaciones en comparación con la slotter principal. Igualmente es necesario su uso para alivianar la carga de trabajo en la slotter principal.

Hoy en día Río Cuarto no posee documentados los procesos productivos ni planes de acción en casos de fallas, por estas razones los operarios trabajan dependiendo exclusivamente de su experiencia, lo que puede generar discrepancias entre la gerencia de producción y lo realmente hecho en planta. Generando ineficiencias en el proceso. A su vez tampoco se tiene ningún tipo de documentación en el cual se lleven cuenta las cantidades y tipos de fallas que se encuentran en el equipo y el producto durante el proceso productivo.

Cuadro de situación

En base a la información inicial obtenida de la empresa se decidió delimitar el trabajo a las zonas más conflictivas para Río Cuarto. Reducir los tiempos de ciclo del proceso en la slotter junto con la reducción de inventario de producto semiterminado e inventario de materia prima.

Para obtener soluciones para estas problemáticas se decidió utilizar el proceso de DMAIC de Lean Six Sigma para identificar posibles ineficiencias y desperdicios en la línea productiva como así tambièn una modelización de la planta en Anylogic.

Además de varias entrevistas con el contacto en planta, también se realizaron recorridas por la planta y se conversó con los operarios para obtener información de las capacidades de producción de la empresa en cada etapa. Posteriormente se procedió a hacer un cuadro ventajas y desventajas con las que corria el sistema productivo.

	Ventajas	Desventajas
Producción (Proceso productivo)		
Slotter Principal	Alta velocidad	Grandes tiempos de setup y mayor probabilidad de error sin manto
	Permite uso de mantos	Paradas por falta de mantenimiento y mal setup
	Proceso automatizado	No se puede aprovechar la alta velocidad por falta de operarios
Slotter Secundaria + Pegadora	Alivia la carga sobre el equipo más nuevo en casos de extrema demanda	Baja velocidad
	Permite uso de mantos	Proceso menos automático
		Altos costos de mantenimiento al ser un equipo muy viejo
Corrugadora	Proceso completamente automático	Paradas o fallas de la corrugadora regularmente
	Proceso automático de empalme de bobinas para cambio de papel	Los primeros metros de cada empalme contienen fallas
Enfardadora	Reduce el tamaño de los desperdicios que ocupan en planta	
	Permite generar un rédito económico a partir del reciclado de scrap	





Logística interna de planta	Línea productiva con forma de "C" facilita el movimiento del producto a lo largo del proceso	Bajo factor de uso de los autoelevadores		
	Planeamiento de la producci	ión		
Método actual - Corrugadora	Múltiples pedidos en una misma orden de producción	Inventario de producto terminado y semi terminado grande		
		No se calcula el desperdicio que se va a generar		
Método actual - Slotter		Actual cuello de botella		
		Poca claridad de que ordenes de producción, si tienen o no mantos.		
	Compras			
Compras de papel importado	Bajo precio	Entregas solo por grandes cantidades		
		Lead time de 3 meses		
Compra de papel local	Mayor velocidad de entrega	Precio moderado		
Depósito externo	Permite un buen nivel de servicio de entrega al tener siempre stock de materia prima para producir	Costo de depósito exterior		
		No se puede producir por falta de lugar		
		Falta de criterio a la hora de almacenar		
Despacho				
Logística	Trabajan con el mismo agente logístico hace varios años			

Tabla 1 - Ventajas y desventajas de Río Cuarto S.A.

Observaciones

En base a la situación actual de la empresa y el relevamiento realizado se identificaron los siguientes puntos como aspectos a mejorar:

- I. Altos niveles de desperdicio
- II. Baja productividad en la slotter
- III. Bajo factor de uso de los autoelevadores
- IV. Falta de automatización de la planta

- V. Paradas no programadas de máquinas
- VI. Alto lead time de insumos (bobinas de papel)
- VII. Organización del depósito de materia prima
- VIII. Gran cantidad de stock de materia prima, producto terminado y semi-terminado en planta y almacén externo

Los siguientes puntos fueron desestimados del análisis de este trabajo por las siguientes razones:

- III. La mayor parte del tiempo en la planta había un autoelevador parado, pero el beneficio de venderlo se vería perjudicado por la posibilidad de tener una falla en alguno de los otros dos autoelevadores y no tener uno de repuesto para mantener la planta funcionando.
- IV. Si bien una automatización completa de la línea productiva podría ser sustancialmente beneficiosa para la compañía, es un proyecto de elevados costos y conlleva la necesidad de parar la planta varios días. Por lo que se decidió dejar de lado este punto de mejora debido a la dificultad de implementación.
- VI. Las bobinas de papel pueden tener hasta 3 meses de lead time, lo que genera la necesidad de mantener grandes niveles de stock. Este problema se encuentra fuera de nuestro alcance ya que sería necesario analizar todo el proceso de compras en la empresa.
- VII. Se identificó que el depósito de materia prima no sigue el principio de Pareto de distribución ABC y por lo tanto el movimiento dentro de la planta es mayor y se pierde mucho tiempo. Igualmente, como hay capacidad ociosa de los autoelevadores, una mejora en este aspecto no mejoraría la producción de la planta.

Análisis de Procesos Críticos

Se utilizó la herramienta DMAIC como metodología aplicada para realizar un estudio preliminar para determinar los procesos que presentan una Oportunidad de Mejora relevante. Con ella se podrá determinar para cada punto crítico una definición del mismo, cómo medir su impacto, las variables que afectan su comportamiento a partir de las cuales podrán plantearse mejoras y determinar formas de controlar que el problema haya sido resuelto.

1. Altos niveles de desperdicio

Definición:

La fábrica genera grandes cantidades de scrap en la forma de refile y desperdicios por setup lo que se traduce a una necesidad de comprar más materia prima de la que debería ser necesaria.

A través de nuestra mejora esperamos poder reducir los costos asociados al scrap y al almacenamiento en depósitos externos sin tener que sacrificar uno de los pilares de la empresa que es el nivel de servicio.





Medición:

Para diagnosticar la situación actual se tomaron los siguientes datos. Por un lado, se necesitaba saber todos los pedidos que recibía la empresa mensualmente, cuáles eran las órdenes de producción que salían desde el área de planificación y el stock de producto semiterminado y terminado en la planta. Estos datos fueron transformados en varios KPI que utilizaremos para analizar la eficiencia de nuestra propuesta como el refile promedio, la cantidad de cambios de tipo de papel y la productividad de la corrugadora

Por otro lado se midieron la velocidad de producción y los tiempos de setups de las máquinas para entender la capacidad inicial del proceso y poder ver cómo serían los efectos que aparecen al cambiar el método de planificación. Con las dos mediciones mencionadas podemos además calcular la productividad de la planta.

Análisis:

Refile: dependiendo de la combinación de pedidos que se produce en el área de planificación el refile generado va a ser distinto. Como actualmente la planificación se hace de manera manual, es complicado para el operario encontrar todas las combinaciones utilizando solamente una planilla.

Cantidad de cambios de Tipo de papel y formatos: El sistema de planificación actual no considera un costo al momento de cambiar las bobinas, simplemente se desincentiva el cambio ya que primero se buscan combinaciones sin que haya cambios.

Nivel de Servicio: Actualmente a la hora de decidir que producir el operario además de analizar la cantidad de refile tiene en cuenta la fecha límite de entrega y en casos de que esta fecha sea cercana a la fecha actual se dice producir este pedido, aunque no sea el más eficiente.

Productividad de la Corrugadora: Esta productividad depende principalmente de los metros cuadrados que se producen en cada tirada en promedio y también de la cantidad de cambios de bobinas en el setup. Actualmente este criterio no es tomado en cuenta.

Implementación:

Para mejorar este proceso se decidió implementar un proceso que tome todos los pedidos que están en espera y a través de una lógica de optimización decida cuál es el pedido que tenga menores costos. Además, se decidió implementar otra función que en vez de minimizar los costos maximice la utilidad.

Control:

Para monitorear el nuevo procedimiento de optimización de pedidos se tomarán como indicadores de control las variables críticas del proceso tales como cantidad de materia prima en almacenamiento externo, desperdicio de materia prima y productividad de la planta.

2. Baja productividad en la slotter

Definición:

El setup de la Slotter se define desde el momento en que se finaliza la producción de un pedido hasta que se llega a un estado de régimen de producción del pedido subsiguiente. Involucra el cambio de formato en cuanto a lo que es impresión, medidas y las primeras corridas de la máquina para alinear los rodillos.

Los productos que salen de la slotter deben tener las siguientes características para cumplir con los requerimientos de calidad. No deben tener dobleces en el cuerpo de la caja, el cartón no deberá estar perforado ni dañado, las impresiones tienen que estar alineadas como así también los colores deben ser uniformes.

Medición:

El desempeño del equipo será medido a través de los KPIs obtenidos del modelo de simulación. Las variables críticas que se tomaron en este proceso fueron por un lado el tiempo de setup del proceso y por otro, la velocidad de funcionamiento promedio del equipo.

Se realizaron encuestas al personal de planta que operaba el equipo y se obtuvo la siguiente información. Comentaron que aproximadamente el 20% de los pedidos no tienen manto por lo que deben utilizarse grabados, la velocidad de funcionamiento del equipo es dependiente no solo de la cantidad de personal disponible para alimentar de planchas de cartón al equipo, sino que también varía según el tamaño de las planchas. Para planchas mayores a los 1.5 metros de ancho se debe configurar al equipo para que tome las planchas a una velocidad de 1500 cajas por hora debido a que a mayores velocidades la máquina tiende a atascarse.

