

UNIVERSIDAD PANAMERICANA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Con estudios incorporados a la
Secretaría de Educación Pública

**“MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA LA
PRIORIZACIÓN DE REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE
PRODUCTIVIDAD”**

CASO PRÁCTICO

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MAESTRÍA EN DIRECCIÓN DE OPERACIONES

P R E S E N T A:
GERARDO CONTRERAS VARELA

**DIRECTOR DE TESIS:
LORENA ALEXANDRA BERUMEN GLINZ**

MÉXICO, D.F.

2015

Agradecimientos

Al Dr. Rodrigo Romero Silva por el apoyo brindado durante la elaboración de este trabajo de investigación, así como por su valiosa experiencia profesional proporcionada durante la elaboración de esta tesis.

A SCA Consumidor México por haberme brindado la oportunidad de desarrollarme profesionalmente y por el apoyo otorgado durante mis estudios de posgrado, mi profundo agradecimiento al Ing. Miguel Ángel Franco y al Ing. Raúl Ramos.

A mi padre y madre, Gerardo Contreras Puente y Luz Cristina Varela Colmenares por el apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de mi vida.

A mis amigos, familiares y compañeros de trabajo que estuvieron conmigo a lo largo de estos dos años de estudio de post grado.

Gracias totales.

Índice

Agradecimientos	2
1. Introducción	4
Descripción.....	4
Planteamiento del problema	6
2. Situación actual de la Línea 1	8
3. Marco teórico	15
Sistema de producción.....	15
TPM (Total Productive Maintenance).....	16
Herramientas de calidad	24
Programación lineal	27
Análisis de opciones	29
4. Propuesta solución	31
Estratificación de pérdidas.....	31
Variables de decisión.....	35
Función objetivo del sistema	36
Restricciones del modelo	37
Modelado del sistema lineal	38
Aplicación práctica	38
5. Análisis de resultados	51
6. Conclusiones	57
Aportaciones	57
9. Indices	59
Índice de Gráficas.....	59
Índice de Tablas.....	59
Bibliografía	61
Anexos	63
Anexo 1. Situación actual línea 1	63
Anexo 2. Propuesta solución pérdidas de productividad	64
Anexo 3. Propuesta solución paros menores.....	65
Anexo 4. Propuesta solución averías	66
Anexo 5. Propuesta solución cambios/ajuste.....	67

1. Introducción

Descripción

El presente caso de estudio tiene como objetivo el desarrollar y aplicar un sistema de decisión que ayude a una planta de producción de transformación continua que manufactura toallas sanitarias, panti protectores y pañales de incontinencia a aumentar su productividad por medio de decisiones óptimas. La planta en cuestión cuenta con catorce líneas de producción de las cuales nueve son de toallas femeninas, dos de panti protectores y tres de pañales de incontinencia.

En el siguiente documento se demostrará el desarrollo y aplicación del sistema de decisión mencionado en una de las líneas de producción de esta planta. A esta línea de producción se le hará mención como la “Línea 1”.

En el primer capítulo de este caso práctico se explicarán conceptos importantes para entender el contexto del caso que se está exponiendo.

La segunda parte del caso práctico describirá la situación actual del objeto de estudio.

En el tercer capítulo se describirán los conceptos teóricos que se utilizarán para construir el modelo de priorización de pérdidas, los conceptos teóricos son los siguientes:

- Sistemas de producción. Se utilizará para entender los diferentes tipos de procesos productivos que existen.
- TPM. Se empleará para poder entender la métrica de %OEE (Overall equipment effectiveness), así como los conceptos de pérdida de productividad.
- Herramientas de calidad. Estas herramientas servirán para poder realizar una estratificación de las pérdidas de productividad.
- Programación lineal (PL). Por medio de PL se desarrollará el modelo de priorización que seleccionará que pérdida reducir en función a ciertas restricciones establecidas.

En el cuarto capítulo se hará una integración de los diferentes conceptos mencionados en el marco teórico para poder desarrollar el modelo de priorización de pérdidas, en esta sección se usarán datos de la línea 1 para realizar una aplicación práctica.

El quinto capítulo contendrá el análisis de resultados de la aplicación del modelo desarrollado para determinar si éste es una herramienta práctica para la reducción de pérdidas de productividad.

Por último en el sexto capítulo se harán las conclusiones de este caso práctico.

Medición del desempeño

En esta planta se evalúa el desempeño de estas líneas de producción principalmente en tres rubros, los cuales se definen a continuación:

1. Seguridad.
 - a. Número de accidentes.
2. Calidad.
 - a. Número de defectos.
3. Costo.
 - a. Porcentaje de efectividad global del equipo (%OEE por sus siglas en inglés)
 - b. Porcentaje Merma

Cada uno de estos rubros tiene sus respectivos indicadores, los cuales son medidos de forma diaria y presentados de manera mensual a la dirección de la planta para determinar las medidas a tomar para poder comprometer entrega de productos, proyectos y desarrollo de nuevos productos.

De los indicadores mostrados, el que tiene prioridad sobre cualquier otro, es el número de accidentes, ya que de existir alguna condición de inseguridad que ponga en riesgo la integridad de algún trabajador, ésta debe de ser eliminada, sin importar que esto afecte de manera negativa cualquiera de los otros indicadores.

El siguiente indicador clave de desempeño que la empresa contempla como crítico es el %OEE, esto debido a que éste describe de manera muy general e integral el comportamiento de una línea de producción o de una planta. Este indicador de productividad será el que se estudiará más detalladamente.

Productividad

En la actualidad existen muchas herramientas de mejora que las empresas emplean para optimizar su productividad. Entre estas herramientas destacan Six Sigma, TPM, JIT, etc.

Estas herramientas, como se mencionó, tienen como propósito incrementar el nivel de productividad de una línea de producción o planta, por medio de la reducción de defectos y variabilidad (Six Sigma), pérdidas de productividad (TPM), inventarios (JIT).

La importancia de que una línea de manufactura sea productiva permite que ésta tenga cierta flexibilidad y pueda ser capaz de reaccionar ante las necesidades cambiantes que tenga el negocio, permitiendo que la empresa genere más ganancias. Todo esto por la eliminación de actividades que no generen valor.

De acuerdo a Bohlouli et al (2013) herramientas como TPM tienen como objetivo maximizar la OEE, trayendo como consecuencia una mejora en su productividad. Se debe de tener en cuenta que siempre que se desee maximizar un resultado, en este caso la productividad de un equipo, es necesario considerar ciertas limitaciones que puedan impedir que el objetivo se cumpla con facilidad.

En muchas ocasiones se debe de seleccionar de manera adecuada el cómo se abordará un problema que implique el mejorar una pérdida de productividad, ya que la eliminación o disminución de éste lleva asociados consigo costos, tiempos de implementación, uso de recursos humanos, etc. Por tal motivo es importante, al considerar llevar algún plan de mejora que pretenda incrementar la productividad de una línea de producción, el tener en cuenta las restricciones que puedan existir y encontrar un balance óptimo entre la reducción de pérdidas de productividad y la disponibilidad de recursos que existan o se puedan comprometer.

En el presente caso de estudio se pretende demostrar el cómo poder lograr ese balance entre alcanzar la máxima mejora en pérdidas de productividad teniendo en cuenta ciertas restricciones, tomando como ejemplo una línea de producción de la planta que se mencionó.

Planteamiento del problema

Objetivo General

Desarrollar un sistema de priorización de mejora en pérdidas de producción a corto-mediano plazo para una línea de producción de toallas femeninas, para poder incrementar su productividad tomando en cuenta ciertas restricciones.

Objetivos específicos

1. Desarrollar un sistema de estratificación de pérdidas de productividad.
2. Determinar las variables de decisión del sistema.
3. Determinar la función objetivo del sistema.
4. Determinar las restricciones del sistema.
5. Integrar las variables de decisión, función objetivo y las restricciones del sistema.

Pregunta de investigación

¿Al desarrollar un sistema de priorización de pérdidas, el %OEE de una línea de producción aumentará?

2. Situación actual de la Línea 1

De acuerdo a los lineamientos establecidos por la dirección de esta planta y las categorías mencionadas con anterioridad (seguridad, calidad y costo), éstas cuentan con ciertos indicadores de los cuales, como se mencionó, la planta prioriza la seguridad, ya que tiene como objetivo anual cero accidentes para cada una de las líneas de producción. El %OEE es el segundo indicador que la dirección de la planta revisa constantemente, ya que éste engloba defectos y el porcentaje de desperdicio, además del desempeño de la línea de producción.

El %OEE es una métrica que determina la razón por la cual fueron producidas una cantidad de piezas contra la máxima cantidad posible a producir en un tiempo determinado. El detalle de cómo se determina este indicador se explicará en el tercer capítulo del presente documento. A grandes rasgos, este indicador ayuda a identificar qué tanto se aprovechó la capacidad de una línea de producción.

Cuando se dice que una línea de producción tiene un %OEE de 75%, significa que el otro 25% del tiempo que estuvo operando la máquina no se aprovechó. Lo anterior se puede deber básicamente a tres factores: a) porque la máquina estuvo parada ese tiempo, b) porque no corrió a la velocidad a la que está calificada o, c) porque el producto que se produjo se rechazó por no cumplir con los estándares de calidad especificados.

De acuerdo a lo mencionado, la dirección de planta establece objetivos por cuartos para este indicador, considerando para esto el incremento en la demanda que cada línea vaya a tener a lo largo del año. Las líneas que no llegan alcanzar sus objetivos de OEE corren el riesgo de incumplir con el plan mensual de producción, debido a que éstas operan las 24 horas, los 365 días del año. El incumplir con el plan de producción puede tener como consecuencia cancelaciones de ventas por parte de los clientes, los cuales, en algunos casos, incurren en penalizaciones por las ventas que ellos estarían perdiendo, como es el caso de Walmart.

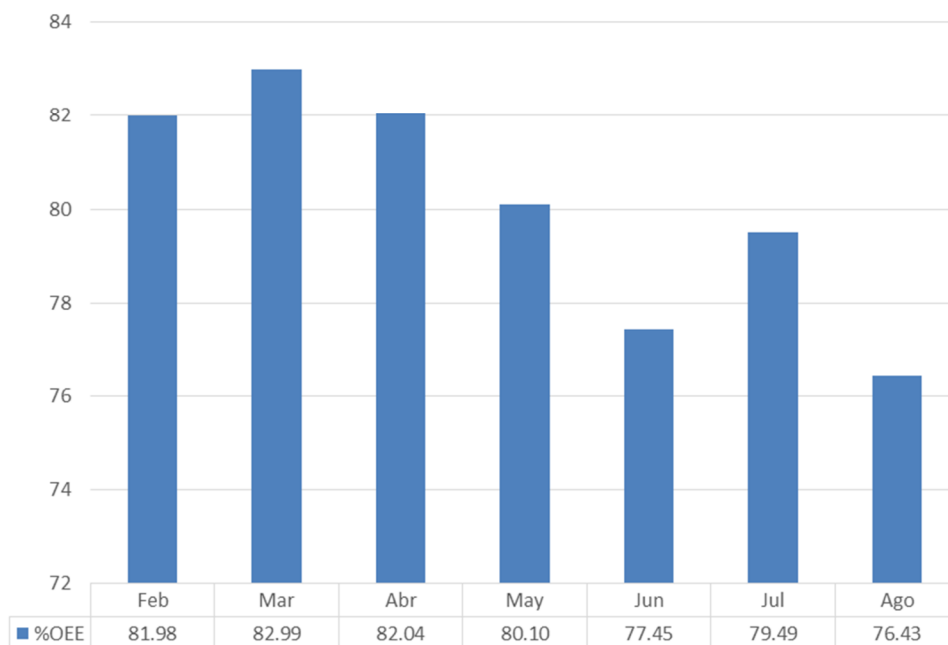
Se seleccionó la Línea de Producción 1, debido al impacto que ésta tiene dentro de la categoría de toallas. La categoría de toallas representa el 67% del volumen de producción de la planta, esta categoría consta de 10 máquinas de producción. El impacto de dicha máquina se muestra en la Tabla 1.

Máquina	% Impacto
Línea 1	16.48
Línea 2	12.67
Línea 3	10.14
Línea 4	10.91
Línea 5	14.53
Línea 6	13.25
Línea 7	10.36
Línea 8	7.43
Línea 9	3.54
Línea 10	0.69

Tabla 1. Porcentaje de impacto de las líneas en la categoría de toallas

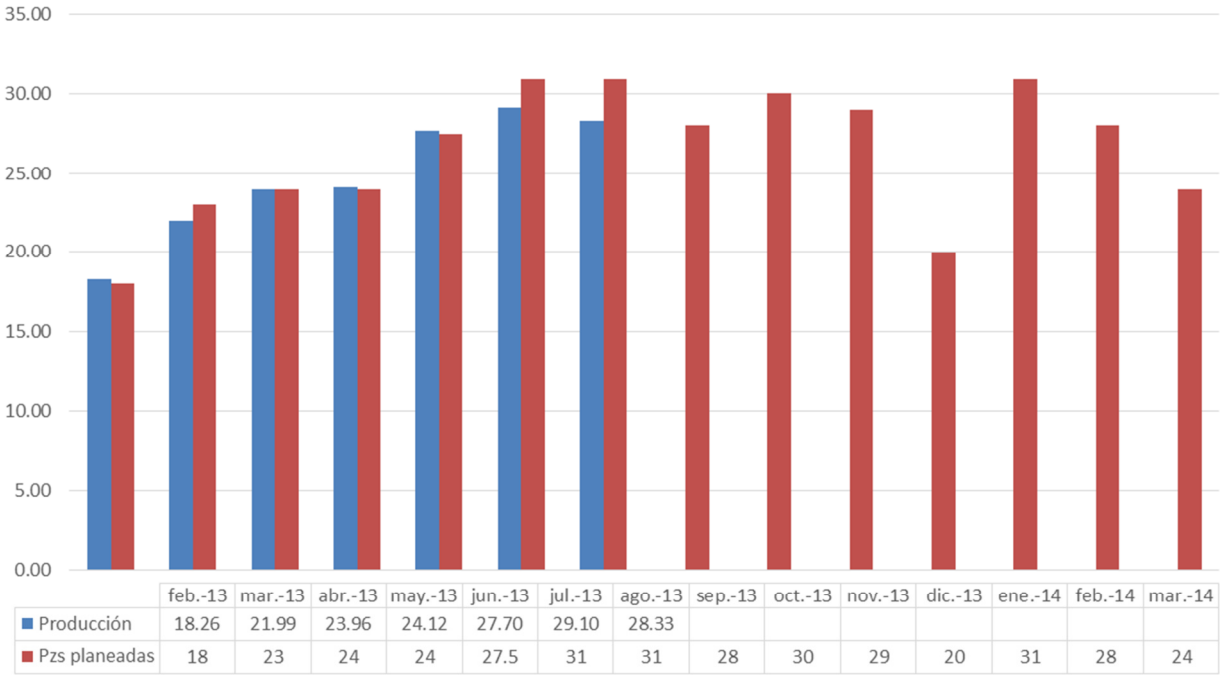
De la Tabla 1 se puede interpretar que si la Línea 1 baja un punto porcentual de OEE, la categoría de toallas bajará 0.1648%, siendo ésta la que más repercute en el resultado de dicha clase de productos.

De acuerdo a la situación mencionada, se escogió la Línea 1 de producción como objeto de estudio. Esta línea hasta agosto del 2013 no podía tener un OEE por arriba del 83%, como se muestra en la Gráfica 1.



Gráfica 1. Histórico de OEE de la Línea 1

El objetivo de OEE que requiere tener esta línea para poder entregar el volumen de piezas necesarias al área logística es del 85.8%, con tendencia a aumentar por la demanda que tienen los productos que se manufacturan en esta línea de producción. La Gráfica 2 muestra la demanda que ha tenido esta línea contra la producción neta desde febrero de 2013 hasta agosto de 2013 y la demanda esperada hasta marzo de 2014.

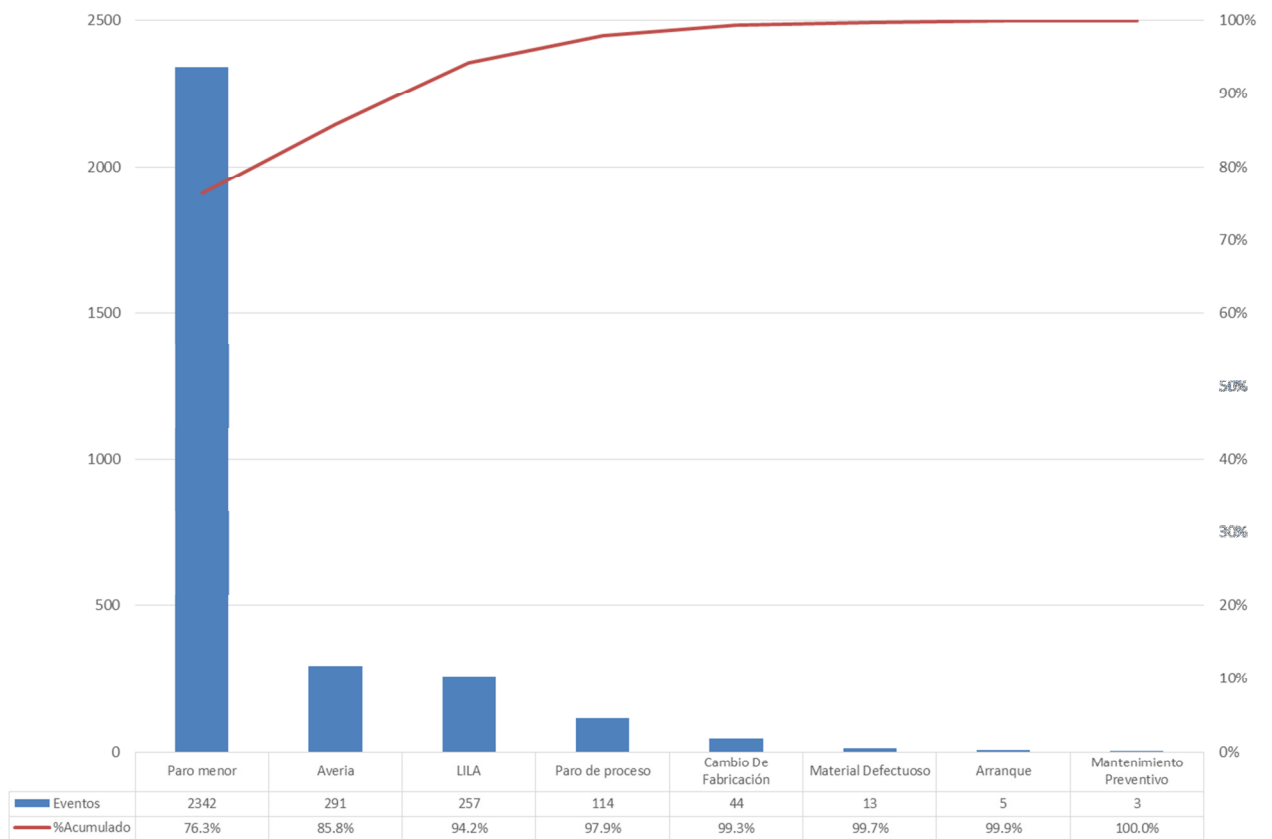


Gráfica 2. Histórico de volumen planeado contra producido y el volumen requerido

En la Gráfica 2 se puede observar que la tendencia de la demanda de los productos de esta línea de producción va en aumento, salvo en los meses de diciembre de 2013 y marzo de 2014.

