

SIMULACIÓN DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS PUSH Y PULL UTILIZANDO HERRAMIENTAS TECNOLOGICAS - EXCEL

Geraldine Tatiana Casallas Gutiérrez, Juliana Geraldine Quevedo Vargas, Laura Alejandra Tamayo Pineda, Cristian David Cárdenas Garzón

Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito, Programa de ingeniería Industrial, Bogotá, Colombia

geraldine.casallas@mail.escuelaing.edu.co, juliana.quevedo@mail.escuelaing.edu.co,
laura.tamayo@mail.escuelaing.edu.co, cristian.cardenas-g@mail.escuelaing.edu.co

Con formato: Fuente: Maiandra GD

Con formato: Centrado

RESUMEN

El siguiente trabajo tiene como objetivo presentar un modelo de simulación de los sistemas Pull y Push, esto con el fin de complementar los conocimientos teóricos vistos en clase respecto a la planeación de inventario, mediante la aplicación de problemáticas que pueden presentarse en casos reales; y así los estudiantes puedan desarrollar competencias analíticas y críticas. Este trabajo se realizó por parte de estudiantes de Ingeniería Industrial, con el apoyo del docente encargado de la asignatura Planeación y Control de Operaciones e Inventarios de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Con formato: Español (Colombia)

ABSTRACT

The following work aims to present a simulation model of Pull and Push systems, in order to complement the theoretical knowledge seen in class regarding inventory planning, through the application of problems that may arise in real cases; and thus students can develop analytical and critical skills. This work was carried out by students of Industrial Engineering, with the support of the teacher in charge of the subject Planning and Control of Operations and Inventories of the Colombian School of Engineering Julio Garavito.

INTRODUCCIÓN

ECIBURGER, surgió de la necesidad de establecer nuevas metodologías de aprendizaje dada la nueva modalidad de estudio que afrontan las universidades, por lo cual se diseñó una simulación lúdica que permita la interacción entre grupos de trabajo de manera remota, a través del uso de herramientas tecnológicas y la aplicación de técnicas de sistemas de producción que son indispensables para el aprendizaje de la planeación y control de inventarios.

Este tipo de herramientas tiene como fin ayudar a los estudiantes para que desarrollen un pensamiento lógico y analítico en la solución de problemas complejos en un proceso productivo; casos prácticos evidencian resultados positivos de la aplicación de estos métodos en distintas universidades y por lo cual se desarrolló el caso ECIBURGER, que simula el proceso productivo de Hamburguesas, donde se le entregan al estudiante una serie de datos iniciales con los cuales deberán generar una estrategia de planeación que asegure y aumente la rentabilidad de la empresa, todo esto teniendo en cuenta el conocimiento teórico explicado en clase.

PALABRAS CLAVE: Simulación, sistemas productivos, Pull, Push, gamificación, alternativas pedagógicas

ALTERNATIVAS PEDAGÓGICAS EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR

Las tecnologías de la información y comunicación (TIC) han venido impactando la forma en como interactuamos, por tal motivo, ha sido un reto para diferentes instituciones educativas implementar la tecnología en procesos de enseñanza. A continuación, se presentan diferentes ejemplos de la exitosa implementación de las TIC en la educación superior:

En la [Universidad de Ibagué \[1\]](#), se utilizó un videojuego para la enseñanza de álgebra lineal en estudiantes que se encontraban entre segundo y cuarto semestre en programas de ingeniería civil, sistemas, electrónica, mecánica e industrial. El juego consistía en una plataforma en donde se les hacían diferentes preguntas a los estudiantes sobre suma de vectores y dependiendo de su respuesta, obtenían una insignia o una máscara siniestra. Con esta metodología, lograron evidenciar que a más del 90% de los estudiantes le pareció que jugando es una forma más divertida de aprender y de apropiarse de conocimiento de manera más eficiente.

En el [Instituto Superior Técnico](#), ubicado en Portugal, se realizó una comparación de un antes y después de implementar estrategias de gamificación en un curso de ciencias de la computación, el programa consistía en una página web donde existían diferentes retos que, al ser realizados exitosamente, se le brindaban puntos al estudiante lo cual le permitía subir de nivel. Además, la página posee un tablero de clasificación en donde cada estudiante puede ver no solo su progreso, sino el de sus compañeros, lo cual le permite comprometerse más con la asignatura para lograr los diferentes objetivos que la plataforma propone. El resultado fue bastante exitoso al mostrar que los estudiantes se comprometieron más en realizar actividades que típicamente evitarían como por ejemplo la lectura, la participación en foros y la sugerencia de materiales que aporten al conocimiento de la asignatura.

