

Modelado y optimización de un proceso crítico en una PyME

Andrés Aquino, Ezequiel Terreu, José Ignacio Nicolao García, Antonio Morcela

Observatorio Tecnológico – OTEC; Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata,
Av. Juan B. Justo 4302; C.P.: 7600, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina
otec@fi.mdp.edu.ar

Resumen. En el presente trabajo se determinó la capacidad productiva real de la máquina de corte automática que posee una empresa PyME con el fin de poder implementar cotas de producción adecuadas para los operarios en su jornada laboral. Esto se llevó a cabo mediante el estudio del proceso de corte, relevando el mismo y tomando los tiempos que demanda cada actividad que compone el proceso. Se determinó el tiempo de corte promedio y el número de cortes promedio que realiza la empresa, además de discriminar qué tiempos son realmente productivos y agregan valor al producto y qué tiempos son externos al proceso de valorización del producto final y deben ser reducidos en pos de aumentar la productividad. En base al análisis de datos y de causas se proyectó una estimación de productividad que puede tener el proceso operando bajo ciertas condiciones. Los resultados se validaron mediante simulación.

Palabras Clave: productividad - supervisión – simulación - optimización.

1 Introducción

El estudio del trabajo es el examen sistemático de los métodos para realizar actividades con el fin de mejorar la utilización eficaz de los recursos y establecer normas de rendimiento con respecto a las actividades que se están realizando. El contenido básico de trabajo es el tiempo mínimo irreducible que se necesita teóricamente para obtener una unidad de producción. Sin embargo, los tiempos reales invertidos en las operaciones son superiores a los teóricos debido a un tiempo total improductivo existente [1].

Las principales técnicas que se emplean para la medida del trabajo son el estudio de tiempos con cronómetro; el método de las observaciones instantáneas (muestreo de trabajo); el sistema de tiempos predeterminados (MTM, Modaps, MOST); el empleo de videos; la síntesis de los datos tipos; y por último la evaluación analítica [1].

El presente trabajo es un resumen de un trabajo final de graduación [2] de la carrera de Ingeniería Industrial, que a su vez es la continuación de una práctica profesional supervisada llevada a cabo en una PyME de la ciudad de Mar del Plata. La empresa se dedica a la distribución de materias primas para la construcción en seco, remodelación y fabricación de muebles, donde el 79% de los productos que se comercializan pueden sufrir proceso de corte, para esto se dispone de una máquina manual y una automática encargadas de dicha operación. Otra actividad que se realiza, es el pegado de cantos a las distintas placas de acuerdo a la tonalidad solicitada. Cada uno de estos servicios posee un cargo adicional.

El principal objetivo de la investigación ha sido analizar el proceso productivo (corte de placas de acuerdo a las especificaciones del cliente), hallar las actividades críticas y buscar alternativas de optimización y productividad. Con el objetivo de conocer el proceso implicado se realizó el análisis estadístico de datos históricos y la observación de videos en distintas situaciones de trabajo.

La simulación se puede entender como la técnica de reproducir una serie de condiciones sobre un modelo y observar su evolución. El análisis de Monte Carlo involucra la solución de un problema matemático no probabilístico, mediante la simulación de un proceso estocástico cuyos momentos o distribuciones de probabilidad satisfacen las relaciones matemáticas del problema no probabilístico [3].

Mediante la simulación se puede estudiar los efectos de determinados cambios informativos, de organización, y ambientales, en la operación de un sistema, al hacer alteraciones en su modelo y observar los efectos de estos en el comportamiento del sistema. La observación detallada del sistema que se está simulando, conduce a un mejor entendimiento del mismo y proporciona sugerencias para mejorarlo, que de otra manera no podrían obtenerse.

Entre las principales ventajas de la simulación podemos mencionar el estudio del efecto de cambios internos y externos del sistema, además de lograr un mejor entendimiento de lo que sucede [4]. En definitiva, la simulación puede servir como prueba de pre servicio para ensayar nuevas políticas y reglas de decisión en la operación de un sistema [5].

2 Materiales y métodos

El estudio de casos se basó en la investigación cuantitativa, la cual contrasta una teoría existente, en lugar de generar una. Se fundamenta en el contraste de teorías ya existentes a partir de una serie de hipótesis surgidas de la misma, siendo necesario obtener una muestra como objeto de estudio [6].

Por lo tanto, podemos decir que un estudio de casos es un método de aprendizaje acerca de una situación compleja basándose en el entendimiento comprensivo de una situación de similares características.