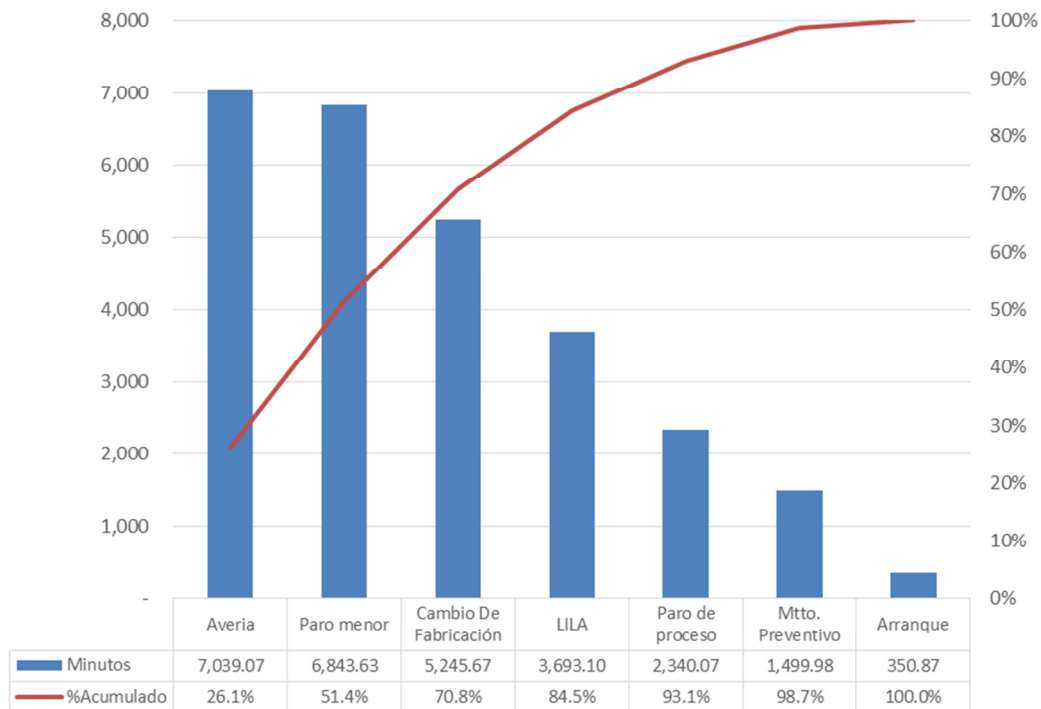
En esta gráfica también se puede apreciar que han existido varios meses, como es el ejemplo de abril, julio y agosto de 2013, en donde la demanda no se pudo satisfacer, trayendo como consecuencia la posible cancelación de ventas por parte de los clientes.

De acuerdo a la situación mencionada, el equipo responsable de administrar esta línea de producción se dio a la tarea de identificar las principales pérdidas de productividad. La Gráfica 3 muestra el Pareto de las principales pérdidas de junio a agosto de 2013 de acuerdo al número de eventos por cada tipo de pérdida con el objetivo de identificar la pérdida de %OEE que tiene la Línea 1.



Gráfica 3. Pareto principales pérdidas junio-agosto 2013 por eventos

Del Gráfico 3 se puede resaltar que el 76.3% de los problemas recaen en los paros menores, lo que en primera instancia provocaría que ésta fuera la pérdida a reducir. A continuación se muestra el Gráfico 4, el cual difiere con el 3, porque el impacto de las pérdidas lo está tomando con base a los minutos perdidos.



Gráfica 4. Pareto de pérdidas junio-agosto 2013 por minutos

El Gráfico 4 muestra una situación diferente, la diferencia recae en el impacto de las pérdidas, ya que, a diferencia del Gráfico 3, los paros menores representan el 25.3% (6,843.6 minutos) de las pérdidas y no el 75.6%. En la misma Gráfica 4, la principal causa de pérdida son las averías, a diferencia de la Gráfica 3 en donde los paros menores ocupan el primer lugar.

El siguiente paso a realizar por parte del equipo que administra la operación de la línea en cuestión, fue llevar a cabo una estratificación de pérdidas de acuerdo a la sección de la máquina en donde éstas están impactando, lo cual se muestra en la Tabla 2 por número de eventos, el intervalo de muestra es de junio-agosto del 2013.

Sección/ pérdida	Paro menor	Avería	Paro de proceso	Eventos
Otros	682			682
Corte de silueta	553	16	16	585
Acumulador	328	41	2	371
Empacadora	258	90	6	354
Desenrolladores	166	6	13	185
Construcción	132	27	16	175

Sección/ pérdida	Paro menor	Avería	Paro de proceso	Eventos
Unidad de impresión	76	65	21	162
Formación	40	1	8	49
Doblez	23	7	10	40
Corte final	24	11	1	36
Adhesivos	19	7	3	29
Volteador	17	1	7	25
Gabinete eléctrico	1	13		14
Bandas transportadoras	4	2	6	12
Periféricos	4	4	3	11
Doblez tri-pliegue	9		2	11
General	6			6
Total	2342	291	114	2747

Tabla 2. Relación de eventos por sección y pérdida

De acuerdo a la Tabla 2, la principal pérdida a disminuir sería la de los paros menores en una sección no definida, lo cual impactaría en un 24% la reducción de pérdidas de esta línea de producción, pero al no estar definida no aporta mucho para poder realizar un análisis acertado, la siguiente pérdida, los paros menores en el corte de silueta tiene un impacto del 20%.

Para poder llevar a cabo una comparación, también se realizó la estratificación con base en los minutos que se pierden en cada sección por el tipo de pérdida de productividad, esto con el objetivo de comparar la diferencia entre las prioridades que establecen los análisis por eventos y minutos, por sección y tipo de pérdida. La estratificación en minutos se muestra en la Tabla 3.

Sección	Avería	Paro menor	Paro de proceso	Total
Empacadora	2,192.92	1,114.97	97.48	3,405.37
Acumulador	781.28	1,340.62	37.88	2,159.78
Corte de periferia	640.08	1,243.27	258.33	2,141.68
Unidad de impresión	1,302.18	367.72	391.73	2,061.63
Construcción	623.15	519.02	255.45	1,397.62
Desenrolladores	126.20	763.45	488.97	1,378.62
Otros		827.30		827.30
Corte final	354.58	106.58	27.87	489.03
Formación	27.18	179.10	220.45	426.73
Gabinete eléctrico	408.73	4.37		413.10
Doblez	120.47	79.97	205.53	405.97
Adhesivos	140.47	99.38	59.65	299.50

Sección	Avería	Paro Menor	Paro de proceso	Total
Periféricos	178.87	27.10	44.70	250.67
Volteador	47.30	63.42	139.63	250.35
Bandas transportadoras	95.65	20.83	78.02	194.50
Doble tri-pliegue		39.28	34.37	73.65
General		47.27		47.27
Total general	7,039.07	6,843.63	2,340.07	16,222.77

Tabla 3. Relación de minutos por sección y pérdida

Como se puede apreciar en la Tabla 3, las principales pérdidas de productividad de esta línea de producción cambian con respecto a la Tabla 2, ya que en ésta, si se reducen las averías en la empacadora, se reduce en un 13.5% la pérdida total de la línea, por lo cual las pérdidas se estarían reduciendo en un 8.26% si se eliminaran los paros menores en el acumulador. De acuerdo a estas dos tablas, existe diferencia en la forma en que cada una tiene posicionada sus principales pérdidas.

Hasta el mes de agosto de 2013 no se tenía establecido un método que ayudara al equipo encargado de gestionar la operación de la Línea 1, a elegir qué pérdida disminuir para poder maximizar el %OEE. Lo anterior debido a las siguientes causas:

1. No se tenía claro si la prioridad era eliminar las pérdidas por los minutos que provocaban que la línea de producción parara, o por las veces que paraba.
2. El equipo sólo atacaba la principal pérdida que el Pareto mostraba, ya fuera por eventos o minutos, sin considerar que atacando dos o tres pérdidas de productividad de manera simultánea, se tendría igual o mayor beneficio que sólo eliminando la primera que indicaba el Gráfico de Pareto.
3. En ocasiones no se sabía sobre qué pérdida dejar de trabajar, lo cual propiciaba que no se administraran de manera correcta los recursos existentes.

Con las tres causas mencionadas con anterioridad, el objetivo del presente caso de estudio es diseñar un sistema de priorización de pérdidas, que ayudará a la toma de decisiones para disminuir las pérdidas de productividad en la Línea 1.

3. Marco teórico

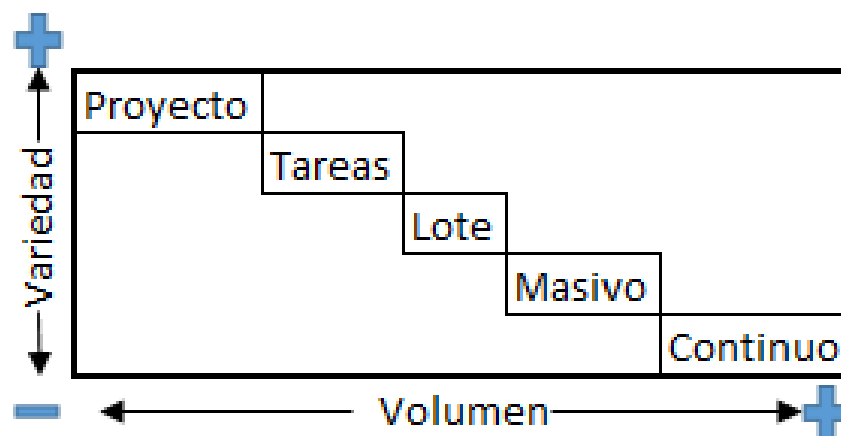
Sistema de producción

“Un sistema de producción implica a toda una empresa, incluyendo todas las funciones requeridas, actividades, procesos y recursos para producir bienes negociables” (Cochran, D. et al 2000).

Acorde con la definición presentada por Cochran, una empresa se puede definir como un sistema que está integrado por elementos humanos, materiales y técnicos para generar utilidades mediante la satisfacción de alguna necesidad por medio del intercambio de algún bien material o servicio. Para el caso del bien es fundamental que exista un proceso de transformación de la materia prima al producto final para que éste pueda ser entregado al consumidor final y que cumpla con los estándares que éste busca.

“El término proceso generalmente describe una serie de operaciones definidas requeridas para crear un producto” (Womack et al, 1996, 351).

Con base en la definición presentada de Womack (1996), dependiendo del producto que se vaya a producir, existen diferentes tipos de procesos de manufactura, que varían dependiendo del tipo de producto que se tenga y el volumen que se maneje, la Gráfica 5 muestra los diferentes tipos de procesos que existen.



Gráfica 5. Obtenida de material de clase. Diseño de productos y procesos

El Gráfico 5 define cinco tipos de procesos, donde se parte del tipo de proyecto en los que los productos son a gran escala, hechos a la medida, tienen un alto contenido de tareas complejas, llegando así hasta los procesos continuos, los cuales se caracterizan por manejar volúmenes extremadamente altos con muy baja variedad, que requieren una inversión muy elevada, así como un alto grado de automatización.

En esa definición Womack (1996) menciona el término operación, el cual lo especifica como una actividad o actividades desempeñadas en un producto por una máquina o sistema de manufactura. Se puede determinar, de acuerdo a lo expresado, que dependiendo del tiempo en que una operación se lleve a cabo dentro de cualquier tipo de proceso, se podrá completar el producto que se esté manufacturando.

En la actualidad las empresas manufactureras se han visto en la necesidad de mejorar sus operaciones para poder ser más competitivas y flexibles. Debido a esto se han desarrollado métricas que miden el desempeño de su proceso para poder determinar su productividad y de tal manera establecer actividades que ayuden a mejorarla.

Los principales objetivos que están teniendo las industrias manufactureras en la actualidad son:

1. Que el producto tenga los estándares de calidad adecuados.
2. Bajos costos de producción.
3. Entrega en los tiempos establecidos.

De acuerdo a los tres factores mencionados, toda mejora en los sistemas de producción debe de estar enfocada en el proceso y la operación, esto con el objetivo de mejorar la calidad del producto manufacturado al menor costo posible y en el tiempo establecido.

TPM (Total Productive Maintenance)

Es una metodología japonesa que enfoca los esfuerzos para crear estructuras dentro de una planta, con el objetivo de eliminar pérdidas de productividad mediante cero defectos, cero fallas y cero accidentes. De estas tres pérdidas mencionadas las fallas son las más importantes de atender,

debido a que éstas conllevan productos defectuosos y disminuyen la productividad del equipo, siendo éste un factor importante que provoca accidentes Shirose (2009).

Dos términos mencionados por Shirose (2009) son productividad y pérdidas, el primero se puede definir como la proporción de salida/entrada de un sistema de producción, siendo ésta la razón de lo que una planta entrega contra los recursos que necesita. El tener que usar la menor cantidad de recursos para poder entregar la mayor cantidad de piezas producidas, es un ejemplo más concreto de la definición de productividad que se menciona.

El segundo concepto utilizado por Shirose es el de pérdida, el cual se puede definir como todo aquello que interrumpa el flujo del proceso de producción y reduzca la productividad de un equipo. En la actualidad, de acuerdo a Shirose, existen 16 tipos de pérdidas que pueden restar productividad a un equipo, las cuales están agrupadas en cuatro categorías, que se muestran en la Tabla 4.

Pérdidas que impiden la productividad de un equipo	Pérdidas por fallas
	Pérdidas por cambios/ajustes
	Pérdidas por cambio de herramental
	Pérdidas por arranques de máquina
	Pérdidas por paros menores
	Pérdidas por reducción de velocidad
Pérdidas que impiden la operación de un equipo	Pérdidas por defectos y retrabajos
Pérdidas que impiden la productividad de la mano de obra	Pérdidas por paros por mantenimiento
	Pérdidas administrativas
	Pérdidas por movimiento
	Pérdidas por flujo de material
	Pérdidas por falta de automatización
Pérdidas que impiden el uso efectivo de los recursos de producción	Pérdidas por mediciones y ajustes
	Pérdidas por consumo
	Pérdidas por falta de servicios externos
	Pérdidas por herramental y herramientas

Tabla 4. Pérdidas de TPM de acuerdo a Shirose 1996

El primer tipo de pérdida que impide la productividad de un equipo, la pérdida debido a fallas, según Shirose, se puede deber a dos factores:

- Al cambio de un componente por otro que se encuentra dañado, a esto se le denomina avería.
- A la interrupción de la operación que no implique el cambio de alguna pieza dañada o desgastada, a este tipo de pérdida se le conoce como paro de proceso.

El objetivo de la implementación de TPM, es reducir estas pérdidas para poder incrementar el rendimiento de un proceso productivo, por medio de la reducción de las 16 pérdidas mencionadas en la Tabla 4 y tiene como factor clave la participación de todos los empleados de una planta en diferentes actividades para que el sistema funcione.

Sharma et al (2012) hace mención de la manera en cómo se organiza a los empleados para que ellos participen en la implementación de esta herramienta. La forma de integrarlos es por medio de pilares, cada pilar tiene funciones específicas dentro del sistema, con el propósito de disminuir los diferentes tipos de pérdidas, los pilares que conforman la estructura de TPM son los siguientes:

1. **Mejora enfocada.** De acuerdo a Shirose, éste es un pilar en donde se identifica el tipo de pérdidas que hay en un equipo y por medio de análisis de causas hallar contramedidas para erradicarlas de manera definitiva.
2. **Mantenimiento autónomo.** Este pilar tiene como objetivo elevar las habilidades de un operador para que pueda detectar anomalías en su equipo y restaurarlas, así como mantenerlo en condiciones básicas.
3. **Mantenimiento planeado.** Este pilar tiene como objetivo reducir a cero averías y evitar el deterioro del equipo, por medio del incremento de la duración del ciclo de trabajo de los componentes de éste.
4. **Educación y entrenamiento.** El enfoque de este pilar es detectar las necesidades básicas de capacitación del personal operativo para desarrollar programas de entrenamiento que eleven sus capacidades técnicas.

5. **Mantenimiento de la calidad.** Pilar enfocado a eliminar los defectos del producto asegurando el cumplimiento de los estándares necesarios de calidad.
6. **Administración y oficinas.** Este pilar reduce y elimina las pérdidas que restan efectividad a los procesos administrativos de una planta.
7. **Seguridad y ecología.** Pilar dedicado a reducir incidentes de seguridad y de impacto al medio ambiente por medio de su identificación y corrección.