Análisis:

Las principales fuentes de variación sobre las variables críticas que se identificaron fueron las siguientes: La posibilidad de realizar una orden con manto o sin manto, se halló que la diferencia de tiempo que se puede llegar a tardar en realizar el setup con y sin manto es de hasta 5 veces mayor sin manto. Y la cantidad de operarios disponibles para la alimentación del equipo.

Implementación:

Para mejorar el proceso de slotter se diseñó a partir de la filosofía SMED (Single-Minute Exchange of Die) de las técnicas de producción Lean cómo internalizar una externalidad como lo es el proceso de setup con grabados. Para esto se diseñó la implementación de mantos guía.

Otra posible implementación para mejorar este proceso es la posibilidad de redistribuir el Layout cambiando el sentido de producción de la slotter secundaria dando como resultado una línea de producción con un trazado idóneo.





Control:

Se utilizará como parámetro de la eficiencia de la mejora la productividad de la slotter, los tiempos de setup y de parada de máquina.

3. Aprovechamiento de espacio en planta

Definición:

Actualmente la cantidad de producto en proceso y producto terminado en planta abunda, lo que genera problemas a la hora de producir nuevos pedidos ya que los nuevos stocks de producto necesitarán un espacio a ocupar. Como consecuencia se puede observar la planta sobrepasada de pallets ocupados por planchas al punto tal que se llegaron a almacenar en la sala de caldera.

Medición:

Este aspecto de la planta se contabiliza en m2 ocupados tanto por equipos como por pallets en planta de productos terminados, semiterminados y materia prima.

Análisis:

La única manera de disminuir el espacio ocupado por los equipos es moviéndose a espacios en los que no se puede guardar productos o desarmarlos.

Las principales variables que se encontraron para modificar el stock de productos y materia prima en planta es el sistema utilizado para la planificación de la producción y la cantidad de anchos de bobina disponibles.

Implementación:

El mismo sistema pensado para solucionar la cantidad de desperdicio generado en la corrugadora tiene más aplicaciones, debido a la lógica de su programación, al incluir los tiempos de entrega de cada pedido sería lógico incluir la posibilidad de priorizar los pedidos con mayor urgencia de entrega. Esto da lugar a poder realizar corridas de producción de pedidos con las fechas más próximas a entregar lo que implicaría que tanto su correspondiente producto en proceso como producto terminado permanecerán un menor tiempo en planta, dando como resultado una menor ocupación promedio del almacén.

Otra oportunidad de mejora identificada gira en torno a la vieja corrugadora ubicada en la planta y la sala de caldera sobrepasada de producto terminado y materia prima, (ver figuras 6 y 7). La corrugadora se encuentra ensamblada debido a que actualmente se encuentra a la venta y está en exposición. Nuestra propuesta implica el desarmado de la vieja corrugadora y realizar un intercambio de esta por los pallets y bobinas ubicados en la sala de caldera. De esta forma se amplía el espacio útil en planta y se eliminaría un riesgo en la sala de caldera.

Una tercera posibilidad para poder reducir la cantidad de stock es reducir la cantidad de formatos de bobinas de papel. Si se eliminan los formatos que se utilizan menos se puede reducir considerablemente la cantidad de espacio ocupado en la planta. Hay que considerar el mayor refile que se va a generar por la dificultad de combinar pedidos con menos formatos disponibles.

Control:

El espacio en planta será monitoreado a partir del control del espacio libre en planta y del factor de ocupación de los autoelevadores, también debería llevarse un registro de que es lo que hay almacenado en planta y cuál es su motivo, de manera que no ocurran nuevos casos como la vieja corrugadora que ocupaba espacio en demasía.

4. Paradas no programadas de máquinas

Definición:

Definimos a las paradas no programadas como fallas repentinas de los equipos durante el proceso productivo. Son paradas que pueden tener diversas causas desde un setup incorrecto del equipo o falla de alguno de los mecanismos del equipo.

Medición:

Primero es necesario medir la eficiencia del proceso actual, los KPIs más importantes son la cantidad de fallas por día, el tiempo desperdiciado por fallas y la cantidad de materia prima desperdiciada por fallas.

Análisis:

Al no haber un registro de cómo deberían funcionar los procesos y de cómo funcionan realmente, es complicado encontrar las áreas conflictivas para poder solucionarlas. Esto genera problemas de paradas de máquinas inesperadas y tiempos muertos lo que luego conlleva al debido mantenimiento correctivo. Además, como hay información de órdenes de producción que están solo en papel hace que la trazabilidad de los productos es compleja, como así también entender donde existió el mayor desperdicio o mayor tiempo parado.

Implementación:

Generar documentos en los cuales se definen los procedimientos para que así los operarios trabajen siguiendo reglas claras que disminuyen los errores. Estos procedimientos se tienen que confeccionar con la ayuda de los operarios ya que ellos son los que mejor conocen todos los procedimientos y además para evitar la respuesta negativa de ellos ante el cambio.

En segundo lugar también se van a confeccionar hojas de fallas en las cuales los operarios deben anotar cuando encuentran una falla en el proceso. De esta manera va a ser más fácil encontrar las fallas más comunes e intentar solucionarlas para reducir el nivel de desperdicio y aumentar la productividad.

Como tercera implementación existe la posibilidad de realizar un plan de mantenimiento preventivo. Parte de las causas de estas paradas inesperadas se deben a que partes de los equipos fallan y se debe realizar mantenimiento correctivo durante horas de trabajo. Programando recambio de repuestos y llevar un cronograma de estos cambios en horas fuera de producción ayudaría al proceso productivo a ser más eficiente.





Control:

Se tendrá un registro detallado de las fallas que se analiza todas las semanas. El registro va a ser fácil y rápido de realizar para evitar que los operarios no lo completen.

Selección Procesos Críticos

Posibles Mejoras

En base al relevamiento de la planta realizado, los puntos críticos identificados y los resultados obtenidos del estudio DMAIC, se idearon las siguientes mejoras posibles.

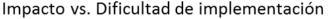
- <u>Definir procedimientos:</u> Se definen procedimientos para estandarizar el proceso productivo, mantener el proceso bajo control y en caso de falla definir acciones
 a tomar.
- Confección de hojas de fallas y trazabilidad de desperdicios: Permiten entender cuáles son los mayores problemas en los procesos para luego poder enfocar el trabajo de mantenimiento y analizar la eficiencia de los procesos.
- <u>Utilización de mantos guía:</u> Implica la confección de mantos en blanco que tendrán el mismo trazado que los rodillos de la slotter de manera que se puedan ir ubicando los grabados del siguiente proceso productivo en este mientras la slotter procesa la orden anterior.
- Optimización de la lógica de combinación de pedidos en la corrugadora: Se programa un programa que decide cual es la combinación de pedidos que genera el menor desperdicio teniendo en cuenta otras variables importantes como fecha de entrega y el costo de almacenamiento externo.
- Redistribución de Layout: Modificar el posicionamiento de la slotter secundaria para que se homogenice el flujo de material en la planta
- <u>Desarme de corrugadora en desuso</u>: Desarmar la corrugadora en desuso y enviarla a la sala de máquinas para poder liberar un espacio dentro de la planta.
- Reducción de la cantidad de anchos de bobina: Eliminar los formatos menos utilizados permite reducir la cantidad de materia prima en el almacén externo reduciendo el costo total de operación.
- <u>Implementación de plan de mantenimiento preventivo</u>: El correcto planeamiento del mantenimiento de los equipos llevaría a menores paradas inesperadas del proceso productivo al lograr realizar los cambios por piezas antes de que necesiten su recambio.

Matriz Impacto Mejora

La matriz de impacto de mejoras compara la dificultad de implementación con su impacto económico o productivo. La puntuación resultó de un análisis en conjunto con el gerente de producción teniendo en cuenta distintos puntos como los costos, mano de obra involucrada, tiempos de implementación.

#	Mejora	Dificultad de implementación	Impacto
1	Definir procedimientos	4	5
2	Utilización de mantos guía	3	7
3	Optimización de la lógica de combinación de pedidos en la corrugadora	5	8
4	Confección de hojas de fallas y trazabilidad de desperdicios	3	4
5	Redistribución de Layout	9	4
6	Desarme de corrugadora	4	6
7	Reducción de la cantidad de anchos de bobina	3	6
8	Implementación de plan de mantenimiento preventivo	5	4

Tabla 2 - Matriz de Mejora



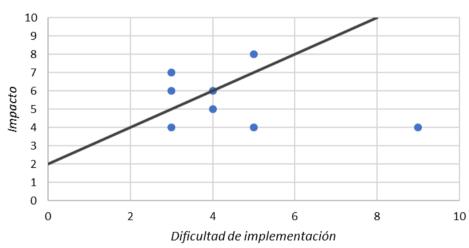


Figura 8 - Gráfico de dificultad e Impacto

De acuerdo a la matriz de impacto realizada se decidió analizar la implementación de las mejoras que se encuentren sobre la línea en la matriz. Esta línea representa una diferencia de +2 entre el impacto y la dificultad de implementación.

Con este criterio se llegó a las siguientes soluciones a implementar:

- 1- Optimización de la lógica de combinación de pedidos en la corrugadora
- 2- Utilización de mantos guía
- 3- Reducción de la cantidad de anchos de bobina

Para analizar la viabilidad y efecto que generan las mejoras que fueron ideadas previamente utilizando el proceso DMAIC junto con el análisis de impacto de las mejoras se realizó simulación de la planta con el software Anylogic.





Simulación

Se decidió realizar una simulación de la planta ya que esto permite entender todo el sistema y analizar cada proceso que lo compone por separado. Esto trae como ventaja la posibilidad de probar las mejoras sin tener que generar una modificación en el sistema real, logrando ahorrar los costos y tiempos de parada que implica la experimentación de las mismas. Sumado a esto también se podrán evitar errores de diseño ya que se pueden detectar prematuramente en el modelo.