Como fuentes de datos primarias se utilizaron los datos históricos del proceso de corte en un período determinado [7], la observación directa [8] del proceso de corte en tiempo real mediante el estudio de videos grabados en la empresa (de esta manera se evita influenciar el comportamiento normal de los empleados en su jornada laboral al ser observados) y por último entrevistas directas semi-estructuradas (es decir, con ciertas preguntas previamente planteadas pero dejando hablar al entrevistado) con los operarios del proceso de corte, los supervisores y los gerentes de la empresa [9].

Se analizaron los videos del proceso de corte grabados en agosto y septiembre de 2017 y algunos videos de interés particular en diciembre del mismo año. Adicionalmente fueron realizadas entrevistas semi-estructuradas a los dos operarios del proceso de corte, al operario encargado del autoelevador, al supervisor de los operarios y a uno de los gerentes de la empresa.

Se procesaron los datos mediante el software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) de IBM, el software Crystal Ball de Microsoft Excel, y la planilla de cálculos Excel.

3 Resultados y discusiones

En primer lugar, se debió establecer qué actividades componen el proceso de corte y realizar la recolección de datos históricos, procesarlos y analizar los valores obtenidos. Se obtuvieron los datos históricos de número de cortes por máquina en los días comprendidos entre abril del 2016 y enero del 2017. Además, se pudo contar con los datos correspondientes al mes de agosto de 2017 completo.

Se optó por analizar el funcionamiento del proceso desde dos fuentes de datos distintas: el análisis de los datos históricos del proceso de corte y, por otro lado, la recopilación de datos en base al análisis de los videos brindados por la empresa. En este informe solo trataremos la primera parte, correspondiente a la revisión y análisis de los datos históricos.

Se realizó un análisis de los datos históricos mensuales de corte para luego corroborar los tiempos y estudiar con más detalles las actividades del proceso con el material en video brindado por la empresa correspondiente al mes de agosto 2017.

Para comenzar el estudio del proceso de corte, mediante la observación del mismo, se realizó un diagrama de flujo y se diferenció el proceso en las 6 actividades que lo componen:

- 1- Carga la orden al software del equipo
- 2- Transporte del material hacia el equipo
- 3- Carga del material en el equipo
- 4- 1er Corte-Retiro y puesta en espera de piezas intermedias
- 5- Carga de piezas intermedias - 2do Corte - Retiro de Piezas Finales
- 6- Tiempo de Espera

Se determinó que las actividades 2, 3 y 6, no son tareas que le agreguen valor al producto final, además, durante los períodos de tiempo que ocupan estos elementos, la máquina se encuentra improductiva.

3.1. Revisión de los datos históricos del proceso de corte

De acuerdo a los datos históricos brindados por la empresa se logra establecer el promedio diario de cortes realizados en la máquina automática en estudio.

La información utilizada corresponde a los meses de abril, mayo, junio, julio, octubre, noviembre y diciembre del año 2016 y enero y agosto del año 2017.

Analizando los datos se establece que el número de cortes diarios realizados por la máquina automática es de 230, sin considerar el régimen de trabajo. Es decir, sin considerar si la máquina trabaja de forma paralela con la máquina manual o como único medio de corte.

Sin embargo, considerando el régimen de trabajo se observa que al operar paralelamente con la máquina manual (del 04 al 20 de abril 2016 y del 01 de octubre 2016 en adelante) el promedio de cortes de la máquina automática es de 180 cortes/día. Funcionando de manera individual con ambos cortadores en la máquina automática (del 20 de abril al 01 de octubre 2016) el promedio de cortes es de 320 cortes/día.

Se observa (Fig. 1) que el funcionamiento de la máquina automática mejora cuando esta se encuentra operando como equipo exclusivo de corte.