Éstos tienen como propósito el construir una cultura preventiva para poder evitar fallas en las operaciones y de tal manera incrementar la productividad de los equipos. La productividad de los equipos se mide por medio de un indicador conocido como OEE (Overall Equipment Effectiveness) en español traducido como la efectividad global del equipo, esta métrica sirve para evaluar si las actividades que realizan cada uno de los pilares está impactando de manera positiva los resultados de la planta.

OEE (Overall Equipment Effectiveness)

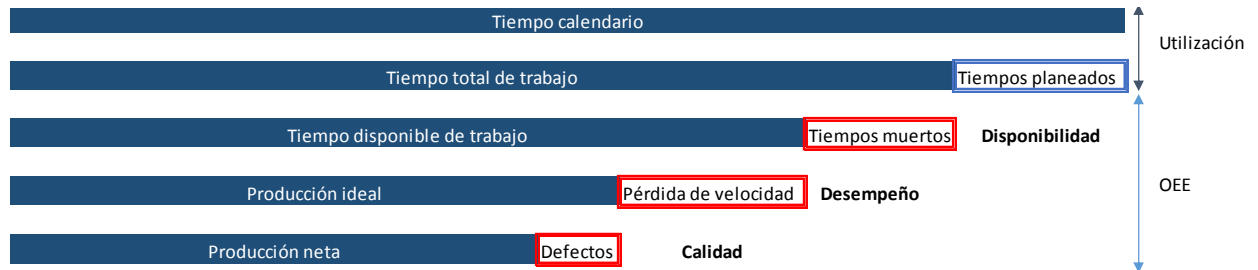
El OEE es un indicador utilizado en TPM y determina la efectividad de un proceso. Sobre este indicador de desempeño Amhed (2013. P. 2) da la siguiente definición:

“Tres métricas – disponibilidad, desempeño y calidad- constituyen el OEE. Cuando la salida real esperada es muy baja, los responsables pueden encontrar áreas de oportunidad en cualquiera de estos tres factores y tomar acciones para maximizar la capacidad del proceso, arreglar problemas y mejorar la productividad”

De acuerdo a lo mencionado por Amhed, la métrica del OEE se constituye de tres partes fundamentales, las cuales se describen a continuación:

- **Disponibilidad.** Define la relación del tiempo muerto respecto al trabajado en un periodo de tiempo determinado, a este periodo se le conoce como el tiempo real de trabajo.
- **Desempeño.** Si la máquina en realidad trabajó a la velocidad a la que está calificada, o si el tiempo ciclo definido para producir cada unidad se respetó.
- **Calidad.** Del número de piezas totales producidas cuántas cumplieron con los estándares establecidos y cuántas salieron defectuosas.

De acuerdo a Muchiri, P et al (2008) las pérdidas que afectan a cada uno de estos factores pueden ser crónicas o esporádicas, cada una de éstas afectando a su respectivo factor. La Gráfica 6 muestra una representación del impacto en los diferentes rubros del OEE.



Gráfica 6. Impacto de pérdidas en el OEE de acuerdo a De Ron (2006)

La Gráfica 6 muestra que el tiempo de carga, el cual es el tiempo que tiene disponible una máquina para poder completar su plan de producción, es el punto de partida para el cálculo del OEE. Muchiri menciona dos conceptos de pérdidas que afectan a los tres factores del OEE, éstos son las pérdidas crónicas y las pérdidas esporádicas, las cuales se pueden definir de la siguiente manera:

- Pérdidas crónicas. Son aquellas que tienen un impacto constante sobre la línea de producción, por lo general teniendo más de una causa que la originan y suelen ser pequeñas lo cual provoca que se mantengan escondidas.
- Pérdidas esporádicas. Son eventos puntuales que se identifican de manera rápida debido a que presentan una desviación muy grande con respecto a su estado normal.

Para poder entender el impacto que tienen las pérdidas dentro del cálculo de los factores que constituyen al OEE, se explicará matemáticamente cómo se calcula cada uno de éstos.

Desarrollo matemático

De acuerdo a la Gráfica 6 y las definiciones de tanto Muchiri como Ahmed el desarrollo matemático tiene que partir del cálculo de disponibilidad. Ambos autores definen en la fórmula 3.1 el cálculo que se tiene que realizar.

$$Disp = \frac{\text{Tiempo disponible de trabajo (min u horas)}}{\text{Tiempo total de trabajo (min u horas)}}$$

Fórmula 3.1

La Fórmula 3.1 indica del tiempo que se destinó para producir cierto número de unidades lo que significa que en realidad se trabajó un cierto porcentaje. Por ejemplo, si el tiempo de carga fue de 24 horas y se trabajaron 20, entonces se tuvo una disponibilidad del 83.33%.

El segundo cálculo es el de desempeño, éste se puede calcular de dos maneras distintas, obteniendo el mismo resultado. La primera forma es la siguiente, para la cual se necesitan dos constantes, éstas son el tiempo disponible de trabajo (TDT), resultante de la disponibilidad y la velocidad máxima de producción (VMP).

$$Desempeño = \frac{\text{Producción bruta (Pzs)}}{\text{TDT (min o horas)} * \text{VMP}\left(\frac{\text{Pzs}}{\text{min u horas}}\right)}$$

Fórmula 3.2

Siguiendo el ejemplo de la Fórmula 3.1, quedaron 20 horas disponibles, si la máquina tiene una VMP de 10 pzs/hr. y la producción bruta fue de 195, si se usa la Fórmula 3.2 se obtiene un desempeño del equipo del 97.5%.

La segunda forma de calcular el desempeño es utilizando el concepto de tiempo ciclo (TC) el cual se define como el tiempo necesario para producir una unidad o pieza, utilizando la constante de velocidad máxima de producción, lo cual se puede obtener por medio de la siguiente fórmula:

$$TC = \frac{1}{\text{VMP}\left(\frac{\text{Unidades}}{\text{Unidad de tiempo}}\right)}$$

Fórmula 3.3

Las unidades del tiempo ciclo son el inverso de la unidad de tiempo en la que se esté midiendo la tasa de fabricación de una pieza o unidad, de tal manera que el desempeño se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$Desempeño = \frac{Producción Bruta (pzs) * TC(\text{min}/pzs)}{TDT (\text{min})}$$

Fórmula 3.4

Utilizando el mismo ejemplo, en donde el tiempo de carga fue de 20 horas, el tiempo ciclo es de 0.1min/unidad y la producción bruta fue de 195 piezas y aplicando la Fórmula 3.4 el resultado del desempeño es del 97.5%

El último componente del OEE, es el de calidad. Éste mide el número de piezas conformes o que cumplen el estándar definido, acorde con las necesidades del cliente o consumidor, resultando de la producción bruta, ésta se da por medio de la fórmula 3.5.

$$Calidad = \frac{Produccion neta(pzs)}{Producción bruta(pzs)}$$

Fórmula 3.5

Para finalizar el ejemplo, si de las 195 piezas que se produjeron, 193 cumplen con la especificación de calidad, entonces el porcentaje de calidad es del 98.9%.

El cálculo del OEE consta de multiplicar estos tres componentes, y se da por medio de la Fórmula 3.6.

$$OEE = Disponibilidad \times Desempeño \times Calidad$$

Fórmula 3.6

Existe un método más rápido para obtener el OEE sin tener que calcular los componentes de disponibilidad, desempeño y calidad, esta fórmula se obtiene por medio de la siguiente simplificación. Existen dos versiones, las cuales difieren dependiendo de si se usa la máxima velocidad de producción o el tiempo ciclo. Primero se parte de la Fórmula 3.6. Sustituyendo las fórmulas 3.1, 3.2 y 3.5 se obtiene lo siguiente:

$$OEE = \frac{TDT(\text{min u horas})}{\text{Tiempo de Carga (min)}} * \frac{\text{Producción bruta (Pzs)}}{TDT(\text{min u horas}) * VMP(\frac{Pzs}{\text{min u horas}})} * \frac{\text{Produccion neta(pzs)}}{\text{Producción bruta(pzs)}}$$

De lo cual se puede realizar la siguiente simplificación:

$$OEE = \frac{\cancel{TDT(\text{min u horas})}}{\text{Tiempo de Carga (min)}} * \frac{\text{Producción bruta (Pzs)}}{\cancel{TDT(\text{min u horas})} * VMP(\frac{Pzs}{\text{min u horas}})} * \frac{\text{Produccion neta(pzs)}}{\text{Producción bruta(pzs)}}$$

Obteniendo la Fórmula 3.7, la cual es un cálculo rápido del OEE.

$$OEE = \frac{\text{Produccion neta}}{\text{Tiempo de Carga (min u horas)} * VMP(\frac{Pzs}{\text{min u horas}})}$$

Fórmula 3.7

Si se utiliza el tiempo ciclo como tasa de fabricación, se tiene que utilizar la Fórmula 3.3 en vez de la Fórmula 3.2, haciendo esto se obtiene lo siguiente:

$$OEE = \frac{TDT(\text{min})}{\text{Tiempo de Carga (min)}} * \frac{\text{Producción Bruta (pzs)} * TC(\text{min/pzs})}{TDT(\text{min})} * \frac{\text{Produccion neta(pzs)}}{\text{Producción bruta(pzs)}}$$

Realizando la simplificación correspondiente se obtiene la Fórmula 3.8.

$$OEE = \frac{\cancel{TDT(\text{min})}}{\text{Tiempo de Carga (min)}} * \frac{\text{Producción Bruta (pzs)} * TC(\text{min/pzs})}{\cancel{TDT(\text{min})}} * \frac{\text{Produccion neta (pzs)}}{\text{Producción bruta(pzs)}}$$

$$OEE = \frac{\text{Producción Neta (pzs)} * TC(\text{min/pzs})}{\text{Tiempo de Carga (min)}}$$

Fórmula 3.8

Finalizando el ejemplo, se sustituyen los valores obtenidos de disponibilidad (83.33%), desempeño (97.5%) y calidad (98.97%) en la Fórmula 3.6, obteniendo como resultado un OEE del 80.41%.

Si se sustituyen los datos de tiempo de carga (24 horas), velocidad (10pzs/min) y producción neta (193 piezas) en la Fórmula 3.8 se obtiene de igual manera un 80.41% de OEE, el mismo resultado se obtiene si se sustituye el tiempo ciclo (0.1min/pzs).

Herramientas de calidad

“Gran parte del éxito de los japoneses (milagro industrial) se atribuye al uso de métodos estadísticos y al pensamiento estadístico entre el personal gerencial” (Walpole et al, 1999, p.1).

De acuerdo a lo mencionado por Walpole, el uso de la estadística desde mediados del siglo XX en Japón, ayudó a que su industria se volviera más productiva y con altos estándares de calidad.

Debido a lo mencionado, en esta parte del caso de estudio se describirán las herramientas estadísticas y de calidad que se utilizarán para poder identificar las principales causas de pérdida de productividad en la Línea 1 y a partir de esa identificación se procederá a utilizar la herramienta de toma de decisión para la priorización de las pérdidas a mejorar.

Pareto

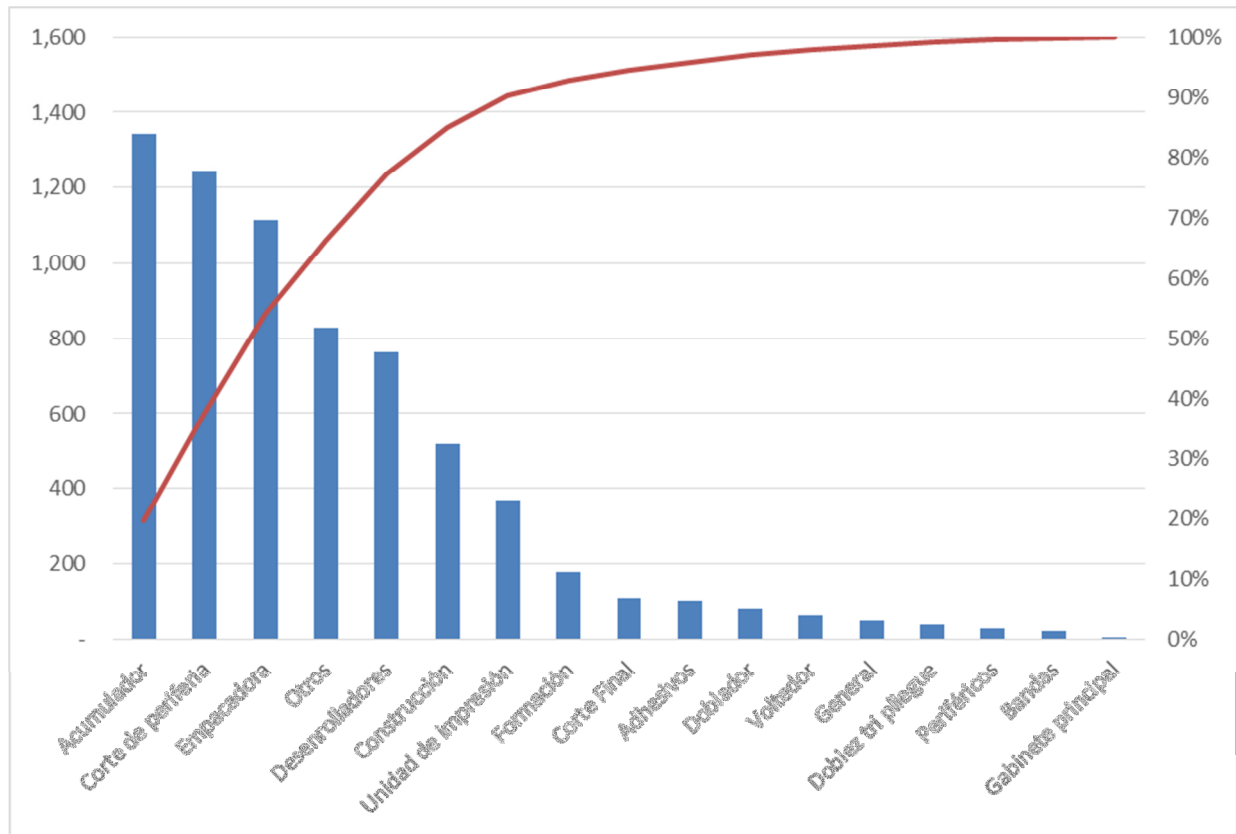
El principio de Pareto establece que el 80% de todos los problemas de un sistema son ocasionados por el 20% de los elementos que lo componen. Este principio desarrollado en 1906 por Vilfredo Pareto se utiliza en la economía, biología, industrias, etc., con el objetivo de encontrar las causas raíces de los principales problemas que existen en un sistema.

En el siguiente caso de investigación se utilizará este principio para poder encontrar las principales causas de los problemas en un sistema de manufactura, para poder empezar con la priorización de pérdidas de productividad a eliminar.

Samat A. et al (2012) menciona en su modelo de desempeño y confiabilidad de equipo cuatro fases para poder eliminar una pérdida de productividad, estas son:

1. Identificación de la máquina
2. Evaluación crítica de la máquina
3. Medición del desempeño de la máquina
4. Evaluación del nivel de desempeño de mantenimiento

En el primer paso de su metodología el autor recurre a un diagrama de Pareto para poder identificar la máquina crítica a tratar, el autor menciona que este diagrama se tiene que construir por medio de ocurrencias de la pérdida o frecuencia en las diferentes máquinas que constituyen el proceso de producción. La Gráfica 7 ejemplifica la manera en que el autor menciona que se tiene el enfoque de un Gráfico de Pareto.



Gráfica 7. Pérdidas por paros menores junio-agosto 2013

Los datos mostrados en la Gráfica 7 son el impacto en eventos de los paros menores en la línea 1, que de acuerdo al enfoque de Samat, sería el primer paso para seleccionar la pérdida a tratar.

Por otra parte, Karaulova et al (2012) menciona en su modelo de estimación de confiabilidad en un proceso de manufactura que los Gráficos de Pareto pueden ser priorizados usando la clasificación RPD (riesgo, probabilidad y detección). El autor no hace mención específica de cómo se deben de agrupar las causas para cada modo de fallo, pero sí, que el impacto sea acorde con la priorización antes mencionada en el eje izquierdo.

Por último, Gutiérrez, et al (2009) menciona los siguientes puntos clave para la construcción de un diagrama de Pareto, éstos son:

1. Estos diagramas clasifican problemas en función de categorías o factores de interés
2. El eje vertical debe representar las unidades de medida que proporcionen una contribución clara de cada categoría. En dónde se recomienda hacer una multiplicación del impacto por la frecuencia de cada categoría.
3. Realizar un Pareto de primer nivel, seguido por uno de segundo, para poder acotar la causa que origina los principales problemas del primer nivel.

Estratificación.

Para complementar los resultados de un diagrama de Pareto, diferentes autores proponen agrupar un conjunto de datos en un número de clases o categorías. Miller et al (1992. P. 8) define a este tipo de agrupación como de frecuencias. El autor menciona que existen dos tipos, los cuales se definen a continuación:

1. Distribuciones numéricas. Distribuciones de frecuencia en donde los datos se hallan agrupados por su tamaño.
2. Distribuciones categóricas. Distribuciones en donde los datos se hallan agrupados de acuerdo con alguna cualidad o atributo.

La Tabla 5 ejemplifica el cómo se puede construir una tabla de distribución categórica.

Causa/ Sección	Sección 1	Sección 2	Sección 3	Sección 4	Total
Causa 1	150	33	1334	22	1539
Causa 2	56		136	1	193
Causa 3	11	6	106	12	135
Causa 4	5		48	56	109
Causa 5	29	1	18		48
Causa 6	3		7	31	41
Causa 7	1		26	3	30
Causa 8	14	2	7		23
Causa 9	2		13		15
Total general	271	42	1695	125	2133

Tabla 5. Ejemplo con datos propios de una tabla de distribución categórica

En esta tabla se puede observar que la causa 1 fue un factor común en las 4 secciones que se ejemplifican, por tal motivo sería la causa a reducir, por el impacto que tiene en el número de eventos, independientemente a que la sección 3 haya sido la más afectada.