Modelo conceptual

Para la modelización de la planta de Río Cuarto S.A., se utilizará el programa Anylogic.

Función Objetivo:

Beneficio Económico
$$= \frac{m^2 de caja}{mes} x \frac{utilidad}{m^2 de caja} - \frac{costo papel}{m^2} \left(\frac{m^2 refile}{mes} + \frac{m^2 desperdicio set up}{mes} \right)$$

$$+ \frac{costo alm \ externo}{mes \ x \ tonelada} (Tons \ en \ planta \ actuales - Tons \ en \ planta \ con \ mejora)$$

$$- Inversiones$$

Variables de control

- Lógica de combinación de pedidos: Representa las distintas maneras que se pueden combinar los pedidos en la corrugadora.
- Anchos de bobina: Representa la variedad de anchos de bobina disponibles para combinar los pedidos
- <u>Cantidad de autoelevadores:</u> Se podrá variar la cantidad de autoelevadores funcionando en planta. En la actualidad se cuentan con 4 autoelevadores, de los cuales sólo uno tiene pinzas, las cuales sirven para colocar las bobinas dentro de la corrugadora. Los autoelevadores son utilizados para realizar los traslados de las bobinas a la corrugadora, de la corrugadora al depósito y del depósito a la slotter.
- <u>Tiempo de setup de los equipos:</u> el tiempo que tarda la corrugadora y la slotter para comenzar a producir un SKU diferente.
- <u>Capacidad de la cola previa a la slotter principal:</u> Cuando la cola de la slotter principal se llena, las órdenes se empiezan a procesar en una slotter secundaria también.

KPIs

- <u>Cantidad de desperdicio por refile</u>: kilos de papel desperdiciados por refile.
- <u>Cantidad de desperdicio por setup:</u> kilos de papel desperdiciados por set-up al cambiar el ancho (llamado "formato") o calidad de las bobinas.
- <u>Cumplimiento de la demanda:</u> porcentaje de pedidos entregados en fecha. Se considera en general que el producto terminado debe ser entregado como máximo 15 días después de hecho el pedido.
- <u>Productividad de cada proceso</u>: m^2 de cartón procesado por unidad de tiempo.

- <u>Nivel máximo de stock</u>: Máxima cantidad de stock de producto semiterminado y producto terminado medido en toneladas equivalentes de bobinas, esto quiere decir cuánto pesaría una bobina con ese volumen.
- <u>Tiempo promedio del pedido en sistema</u>: Se lo considera como el tiempo entre la llegada del pedido y la salida del producto terminado.
- <u>Tiempo promedio de semiterminado en sistema</u>: Se lo considera desde que sale el cartón de la corrugadora hasta que es impreso, troquelado y despachado.

Plan de cuadros

Función objetivo	Variable de control	Efecto sobre la función objetivo ante un incremento de la variable de control
Costo	Anchos de bobina	Aumenta
	Cantidad de Autoelevadores	Aumenta
	Tiempo de entrega máximo	Baja
	Tiempo de set up	Aumenta
Desperdicio de MP	Anchos de bobina	Baja
	Tiempo de entrega máximo	Baja
	Tiempo de set up	Baja
Productividad	Anchos de bobina	Aumenta
	Cantidad de Autoelevadores	Aumenta
	Tiempo de entrega máximo	Aumenta
	Tiempo de set up	Baja
	Capacidad cola previa a la slotter principal	Aumenta
Stock en planta	Anchos de bobina	Aumenta
	Cantidad de Autoelevadores	Baja
	Tiempo de entrega máximo	Aumenta
	Tiempo de set up	Aumenta
	Capacidad cola previa a la slotter principal	Aumenta

Tabla 3 - Plan de cuadros Modelo de datos

Para obtener la información con la cual se realizó el trabajo de simulación se realizaron varias visitas a planta y entrevistas con el encargado de producción Gabriel Javkin.





Se tomaron tiempos de traslado de autoelevadores, tiempos de set-up con y sin mantos en la slotter, tiempos de set-up en la corrugadora y se relevó las velocidades de funcionamiento de los equipos. Estos valores fueron analizados y se generó una curva de probabilidad para poder reproducirlos.

Para la validación del modelo se utilizaron datos obtenidos de las órdenes y pedidos de producción de Río Cuarto. Como la empresa no tiene digitalizadas las órdenes se debió realizar una carga manual de varios meses de producción para poder utilizarlos como input de Anylogic y validar el modelo.

A continuación, se puede observar una de las órdenes de producción de la corrugadora.

En este caso es una orden con dos pedidos. En el cabezal se tiene el número de orden y cliente. Más abajo se tiene la cantidad de planchas a producir, el ancho de bobina a utilizar, el largo de las planchas y las medidas de las trazas. Luego se detalla el tipo de papel y cartón determinando la resistencia y grosor del mismo.

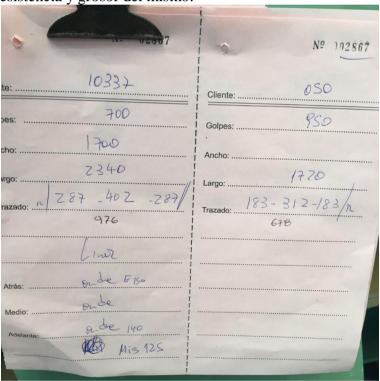


Figura 9 - Ejemplo de orden de producción utilizada en planta.

Lista de variables del modelo:

Las variables que incluirá el modelo de Anylogic son las siguientes, sin incluir las ya mencionadas en el apartado "Variables de control".

Estocásticas:

- Tiempos de procesos:
 - Set-up corrugadora (medidas): Normal (3,88; 11,4) minutos
 - Set-up corrugadora (papel): Normal (5,12; 16,78) minutos
 - Set-up corrugadora (formato): Normal (7,39; 24,34) minutos
 - Traslado a corrugadora (3 bobinados): Normal(1,3; 6,0) minutos
 - Traslado a depósito de producto semiterminado: Normal (0,7 ; 2,5) minutos

- Set up slotter principal (con manto¹): Normal (1,1; 9,8) minutos
- Set up slotter principal (sin manto): Normal (3,2; 28,6) minutos
- Set-up slotter secundaria: Normal (1,4; 12,9) minutos
- Velocidad de ingresos de pedidos: rate de 9 pedidos/día. Es la velocidad promedio de llegada de pedidos en el último año.

Determinísticas:

- Costo del papel: 9 \$/kg
- Costo de almacenamiento externo: 4 \$/ton/día
- Metros de papel desperdiciados por cambio de formato: 20 metros
- Metros de papel desperdiciados por cambio de calidad de cartón: 10 metros
- Corrugado: Velocidad corrugado (60 m/min)*Metros lineales a corrugar
- Slotter principal (planchas mayores a 1,5 m2 de ancho): 6000 golpes por hora
- Slotter principal (planchas menores a 1,5 m2 de ancho):1500 golpes por hora
- Slotter secundaria: 1800 golpes por hora

Modelización de la demanda:

Para realizar la modelización de la demanda se consideraron dos métodos. El primero consiste en la parametrización de pedidos con distribución independiente, el segundo método se basa en la aleatorización de pedidos relevados previamente en el proceso de recolección de información del proceso productivo.

En un principio se intentó utilizar el primer método de parametrización de pedidos tomando curvas normales para cada uno de los parámetros de los pedidos. Esto conllevó al inconveniente de que se generarán varios pedidos que eran inverosímiles para la operación de Río cuarto o que simplemente no se corresponden con la realidad. En consecuencia, se decantó por la segunda opción de modelización de la demanda. Al tener más de un año de pedidos existentes en nuestra base de datos se decidió utilizar estos parámetros existentes de pedidos y junto con una variación normal acorde con la frecuencia de cada pedido se aleatorizó la llegada de estos. Dando así un funcionamiento mucho más aproximado al de la planta real.

-

¹ Ver descripción Slotter





Modelo Anylogic

Pedidos

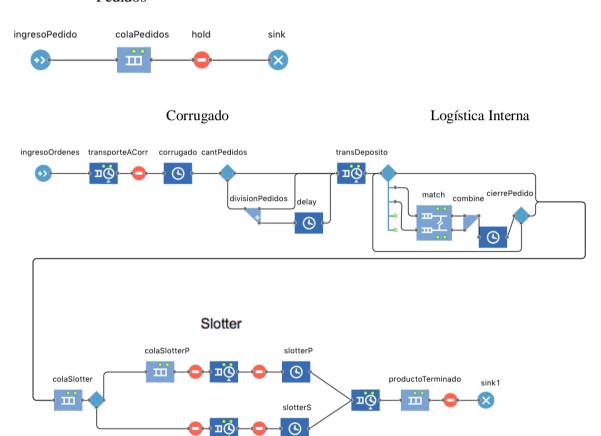


Figura 10 - Representación de la planta en Anylogic

Descripción técnica del modelo

Generación de Pedidos

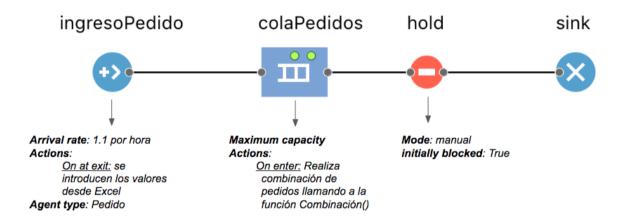


Figura 11 - Modelización de la generación de pedidos

Los pedidos ingresan al sistema por *ingresoPedido* con una frecuencia de 1.1 pedidos por hora y entran a la *colaPedidos* que representa el espacio en la planta. Siempre y cuando la línea de producción se encuentre vacía y llegue un pedido se acciona la función combinación() la cual determina la creación de una orden de producción utilizando los pedidos guardados en *colaPedidos* y luego es ingresado a la línea productiva por *ingresoOrdenes* (figura 11).