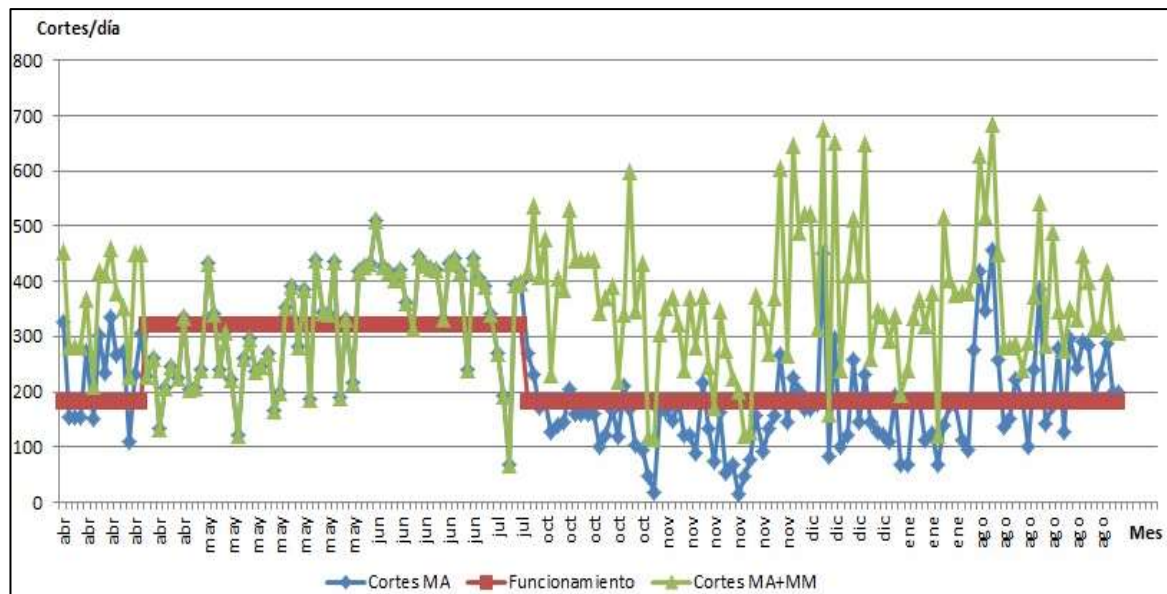


Fig. 1. Comparación de funcionamiento máquina automática. Fuente: Elaboración Propia

3.2. Análisis exploratorio de datos históricos del proceso de corte

Teniendo en consideración la variabilidad del proceso, se procede a analizar estadísticamente los datos de cortes diarios históricos procedentes de los meses abril, mayo, junio, julio, octubre, noviembre y diciembre del año 2016 y enero y agosto del año 2017. El objetivo es establecer cuáles son los valores representativos del proceso y descartar los valores atípicos que introducen distorsión en los estadísticos de la muestra.

Los datos se agruparon de acuerdo a dos criterios; el primero fue separar el día de la semana al que correspondía dicha información teniendo en consideración que la jornada laboral del día sábado corresponde a un turno de 4 h, mientras que de lunes a viernes el mismo es de 8 h. Como segundo criterio, se tuvo en consideración el régimen de trabajo de la máquina automática (a partir de ahora nos referiremos a esta como MA), ya sea trabajando como único medio de producción con ambos cortadores

enfocados en la misma o de forma paralela con la máquina manual (utilizaremos MM para referirnos a la misma).

En la Fig. 2 se muestran los resultados obtenidos en un diagrama de cajas (o box-plot) realizado a través de SPSS, diferenciados por los distintos días de la semana y de acuerdo al régimen de trabajo de la máquina automática (en paralelo a la máquina manual o trabajando en solitario).

En nuestro caso, los valores atípicos (outliers) se pueden atribuir a actividades anormales dentro de la jornada laboral, como puede ser la descarga de camiones de proveedores, la carga de mercadería al cliente o el ausentismo de algún empleado.

Se puede observar en la Fig. 2 que el comportamiento de las distribuciones de los días de la semana es similar entre ellas, mientras que la de los días sábados el comportamiento es diferente. Por tal motivo, se procedió a agrupar los días de la semana en una única distribución. La Fig. 3 muestra los nuevos valores obtenidos agrupados según si pertenecen al día sábado (Sab) o al resto de los días de la semana (Sem).