Complementando el concepto definido por Miller, Gutiérrez menciona que después de haber encontrado las causas en este segundo nivel de estratificación, se debe de proceder a realizar un análisis de tercer nivel para encontrar la causa raíz del problema seleccionado.

Conclusiones

De acuerdo a lo mencionado por estos cuatro autores, la manera en que se construirán los Gráficos de Pareto como primer paso para identificar los principales problemas que existen en la línea de producción en cuestión, será de acuerdo a los siguientes pasos:

1. Se realizará un Pareto de primer nivel para las pérdidas de productividad por paros menores, averías y paros de proceso, para determinar las tres principales secciones a las que se tendrán que esforzar los recursos para cada una de las pérdidas mencionadas.
2. El impacto se determinará por el %OEE que le resta cada pérdida a la línea de producción, éste se obtendrá dividiendo el número de minutos que tiene de impacto entre el tiempo de carga.
3. Se realizará una estratificación de las causas principales de las pérdidas resultantes de los Gráficos de Pareto para poder continuar con el análisis de priorización.

Programación lineal

Introducción

La investigación de operaciones tiene como objetivo ayudar a la toma de decisiones mediante el modelado matemático de algún sistema o problema para poder obtener una solución óptima. De acuerdo a Taha (2012) un modelo de investigación de operaciones (IO) cuenta con tres componentes principales, éstos son:

- Las alternativas.
- Un criterio objetivo.
- Restricciones.

De tal forma, un modelo de IO se puede expresar de la siguiente manera:

Maximizar o minimizar una función objetivo que está sujeta a ciertas restricciones.

Al resolver el modelo propuesto, se pueden obtener dos tipos de soluciones, de acuerdo al autor mencionado, las cuales son:

- Factible, si las restricciones establecidas fueron satisfechas.
- Optima, si satisface las restricciones definidas y a su vez provee el mejor valor de la función objetivo.

Existen varias herramientas para poder solucionar los modelos de investigación de operaciones, éstas son las siguientes:

- Programación lineal.
- Programación entera.
- Programación dinámica.
- Programación de red.
- Programación no lineal.

En la mayoría de estas técnicas, las soluciones del modelo se determinan mediante algoritmos. El modelo propuesto es, en la mayoría de los casos, una aproximación de la realidad.

De acuerdo a Taha para implementar alguna de las técnicas de IO, se requieren varias fases, de las cuales las principales son las siguientes:

1. Definición del problema.
2. Construcción del modelo.
3. Solución del modelo.
4. Validación del modelo.
5. Implementación de la solución.

El presente caso de estudio modelará un sistema de priorización utilizando programación lineal, por tal motivo a continuación se explicará este sistema a más a detalle.

Definición

Winston (2012, p. 49) define a la programación lineal (PL) como una herramienta que se utiliza para resolver problemas de optimización. Complementando esta definición, Taha (p. 5) hace hincapié en que este tipo de modelos están diseñados para funciones objetivos y restricciones lineales.

Ambos autores coinciden en que un modelo de PL debe de constar de los siguientes elementos, los cuales se tienen que definir en el orden en que a continuación se enumera:

1. Variables de decisión. Son aquellas variables que se pretenden determinar, éstas deben de describir de manera completa las decisiones que se tienen que tomar.
2. Función objetivo. Es aquella función que se desee maximizar o minimizar, la cual va a depender de los valores que tomen las variables de decisión.
3. Restricciones. Son aquellas limitantes que tiene el sistema y que se tienen que satisfacer para poder tener una solución factible y óptima.

De acuerdo a estas definiciones mencionadas por ambos autores, un modelo lineal adopta la siguiente estructura:

$$\text{Maximizar o minimizar } z = ax_1 + bx_2 + \dots + nx_n$$

En donde $X_{1\dots n}$ son las variables de decisión, z el objetivo a maximizar o minimizar. Las restricciones en un sistema lineal se expresan con desigualdades, como se muestra a continuación:

$$x_1 + x_2 + \dots + x_n \geq 5$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Hillier et al (2010) hace mención a la región factible, la cual se refiere a la zona en donde existen los valores permisibles del modelo lineal que podrán dar una solución factible. Taha menciona que en esta zona la solución óptima siempre está asociada con un punto esquina de esta región.

El presente caso de investigación en su propuesta solución usará un modelo de programación lineal, de acuerdo a lo citado por los autores, para poder desarrollar el sistema que ayudará a tomar la decisión óptima para disminuir la mayor cantidad de pérdidas y, por consecuencia, mejorar la productividad del sistema de manufactura con el que se está trabajando.

Análisis de opciones

En base a la situación descrita de la Línea 1, se requiere identificar y especificar las pérdidas de productividad que tiene esta línea. Después de realizar este paso, éstas se tienen que cuantificar y, por último, se tiene que decidir qué pérdida de productividad se mejorará. Por tal motivo, de acuerdo a los conceptos que se mencionaron en el marco teórico, a continuación se mencionarán aquellos que se usarán en la estructuración del sistema de priorización de reducción de pérdidas, estos son los siguientes:

OEE (efectividad global del equipo). Se cuantificarán las pérdidas de productividad para poder determinar el impacto que tienen en la efectividad global del equipo.

Gráficos de Pareto. Se utilizarán para iniciar con la identificación de las principales pérdidas de productividad que tiene la línea de producción.

Estratificación. Esta herramienta se usará para definir y especificar las pérdidas identificadas por medio del Gráfico de Pareto.

Programación lineal. Por medio de esta herramienta se decidirá, en base a restricciones definidas, qué pérdida de las especificadas y cuantificadas se decidirá mejorar.

El siguiente paso del presente caso de estudio será integrar las herramientas mencionadas para desarrollar el sistema de priorización que ayudará a incrementar la productividad de la Línea 1.

4. Propuesta solución

En esta sección del caso de estudio, se desarrollará la metodología para poder estructurar el modelo de priorización de reducción de pérdidas, ésta constará de los siguientes pasos:

1. Determinar cómo usar las herramientas estadísticas y de calidad para poder identificar y cuantificar el número de pérdidas sobre las que se decidirá actuar.
2. Definir las características de las variables de decisión.
3. Definir la función objetivo del sistema.
4. Definir las características de las restricciones a las que estará sujeto el sistema.

Una vez estructurada la metodología se usará como ejemplo la situación de la Línea 1 de la planta de producción de toallas sanitarias.

Estratificación de pérdidas

La primera etapa antes de definir el modelo de programación lineal es determinar las pérdidas sobre las cuales se decidirá mejorar, en base al impacto que cada una tenga en el %OEE. La primera herramienta que se usará será un Gráfico de Pareto de primer nivel para identificar las principales pérdidas que afectan la productividad de un equipo, éstas están establecidas en la Tabla 4.

Para poder construir este Pareto de nivel 1, las pérdidas se tienen que cuantificar por el impacto que tienen en el %OEE, este cálculo varía dependiendo de cada factor que compone a este indicador, los cuales son disponibilidad, desempeño y calidad. A continuación se determinará como cuantificar cada uno.

Disponibilidad

La fórmula 3.1 indica cómo se calcula la disponibilidad de una línea de producción, la cual se puede interpretar como el porcentaje de tiempo que estuvo trabajando una máquina con respecto al tiempo disponible. Lo que se requiere identificar es el tiempo perdido del sistema de producción en porcentaje. Para poder obtener este porcentaje se usará el complemento de la Fórmula 3.1 con respecto a 100.

Usando como base el Gráfico 6, se obtiene la Fórmula 4.1, la cual se muestra a continuación y describe la pérdida por tiempos muertos o no productivos y su impacto para que una máquina pueda alcanzar el 100% de productividad.

$$\%TM = \frac{\text{Tiempo muerto (min)}}{\text{Tiempo de carga (min)}}$$

Fórmula 4.1

La suma del %TM y la disponibilidad, calculada con la Fórmula 3.1, debe de ser igual a 100, ya que éstos son complementos.

Desempeño

La segunda pérdida que conformará parte de la función objetivo es la pérdida de desempeño, la cual está directamente relacionada con las pérdidas de velocidad de una máquina. La fórmula que se usará para cuantificar las pérdidas por desempeño será la 4.2.

$$\%Des = \frac{TDT(min) * VMP \left(\frac{pcs}{min} \right) - Prod Bruta}{Tiempo de carga(min) * VMP \left(\frac{pzs}{min} \right)}$$

Fórmula 4.2

Calidad

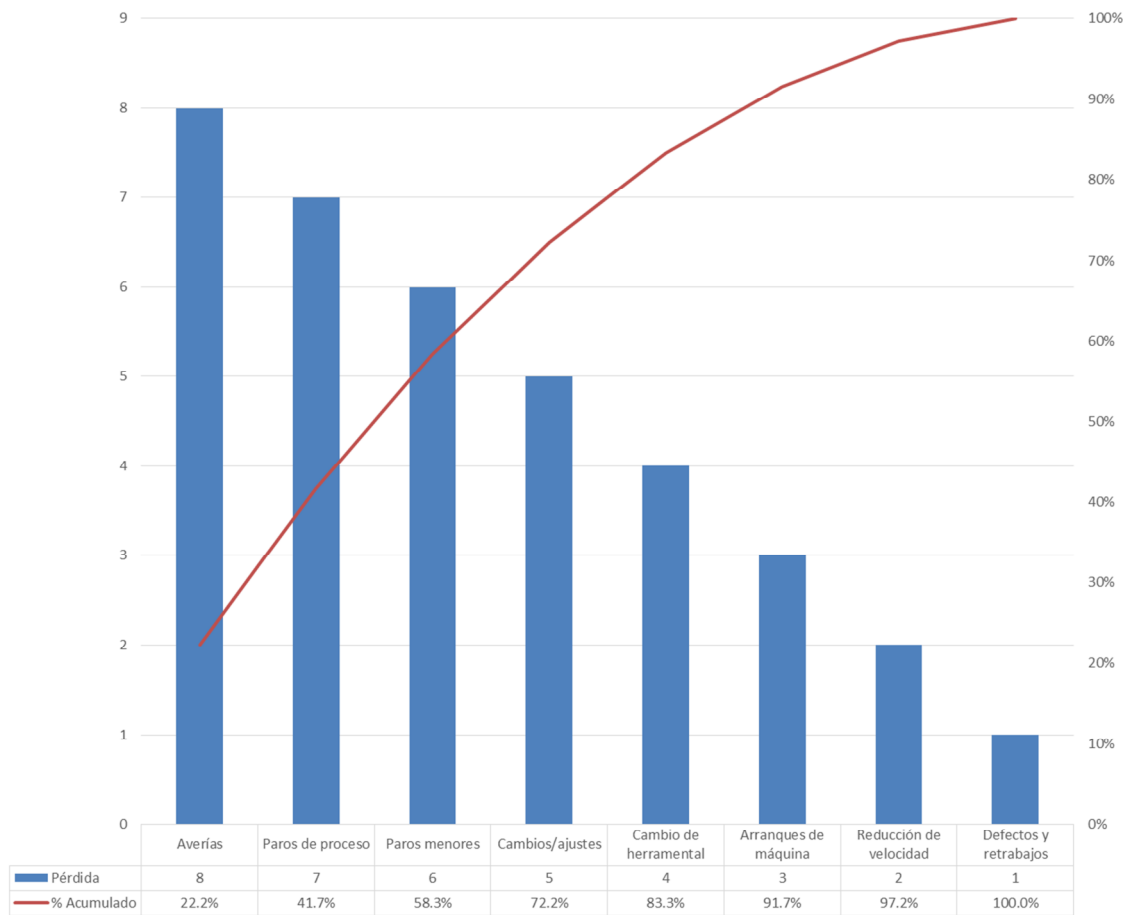
La tercera pérdida a medir es la ocasionada por defectos o piezas no conformes que no cumplen los estándares de calidad definidos. Esta pérdida, para ser usada en la función objetivo, se cuantificará de acuerdo con la Fórmula 4.3.

$$\%Calidad = \frac{Pzs defectuosas (pzs)}{\text{Tiempo de carga}(min) * VMP \left(\frac{pzs}{min} \right)}$$

Fórmula 4.3

Pareto de primer nivel

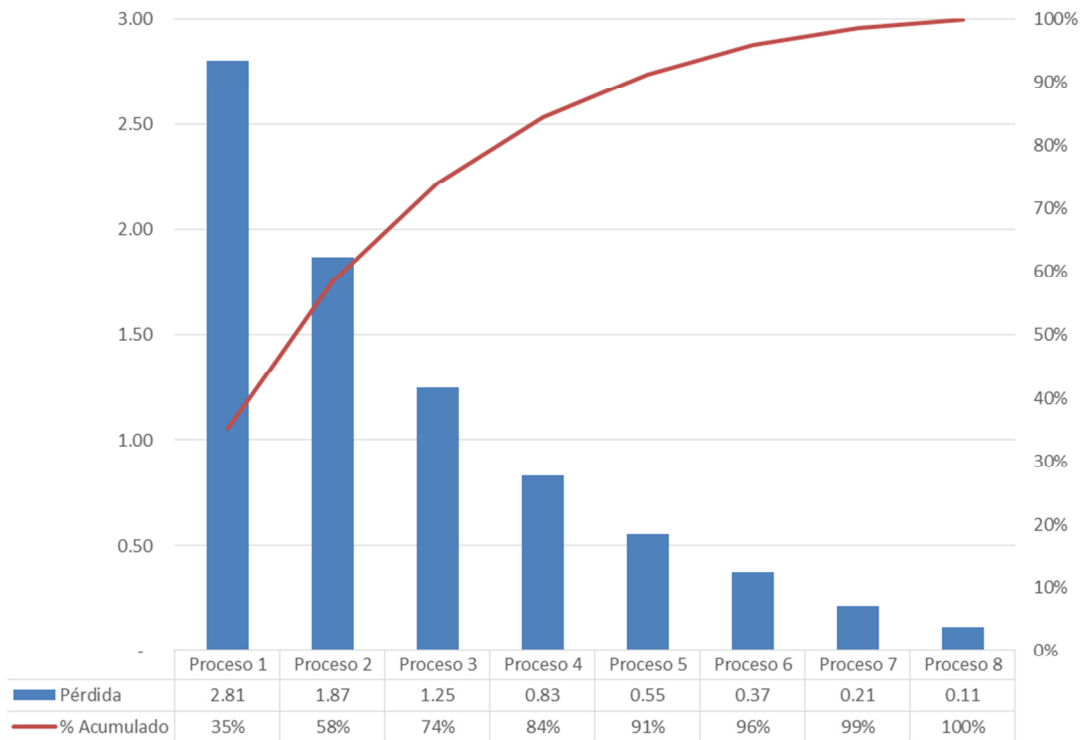
Una vez que se cuantifique cada pérdida, el siguiente paso es construir el Pareto de primer nivel, el cual quedará construido como lo muestra la Gráfica 8.



Gráfica 8. Construcción de un gráfico de Pareto de acuerdo a las pérdidas de la Tabla 4

Los dos criterios que se utilizarán para construir un Pareto de segundo nivel serán los siguientes:

1. Que estén dentro del 80% del porcentaje acumulado de pérdidas. En el caso de este ejemplo, aplicaría a las averías, paros de proceso, paros menores y cambios/ajustes. El 20% restante no se considerará para la estratificación.
2. Se aplicarán más Gráficos de Pareto a las averías, paros de proceso y paros menores.



Gráfica 9. Diagrama de Pareto de 2do nivel para las pérdidas por averías, paros menores y de proceso

Al igual que en el Pareto de primer nivel, el criterio para seleccionar las pérdidas a disminuir será para las que se encuentren dentro del 80% acumulado de pérdidas. Por tal motivo las pérdidas totales a reducir se darán por la suma de las pérdidas por averías, por paros de proceso y paros menores identificados en cada uno de los Gráficos de Pareto de segundo nivel.

Dependiendo de la complejidad del proceso en cuestión, se podrá realizar un Gráfico de tercer nivel para poder acotar de manera más precisa los subprocesos que tengan más pérdidas de OEE.

Después de haber realizado los Gráficos necesarios, el siguiente paso es efectuar la estratificación de pérdidas a reducir. Ésta se hará de acuerdo al ejemplo mostrado en la Tabla 6. El número de tablas de estratificación dependerá del número de procesos que hayan entrado dentro del 80% acumulado de paros menores, averías y paros de proceso.

Pérdida por "x" en el proceso 1

	Subproceso 1	Subproceso 2	Subproceso 3	Subproceso n	Total Sub Procesos
Fenómeno 1	0.28				0.28
Fenómeno 2		0.26			0.26
Fenómeno 3			0.23		0.23
Fenómeno 4				0.22	0.22
Fenómeno 5	0.20	0.20	0.23	0.20	0.83
Fenómeno 6		0.26	0.19		0.45
Fenómeno 7	0.28				0.28
Fenómeno 8		0.26			0.26
Total Fenómeno	0.76	0.98	0.65	0.43	2.81

Tabla 6. Tabla de estratificación

El número de filas irá en función al número de fenómenos que se encuentren en el proceso. Se definirá como fenómeno aquel acontecimiento que genere una pérdida en el proceso.

El número de columnas irá en función al número de subprocesos que componen al proceso principal.

En esta tabla de estratificación se relacionarán los fenómenos detectados con los diferentes subprocesos. El criterio para seleccionar los fenómenos a considerar dentro del modelo de priorización, serán de igual manera aquellos que entren dentro del 80% acumulado, que en este caso serían los fenómenos 1 y 2.

Una vez identificadas las pérdidas que se quieran mejorar, se procederá a construir el modelo de programación lineal que ayude a tomar la decisión sobre qué pérdidas de las identificadas se mejorarán o si no se realizará alguna actividad al respecto.