Función combinación

La función combinación tiene 3 etapas, primero analiza las combinaciones de pedidos utilizando el mismo formato y el mismo tipo de papel que en la orden anterior, si no encuentra ninguna combinación que cumpla con los requisitos mínimos, busca combinaciones con el mismo formato, pero otro tipo de papel y finalmente si no encuentra ninguna combinación busca la mejor combinación sin importar el papel o el formato. Cuando ya encontró la mejor combinación de pedidos, genera la orden con los parámetros que tenía el pedido y lo ingresa en el sistema productivo.





Corrugadora

Arrival rate: Calls of inject() function autoelevadores (1) queue capacity:

Actions:

On exit: so

Maximum capacity

Arrival rate: Calls of inject() function

Actions:

On exit: so

Maximum capacity

Maximum c

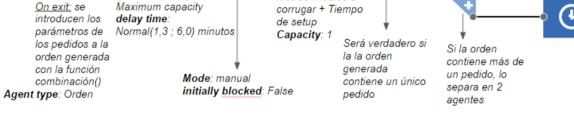


Figura 12 - Modelización del corrugado.

Como se explicó previamente la creación de una orden es dada por el accionar de la función combinación. Otra situación en la cual esta misma función es accionada es en el momento en que sale un pedido de *transporteACorr* que representa el transporte de materia prima a la corrugadora, mediante un autelevador.

El *hold* está ubicado para frenar la corrugadora por eventos limpieza de equipos y parada de máquinas.

El *corrugado* funciona de la siguiente manera. Chequea los parámetros de la orden de producción. Se determina el tipo de set-up a realizar (medidas, papel o formato) y se le suma la duración de corrida de la orden de acuerdo a la longitud en metros lineales de cartón de la orden. Recordemos que la corrugadora puede procesar sólo una orden a la vez.

Luego en *cantPedidos* se chequea si la orden estaba conformada por uno o dos pedidos, en caso de ser 2 pedidos la orden se deriva a *divisionPedidos* y se divide en dos órdenes cada una con su respectivo pedido. El objeto *delay* que se encuentra sobre el final es un elemento funcional del modelo mismo, no cumple con una representación de un proceso de la línea productiva. Provee una pausa entre la entrada de un pedido y otro al próximo elemento del simulador para que ciertas variables cambien de valor entre la entrada de un pedido y el siguiente.

Logística interna de planta

transDeposito

Este conjunto de funciones junta los pedidos que fueron producidos en más de una corrida en una sola entidad

Resource pool: autoelevadores (1) queue capacity: Maximum capacity delay time: Normal(0,7; 2,5)*cantidad de palets a transportar minutos

Analiza si los pedidos fueron realizados en más de una parte, si fueron realizados en una corrida única entonces sale por el puerto True

Figura 13 - Modelización de la logística interna.

La logística interna comienza con el proceso de transporte desde corrugadora hasta el depósito previo a la slotter.

En caso de que el pedido haya sido producido en más de una corrida de producción la entidad podrá salir por los puertos 2 o 3 del objeto XXX. Si se realizó en una única corrida sale por el puerto 1 y va directamente al siguiente proceso.

Los pedidos que fueran realizados en múltiples corridas se alojarán en el *match* a la espera la siguiente parte, luego se combinan vuelven al *match*. Cuando llegue la última parte se forma el pedido completo y este sale al próximo proceso por *cierrePedido*.

Este sistema de lógicas soporta una partición indefinida de pedidos por lo que es bastante robusta.





Slotter

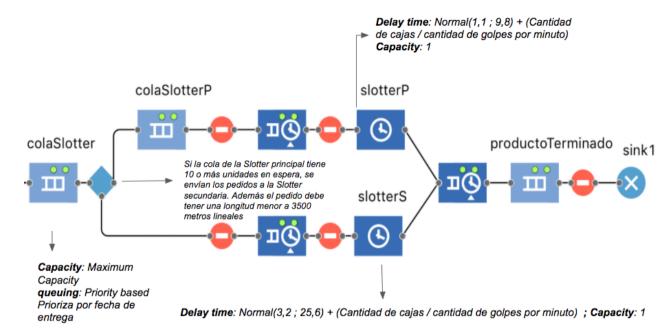


Figura 14 - Modelización de la slotter.

Los pedidos provenientes de la logística interna se alojan en *colaSlotter*, que representa el depósito de la planta. Luego se define si el pedido se va a producir en la slotter Principal o secundario dependiendo de ciertos parámetros (ver figura XX).

La línea productiva tiene dos slotter, la principal (*slotterP*) y la secundaria (*slotterS*). Se tiene una cola general para el proceso definida *colaSlotter*. Como se explicó previamente en el detalle de la línea productiva en la sección XX la slotter secundaria entra en funcionamiento sólo cuando la principal se ve sobrepasada de trabajo y ayuda a alivianar la carga.

Los criterios de funcionamiento del uso de una slotter o la otra se pueden ver en la figura X. Luego del procesado del producto se lleva todo al depósito *productoTerminado* por medio de un autoelevador modelado por el elemento anterior. Al final de cada día de producción se despachan los productos que estén en fecha para despachar, lo que significa que los pedidos despachados son removidos del sistema. Estos son los productos que les falta menos de una semana para su fecha límite ya que antes no los acepta el proveedor.

Verificación y validación del modelo

Para validar el modelo lo que se hizo fue modelizar la forma actual en la que se combinan los pedidos para generar ordenes de producción y luego correr el simulador con pedidos generados aleatoriamente siguiendo una distribución calculada utilizando los datos mencionados anteriormente. Luego de correr el modelo varias veces se calcularon varios KPI y se compararon con los resultados reales medidos en planta para ver si el modelo representa la realidad.

Para esto se utilizaron intervalos de confianza, se tomó un nivel de confianza de 95%, por lo cual el α es igual a 0,05. Entonces, Z será 1,65. Se consideró la precisión como un 5% del valor medio de la variable a validar.

Cantidad de corridas

La fórmula para calcular la cantidad de corridas necesarias es la siguiente:

$$n = \left(\frac{\sigma_x * Z_{1 - \frac{\alpha}{2}}}{HW}\right)^2$$

Para poder realizar la validación, se realizaron 20 corridas iniciales de las distintas variables que se desean validar para averiguar su valor medio y su desvío. Cada una de estas corridas representa 75 días debido que a esa altura del modelo los kpis se estabilizan. Finalmente, con estos valores, se calculó la cantidad de corridas necesarias para que el modelo sea validado con los criterios previamente establecidos.

Variable	N original	media	desvio	N calculado
Refile (m2)	20	36,95	4,61	17
	17	36,00	5,29	24
	24	37,17	5,66	26
	26	35,69	5,45	26
Longitud promedio por pedido	20	1.468	161	14
(m)	17	1.378	200	24
	24	1.487	214	23
	26	1.448	177	17
% Ordenes con 2 Pedidos	20	75,20%	3,25%	3
	17	72,59%	4,23%	4
	24	71,83%	3,49%	3
	26	73,66%	3,88%	4

Tabla 4 - Proceso de Validación

Variables a validar

• Cantidad de papel desperdiciado por refile por orden de producción

$$\underline{X}$$
= 45,69
 σ = 5,45
Cantidad de corridas necesarias=26





• Longitud promedio de las órdenes de producción en la corrugadora

$$\underline{X}$$
= 1448
 σ = 177
Cantidad de corridas necesarias=26

• Porcentaje de órdenes con dos pedidos

$$\underline{X}$$
= 73,66%
 σ = 3,88%
Cantidad de corridas necesarias=26

De acuerdo a la mayor cantidad de corridas necesarias de acuerdo al refile, es necesario realizar 26 corridas.

Si comparamos los intervalos de confianza obtenidos con los valores reales de dichas variables se puede ver que estas se encuentran contenidas dentro de los rangos establecidos por los intervalos calculados.

Refile
$$\rightarrow$$
 P (44,62 < 45.85 < 46,76) = 1-0,05 = 0,95
Longitud promedio \rightarrow P (1413 < 1471 < 1483) = 1-0,05 = 0,95
% de órdenes dobles \rightarrow P (72,90% < 73.51% < 74,42%) = 1-0,05 = 0,95

Impacto de las mejoras en el modelo

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de dificultad e impacto, se modelizan las distintas mejoras para evaluar el efecto productivo y económico.

- Optimización de la lógica de combinación de pedidos
- Reducción de la cantidad de anchos de bobinas disponibles
- Utilización de mantos guías

Los resultados de cada escenario podrán ser vistos en el tablero de control que se realizó en Anylogic. Además, se harán varias corridas del modelo para hallar a qué valor tiende cada uno de los KPIs mencionados previamente. A partir de esta información se obtendrán conclusiones con las cuales se determinará el mejor curso de acción para la empresa.

1) Optimización de la lógica de combinación de pedidos (Mejora 1)

Para simular este proceso se cambió la función combinación que está encargada de combinar los pedidos para generar las órdenes que van a la corrugadora. La nueva función combinación utiliza una función objetivo que tiene en cuenta el refile, el tiempo de entrega, la longitud y los cambios de setup necesarios para generar una orden y decide cual es la orden más eficiente. De esta manera se intenta reducir el scrap, la cantidad de pedidos en cola y mejorar la productividad.