ALTERNATIVAS PEDAGÓGICAS EN LA ENSEÑANZA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

En carreras que se involucran con el diseño de sistemas de producción como lo es la ingeniería industrial, las [alternativas pedagógicas](#) para [la enseñanza](#) son fundamentales para que se alcance un gran conocimiento de las metodologías y técnicas de producción, no solo en base a lo que dice la teoría, si no al enfrentamiento de problemas que no se contemplan pero que se presentan en la realidad, acercar a los estudiantes a un proceso productivo puede generar confianza a la hora que se enfrenten a un caso de la vida real además, aumentar su capacidad resolutoria para estos sistemas tan complejos y desarrollar una alta capacidad de toma de decisiones con base al proceso de producción.

En el centro de investigación científica y tecnológica de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL, 2010), ubicada en Ecuador, desarrollaron un caso titulado “Caso Fabrica RPH Motors” con el fin de complementar el conocimiento en cuanto al tema de sistemas de producción, como resultado obtuvieron mejorar el proceso de aprendizaje y el desarrollo del pensamiento creativo y crítico del estudiante en el análisis de metodologías y técnicas de producción, fomentaron el trabajo en equipo y permitió a los estudiantes diferenciar entre un sistema Push y Pull. En esta investigación al igual que a la de ECIBURGER desarrollaron un caso en el que se recopila toda la información necesaria para que los estudiantes se puedan enfrentar a la

simulación, en este se encuentra una lectura fácil para que allá buena comprensión del tema, hay una identificación clara de los productos que se van a fabricar, el diagrama de flujo de producción, se definen y especifican las estaciones de puesto de trabajo, se listan unas condiciones iniciales y en esta parte la demanda se define a ensayo y error, para el modelo de simulación se construyó en base a que los estudiantes pudieran tener mayor acercamiento a la industria, al enfrentamiento de problemas cotidianos y analizar soluciones viables de forma práctica, para esto utilizaron legos mientras que para el caso de ECIBURGER se implementó en el software de Excel. Para determinar los productos del proceso productivo se realizó una búsqueda con ciertos requerimientos, uno de estos era que fuera fácil de ensamblar y desensamblar por ello escogieron carro, moto y barco, para el caso de ECIBURGER además de establecer este criterio se definió que el producto debía tener algún acercamiento a los estudiantes para que tuvieran mayor comprensión del proceso, por eso se implementaron dos tipos de hamburguesas, ya que es un producto que casi todo el mundo ha consumido.

Otro caso exitoso de la aplicación de estas simulaciones de sistema de producción en la academia, se da la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia¹ que desarrollaron para la asignatura de Gestión de la producción y operaciones, una guía lúdica de “Push and Pull” en donde el estudiante tiene la oportunidad de aplicar y afianzar conceptos, herramientas y modelos que los capaciten para la toma de decisiones al interior de un sistema productivo real por medio de una actividad lúdica representada con figuras LEGO en donde se genera una simulación de un proceso productivo de fabricación de piezas miniatura que se maneja bajo un modelo Push y Pull, lo que permite la recolección de datos importantes para el futuro análisis de indicadores que permitan determinan las ventajas, desventajas y características entre los distintos sistemas de producción; esta guía al igual que el presente trabajo ECIBURGER tiene como fin servir como herramienta practica de apoyo a los docentes en sus clases y a los estudiantes les permitan comprender los sistema de producción de una manera más entretenida y dinámica, la metodologías usadas en ambas simulaciones tienen diferencias mínimas las cuales radican en el modo de aplicación de la actividad, uno en un espacio virtual con la ayuda de herramientas tecnológicas y otro en un ambiente más físico y tangible.

Adicionalmente se encontró un proyecto en el cual se hizo uso de la gamificación ya que se encuentra ligada con el concepto “learning by doing”, esta metodología fue aplicada en un master en logística de la universidad de Valladolid (Rodríguez Lago, 2016); con el fin de desarrollar un juego didáctico para el aprendizaje y asimilación de diversos conceptos englobados a la metodología Lean Manufacturing.

“este tipo de aprendizaje provoca que el alumno aprenda con facilidad porque tiene mayor predisposición para recibir los conocimientos que pretende transmitirles dicha actividad lúdica puesto que se dedican a ella con placer o cual aumenta su concentración en la misma y asimila mayor cantidad de conocimientos que los que recordaría después de una clase magistral tradicional.” (Rodríguez Lago, 2016)

Lego game flow consiste en confrontar diferentes enfoques para los procesos con respecto a cómo fluye la producción. El juego tiene como fin la construcción, de un calendario para la producción, lo cual permite marcar el siguiente producto a fabricar ya que se localizan el set de piezas necesarias para elaborar dicho producto. Después este pasa a la estación donde se realiza

¹ Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, guía lúdica,
http://rdigitales.uptc.edu.co/memorias/index.php/admin_indus/admin_indus/paper/view/1761

el montaje y así construir el producto que se tiene planeado, finalmente este llega a la última estación donde se verifica que cumple con los requisitos; todo el flujo de la operación sucede a través de cuatro roles principales, analistas, función suministro o proveedor, montaje y aceptación o control de calidad, además el juego consta de tres etapas donde cada una pertenece a un enfoque (push, time-boxed y pull).