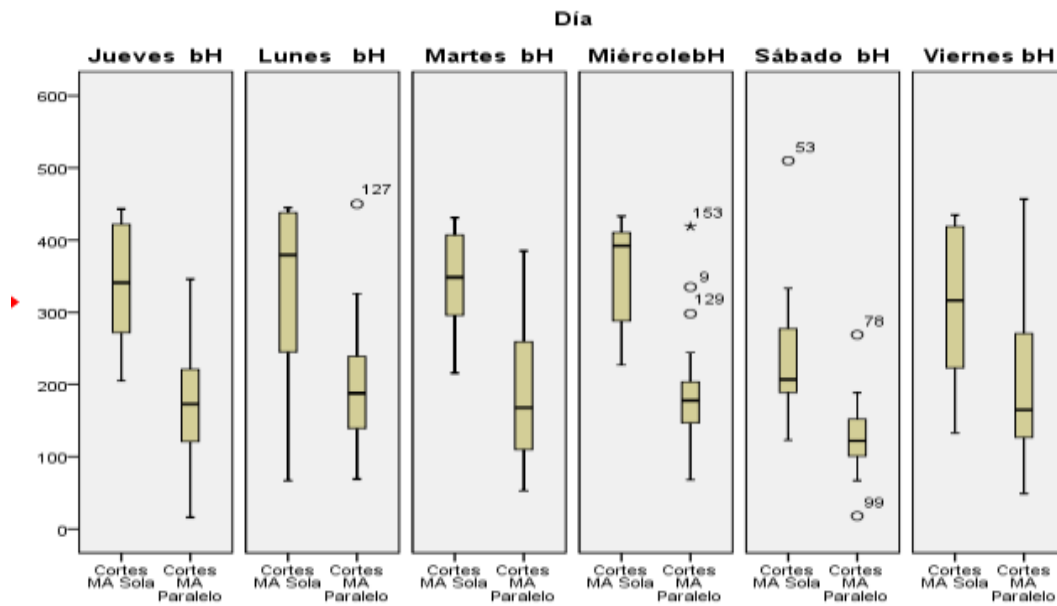


Fig. 2. Box-plot por días de la semana diferenciados y por régimen de trabajo. Fuente: elaboración propia.

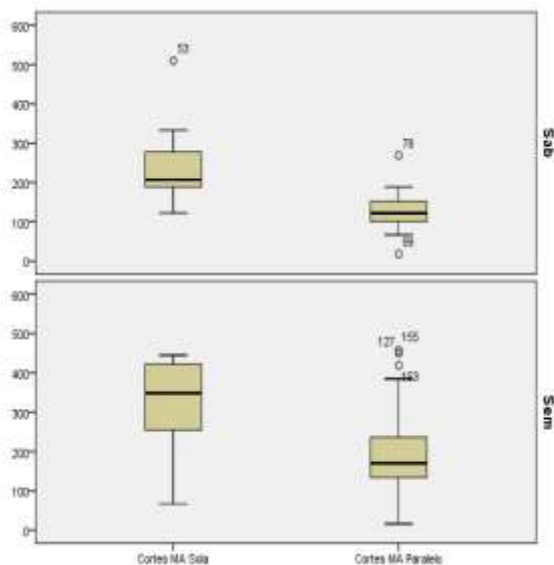


Fig. 3. Gráfico de caja segmentado en sábado y día de semana. Fuente: Elaboración Propia.

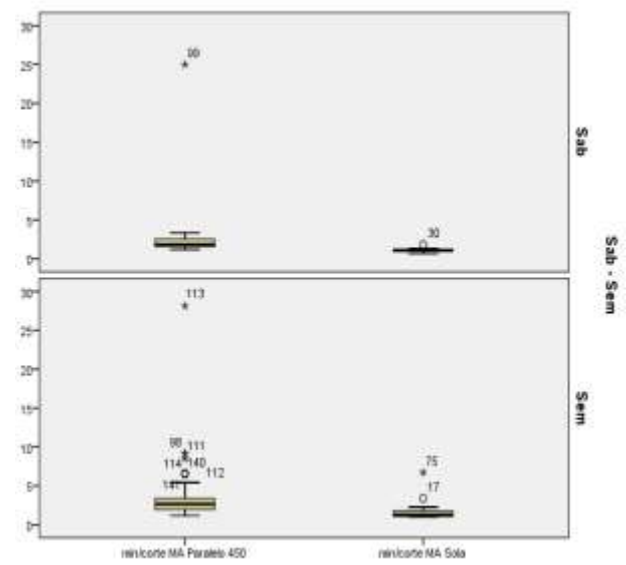


Fig. 4. Box-Plot de los tiempos promedio de corte diferenciados por régimen de trabajo. Fuente: Elaboración Propia.

Una vez realizando el box-plot con los datos agrupados de acuerdo a si pertenecen a un sábado o a un día de semana se procede a eliminar los puntos atípicos/outliers (observaciones N° 127, 153, 9, 129, 53, 78 y 99) ya que no son valores representativos de la serie de datos.