Resultados:

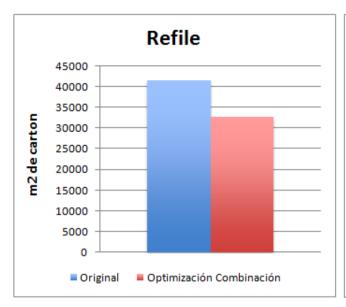
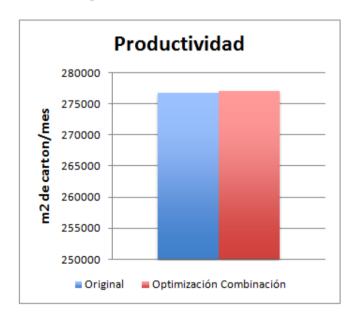




Figura 15 - Gráfico de refile





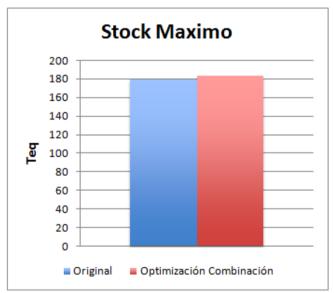


Figura 17 - Gráfico de productividad

Figura 18 - Gráfico de stock máximo





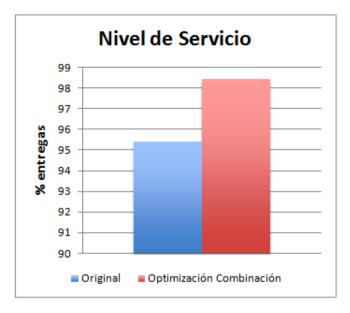


Figura 19 - Gráfico de nivel de servicio

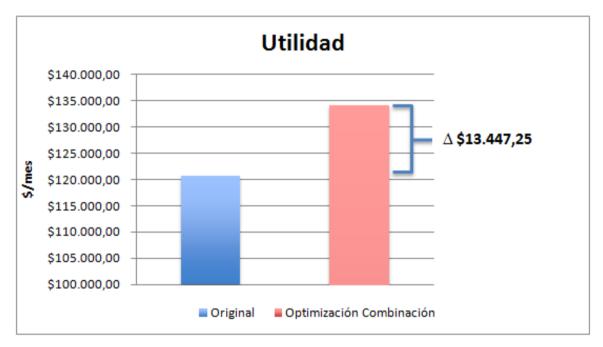


Figura 20 - Gráfico de Utilidad

Como se puede ver en los gráficos, al modificar el proceso de planificación de producción se genera una disminución en el desperdicio generado por el refile y el cambio de setup en la corrugadora. Esta mejora se también se ve reflejada en el incremento de utilidad de poco más del 11%. Lamentablemente no se pudieron ver mejoras en la cantidad de stock de planta como se esperaba, pero sí hubo un pequeño incremento en el nivel de servicio.

2) Reducción de la cantidad de anchos de bobinas disponibles (Mejora 2)

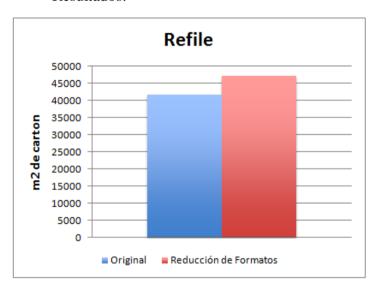
Dentro del modelo la variable *Formatos* guarda todos los posibles formatos que existen en la planta. Al modificar esta variable se puede experimentar como funcionaría la planta si se quitan algunos de estos formatos. Se probó eliminando de uno en uno los formatos menos utilizados hasta conseguir el mejor impacto económico sin perjudicar los indicadores productivos, esto se puede ver en detalle en el Anexo adjunto, página "Resumen 1".

Para poder definir el efecto de la reducción de la cantidad de bobinas en el stock asumimos que la compra de bobinas en Rio cuarto S.A. sigue una relación similar a la de lote óptimo del modelo de Wilson. Utilizando la información proveída por la empresa y un razonamiento teórico se puede llegar a la ecuación que representa la diferencia de stock cuando se quitan "m" formatos.

$$\Delta S = S - (S * (1 - \frac{\sum_{i=0}^{m} S_i}{S})) * \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{\sum_{i=0}^{m} D_i}{D}}}$$

El procedimiento para llegar a esta fórmula se puede ver en el Anexo B.

Resultados:



Desperdicio

20000
19500
19500
18500
18800
17500
16500
16000
15500
15000

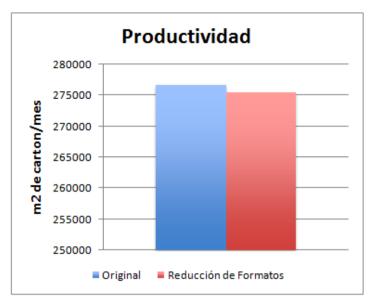
© Original Reducción de Formatos

Figura 21 - Gráfico de refile

Figura 22 - Gráfico de desperdicio







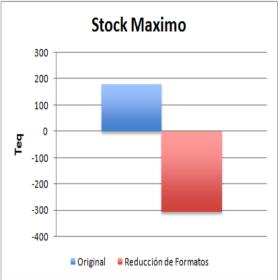


Figura 23 - Gráfico de productividad

Figura 24 - Gráfico de stock máximo

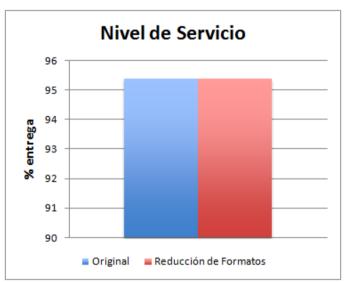


Figura 25 - Gráfico de nivel de servicio

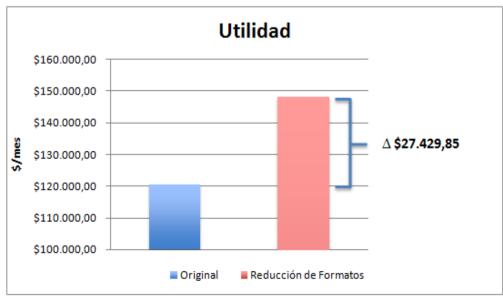


Figura 26 - Gráfico de utilidad

El efecto más claro generado por esta mejora es la gran reducción de stock. El este modelo el stock 0 es representado por la cantidad de materia prima que poseía la empresa previa a la mejora. Como en este caso se redujo la cantidad de materia prima es posible que el stock máximo sea menor a 0. Esta reducción de formatos generó peores combinaciones de cajas y por lo tanto aumentó el desperdicio por refile y setup. Aun con el incremento de costos a causa de los desperdicios, el ahorro por no tener que guardar materia prima en almacenes externos logró una utilidad extra de \$27.429.

3) Utilización de mantos guías (Mejora 3)

Al implementar los mantos guías en la slotter principal, se internalizan tareas y se reduce el setup del mismo. En la simulación se ve reflejado modificando el parámetro que indica el tiempo de setup de la slotter para ver cómo afecta al resto del proceso.

En la siguiente Figura 15 se pueden observar los elementos constituyentes de los mantos y los primeros rodillos de impresión de una Slotter. Los mantos básicamente son láminas de acrílico las cuales tienen adheridos los grabados que marcan el patrón de impresión para cada color. Como se detalló previamente en la sección **Equipos principales** - **Descripción de la linea** (**Página 10**) se identificó que en Rio Cuarto S.A. varias veces este proceso no funciona con mantos, teniendo solo los grabados los cuales son adheridos con adhesivo directamente a cada uno de los rodillos.



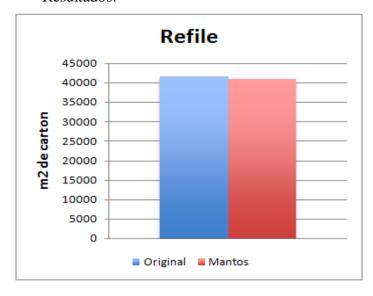
Figura 27 - Imagen de un manto en una Slotter

La mejora de mantos guía involucra la implementación de mantos que carecerán de grabados, en cambio tendrán impreso los seccionamientos de los rodillos del Slotter. De esta manera se podrá trabajar ubicando los grabados sobre el manto guía mientras el equipo está aún en funcionamiento reduciendo el tiempo de setup en operaciones sin mantos.





Resultados:



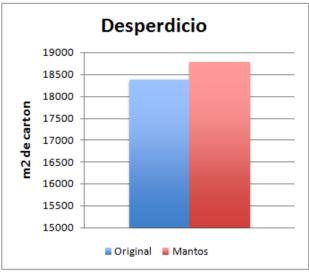
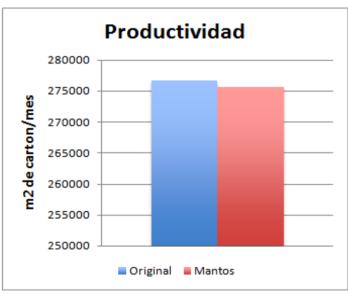


Figura 28 - Gráfico de refile

Figura 29 - Gráfico de desperdicio



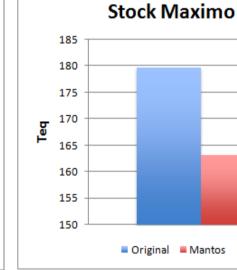


Figura 30 - Gráfico de productividad

Figura 31 - Gráfico de stock máximo

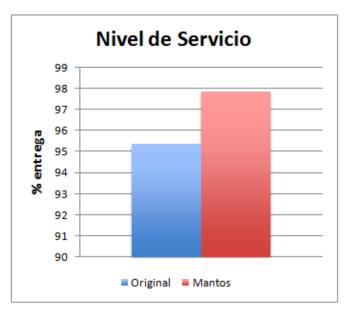


Figura 32 - Gráfico de nivel de servicio

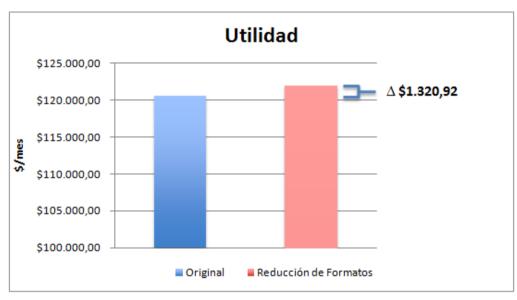


Figura 33 - gráfico de utilidad

Al reducir el tiempo de setup de la slotter se logró disminuir el stock máximo en 20 Toneladas equivalentes ya que el producto semiterminado queda menos tiempo en depósito. No se pueden ver mayores diferencias en las demás variables, pero como se verá más adelante, esta mejora nos puede ayudar a cubrir picos de demanda.