Variables de decisión

El modelo de priorización de reducción de pérdidas contará con una variable de decisión, esta variable tomará valores binarios, uno si se decide disminuir la pérdida que se haya definido y un cero en dado caso de que se decida no disminuir. Por cada pérdida que se haya definido a partir de la estratificación habrá una decisión, por lo tanto el número de decisiones que vaya a tener el modelo irá en función al número de pérdidas que se hayan encontrado en la estratificación de pérdidas. La Fórmula 4.4 muestra cómo se expresa el número de decisiones que habrá, en donde n es el total de pérdidas encontradas.

$$\sum_{i=1}^n X_i$$

Fórmula 4.4

La sumatoria de las variables de decisión determinará el número de mejoras en pérdidas de productividad.

Función objetivo del sistema

Con base a los tres factores que componen el %OEE y que se muestran en el Gráfico 6, se empezará a construir la función objetivo. Esta función objetivo estará dada de acuerdo a la Fórmula 4.5, la cual buscará la máxima reducción de pérdida de %OEE.

$$P_T = P_1X_1 + P_2X_2 + P_3X_3 + \dots + P_NX_N$$

Fórmula 4.5

En esta función se multiplica el valor de cada pérdida (P) por el valor que vaya a tomar la variable de decisión (X), que como se mencionó con anterioridad, será un uno o un cero dependiendo si se mejora o no.

Con anterioridad se determinó la manera de cuantificar cada pérdida que impacta al OEE con las fórmulas 4.1, 4.2 y 4.3 para la disponibilidad, desempeño y calidad respectivamente. La suma de las tres pérdidas cuantificadas da como resultado el total de pérdida que tuvo la línea de producción, es decir, la brecha para que ésta alcanzara el 100% de OEE. En la Fórmula 4.6 se expresa matemáticamente el cómo se cuantifica la pérdida total de una línea de producción.

$$P_n = \%TM + \%Des + \%Calidad$$

Fórmula 4.6

El valor de "Pn", será la cuantificación para cada una de las pérdidas identificadas. Al sustituir las fórmulas 4.1, 4.2 y 4.3 en la 4.6 se tendrá una expresión matemática que indicará el cómo quedan las pérdidas parametrizadas.

$$P_n = \frac{\text{Tiempo muerto (min)}}{\text{Tiempo de carga (min)}} + \frac{\text{TDT (min)} * \text{VMP} \left(\frac{\text{Pzs}}{\text{min}} \right) - \text{Prod Bruta(pzs)}}{\text{Tiempo de carga (min)} * \text{VMP} \left(\frac{\text{pzs}}{\text{min}} \right)} + \frac{\text{Pzs defectuosas (pzs)}}{\text{Tiempo de carga (min)} * \text{VMP} \left(\frac{\text{pzs}}{\text{min}} \right)}$$

Fórmula 4.7

Acorde con la función objetivo establecida con la Fórmula 4.5, el siguiente paso consta en multiplicar el valor de cada pérdida, de P_1 a P_n . (Fórmula 4.7) por su variable de decisión correspondiente, de X_1 a X_N . Al realizar esta multiplicación se obtiene la Fórmula 4.8.

$$P_n = \left(\frac{\text{Tiempo muerto (min)}}{\text{Tiempo de carga (min)}} + \frac{\text{TDT (min)} * \text{VMP} \left(\frac{\text{Pzs}}{\text{min}} \right) - \text{Prod Bruta(pzs)}}{\text{Tiempo de carga (min)} * \text{VMP} \left(\frac{\text{Pzs}}{\text{min}} \right)} + \frac{\text{Pzs defectuosas (pzs)}}{\text{Tiempo de carga (min)} * \text{VMP} \left(\frac{\text{Pzs}}{\text{min}} \right)} \right) X_n$$

Fórmula 4.8

Una vez definida la función objetivo del modelo de programación lineal, el siguiente paso a realizar es el determinar cómo se expresarán las restricciones las cuales definirán la priorización del sistema.

Restricciones del modelo

Se entenderán como restricciones, aquellas limitantes que se tengan para poder mejorar o eliminar alguna pérdida que se haya identificado. El número de restricciones podrá variar dependiendo del tipo de proceso que haya en la planta, del cómo se administren las operaciones, las políticas de gasto que existan, etc.

En general, las restricciones con las que contará el modelo se expresarán matemáticamente como se muestra en la Fórmula 4.9.

$$\begin{aligned} R_1 T &= R_1 X_1 + R_1 X_2 + R_1 X_3 \dots R_1 X_N \\ R_2 T &= R_2 X_1 + R_2 X_2 + R_2 X_3 \dots R_2 X_N \\ R_3 T &= R_3 X_1 + R_3 X_2 + R_3 X_3 \dots R_3 X_N \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \\ R_N T &= R_N X_1 + R_N X_2 + R_N X_3 \dots R_N X_N \end{aligned}$$

Fórmula 4.9

Como se mencionó con anterioridad, el número de restricciones puede variar de un proceso a otro, o de una planta a otra, pero estas restricciones serán de no negatividad y debe de existir

congruencia con las unidades de cada restricción, en el caso que éstas vayan a estar dentro de la misma ecuación. De acuerdo a lo descrito, éstas se expresarán de la siguiente manera:

$$R_1T \leq U$$

$$R_2T \leq U$$

$$R_1T, R_3T, R_2T \geq 0$$

Modelado del sistema lineal

Una vez que se determinen los tres componentes necesarios para la construcción de un modelo de programación lineal (variables de decisión, función objetivo y restricciones) éstos se integrarán para estructurar el modelo como se muestra en la Tabla 7.

						Restricciones			
Pérdida	% Tiempo muerto	% Desempeño	% Calidad	Pérdida total	Decisión	R1	R2	R3	Rn
P1	%TM	%D	%C	%P1	X1	VR1	VR2	VR3	VRn
P2	%TM	%D	%C	%P2	X2	VR1	VR2	VR3	VRn
P3	%TM	%D	%C	%P3	X3	VR1	VR2	VR3	VRn
P4	%TM	%D	%C	%P4	X4	VR1	VR2	VR3	VRn
P5	%TM	%D	%C	%P5	X5	VR1	VR2	VR3	VRn
Pn	%TM	%D	%C	%P6	Xn	VR1	VR2	VR3	VRn
Totales				%PT	DT	VR1T	VR2T	VR3T	VRnT

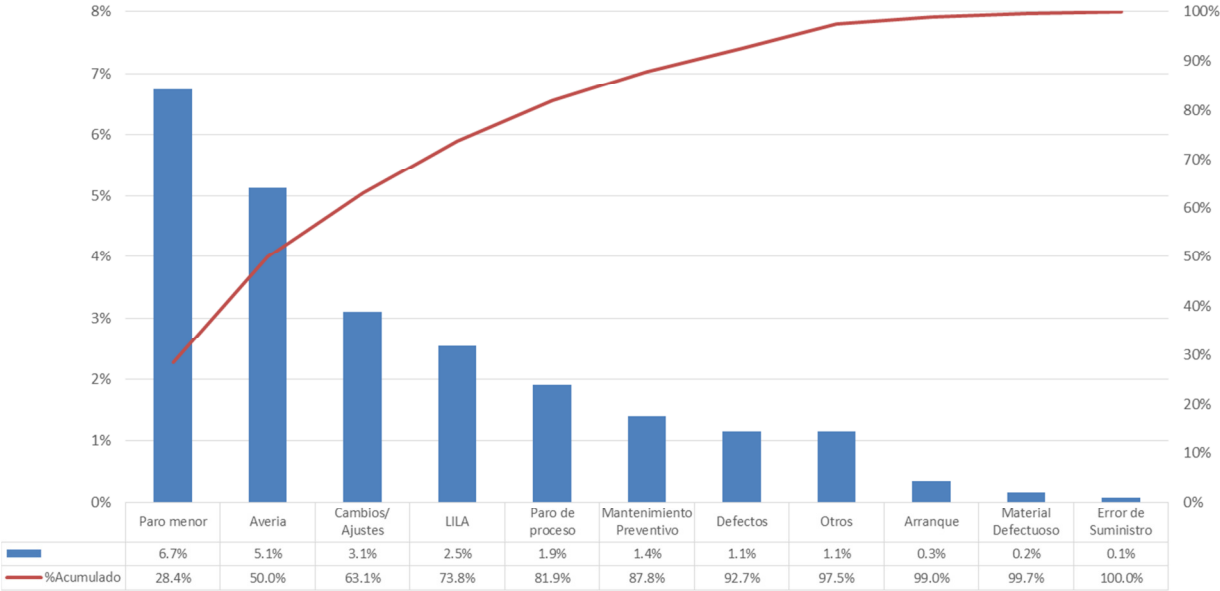
Tabla 7. Modelo de priorización de pérdidas

Los valores que se encuentran en la fila de totales, son la suma del valor que haya tomado la variable de decisión (x_1 a x_n) por cada pérdida y restricción, como se indicó en las fórmulas 4.5 y 4.9 respectivamente.

Aplicación práctica

De acuerdo a la situación actual, el %OEE más alto de la Línea 1 de acuerdo a la Gráfica 1 fue 82.99 en el mes de marzo del 2013. El sistema de priorización de pérdidas se empezó a ejecutar de agosto a septiembre del 2013, por tal motivo se empezaron analizar las pérdidas ocurridas en agosto para definir actividades en las primeras semanas de septiembre para poder disminuirlas.

De acuerdo a los pasos mostrados en la metodología de mejora en pérdidas de productividad, el primer paso que se llevó a cabo fue el identificar cuáles fueron las principales pérdidas de agosto del 2013, éstas se muestran en el Pareto de la Gráfica 4.3.

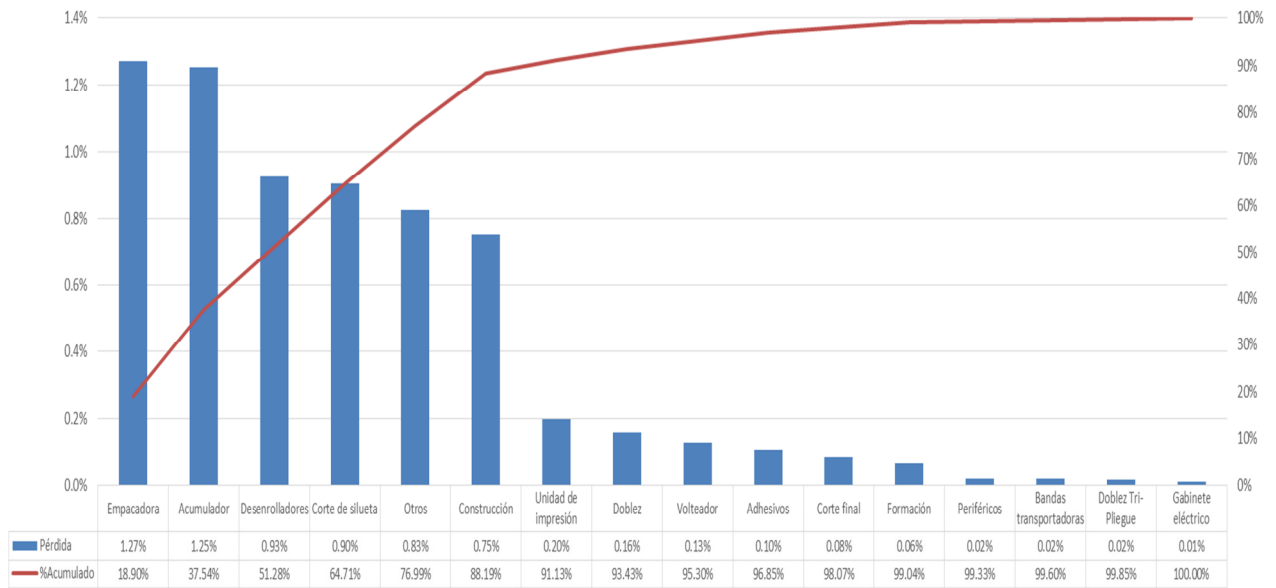


Gráfica 10. Pareto de las principales pérdidas de agosto 2013

De acuerdo a la metodología se escogerán las pérdidas de paros menores, avería y cambios/ajustes para su estratificación y se determinará qué causas de estas pérdidas se usarán en el modelo de programación lineal.

Paros menores

De acuerdo al siguiente paso de la metodología establecida, se tiene que identificar qué procesos son los que presentan más paros menores, éstos se identifican en la Gráfica 11.



Gráfica 11. Pareto de los procesos con paros menores

De acuerdo a la Gráfica 11, se hará un Pareto para el proceso de empacado, desembobinado, doblez tri-plegue y corte de silueta.

En la Tabla 8, la cual utiliza el principio de Pareto, se puede apreciar que las dos subsecciones que tienen mayor impacto acumulado en la sección de empacado son de transportadores y sello de bolsa, las cuales serán seleccionadas para realizar una estratificación de pérdidas.

Proceso empacado	Pérdida	% Acumulado
Transportadores	0.46%	36%
Sello de bolsa	0.33%	62%
Alimentación	0.31%	86%
Pateadores	0.16%	99%
Otros	0.01%	100%

Tabla 8. Secciones de empacado con principales pérdidas por paros menores

La estratificación que se realizó en estas secciones se muestra en la Tabla 9, en la cual se acomodan en las filas los fenómenos y en las columnas las secciones elegidas.

Fenómeno/ Sección	Transportadores	Sello de bolsa	Total fenómenos
Atascamientos	0.04%	0.32%	0.35%
Desajuste de varillas	0.30%	0.01%	0.31%
Desacomodo de toalla	0.11%	0.01%	0.12%
Falso sello	0.01%	0.00%	0.01%
Total secciones	0.46%	0.33%	0.79%

Tabla 9. Estratificación de fenómenos en la sección de sello de bolsa y transportadores

Con la información aportada de la Tabla 9, se obtienen las primeras pérdidas del modelo de priorización, estas pérdidas quedarán definidas de acuerdo a la Tabla 10.

No.	Pérdida	% Tiempo muerto	% Desempeño	% Calidad	Total
P1	Paros menores por atascamientos en Sello de bolsa.	0.32%	0	0	0.32%
P2	Paros menores por desajuste de varillas en el transportador de toalla	0.30%	0	0	0.30%

Tabla 10. Pérdidas de paros menores a priorizar en el proceso de empaqueo

El segundo proceso que será estratificado de acuerdo a la Gráfica 11, será el de acumulador de productos, el Pareto de los principales subprocesos se muestra en la Tabla 11.

Proceso de acumulado	Pérdida	% Acumulado
Transportador de paletas	0.73%	58.4%
Acumulador móvil	0.27%	79.9%
Empujador vertical	0.18%	94.5%
Empujador horizontal	0.05%	98.7%
Banda transportadora	0.02%	100.0%

Tabla 11. Subproceso de desenrollado con principales pérdidas por paros menores

Con base en la Tabla 11, serán al transportador de paletas y al acumulador móvil, estas estratificaciones se muestran en la Tabla 12.

Fenómeno/ Sección	Transportador de paletas	Acumulador móvil	Total fenómenos	%Acumulado
Atascamiento de toalla	0.53%	0.13%	0.67%	66.39%
Atasque en cadena	0.13%	0.05%	0.18%	84.70%
Pérdida de faseo	0.07%	0.08%	0.15%	100.00%
Total secciones	0.73%	0.27%	1.00%	

Tabla 12. Estratificación de fenómenos para los subprocesos de acumulado

Acorde a la Tabla 12 se identifican dos pérdidas más para el sistema de priorización, las cuales se muestran definidas en la Tabla 13.

No.	Pérdida	% Tiempo muerto	% Desempeño	% Calidad	Total
P3	Paros menores por atascamiento de toallas en el transportador de paletas	0.53%	0	0	0.53%
P4	Paros menores por atasque de cadena en el transportador de paletas	0.13%	0	0	0.13%

Tabla 13. Pérdidas de paros menores a priorizar en el proceso de acumulado

El tercer proceso que se tiene que estratificar de acuerdo a la Gráfica 11, es del desenrollado de materia prima. La estratificación correspondiente a este proceso se muestra en la Tabla 14.

Proceso de desenrollado	Pérdida	% Acumulado
Desenrollador de cinta central	0.37%	39.8%
Desenrollador de polietileno	0.22%	64.1%
Desenrollador de polywrap	0.15%	80.24%
Desenrollador de alas	0.08%	89.32%
Desenrollador de cubierta 2	0.06%	95.47%
Desenrollador de cubierta	0.04%	100.00%

Tabla 14. Pérdidas de paros menores en desenrollado

De acuerdo a la Tabla 14, los procesos a estratificar para determinar qué fenómeno se presenta más son los desenrolladores de cinta central y polietileno. Dicha estratificación se muestra en la Tabla 15.

Fenómeno/ Sección	Desenrollador de cinta central	Desenrollador de polietileno	Total fenómenos	%Acumulado
Suciedad	0.18%	0.10%	0.28%	47.12%
Rompimiento de guía	0.11%	0.03%	0.14%	71.33%
Falla de empalme	0.08%	0.07%	0.15%	96.17%
Guía enredada	0.00%	0.02%	0.02%	100.00%
Total secciones	0.37%	0.22%	0.59%	

Tabla 15. Estratificación de pérdidas para el proceso de desenrollado

De la estratificación realizada en la Tabla 15, se pudieron determinar tres pérdidas más que se integrarán al sistema de priorización. Éstas se muestran en la Tabla 16.

No.	Pérdida	% Tiempo muerto	% Desempeño	% Calidad	Total
P5	Paros menores por suciedad en el desenrollador de cinta de central.	0.18%	0	0	0.18%
P6	Paros menores por rompimientos de guía en el desenrollador de cinta central.	0.11%	0	0	0.11%
P7	Paros menores por suciedad en el desenrollador de polietileno	0.10%	0	0	0.10%

Tabla 16. Pérdidas definidas para el sistema de desenrollado

El último proceso a estratificar es el de corte de silueta. La estratificación de dicho proceso se muestra en la Tabla 17.