3.3. Cálculo de los tiempos de corte diarios

A continuación, se calcula la duración promedio de un corte (en minutos) de acuerdo a los valores históricos, considerando:

Los días de la semana tienen dos turnos de 4 h lo cual se traduce en 480 minutos/día, de los cuales se determina que el empleado toma un lapso de 15 minutos entre que prepara su lugar de trabajo hasta que comienza a realizarlo. Esto nos da como resultado un tiempo total de trabajo de 450 min. por día.

El día sábado tiene solo un turno de 4 h, que representan 240 min/día. De la misma manera, se determina que el tiempo real de trabajo es de 225 min. por día sábado.

Una vez obtenidos los tiempos de corte (min/corte) tanto para el día sábado como día de la semana, se lleva a cabo un nuevo gráfico box-plot. Se procede a eliminar aquellos valores atípicos. Los mismos se encuentran en la Fig. 4.

3.4. Cálculo del número promedio de cortes por día

Por último, se procede a calcular el promedio de tiempo por corte (min/corte) de la máquina automática en los dos regímenes de trabajo. En la Tabla 1, se representa el tiempo promedio de corte, la desviación, el mínimo y máximo, el rango y finalmente se calcula el número de cortes diario promedio.

Tabla 1. Tiempo promedio de corte y Número promedio de cortes diarios. Fuente: Elaboración Propia.

[min/corte]	min/corte MA Paralelo STD	min/corte MA Sola STD
Promedio	2,56	1,34
Desviación estándar	0,94	0,39
Valor mínimo	1,17	0,68
Valor máximo	5,42	2,27
Rango	4,25	1,60
Cortes/día	176	336

3.5. Cálculo del número promedio de cortes por orden

La empresa almacena las órdenes de trabajo realizadas durante el último mes, posterior a esto, son desechadas. Por lo tanto, se pudieron obtener las correspondientes al mes de agosto de 2017. Contando con esto, se procedió a contar el número de cortes totales por orden con el objetivo de poder calcular un número promedio de cortes por orden. Se relevaron en total 375 órdenes de trabajo, anotando el número total de cortes en cada una de ellas. Finalmente se calculó el promedio obteniendo unos 17,6 cortes por orden.

3.6. Validación por Simulación

Se realiza una simulación con el fin de obtener qué resultados se habrían obtenido durante el período en que ambos cortadores trabajaban en la máquina automática (última quincena de abril, mayo, junio y julio de 2016) de forma simultánea si hubiese realizado las tareas con las condiciones de trabajo que luego fueron utilizadas por el cortador actual de la máquina automática junto al supervisor (diciembre 2017).

Dicha simulación fue realizada con el software Crystal Ball (aplicación que se ejecuta como un *add on* sobre Microsoft Excel), a través del Modelo de MonteCarlo. Se consideró una mejora del tiempo del 55,53%, y una desviación estándar, obtenido a través de las comparaciones de las distintas órdenes entre sí, de un 32,54%.

Estos porcentajes fueron simulados sobre los datos brindados por la empresa respecto al número de cortes producidos en cada uno de los días previamente mencionados. Se procedió con correr la simulación a un 95% de confianza y un total de 1.000 iteraciones. Los resultados obtenidos se muestran a continuación en la Fig. 5.

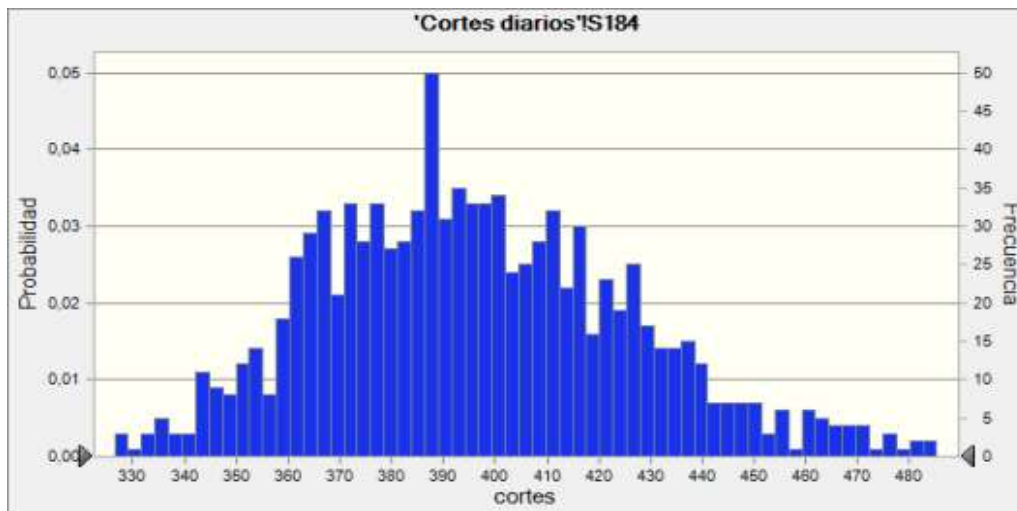


Fig. 5. Salida del Crystal Ball. Fuente: Elaboración Propia.