Análisis económico de las mejoras

Se realizó un breve análisis económico sobre la implementación de cada una de las mejoras individualmente. Para ello se tuvo en cuenta el efecto de cada una de las mejoras a lo largo de un año y el costo de inversión de cada una de ellas. Se calcularon el período de repago de la inversión y el valor actual neto de la operación. Para todos los análisis se utilizó como tasa de corte las Letras del Banco Central (LEBAC), títulos de deuda a corto plazo que licita el Banco Central de la República Argentina (BCRA) con tasa efectiva mensual de 1,74% o tasa efectiva anual del 23% - Valores al 14 de Marzo de 2017.





Con esta información se obtuvieron los siguientes resultados:

Mejora de optimización de la planificación de la producción

Período analizado: 12 Meses

Inversión Inicial: Programación por \$30.000,00

Beneficio generado por la mejora: \$13.447,25 por mes

VAN: \$74.428,95

Período de repago: 2,2 meses

Mejora de reducción de anchos de bobinas

Período analizado: 12 Meses

Inversión Inicial: \$0,00 ya que es solo un cambio en la variedad de bobinas a adquirir, los montos en toneladas de papel siguen siendo los mismos por lo que los precios actuales son

mantenidos.

Beneficio generado por la mejora: \$27.429,85 por mes

VAN: \$191.597,28

Período de repago: 0 meses

Mejora de implementación de mantos guía

Período analizado: 12 Meses

Inversión Inicial: Compra de mantos en blanco por \$10.000,00

Beneficio generado por la mejora: \$1320,90 por mes

VAN: \$2.726,63

Período de repago: 7,5 meses

Los cálculos realizados se podrán hallar en el Anexo en la página "Flujo de fondos"

Configuración óptima de las mejoras

Luego de varias iteraciones de diferentes combinaciones y configuraciones de cada una de las mejoras se llegó a la configuración óptima de mejoras. La cual implica la utilización de un software para mejorar la planificación de producción (**Mejora 1**), la reducción de stock de las bobinas menos utilizadas (anchos 1650, 1200, 1100 y 1000 - **Mejora 2**) y la implementación de mantos guías (**Mejora 3**). Dicha combinación tiene como resultado el siguiente efecto en los indicadores operativos y económicos.

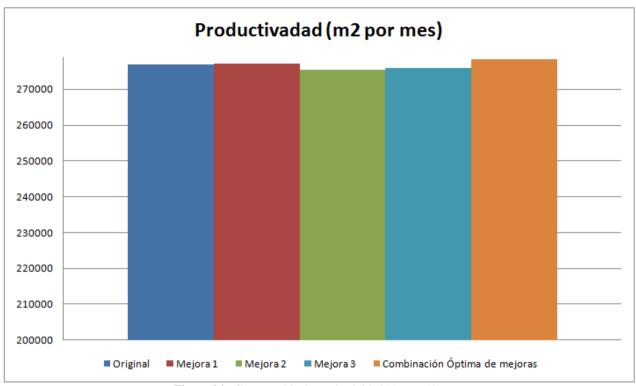


Figura 34 - Comparación de productividad (Anexo A)

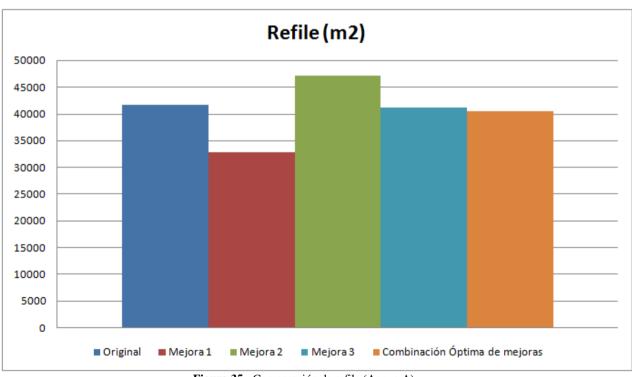


Figura 35 - Comparación de refile (Anexo A)





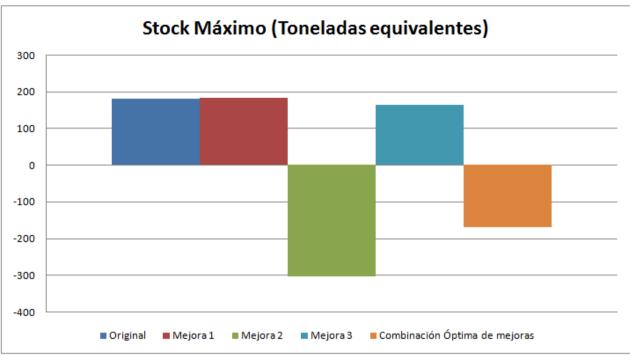


Figura 36 - Comparación de stock máximo (Anexo A)

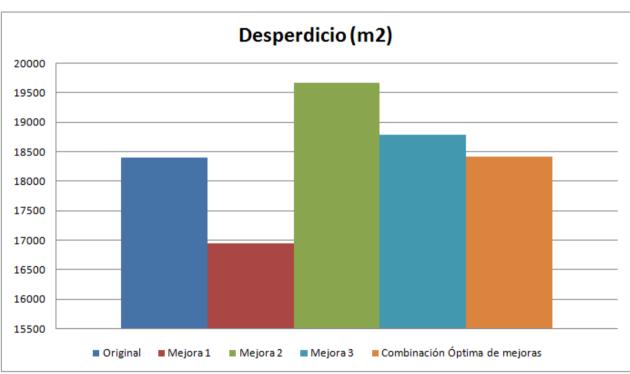


Figura 37 - Comparación de desperdicio (Anexo A)

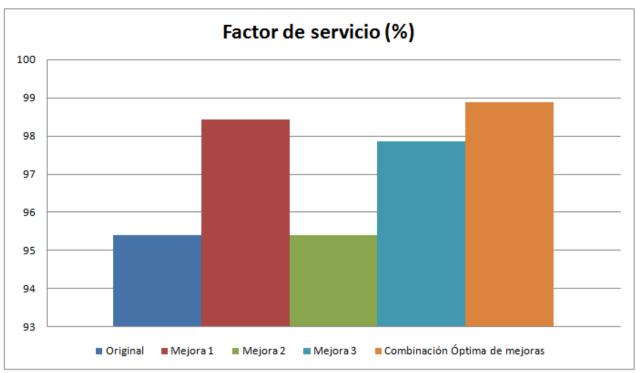


Figura 38 - Comparación de factor de servicio (Anexo A)

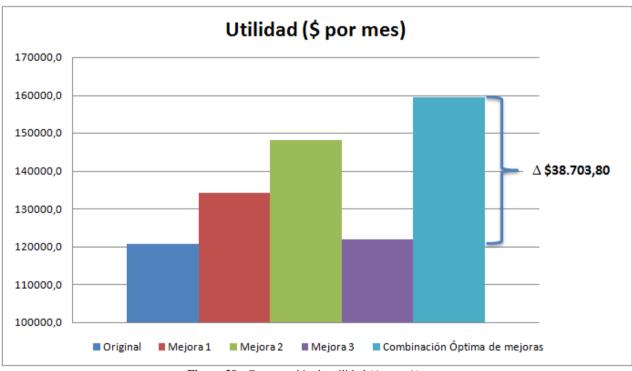


Figura 39 - Comparación de utilidad (Anexo A)

Como se puede ver en el gráfico de productividad (Figura 34) las mejoras no presentan un cambio significativo en este indicador, esto se debe a que los procesos de simulación utilizan la misma demanda, por lo que se debería llegar a una cantidad de metros cuadrados de cartón producido por mes similar en cada uno de los escenarios.

En cuanto al refile (figura 35) se puede ver que la mejora de reducción de disponibilidad de anchos de bobinas empeora este indicador ya que es unas medidas que en cierta manera empeoran el aprovechamiento del ancho completo de las bobinas. Esto es compensado por la mejora en la optimización de combinación de pedidos la cual baja sustancialmente este indicador llevándolo finalmente a un nivel ligeramente por debajo de los





valores originales. Un efecto similar se puede ver en el indicador de desperdicio en la figura 37.

Stock máximo (figura 36) es probablemente el indicador más complicado de leer, como se determinó previamente, representa la cantidad de stock de producto semiterminado y producto terminado medido en toneladas equivalentes de bobinas. El valor original de este indicador es representativo del volumen ocupado por el producto en la planta. Que el indicador tenga valores negativos se interpreta como un espacio que se libera en planta, lo que implica la posibilidad de traer materia prima del depósito externo a la planta misma y ahorrar el costo de almacenamiento de esa cantidad de bobinas. El driver principal de este indicador y su gran mejoría es la reducción de variedades de formatos de bobinas en planta.

El factor de servicio aumenta principalmente por las mejoras 1 y 3 debido a que implican directamente un mayor aprovechamiento de cada m2 de cartón junto con una producción más veloz. La mejora número 2 no afecta sustancialmente este aspecto del funcionamiento de la planta ya que se generan cantidades similares de cartón solo que en anchos diferentes.