Fenómeno/ Sección	Unidad de corte de silueta	Corte de tira margina	Total fenómenos	%Acumulado
Caída de esqueleto	0.21%	0.35%	0.56%	61.94%
Mal corte	0.13%	0.01%	0.14%	77.71%
Atascamientos	0.11%	0.05%	0.16%	95.78%
Otros	0.03%	0.01%	0.04%	100.00%
Total secciones	0.48%	0.42%	0.90%	

Tabla 17. Estratificación de paros menores en corte de silueta

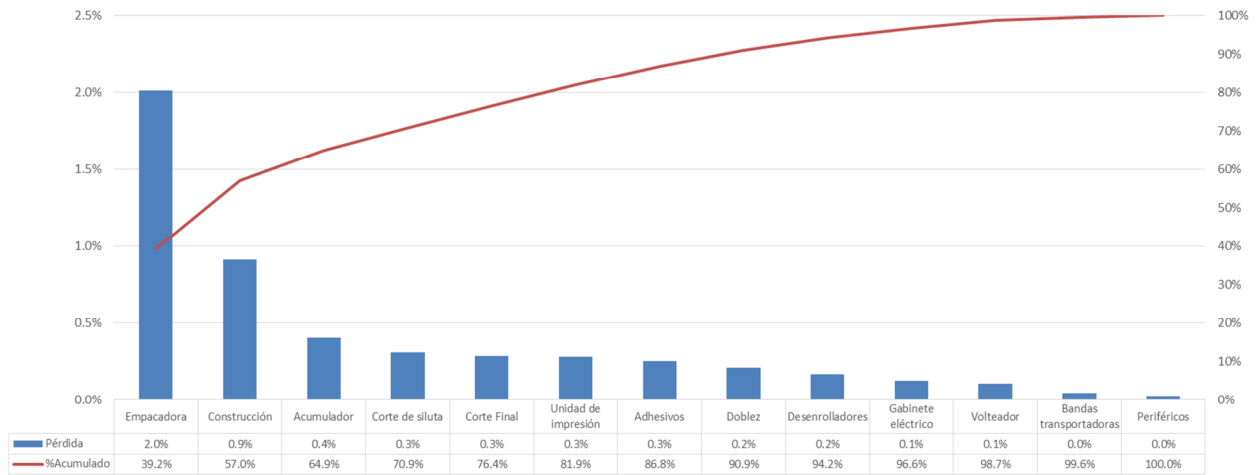
De dicha estratificación se toman dos pérdidas, las cuales se muestran en la Tabla 18, ya que éstas entran dentro del 80% acumulado por el impacto que tienen en el %OEE.

No.	Pérdida	% Tiempo muerto	% Desempeño	% Calidad	Total
P8	Paros menores por caídas de esqueletos en multicorte	0.35%	0	0	0.35%
P9	Paros menores por caídas de esqueleto en unidad de corte de silueta	0.21%	0	0	0.21%

Tabla 18. Pérdidas por paros menores en corte de silueta

Averías

La siguiente pérdida a estratificar es la dada por averías. Los principales subprocesos que presentan dicha pérdida se muestran en la Gráfica 12, de los cuales se trabajará con el de acumulado, empackado y bandas transportadoras para definir las pérdidas que integrarán el modelo de priorización.



Gráfica 12. Pareto de subprocesos con averías, agosto 2013

El primer análisis que se hará, será al proceso de empacado en donde se determinará cuáles son los componentes que más han sufrido desgastes prematuros, éstos aparecen en la Tabla 19.

Componente	Pérdida	% Acumulado
Pateadores	0.80%	40%
Uñas plegadoras	0.64%	71%
Cabezas de sello	0.31%	87%
Varillas	0.26%	100%

Tabla 19. Principales compontes con averías en la empacadora

Las pérdidas número diez y once del sistema de priorización serán la reducción de averías en pateadores y uñas plegadoras en el proceso de empaque.

El siguiente subproceso a estratificar será el de construcción. Este subproceso cuenta con dos equipos, el de aplicación de cinta central y el de gofrado de colchón, éstos se presentan junto con su impacto en el %OEE por averías en la Tabla 20.

Equipo	Pérdida
Irta de cinta central	0.76%
Unidad de gofrado 1	0.15%

Tabla 20. Equipos del subproceso de construcción

Por el impacto que tiene el irta de cinta central en el subproceso de construcción, éste será el que se estratificará para poder identificar la pérdida por componentes dañados. Los principales componentes con averías de este equipo se muestran en la Tabla 21.

Componente	Pérdida	% Acumulado
Cuchillas	0.35	46%
Banda de transmisión	0.23	77%
Banda de alimentación	0.18	100%

Tabla 21. Principales componentes con averías en el irta de cinta central

A partir de esta estratificación se integran dos pérdidas más, la pérdida 12 y 13. La primera será la reducción de cuchillas dañadas y la segunda la reducción de bandas de transmisión dañadas.

Las pérdidas de acumulador y unidad de corte de silueta no fueron sujetas a análisis por el equipo encargado de la operación de la máquina, debido al tiempo que requeriría hacer el análisis. Idealmente se tienen que abarcar las pérdidas por averías que entren dentro del 80% acumulado.

Cambios de fabricación

Existen tres tipos de cambio de fabricación, éstos son:

1. Producto, cambio en la convertidora que implica cambio de unidades, herramental, transmisiones, moldes, etc. Este es el cambio más complejo.
2. Conteo. Este es un cambio que se realiza en la empacadora, la complejidad de dicho cambio es relativamente menor al que se realiza en la convertidora.
3. Material. En este cambio se habilitan otros materiales o se reemplazan por otros.

En la Tabla 22 se muestra el impacto que cada uno de estos cambios tuvo en el %OEE de la Línea 1 en agosto de 2013.

Tipo de cambio	Pérdida	# de cambios	Impacto por cambio
Conteo (empacadora)	1.58%	11.00	0.14%
Producto (convertidora)	1.49%	3.00	0.50%
Material	0.03%	1.00	0.03%
Total	3.11%	15.00	0.21%

Tabla 22. Número de cambios y por tipo en agosto 2013

Acorde con la Tabla 22, los cambios de conteo son los que más impacto tienen en la pérdida por cambios/ajuste, representando un 50.9% de ésta. El impacto de este tipo de cambios es mayor debido al número que hay al mes, por tal motivo el que tiene mayor área de oportunidad es el de producto. El siguiente paso a realizar es la estratificación de dicho cambio para determinar qué actividades son las que llevan más tiempo. Dichas actividades se muestran en la Tabla 23.

No	Actividad	Minutos	Impacto OEE
1	Cambio de unidad de gofrado	45	0.10%
3	Cambio de rueda de formado	40	0.09%
4	Ajuste de cuchillas	40	0.09%
5	Limpieza general de máquina	35	0.08%
6	Cambio de cadena de paletas	30	0.07%
9	Preparación del sistema de impresión	30	0.07%
Total		220	0.50%

Tabla 23. Actividades de un cambio de producto

Con base al análisis de cambios rápidos de formato (SMED) se determinaron dos áreas de oportunidad en la actividad 5, las cuales entraron dentro del sistema de priorización de pérdidas, definida como reducción en el tiempo de limpieza general de la máquina.

Resumen de pérdidas

Con las estratificaciones que se realizaron se pudieron determinar 14 pérdidas para el sistema de priorización. La pérdida LILA no se consideró, ya que ésta es una pérdida planeada debido a que todos los días se invierte tiempo de limpieza, inspección y detección a la máquina, lo que implica detener su operación, para poder anticipar cualquier avería.

En la Tabla 24 se hace una integración de todas las pérdidas que se definieron mediante los análisis estadísticos y de estratificación.

No	Descripción	% Tiempo muerto	% Desempeño	% Calidad	Total	Objetivo	Mejora
P1	Paros menores por atascamientos en sello de bolsa.	0.32%	0%	0%	0.32%	0.15%	0.17%
P2	Paros menores por desajuste de varillas en el transportador de toalla	0.30%	0%	0%	0.30%	0.15%	0.15%
P3	Paros menores por atascamiento de toallas en el transportador de paletas	0.53%	0%	0%	0.53%	0.20%	0.33%
P4	Paros menores por atasque de cadena en el transportador de paletas	0.13%	0%	0%	0.13%	0.05%	0.08%
P5	Paros menores por suciedad en el desenrollador de cinta de central.	0.18%	0%	0%	0.18%	0.10%	0.08%
P6	Paros menores por rompimientos de guía en el desenrollador de cinta central.	0.11%	0%	0%	0.11%	0.05%	0.06%

No	Descripción	% Tiempo muerto	% Desempeño	% Calidad	Total	Objetivo	Mejora
P7	Paros menores por suciedad en el desenrollador de polietileno	0.10%	0%	0%	0.10%	0.05%	0.05%
P8	Paros menores por caídas de esqueletos en multicorte	0.35%	0%	0%	0.35%	0.20%	0.15%
P9	Paros menores por caídas de esqueleto en unidad de corte de silueta	0.21%	0%	0%	0.21%	0.10%	0.11%
P10	Averías por pateadores dañados en el proceso de empacado	0.80%	0%	0%	0.80%	0.35%	0.45%
P11	Averías por uñas plegadoras dañadas en el proceso de empacado	0.64%	0%	0%	0.64%	0.30%	0.34%
P12	Averías por cuchillas dañadas en el irta de cinta central	0.35%	0%	0%	0.35%	0.20%	0.15%
P13	Averías por bandas de transmisión dañadas en el irta de cinta central	0.23%	0%	0%	0.23%	0.10%	0.13%
P14	Tiempo de cambio por limpieza general de la máquina	0.08%	0%	0%	0.08%	0.05%	0.03%
Total					4.33%	2.05%	2.28%

Tabla 24. Integración de pérdidas agosto 2013

La columna “mejora” será la que determine el potencial a incrementar del %OEE por cada una de las pérdidas, ésta se encuentra en función del objetivo que se haya definido, el cual es determinado por el equipo o personal encargado de realizar el análisis de pérdidas.

El siguiente paso, de acuerdo a la metodología propuesta, es definir las variables de decisión del sistema, las cuales serán de X_1 a X_{14} , en donde éstas tomarán los valores de 1 ó 0 dependiendo si se decide o no mejorar la pérdida de productividad.

La función objetivo de este sistema estará dada mediante la siguiente expresión:

$$\text{Maximizar } P_T = P_1X_1 + P_2X_2 \dots + P_{14}X_{14}$$

Una vez definida la función objetivo, el siguiente paso es determinar las restricciones que afecten al modelo de priorización de pérdidas. Estas restricciones, como se mencionó, dependen de cuáles defina la dirección de la planta. Para el caso de esta planta de producción, se definieron cuatro restricciones, las cuales se considerarán para poder tomar la decisión de qué pérdida se mejorará. Estas restricciones se encuentran en la Tabla 25.

No.	Restricción	Medición	Característica
R1	Tiempo de planeación	Hrs.	Es el tiempo que se lleve la solución de la pérdida esto implica la planeación de recursos, análisis, espera de refacciones etc.
R2	Tiempo de paro	Hrs.	El tiempo necesario que se tendrá que interrumpir la operación del equipo para ejecutar la contramedida.
R3	Recursos humanos	# Personas	El número de personas adicionales a la operación que se requerirán para implementar la contramedida.
R4	Costo	\$	El costo que tiene la implementación.

Tabla 25. Restricciones del sistema para la Línea 1.

Cada una de estas restricciones debe de tener un valor definido para cada pérdida. El valor total para cada restricción estará dado mediante la siguiente expresión:

$$R_{Tn} = R_{nP1}X_1 + R_{nP2}X_2 + R_{nP3}X_3 + \dots + R_{nPn}X_n$$

La Tabla 26 muestra el valor que se le asignó a cada restricción en el modelo de priorización de pérdidas. El valor para cada una de las pérdidas lo asignó el equipo responsable de realizar el análisis.

No	Descripción	Tiempo de implementación	Tiempo de paro	Recursos Humanos	Costo
P1	Paros menores por atascamientos en sello de bolsa.	8	2	-	\$ 5,000.00
P2	Paros menores por desajuste de varillas en el transportador de toalla	4	1	-	\$ 6,000.00
P3	Paros menores por atascamiento de toallas en el transportador de paletas	6	2	1	\$ 1,000.00
P4	Paros menores por atasque de cadena en el transportador de paletas	4	2	-	\$ -
P5	Paros menores por suciedad en el desenrollador de cinta de central	8	2	-	\$ 3,000.00
P6	Paros menores por rompimientos de guía en el desenrollador de cinta central.	6	-	-	\$ 1,000.00
P7	Paros menores por suciedad en el desenrollador de polietileno	2	16	-	\$ 5,000.00
P8	Paros menores por caídas de esqueletos en multicorte	12	2	-	\$ 2,000.00
P9	Paros menores por caídas de esqueleto en unidad de corte de silueta	8	8	-	\$ 1,000.00
P10	Averías por pateadores dañados en el proceso de empacado	2	4	-	\$ 15,000.00

No	Descripción	Tiempo de implementación	Tiempo de paro	Recursos Humanos	Costo
P11	Averías por uñas plegadoras dañadas en el proceso de empacado	6	4	-	\$ 4,500.00
P12	Averías por cuchillas dañadas en el irta de cinta central	8	-	-	\$ 5,000.00
P13	Averías por bandas de transmisión dañadas en el irta de cinta central	8	4	1	\$ 5,000.00
P14	Tiempo de cambio por limpieza general de la máquina	-	-	1	\$ -

Tabla 26. Valores de restricciones para cada pérdida

De estas restricciones se estableció que el total de cada una no rebasara los siguientes montos:

1. Tiempo de planeación: 30 horas.
2. Tiempo de paro: 12 horas.
3. Recursos humanos: dos.
4. Costo: \$35,000.

De acuerdo a las restricciones establecidas se procedió a realizar la integración de éstas con la función objetivo. En la Tabla 27 se muestra dicha integración con el valor que asumió cada variable de decisión para poder tener un resultado óptimo en el sistema de priorización.

No	Reducción	Decisión	Tiempo de implementación	Tiempo de paro	Recursos Humanos	Costo
P1	0.17%	1	8	2	-	\$ 5,000.00
P2	0.15%	0	4	1	-	\$ 6,000.00
P3	0.33%	1	6	2	1	\$ 1,000.00
P4	0.08%	0	4	2	-	\$ -
P5	0.08%	0	8	2	-	\$ 3,000.00
P6	0.06%	0	6	-	-	\$ 1,000.00
P7	0.05%	0	2	16	-	\$ 5,000.00
P8	0.15%	0	12	2	-	\$ 2,000.00
P9	0.11%	0	8	8	-	\$ 1,000.00

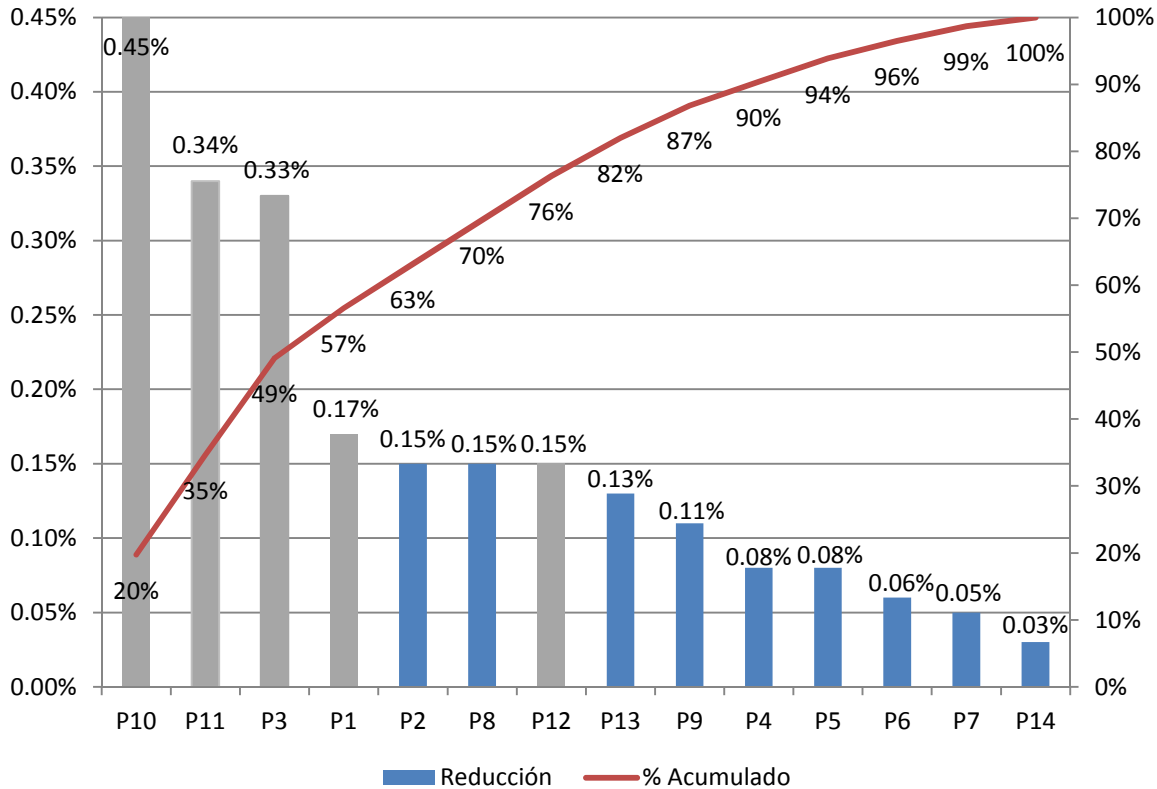
No	Reducción	Decisión	Tiempo de implementación	Tiempo de paro	Recursos Humanos	Costo
P10	0.45%	1	2	4	-	\$ 15,000.00
P11	0.34%	1	6	4	-	\$ 4,500.00
P12	0.15%	1	8	-	-	\$ 5,000.00
P13	0.13%	0	8	4	1	\$ 5,000.00
P14	0.03%	1	-	-	1	\$ -
	1.47%	6	30	12	2	30,500.00

Tabla 27. Modelo del sistema de priorización de pérdidas

De acuerdo a la solución propuesta por el modelo realizado, de un potencial de 2.28% de mejora de pérdida de productividad, ésta mejorará en un 1.47%, esto significa que el %OEE de la Línea 1 podrá incrementar de un 76.43 a un 77.90 como mínimo cuando se hayan ejecutado las contramedidas a las pérdidas que sugirió el modelo a mejorar con la solución propuesta.