Con la utilización de los parámetros obtenidos mediante el análisis comparativo, se simularon dichas condiciones obteniendo un caso base promedio de 395 cortes/día. El número promedio de cortes diarios históricos con una sola máquina en operación es de 327, es decir, 68 cortes menos que los obtenidos en la simulación. Dicho valor representa una mejora del 21% respecto a la situación histórica.

Se realiza una comparación sobre la situación simulada respecto a los datos históricos de la empresa con dos operarios trabajando en la máquina automática.

A través del análisis de datos históricos, se determinó que el número promedio de cortes diarios con una sola máquina en operación es de 327, es decir, 68 cortes menos que los simulados previamente. Dicho valor representa una mejora del 21% respecto a la situación histórica.

Considerando, a través del estudio previamente realizado, un promedio de 17,6 cortes por orden, se podría decir que la empresa está dejando de vender 3,86 placas por día. Si se proyecta este valor a su equivalente mensual, asciende a 85 placas por mes.

4 Conclusiones

Habiendo analizado el proceso de corte desde dos fuentes distintas, los valores históricos y el análisis de videos, hay coherencia entre los resultados obtenidos. Si bien existe una diferencia, se puede atribuir a distintas actividades que los cortadores realizan fuera de su labor establecida. Dichas actividades no se pueden observar en los videos, pero generan un aumento de los tiempos del proceso.

Cuando el trabajador de la máquina automática realiza su trabajo con un ayudante y a su vez, una supervisión más rigurosa y constante, la desviación estándar y el rango del elemento “Tiempo de Espera” disminuyen considerablemente.

A su vez la disminución generada en cada uno de los elementos que componen el proceso de trabajo varía entre un 21% y 88%. Cabe destacar la composición interna de dicha disminución, generando un 38,19% a la parte que consideramos interna del proceso, es decir, aquellos elementos que son necesarios para lograr el producto final y le atribuyen valor, y una disminución del 83,15% a aquella considerada externa, es decir que se debe reducir a su mínima expresión ya que no aporta valor al producto.

Finalmente, se puede afirmar que se ha identificado la etapa crítica del proceso productivo y mediante técnicas de optimización aplicadas al modelo hallado, se ha podido verificar una reducción del 48,63 % en el tiempo de proceso.

Agradecimientos

Los autores quieren expresar su agradecimiento a la empresa Lar Materiales de Carpintería S.A., su personal y directivos, por la colaboración, confianza y por ayudarnos a construir juntos este desarrollo.

Referencias

- [1] Kanawaty, G. (1996). Introducción al Estudio del Trabajo. OIT (Organización Internacional del Trabajo). Suiza.
- [2] Aquindo, E. A.; Terreu, E. (2018). Análisis del sistema de remuneraciones y su impacto en la productividad de una PyME. El caso LAR S.A. Trabajo Final de Graduación. Mar del Plata: Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, UNMdP.
- [3] Krajewski, L.J.; Ritzman, L.P. (2000). Administración de Operaciones, Estrategia y Análisis. 5ta.ed – Pearsons Educación. México.
- [4] Azarang M. García E. (2012). Simulación y análisis de modelos estocásticos. Editorial Mc Graw Hill. México.
- [5] San Isidro, M.J. (1998). Proceso de Validación de Modelos de Simulación. Departamento de Energías Renovables, Ciudad Universitaria de Madrid. España.
- [6] Martínez Carazo, P. C. (2006). El método de estudio de caso: Estrategia metodológica de la investigación científica. Universidad del Norte. Barranquilla, Colombia.
- [7] Buonocore, Domingo (1976). Diccionario de Bibliotecología. (2 ed.). Editorial Marymar. Buenos Aires, Argentina.
- [8] Holmes (2013). “Direct Observation”. Extraído el 19 de septiembre de 2017, de link.springer.com
- [9] Lukas, J.F. y Santiago. K. (2009) “Historia de la evaluación educativa”. Madrid, Alianza.