Finalmente se tiene el gráfico de utilidad (figura 39) en él se puede ver como la combinación de las 3 mejoras llevan a una utilidad mayor que cualquiera de las 3 individualmente. Adicionalmente se corrieron simulaciones con combinaciones entre cualquiera de las 2 mejoras y se llegó a la conclusión de que las 3 llevan al mejor resultado. Esta información se puede ver en el anexo adjunto, página "Resumen 2".

Análisis económico de las mejoras en su conjunto

Período analizado: 12 Meses

Inversión Inicial: Programación y mantos por \$40.000,00 Beneficio generado por las mejoras: \$38.703,80 por mes

VAN: \$244.345,51

Período de repago: 1,03 meses

Análisis de demanda

Luego de realizar las diferentes corridas con las mejoras implementadas, se identificó una oportunidad de absorción de mayor demanda gracias al incremento de la capacidad y eficiencia de materia prima de la planta. Utilizando el modelo se realizó un análisis modificando la demanda existente para analizar cuánta demanda podría soportar la empresa con las mejoras propuestas.

Como se puede ver en la figura 40, al combinar las mejoras y un incremento de demanda de un 10% se logra mantener el nivel de servicio. Esto significa que si se implementan las mejoras la empresa podría absorber ciertos picos de demanda o, si el mercado lo permite, tomar más pedidos.

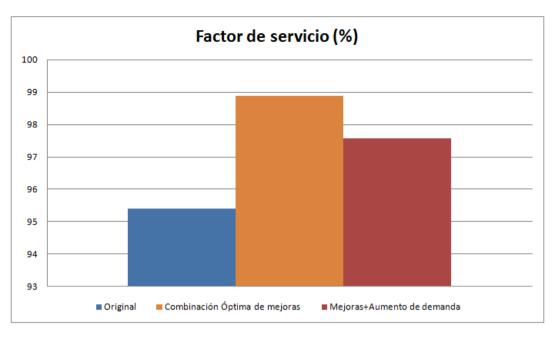


Figura 40 - Comparación de factor de servicio (Anexo A)

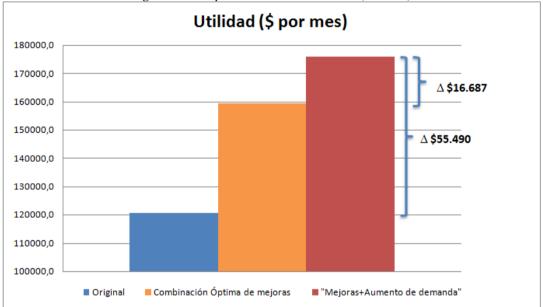


Figura 41 - Comparación de utilidad (Anexo A)

Conclusiones

Conclusiones y recomendaciones generales

Tomando en consideración la implementación de los mantos guía, optimización de combinación de pedidos y la reducción de variedades de formatos de bobina tienen un gran impacto desde el punto de vista operativo de la planta. La combinación de las 3 llevan a una mejoría en varios de los indicadores desde el nivel de servicio y la cantidad de stock en planta hasta la productividad general de la planta si es que se genera la demanda. Dando como resultado un proceso menos costoso y un aumento de la capacidad productiva de hasta un 10%.





Estas mejoras en el ámbito operativo generan efectos que van más allá del llamado piso de planta. Al tener mayor espacio en planta para producto en proceso se puede reducir la cantidad de materia prima en almacenamientos externos ahorrando costos. La estandarización y optimización del proceso de planificación del corrugado no solo reducen costos, sino que también estandariza un proceso como la planificación en un simple programa de computadora ahorrando tiempo al gerente de producción y liberándolo para ocuparse en otras tareas. Otro aspecto que es afectado indirectamente por las mejoras es el aumento en la capacidad de absorción de la demanda, con las nuevas implementaciones Rio Cuarto S.A. es capaz de tomar mayores pedidos de producción en los momentos de picos de demanda generando un potencial de mayores ingresos.

Futuras líneas de investigación

El presente estudio utilizó a Rio Cuarto S.A. como empresa piloto dentro de lo que serían las PyMes en la industria del cartón corrugado y se acotó al proceso productivo. Dentro de lo que se pudo observar en este caso de estudio se asume que las mejoras ideadas son posibles de implementar en gran parte de las plantas en este rubro debido a la generalidad de las mejoras. Se necesita un análisis más profundo sobre la factibilidad de traspolación de dichas mejoras en plantas de características similares.

A medida que se fue desarrollando el trabajo se dejaron de lado algunas ideas debido a que no se encontraban dentro del alcance del trabajo. La más interesante de ellas involucra la implementación de un brazo robótico en la alimentación de la Slotter para automatizar la carga de planchas al equipo y lograr así la liberación de mano de obra para otras tareas o simplemente ahorrar costos. Esta idea se identificó como una posibilidad real de mejora que no se desarrolló, sería interesante hacer el análisis de robotización del proceso productivo.

Conclusiones académicas de la carrera de Ingeniería Industrial

En el desarrollo de este trabajo de tesis se utilizaron varios conceptos adquiridos a lo largo de la cursada de la carrera de Ingeniería Industrial del ITBA. Principalmente se utilizaron conocimientos de materias básicas de la carrera como organización de la producción I y II, presupuesto y control y gestión de la calidad. A su vez gran parte del trabajo se basó en los conocimientos adquiridos en la investigación de las operaciones y simulación.

El trabajo de tesis permitió demostrar cómo cada uno de los aspectos de la carrera convergen a un único objetivo. Se utilizó una metodología para analizar el estado de planta, un proceso de pensamiento para analizar los problemas en ella y su causa raíz, y a partir de un modelo de simulación probar que las soluciones ideadas tendrían un impacto real en la planta. Cada uno de estos pasos adquiridos en distintas etapas de la carrera. Quedan en evidencia las competencias que un ingeniero industrial del ITBA posee una vez terminada la carrera.

Marco teórico conceptual

Six Sigma DMAIC

"El propósito de la metodología Six Sigma DMAIC es resolver problemas con respuestas no identificadas. El problema o ("Y") debe estar bien definido en términos tangibles y cuantificables, con una descripción concreta." El proceso está dividido en 5 etapas que se conectan de forma cíclica, definir, medir, analizar, implementar y controlar.



Figura 42 - Gráfico DMAIC

Definir:

Define las metas de la actividad a mejorar. Las metas más importantes son obtenidas de los clientes. A alto nivel, las metas van a ser los objetivos estratégicos de la organización como mejorar la lealtad de los clientes, mejorar el ROI, aumentar el market share o mejorar la satisfacción de los empleados. En el nivel operativo, la meta puede ser incrementar la producción de un área. En el nivel de proyecto la meta puede ser la reducción de defectos e incremento de producción para un proceso particular. Las metas se obtienen de la comunicación con clientes, inversionistas y empleados.

Medir:

Se mide el sistema existente, se establecen métricas que sean útiles para llevar registro del progreso del proyecto hacia el objetivo fijado en la fase previa de definición.

² https://www.sixsigmaespanol.com/dmaic-step-one/





Analizar:

Se analiza el sistema para identificar las maneras de eliminar la brecha entre el desempeño actual del sistema o proceso y el objetivo fijado. Se comienza determinando la base sobre la cual se realizará el análisis, se utiliza análisis de datos descriptiva y analítica para ayudar a comprender los datos obtenidos. Se utilizan herramientas estadísticas para guiar el análisis.

Implementar:

Implementar soluciones al sistema. Para definir nuevas maneras de hacer las cosas mejores, más rápidas o baratos se suele impulsar procesos creativos. Se utiliza project management y otras herramientas de planeamiento para implementar el nuevo enfoque sobre el problema. Se utilizan herramientas estadísticas para validar las soluciones a implementar.

Controlar:

Controla el nuevo sistema. Institucionalizar el sistema mejorado al modificar el sistema de compensaciones e incentivos, políticas, procedimientos, MRP, presupuesto, instrucciones operativas y otros sistemas de gerencia. Se pueden utilizar estándares como la ISO 9000 para asegurar que la documentación sea correcta. Uso de herramientas estadísticas para monitorear la estabilidad del nuevo sistema.³

Simulación

[La simulación es la imitación de la operación de un proceso o sistema del mundo real. Implica la generación de una historia artificial del sistema y la observación de esa historia artificial para extraer inferencias sobre las características operativas del sistema real que se representa. La simulación es una metodología de resolución de problemas indispensable para la solución de muchos problemas del mundo real. Tanto los sistemas existentes como los conceptuales pueden ser modelados.]⁴

Existen tres métodos de simulación adoptados comúnmente, estos son modelización basada en dinámica de sistemas, simulación por eventos discretos y simulación basada en agentes. En el presente trabajo se utilizó simulación por eventos discretos por lo que será la metodología a desarrollar en este marco teórico.

[La modelización de sistemas por eventos discretos son aquellos en los que las variables de estado cambian sólo en un conjunto discreto de puntos en el tiempo. Los modelos se analizan por métodos numéricos y no por métodos analíticos. Los métodos numéricos son el razonamiento deductivo de las matemáticas para "resolver" el modelo. Por ejemplo, el cálculo diferencial puede ser usado para calcular la política de costo mínimo para algunos modelos de inventario. Los métodos numéricos emplean métodos computacionales y procedimientos para "resolver" los modelos matemáticos propuestos. En el caso de los modelos de simulación que emplean estos métodos los modelos son "ejecutados" en lugar de resueltos, es decir, una historia artificial del sistema se genera a partir de los supuestos del

.