5. Análisis de resultados

El modelo de priorización arrojó como solución el tener que eliminar las pérdidas 1, 3, 10, 11, 12 y 14. En la Gráfica 13 se puede observar que cuatro de las seis pérdidas son las primeras del Pareto, lo cual muestra que el aplicar un modelo de programación lineal para poder tomar una decisión de qué pérdida eliminar es redundante.



Gráfica 13. Pareto de pérdidas

En el caso específico de la Línea 1, la solución del modelo de priorización fue debido a la relación entre la magnitud de la pérdida y la restricción del tiempo de paro. La Tabla 28 muestra como las pérdidas 10, 11, 3 y 1, que son las de mayor impacto, satisfacen dicha restricción. En este caso, el número de horas que se puede parar la línea de producción como máximo, fue de 12 horas.

Comparando la tabla 27 con la 28 se puede apreciar que existen pérdidas como la número siete, la cual requiere un tiempo de paro de ocho horas para poder eliminarse, teniendo como beneficio un 0.05% de productividad, por lo cual sin tener que usar un modelo lineal, se puede descartar el tener que trabajar con esta pérdida.

No.	Reducción	Tiempo de paro	Tiempo de paro acumulado
P10	0.45%	4	4
P11	0.34%	4	8
P3	0.33%	2	10
P1	0.17%	2	12
P2	0.15%	1	0
P8	0.15%	2	0
P12	0.15%	0	0

Tabla 28. Relación pérdida con tiempo de paro

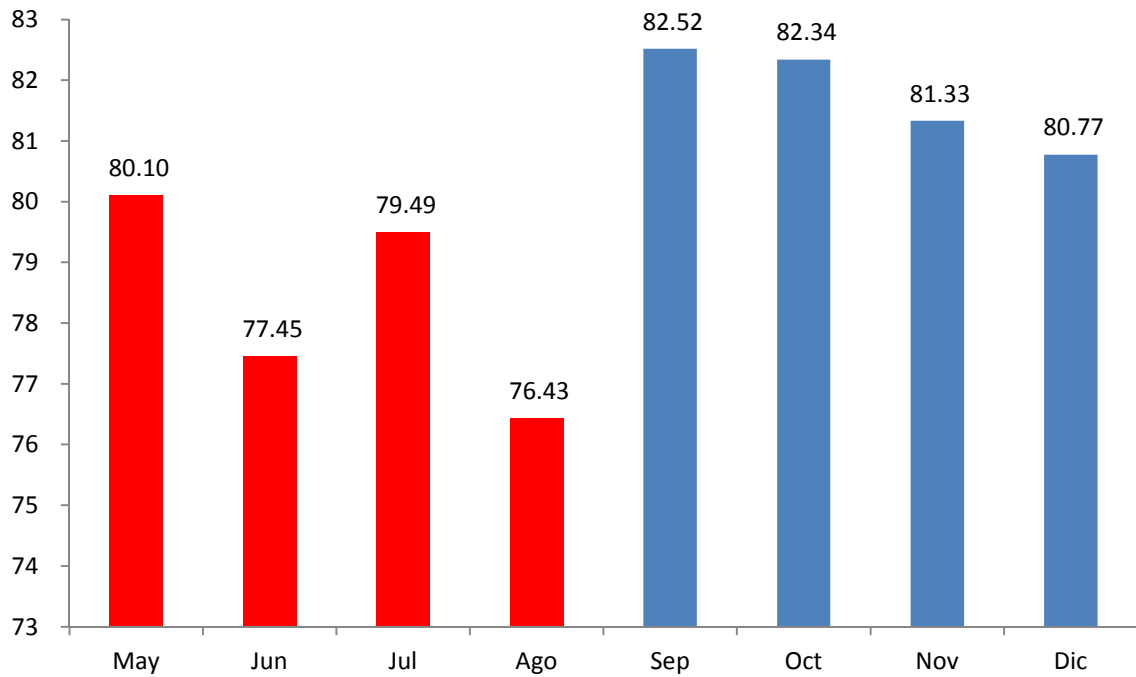
Con las observaciones realizadas, se puede concluir que las pérdidas elegidas por el modelo de priorización se debieron al valor de la restricción del tiempo de paro, ya que de acuerdo a la Tabla 29, ocho de las 14 pérdidas tienen como valor para la restricción de tiempo de paro dos y cuatro horas, las cuales corresponden a los valores de las pérdidas que el modelo seleccionó. En el caso de las pérdidas con valores más altos para esta restricción, su contribución a la disminución de la pérdida no fue lo suficientemente significativa como se puede apreciar en la Tabla 27.

Tiempo de paro	# de pérdidas
0	2
1	1
2	5
4	3
8	1
16	1

Tabla 29. Distribución de tiempo de paro

La naturaleza de las causas de las pérdidas de la Línea 1 hizo que existiera coincidencia en la mayoría del tiempo de paro para poder mejorarla, lo cual ocasionó que la selección de las pérdidas fueran las que nos pudieran proporcionar un Gráfico de Pareto.

Aunque las pérdidas seleccionadas por el modelo de priorización lineal se pudieron haber obtenido con un Gráfico de Pareto, como el mostrado en la Gráfica 13, el resultado de haber trabajado con éstas se muestra en la Gráfica 14, en donde se puede apreciar que el desempeño de la línea tuvo una mejora a partir de agosto, después de que el equipo encargado en gestionar la operación de ésta, aplicó el modelo de priorización de pérdidas.

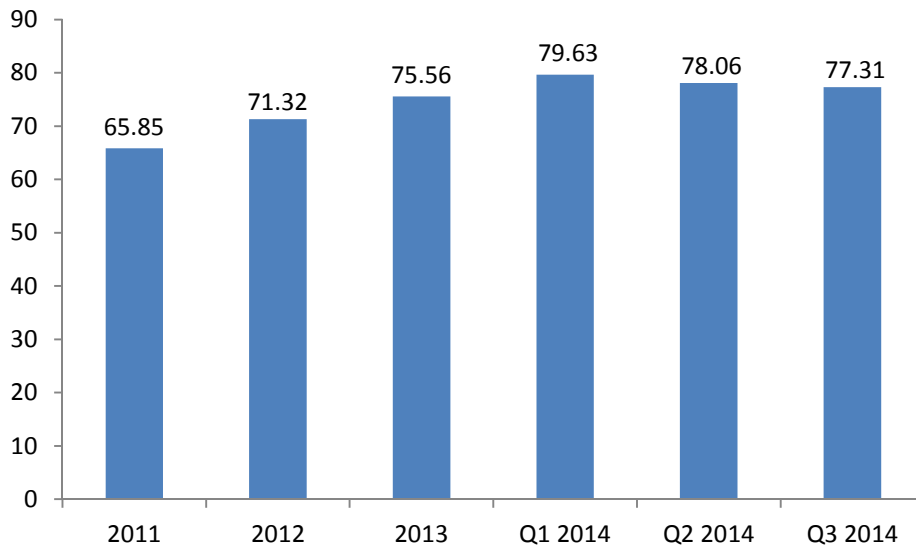


Gráfica 14. OEE Mensual 2013 Línea 1

Como se mencionó en la propuesta solución, el modelo de priorización no está limitado a un número determinado de restricciones, éstas pueden variar dependiendo de la complejidad del proceso de producción y de las operaciones de la planta.

Durante el uso de esta herramienta en el año 2014, se encontraron más restricciones que pueden influir en la decisión de las pérdidas a reducir. En este caso la restricción que se añadió al modelo de priorización fueron las piezas que mensualmente se desperdician por dicha pérdida, fijando un límite de cuánto es el máximo de producto que se puede desperdiciar mensualmente.

En la Línea 3 se aplicó el modelo de priorización al finalizar el tercer cuarto del año 2014 para incrementar el OEE de ésta. La Gráfica 15 muestra la tendencia del OEE de dicha línea, estos son los resultados históricos del año 2011 al tercer cuarto del 2014, en dicha gráfica se puede apreciar que el %OEE de esta línea de producción se ha mantenido por debajo del 80%. El modelo de priorización lineal se utilizó para determinar qué pérdidas eliminar integrando la nueva restricción.



Gráfica 15. OEE histórico de la Línea 3

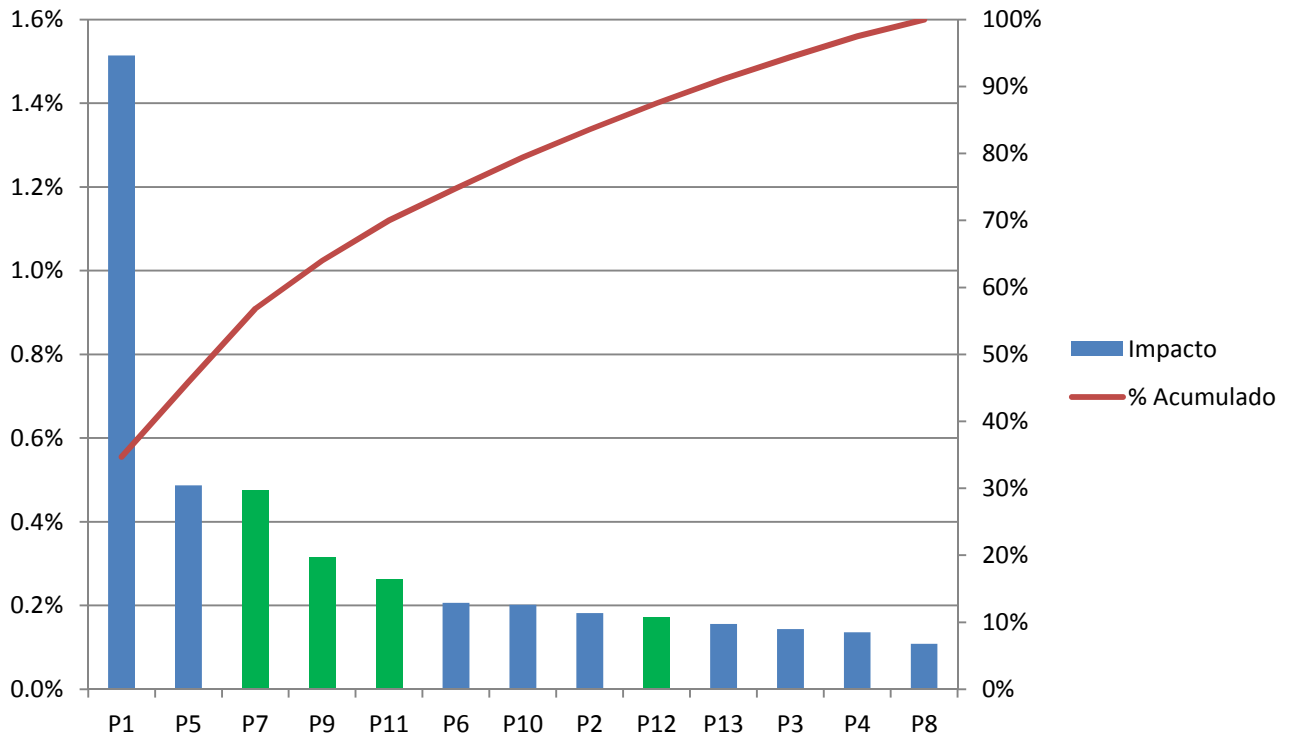
La Tabla 30 muestra la construcción del modelo de priorización de la Línea 3, después de haber realizado la estratificación de pérdidas correspondiente. En la columna rotulada como “Piezas merma”, se cuantifican las piezas que mensualmente se desperdician por cada pérdida. Los valores de las restricciones son los siguientes:

- Piezas mermas $\geq 100,000$. Este criterio determina la mínima cantidad de piezas desperdiciadas que se requiere reducir por cada pérdida.
- Tiempo de implementación ≤ 16 .
- Tiempo de paro ≤ 12 .
- Recursos humanos ≤ 3 .
- Costo $\leq 25,000$.

No.	Reducción	Decisión	Piezas merma	Tiempo de implementación	Tiempo de paro	Recursos humanos	Costo
P1	1.51%	-	12740	8	8	1	\$ 18,000
P2	0.18%	-	2600	2	4	-	\$ 4,500
P3	0.14%	-	12220	2	1	-	\$ 5,000
P4	0.14%	-	10660	4	5	-	\$ 24,000
P5	0.49%	-	33280	1	9	1	\$ 15,000
P6	0.21%	-	12480	4	3	-	\$ 12,500
P7	0.48%	1	51740	4	6	1	\$ 9,000
P8	0.11%	-	9360	2	2	1	\$ 19,185
P9	0.31%	1	33020	4	1	-	\$ 2,500
P10	0.20%	-	16900	2	4	-	\$ 15,578
P11	0.26%	1	18460	3	1	1	\$ 10,000
P12	0.17%	1	11440	2	1	-	\$ 3,000
P13	0.16%	-	9100	2	1	-	\$ 1,500
	1.23%	4	114660	12	10	2	\$ 24,500

Tabla 30. Modelo de priorización Línea 3

El modelo de priorización lineal seleccionó las pérdidas 7, 9, 11 y 12, las cuales de acuerdo al impacto que tienen al %OEE, no son las primeras de un Diagrama de Pareto (Gráfica 16), a diferencia del modelo aplicado a la Línea 1.



Gráfica 16. Pareto de pérdidas

De acuerdo a los resultados obtenidos al aplicar el modelo a la Línea 3, se puede concluir que al tener más restricciones que impiden tomar una decisión sobre qué pérdida eliminar, el modelo de priorización es de considerable ayuda, ya que el usar programación lineal es redundante y no agrega valor.

6. Conclusiones

El sistema de priorización de reducción de pérdidas, es una herramienta que ayuda al equipo que esté encargado de administrar la operación de alguna línea de producción, a tomar una decisión óptima para poder mejorar su productividad, tomando en cuenta ciertas restricciones.

A continuación se mencionan las aportaciones y alcances de este caso de estudio y por lo tanto del sistema de priorización de pérdidas.

Aportaciones

El siguiente caso de estudio utilizó principios de las herramientas de TPM y de calidad para complementarlas con un método de programación lineal para decidir, acorde a ciertas restricciones definidas, la mejor opción a un corto-mediano plazo, para poder incrementar la efectividad de una línea de producción, mediante la mejora de pérdidas de productividad.

Por parte de la herramienta de TPM se utilizaron los siguientes conceptos para la elaboración del presente caso de estudio.

1. OEE. Efectividad global del equipo
2. Pérdidas. Definir los tipos de pérdidas, de acuerdo a la nomenclatura de TPM y establecer un cálculo para dimensionar su impacto en un sistema productivo.

Se utilizaron herramientas de calidad, como el diagrama de Pareto, para poder estratificar las principales pérdidas de productividad, y para determinar el grado de impacto de cada una de éstas a lo largo de un período muestra.

Se desarrolló un modelo de programación lineal definiendo sus variables de decisión, función objetivo y restricciones para que pudiera ayudar a tomar la decisión óptima, con el fin de incrementar la productividad (%OEE) de una línea de producción.

Alcances y limitaciones

El presente caso de estudio se enfocó en mejorar la administración de los recursos disponibles en una línea de producción de toallas sanitarias, para poder incrementar su productividad por medio de la reducción de pérdidas, por tal motivo es necesario que la planta en donde se requiera utilizar la herramienta desarrollada cuente con los siguientes recursos y características:

1. No se contemplará el rubro de seguridad en el modelo lineal, sin embargo, si hay una condición insegura, ésta será prioridad sobre cualquier otra pérdida.

2. El proceso debe de ser un proceso masivo lineal de transformación continua.
3. Debe de contar con un equipo de alto rendimiento multidisciplinario, que conste de un especialista eléctrico, un especialista mecánico y un especialista en procesos que cuenten, como mínimo, con la capacidad de tomar decisiones y disponer de cualquier tipo de recursos (humano, material, tiempo, etc.).
4. Que la planta cuente o haya implementado la herramienta de TPM.
5. Que cuente con un sistema de ejecución de manufactura que recolecte datos operativos de tiempos no productivos, en donde el operador pueda clasificar cada causa de paro.
6. Que el personal que administra la operación de las líneas de producción disponga del Programa Microsoft-Excel, con “solver” habilitado.
7. El modelo de priorización se aprovechará mejor cuando existan más restricciones que dificulte una toma de decisión cuando únicamente existe un diagrama de Pareto para poder elegir la pérdida de reducir o eliminar.
8. Este modelo de priorización no se limita únicamente a ser usado en una línea de producción para poder mejorar su productividad, en industrias donde un equipo de alto desempeño gestione la operación de más de una se puede usar el modelo para seleccionar que pérdidas y de que líneas de producción reducir o eliminar de acuerdo a las restricciones que existan.