 $^{^3\,}$ Traducido de The Six sigma handbook - Thomas Pyzdek - McGraw-Hill ed. 2003

⁴ Traducido de Handbook of Simulation - Jerry Banks - Wiley-Interscience, 1998

modelo y las observaciones se recogen para ser analizados y estimar el sistema con medidas de desempeño. Los modelos de simulación del mundo real son bastante grandes y la cantidad de datos a manipular es muy grande. Sin embargo, mucha información puede obtenerse simulando pequeños modelos simplificados.]⁵

Pasos en un estudio de simulación

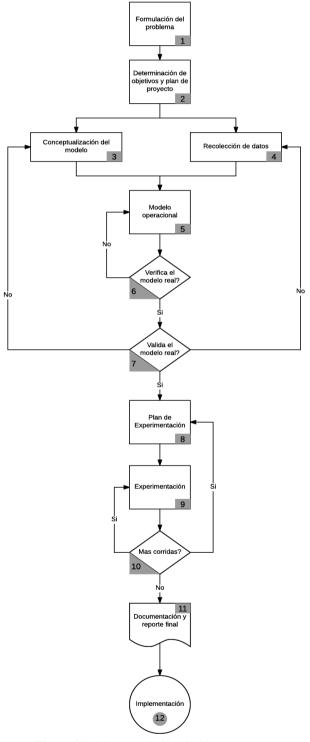


Figura 43 - Diagrama de Simulación

-

⁵ Traducido de Discrete-event system simulation - Banks, Jerry; Carson II, John S.; Nelson, Barry L.; Nicol, David M. New Jersey - Pearson Prentice Hall, 2005





1. Formulación del problema

Todo estudio debe comenzar con un enunciado del problema. Si el enunciado fue provisto por otra persona o grupo de interés el analista debe asegurarse de que el problema descrito esté claro. Si el problema a resolver es desarrollado por el propio analista, es importante que los grupos de interés estén de acuerdo con la formulación de dicho problema. Hay ocasiones en las que el problema debe ser reformulado a medida que se progresa con el estudio del caso, este se debe a que muchas veces se sabe que hay un problema, pero no se sabe exactamente la causa de este.

2. Determinación de objetivos y plan de proyecto

Los objetivos indican las preguntas a responder por el trabajo de simulación. Se debe determinar si la simulación es el método apropiado para el problema formulado y los objetivos propuestos. Asumiendo que la simulación sea el camino apropiado se desarrolla el plan de proyecto el cual debe contemplar el número de personas a involucrar en el proyecto, el costo del estudio y el tiempo requerido para cada fase del trabajo junto con los resultados esperados en cada etapa.

3. Conceptualización del modelo

La construcción de un modelo de un sistema es casi tanto arte como ciencia, El arte del modelado depende de la habilidad de abstraer los factores clave del problema, realizar la asunciones básicas y modificarlas de forma que se pueda caracterizar el sistema de forma de obtener resultados lo más aproximados posibles a la realidad. Lo mejor es comenzar con un modelo simple y de ahí partir hacia otros más complejos, sin embargo, complejizar los modelos excesivamente más allá de los objetivos a cumplir solo agregará tiempo invertido en la construcción de dicho modelo y necesidades de procedimiento más altas.

Es recomendable involucrar al usuario del modelo en la conceptualización ya que mejorará la calidad del modelo resultante y mejorará la confianza del modelo en el usuario final.

4. Recolección de datos

La recolección de datos que actuarán como input del modelo es tan importante como el desarrollo del modelo mismo. A medida que el modelo cambia y se hace más complejo los datos requeridos también cambian, sumado a esto la toma de datos toma mucho tiempo por lo que es necesario que este paso comience lo más temprano posible, generalmente junto con las primeras etapas de construcción del modelo.

5. Modelo operacional

La mayoría de los sistemas reales requieren que los modelos utilizan grandes cantidades de almacenamiento y procesamiento, por lo que el modelo debe transportarse a un medio computacional. El modelador debe elegir el programa sobre el cual se construirá el modelo, en el caso de este trabajo se eligió Anylogic.

6. Verificación del modelo

La verificación del modelo es un chequeo sobre el funcionamiento general. ¿El programa funciona correctamente? Este proceso contiene el debugging del modelo, se chequean que los parámetros de entrada y las lógicas del modelo estén estructuradas y representadas en el programa.

7. Validación del modelo

La validación del modelo se cumple a través de la calibración del modelo. Es un proceso iterativo en el cual se compara el modelo contra el sistema actual y se van resolviendo las discrepancias para mejorar el modelo. Este proceso se repite hasta adquirir la precisión deseada que se considere como aceptable.

8. Plan de experimentación

Se deben determinar los casos a simular, generalmente la decisión de qué alternativas serán simuladas son determinadas por la cantidad de corridas que serán necesarias para cada caso.Para cada sistema diseñado que se simulará hay árboles de decisiones que involucran los tiempos de inicialización, el tiempo de corrida, y la cantidad de corridas necesarias.

9. Experimentación

Se corre el modelo y se realiza el debido análisis que se usa para estimar medidas de la performance para el sistema que se está simulando.

10. ¿Más corridas?

Dado el análisis de las corridas del paso 9 se determina si serán adicionales más corridas o realizar más experimentos con nuevos objetivos.

11. Documentación y reporte final

Hay dos tipos de documentos, el programa y el progreso. La documentación del programa es necesaria por numerosas razones. Si el programa será utilizado nuevamente por diferentes analistas sería necesario comprender cómo opera. Esto genera confianza en el programa para que los usuarios del modela puedan tomar decisiones basadas en el análisis del modelo. Además, si el programa debiera ser modificado por el mismo o un analista diferente este paso puede facilitarse con la documentación adecuada. Una experiencia con documentación inadecuada es suficiente para convencer al analista de la necesidad de esta documentación, también es utilizada para cambios de parámetros.

Los reportes de progreso proveen la historia del proyecto de simulación. Dan un orden cronológico del trabajo realizado y las decisiones tomadas, esto puede proveer gran valor para mantener un proyecto en curso. Se recomienda que estos reportes sean al menos mensuales. Como resultado de este reporte es útil ubicar los hitos del proyecto, especificaciones del modelo, demostraciones de prototipos, animaciones, resultados de entrenamientos y presentaciones.





12. Implementación

La efectividad de la implementación depende de que tan bien se hayan realizado los once pasos previos. También es muy importante que se haya tenido en cuenta al usuario final del modelo a lo largo de todo el proceso de desarrollo logrando que comprenda la naturaleza del modelo y los resultados que éste entrega. Si las asunciones del modelo no fueron comunicadas claramente las implementaciones pueden no ser exitosas. En definitiva, un mal modelo entregará malos resultados resultando en un fracaso.

Referencias bibliográficas

Handbook of Simulation - Jerry Banks: Wiley-Interscience, 1998





Anexo

A.

	Refile (m2)	Desperdicio (m2)	Productividad (m2/mes)	Stock Max (Teq)	Servicio (%)	Utilidad (\$)
Original ⁶	41606	18384	276735	179	95.38	120616
Optimización Combinación ⁷	32778	16943	277103	183	98.41	134063
Reducción formatos hasta 1300 ⁸	47183	19666	275437	-304	95.39	148046
Reducción formatos hasta 1200 + Combinación ⁹	39690	18555	276098	-166	98.11	157971
Mantos guía ¹⁰	41064	18781	275706	163	97.85	121937
Todo ¹¹	40480	18402	278346	-169	98.87	159320
Todo + aumento de demanda en 10%	37417	17769	295864	-150	97.55	176007

Tabla 5 - Resultado de la experimentación.

B.

Utilizando la información de demanda de cada uno de los formatos se puede llegar a conseguir la proporción de stock que necesitan de cada una utilizando la siguiente fórmula.

Q=Lote óptimo

D=Demanda

CE: Costo de emisión

c=costo de mantener el inventario

El costo de emisión y de mantener inventario es igual para cualquier formato.

⁶ Anexo adjunto página "Original"

⁷ Anexo adjunto página "Programación"

⁸ Anexo adjunto página "Resumen 1"

⁹ Anexo adjunto página "Resumen 2"

¹⁰ Anexo adjunto página "Slotter"

¹¹ Anexo adjunto página "Todo"

$$Q = \sqrt{\frac{2 * D * CE}{c}}$$

$$B = \sqrt{\frac{2 * A}{c}}$$

$$Q_a = B * \sqrt{D_a}$$

El lote óptimo de un formato "A" se calcula como la fórmula anterior. Sabiendo que el lote óptimo sobre dos es igual al stock promedio del formato "A". El stock promedio se puede calcular como la suma de los lotes óptimos dividido 2.

$$S_a = \frac{Q_a}{2} = B * 0.5 * \sqrt{D_a}$$
$$S = \sum_{i=0}^{n} S_i$$

Dividiendo el stock promedio por el stock promedio de cada formato en cada caso se puede conseguir el % de stock que representa cada formato.

$$\frac{S_a}{S} = \frac{\sqrt{D_a}}{\sum_{i=0}^n \sqrt{D_i}}$$

Si se retira una cantidad "m" de formatos, sabemos que se va a reducir el stock de bobinas al sacar las que no se usan más, pero dará un aumento ya que la demanda de los formatos restantes va a aumentar y por ende su stock también. El incremento del stock restante es proporcional a la raíz cuadrada del incremento de demanda por lo que vemos en la función de lote óptimo. Por lo tanto el nuevo stock seria:

$$S' = \sqrt{\frac{1}{(1 - \frac{\sum_{i=0}^{m} D_i}{D})}} * (S - \sum_{i=0}^{m} S_i)$$

$$\Delta S = S - \sqrt{\frac{1}{(1 - \frac{\sum_{i=0}^{m} D_i}{D})}} * (S - \sum_{i=0}^{m} S_i)$$

$$\Delta S = S - (S * (1 - \frac{\sum_{i=0}^{m} S_i}{S})) * \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{\sum_{i=0}^{m} D_i}{D}}}$$

Con esta última ecuación se puede calcular la reducción de stock al quitar estos "m" formatos.