9. Indices

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Histórico de OEE de la Línea 1	9
Gráfica 2. Histórico de volumen planeado contra producido y el volumen requerido	10
Gráfica 3. Pareto principales pérdidas junio-agosto 2013 por eventos.....	11
Gráfica 4. Pareto de pérdidas junio-agosto 2013 por minutos.....	12
Gráfica 5. Obtenida de material de clase. Diseño de productos y procesos	15
Gráfica 6. Impacto de pérdidas en el OEE de acuerdo a De Ron (2006).....	20
Gráfica 7. Pérdidas por paros menores junio-agosto 2013.....	25
Gráfica 8. Construcción de un gráfico de Pareto de acuerdo a las pérdidas de la Tabla 4	33
Gráfica 9. Diagrama de Pareto de 2do nivel para las pérdidas por averías, paros menores y de proceso.....	34
Gráfica 10. Pareto de las principales pérdidas de agosto 2013	39
Gráfica 11. Pareto de los procesos con paros menores.....	40
Gráfica 12. Pareto de subprocesos con averías, agosto 2013.....	44
Gráfica 13. Pareto de pérdidas.....	51
Gráfica 14. OEE Mensual 2013 Línea 1.....	53
Gráfica 15. OEE histórico de la Línea 3.....	54
Gráfica 16. Pareto de pérdidas.....	56

Índice de Tablas

Tabla 1. Porcentaje de impacto de las líneas en la categoría de toallas.....	9
Tabla 2. Relación de eventos por sección y pérdida	13
Tabla 3. Relación de minutos por sección y pérdida.....	14
Tabla 4. Pérdidas de TPM de acuerdo a Shirose 1996	17
Tabla 5. Ejemplo con datos propios de una tabla de distribución categórica	26
Tabla 6. Tabla de estratificación.....	35
Tabla 7. Modelo de priorización de pérdidas.....	38
Tabla 8. Secciones de empacado con principales pérdidas por paros menores.....	40
Tabla 9. Estratificación de fenómenos en la sección de sello de bolsa y transportadores.....	41
Tabla 10. Pérdidas de paros menores a priorizar en el proceso de empacado	41
Tabla 11. Subproceso de desenrollado con principales pérdidas por paros menores	41
Tabla 12. Estratificación de fenómenos para los subprocesos de acumulado	41
Tabla 13. Pérdidas de paros menores a priorizar en el proceso de acumulado	42
Tabla 14. Pérdidas de paros menores en desenrollado	42
Tabla 15. Estratificación de pérdidas para el proceso de desenrollado	42
Tabla 16. Pérdidas definidas para el sistema de desenrollado	43
Tabla 17. Estratificación de paros menores en corte de silueta	43
Tabla 18. Pérdidas por paros menores en corte de silueta.....	43

Tabla 19. Principales compontes con averías en la empacadora.....	44
Tabla 20. Equipos del subproceso de construcción	44
Tabla 21. Principales componentes con averías en el irta de cinta central	45
Tabla 22. Número de cambios y por tipo en agosto 2013	45
Tabla 23. Actividades de un cambio de producto	46
Tabla 24. Integración de pérdidas agosto 2013	47
Tabla 25. Restricciones del sistema para la Línea 1.	48
Tabla 26. Valores de restricciones para cada pérdida	49
Tabla 27. Modelo del sistema de priorización de pérdidas	50
Tabla 28. Relación pérdida con tiempo de paro	52
Tabla 29. Distribución de tiempo de paro.....	52
Tabla 30. Modelo de priorización Línea 3	55

Bibliografía

Ahmed, M. H. 2013 *OEE can be your key, change formula for equipment availability to improve performance*. Institute of Industrial Engineers.

Bohlouli, N., Farabi, M., Tirabadi, P., Tajvidi, M. 2013. *Analyzing the Impact of Effective Factors of Implementing TPM System in Manufacturing Organizations (Case Study: Motorzon Co.)*. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. Vol 7(7).

Cochran, D., Eversheim, W., Kubin G., Sesterhenn M. 2000. *The application of axiomatic design and lean management principles in the scope of production system segmentation*.

De Ron A.J., Rooda J.E. 2006. *OEE and equipment effectiveness: an evaluation*. International Journal of Production Research, Vol. 44, No. 23.

Gutiérrez Pulido, Humberto., De La Vara Salazar, Román. *Control estadístico de la calidad y seis sigma*. 2009 2da edición. Mc Graw Hill.

Hillier, Frederick S., Lieberman, Gerald J. 2010 *10ª ed. Introducción a la investigación de operaciones*. McGraw Hill.

Karaulova, T., Kostina M., Sahno J. 2012. *Framework of reliability estimation for manufacturing processes*. Mechanika. 2012 Volume 18(6).

Karaulova, T., Shevtshenko E., Polyanchikov I., Sahno J. 2009. *Reorganisation of production system on SME enterprises*. 2009. Annals of DAAAM for 2009 & Proceedings of the 20th International DAAAM Symposium, Volume 20, No. 1, ISSN 1726-9679.

Miller, Irwin R., Freund, John E., Johnson, Richard. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. 1992 4ed. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A.

Muchiri, P., Pintelon L. 2006. *Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literatura review and practical application discussion*. International Journal of Production Research, Vol. 46, No. 13.

Samat, H. Abdul., Kamarudinn, S., Azid I. Abdul. 2012. *Integration of overall equipment effectiveness (OEE) and reliability method for measuring machine effectiveness*. South African Journal of Industrial Engineering. Vol 23(1).

Sharma, Ashok K., Shudhanshu., Bhardwaj, Awadhesh. 2012. *Manufacturing performance and evolution of TPM*. International Journal of Engineering Science and Technology. Vol 4(23).

Shirose Kuni. TPM, Total Productive Maintenance. *New Implementation Program in fabrication and Assambly Industries*. JIPM-Solutions.

Taha, Hamdy A. 2012 9a ed. *Investigación de operaciones*. Pearson Educación. México, 2012.

Walpole, Ronald E., Myers, Raymond H., Myers, Sharon L. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. 1999 6a ed. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. México.

Winston, Wayne L. (2004). *Investigación de operaciones. Aplicaciones y algoritmos*, 4a ed. Cengage Learning.

Womack, J.P., Jones, D.T. 1996 *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. New York, NY. Simon & Schuster.

Anexos

Anexo 1. Situación actual línea 1

Hora Ini	Fin Paro	Ubicacion	Pérdida
03/06/2013 09:30	03/06/2013 10:58	Línea1_Converter_General	Arranque
05/08/2013 13:31	05/08/2013 13:55	Línea1_Converter_General	Arranque
24/06/2013 12:05	24/06/2013 13:54	Línea1_Converter_General	Arranque
19/08/2013 20:48	19/08/2013 21:08	Línea1_Converter_General	Arranque
24/08/2013 14:14	24/08/2013 16:04	Línea1_Converter_General	Arranque
23/08/2013 19:56	23/08/2013 20:14	Línea1_Converter_Unwinders	Avería
21/08/2013 02:22	21/08/2013 03:04	Línea1_Converter_Unwinders	Avería
15/08/2013 12:59	15/08/2013 13:13	Línea1_Converter_Unwinders	Avería
27/06/2013 12:14	27/06/2013 12:24	Línea1_Converter_Unwinders	Avería
30/07/2013 01:04	30/07/2013 01:20	Línea1_Converter_Construction	Avería
27/07/2013 23:45	28/07/2013 00:12	Línea1_Converter_Construction	Avería
29/07/2013 04:51	29/07/2013 05:11	Línea1_Converter_Construction	Avería
02/06/2013 13:34	02/06/2013 13:55	Línea1_Converter_Unwinders	Avería
02/06/2013 12:29	02/06/2013 12:51	Línea1_Converter_Unwinders	Avería
26/06/2013 08:22	26/06/2013 08:38	Línea1_Converter_Construction	Avería
10/08/2013 01:46	10/08/2013 02:09	Línea1_Converter_Construction	Avería
01/08/2013 21:01	01/08/2013 21:48	Línea1_Converter_TurningUnit	Avería
22/08/2013 11:42	22/08/2013 12:06	Línea1_Converter_StackerConveyors	Avería
15/07/2013 13:47	15/07/2013 14:00	Línea1_Converter_StackerConveyors	Avería
11/07/2013 15:56	11/07/2013 16:08	Línea1_Converter_StackerConveyors	Avería
11/07/2013 14:59	11/07/2013 15:16	Línea1_Converter_StackerConveyors	Avería

Anexo 2. Propuesta solución pérdidas de productividad

Hora Ini	Fin Paro	Minutos Evento	Pérdida
24/08/2013 14:14	24/08/2013 16:04	110.35	Arranque
19/08/2013 20:48	19/08/2013 21:08	20.09999999	Arranque
05/08/2013 13:31	05/08/2013 13:55	24.08333334	Arranque
23/08/2013 19:56	23/08/2013 20:14	17.43333333	Avería
21/08/2013 02:22	21/08/2013 03:04	41.53333333	Avería
15/08/2013 12:59	15/08/2013 13:13	14.43333333	Avería
01/08/2013 21:01	01/08/2013 21:48	47.3	Avería
22/08/2013 11:42	22/08/2013 12:06	23.95	Avería
21/08/2013 11:15	21/08/2013 12:06	51.03333334	Avería
21/08/2013 08:21	21/08/2013 08:35	14.51666668	Avería
21/08/2013 07:34	21/08/2013 07:49	14.43333333	Avería
21/08/2013 03:13	21/08/2013 03:23	10.09999999	Avería
15/08/2013 04:54	15/08/2013 05:06	12.35	Avería
12/08/2013 04:20	12/08/2013 04:31	11.41666666	Avería
09/08/2013 22:50	09/08/2013 23:02	11.18333334	Avería
02/08/2013 23:45	02/08/2013 23:56	11.08333334	Avería
02/08/2013 03:21	02/08/2013 03:38	17.26666667	Avería
13/08/2013 19:39	13/08/2013 20:26	46.55000001	Avería
10/08/2013 23:18	10/08/2013 23:40	21.95	Avería
07/08/2013 17:52	07/08/2013 18:06	14.75	Avería
03/08/2013 01:48	03/08/2013 02:02	13.93333333	Avería
03/08/2013 01:08	03/08/2013 01:20	12.35	Avería
02/08/2013 00:02	02/08/2013 00:16	14.41666666	Avería
22/08/2013 15:38	22/08/2013 15:51	13.6	Avería
15/08/2013 14:54	15/08/2013 15:31	37.03333334	Avería
14/08/2013 00:09	14/08/2013 00:20	10.93333333	Avería
12/08/2013 12:22	12/08/2013 13:37	75.06666666	Avería
19/08/2013 20:23	19/08/2013 20:34	10.18333334	Avería
31/08/2013 01:14	31/08/2013 01:24	10.35	Avería
30/08/2013 03:04	30/08/2013 03:18	14.08333333	Avería
29/08/2013 02:54	29/08/2013 03:14	20.61666667	Avería
28/08/2013 15:11	28/08/2013 15:44	33.03333333	Avería
28/08/2013 04:10	28/08/2013 04:45	34.51666666	Avería
27/08/2013 15:57	27/08/2013 16:07	10.08333333	Avería
27/08/2013 15:35	27/08/2013 15:51	15.74999999	Avería
27/08/2013 14:57	27/08/2013 15:22	25.26666667	Avería
27/08/2013 00:22	27/08/2013 00:44	22.78333334	Avería
26/08/2013 22:43	26/08/2013 22:53	10.43333334	Avería

Anexo 3. Propuesta solución paros menores

Hora Ini	Fin Paro	Ubicacion	Desc Nivel 1	Fenómeno
01/09/2013 05:24	01/09/2013 05:30	Línea1_Converter_Un winders	Desenrollador De Cinta Central	Suciedad
01/09/2013 02:32	01/09/2013 02:37	Línea1_Converter_Un winders	Desenrollador De Polietileno	Rompimiento de guía
01/09/2013 01:58	01/09/2013 02:00	Línea1_Converter_Un winders	Desenrollador De Cinta Central	Suciedad
01/09/2013 01:03	01/09/2013 01:08	Línea1_Converter_Un winders	Desenrollador De Cinta Central	Falla de empalme
01/09/2013 00:47	01/09/2013 00:48	Línea1_Converter_Un winders	Desenrollador De Cinta Central	Falla de empalme
31/08/2013 23:47	31/08/2013 23:53	Línea1_Converter_Un winders	Desenrollador De Cinta Central	Suciedad
31/08/2013 05:07	31/08/2013 05:08	Línea1_Converter_Un winders	Desenrollador De Cinta Central	Suciedad
31/08/2013 04:30	31/08/2013 04:34	Línea1_Converter_Un winders	Desenrollador De Cinta Central	Suciedad
30/08/2013 22:34	30/08/2013 22:37	Línea1_Converter_Un winders	Desenrollador De Cinta Central	Suciedad
30/08/2013 11:42	30/08/2013 11:49	Línea1_Converter_Un winders	Desenrollador De Polietileno	guía enredada
30/08/2013 04:45	30/08/2013 04:50	Línea1_Converter_Un winders	Desenrollador De Cinta Central	Suciedad
30/08/2013 02:40	30/08/2013 02:43	Línea1_Converter_Un winders	Desenrollador De Cinta Central	Suciedad
29/08/2013 05:25	29/08/2013 05:29	Línea1_Converter_Un winders	Desenrollador De Cinta Central	Suciedad
29/08/2013 03:19	29/08/2013 03:22	Línea1_Converter_Un winders	Desenrollador De Cinta Central	Suciedad
29/08/2013 00:29	29/08/2013 00:33	Línea1_Converter_Un winders	Desenrollador De Cinta Central	Suciedad
29/08/2013 00:03	29/08/2013 00:08	Línea1_Converter_Un winders	Desenrollador De Cinta Central	Suciedad
28/08/2013 03:53	28/08/2013 03:55	Línea1_Converter_Un winders	Desenrollador De Cinta Central	Suciedad
28/08/2013 02:07	28/08/2013 02:12	Línea1_Converter_Un winders	Desenrollador De Cinta Central	Suciedad
27/08/2013 23:10	27/08/2013 23:14	Línea1_Converter_Un winders	Desenrollador De Cinta Central	Suciedad
26/08/2013 16:56	26/08/2013 17:03	Línea1_Converter_Un winders	Desenrollador De Cinta Central	Rompimiento de guía
24/08/2013 03:10	24/08/2013 03:16	Línea1_Converter_Un winders	Desenrollador De Cinta Central	Suciedad

Anexo 4. Propuesta solución averías

Hora Ini	Fin Paro	Ubicacion	Desc Nivel 1	Componente
31/08/2013 20:36	31/08/2013 20:51	Línea1_Converter_Constru ction	Irta De Cinta Central	banda de transmisión
31/08/2013 19:23	31/08/2013 20:23	Línea1_Converter_Constru ction	Irta De Cinta Central	banda de alimentación
31/08/2013 19:07	31/08/2013 19:22	Línea1_Converter_Constru ction	Irta De Cinta Central	cuchillas
31/08/2013 15:54	31/08/2013 16:22	Línea1_Converter_Constru ction	Irta De Cinta Central	banda de transmisión
28/08/2013 17:50	28/08/2013 18:14	Línea1_Converter_Constru ction	Irta De Cinta Central	cuchillas
27/08/2013 18:31	27/08/2013 19:04	Línea1_Converter_Constru ction	Irta De Cinta Central	banda de transmisión
27/08/2013 18:19	27/08/2013 18:31	Línea1_Converter_Constru ction	Irta De Cinta Central	banda de transmisión
27/08/2013 16:25	27/08/2013 16:50	Línea1_Converter_Constru ction	Irta De Cinta Central	cuchillas
25/08/2013 06:11	25/08/2013 06:33	Línea1_Converter_Constru ction	Irta De Cinta Central	cuchillas
25/08/2013 05:01	25/08/2013 05:45	Línea1_Converter_Constru ction	Irta De Cinta Central	cuchillas
22/08/2013 21:44	22/08/2013 21:59	Línea1_Converter_Constru ction	Irta De Cinta Central	banda de transmisión
21/08/2013 19:05	21/08/2013 19:24	Línea1_Converter_Constru ction	Irta De Cinta Central	banda de alimentación
10/08/2013 01:46	10/08/2013 02:09	Línea1_Converter_Constru ction	Irta De Cinta Central	cuchillas
31/08/2013 01:14	31/08/2013 01:24	Línea1_Converter_PackerB agSeal	Sello De Bolsa	Cabezas de sello
30/08/2013 03:04	30/08/2013 03:18	Línea1_Converter_PackerB agSeal	Pateadores	Pateadores
29/08/2013 02:54	29/08/2013 03:14	Línea1_Converter_PackerB agSeal	Sello De Plegadiza	Cabezas de sello
28/08/2013 15:11	28/08/2013 15:44	Línea1_Converter_PackerB agSeal	Pateadores	Pateadores
28/08/2013 04:10	28/08/2013 04:45	Línea1_Converter_PackerB agSeal	Sello De Bolsa	Cabezas de sello
27/08/2013 15:57	27/08/2013 16:07	Línea1_Converter_PackerB agSeal	Pateadores	Pateadores
27/08/2013 15:35	27/08/2013 15:51	Línea1_Converter_PackerB agSeal	Pateadores	Pateadores

Anexo 5. Propuesta solución cambios/ajuste

Hora Ini	Fin Paro	Categoria	Desc Nivel 3
30/08/2013 13:12	30/08/2013 14:46	Change Over Downtime	Conteo (empacadora)
29/08/2013 02:19	29/08/2013 02:52	Change Over Downtime	Conteo (empacadora)
28/08/2013 20:12	28/08/2013 22:36	Change Over Downtime	Conteo (empacadora)
27/08/2013 08:06	27/08/2013 09:32	Change Over Downtime	Conteo (empacadora)
21/08/2013 04:01	21/08/2013 04:11	Change Over Downtime	Conteo (empacadora)
19/08/2013 19:43	19/08/2013 20:20	Change Over Downtime	Conteo (empacadora)
18/08/2013 03:59	18/08/2013 05:27	Change Over Downtime	Conteo (empacadora)
04/08/2013 05:50	04/08/2013 07:37	Change Over Downtime	Conteo (empacadora)
28/08/2013 22:52	28/08/2013 23:04	Change Over Downtime	Conteo (empacadora)
20/08/2013 12:58	20/08/2013 13:24	Change Over Downtime	Conteo (empacadora)
04/08/2013 14:52	04/08/2013 15:52	Change Over Downtime	Conteo (empacadora)
12/08/2013 12:03	12/08/2013 12:17	Change Over Downtime	Material
24/08/2013 09:55	24/08/2013 14:12	Change Over Downtime	Producto (convertidora)
04/08/2013 22:37	04/08/2013 23:37	Change Over Downtime	Producto (convertidora)
01/08/2013 14:32	01/08/2013 20:15	Change Over Downtime	Producto (convertidora)