ECIBURGER es similar a Lego game flow ya que maneja dos de los enfoques mencionados anteriormente, al igual que la existencia de distintos roles que busca que los estudiantes desarrollen habilidades de trabajo en equipo y vean la importancia de este. Así mismo, se pretende que a través de estos juegos los estudiantes puedan entender de mejor forma los enfoques push y pull, y que los profesores tengan herramientas como esta para facilitar el aprendizaje de los estudiantes.

METODOLOGÍA DE ALTERNATIVA PEDAGÓGICA PROPUESTA.

ECIBURGER es una fábrica de hamburguesas reconocida entre los estudiantes de la Escuela Colombiana ingeniería Julio Garavito por su gran calidad; cuenta con dos productos para satisfacer la demanda de sus clientes Hamburguesa de Carne de res y Hamburguesa Vegetariana con carne de soya.

Hamburguesa de Carne (1)



CARNE DE RES (1)

QUESO (1)

PAN (2)

Ilustración 1 BOM Hamburguesa de Carne

Hamburguesa Vegetariana (1)



CARNE DE SOYA (1)

QUESO (1)

PAN (2)

Con formato: Fuente: 11 pto
 Con formato: Fuente: Maiandra GD, 11 pto

Ilustración 2 BOM Hamburguesa Vegetariana.

Descripción del proceso:

El proceso productivo de la hamburguesa funciona de la siguiente manera:

1. Se debe hornear un pan el cual corresponde a la base de la hamburguesa.
2. Una vez horneado el pan, se trasfiere a la estación de la parrilla para que se le adicione el queso y la carne correspondiente según tipo de hamburguesa.
3. Cuando finalice la operación anterior, se debe adicionar un pan en la parte superior y empacar el producto en la estación.
4. Finalmente se almacena en el inventario de producto terminado y se encuentra disponible para entregarlo al cliente.

Con formato: Fuente: Maiandra GD, 11 pto

Con formato: Fuente: Maiandra GD, 11 pto

Diagrama de operaciones:

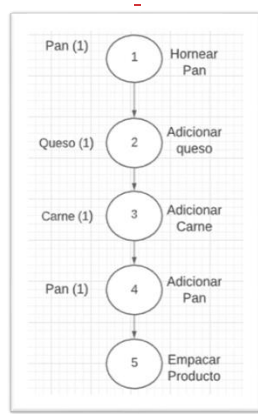


Ilustración 3 Diagrama de Operaciones

La empresa actualmente se encuentra laborando con turnos de 5 min por día y cuenta con 3 centros de trabajo (Horneado, parrilla y empaque) y una estación de producto terminado, adicionalmente manejan Scheduled Orders que son pedidos hechos por encargo, actualmente se cuenta con los siguientes pedidos en firme.

Scheduled Orders:

Turno 3: 5 Hamburguesas de carne y 3 Hamburguesas vegetarianas

Turno 6: 2 Hamburguesas de carne y 3 Hamburguesas vegetarianas

Turno 10: 8 Hamburguesas de carne y 4 Hamburguesas vegetarianas

Las reglas de Juego

1. Por cada estación de trabajo debe haber un único operario.
2. Solo se puede fabricar un producto por estación de trabajo en un determinado tiempo.
3. Una vez se fabrique el producto en una estación de trabajo según el tiempo estipulado por el cronometro, pasa a inventario en proceso para que la siguiente estación pueda disponer de él.
4. Solo se podrá retirar el producto terminado de bodega cuando llegue un cliente por él.
5. Los recursos de materia prima son ilimitados.

- 6. En los inventarios en proceso se puede acumular producto de manera ilimitada.
- 7. El producto terminado debe ser entregado al cliente justo antes que se vaya.

Los costos asociados a la producción son:

- Precio Hamburguesa de Carne \$5.000
- Costo Hamburguesa de Carne \$2.200
- Precio Hamburguesa Vegetariana \$6.000
- Costo Hamburguesa Vegetariana \$3.000

COSTOS	
Producto en proceso	= \$100 hamburguesa por turno
Ventas perdidas	= Utilidad perdida
Producto terminado	= \$300 hamburguesa por turno

Tabla 1 Costos

SIMULACION

La interfaz gráfica de la simulación es la siguiente.

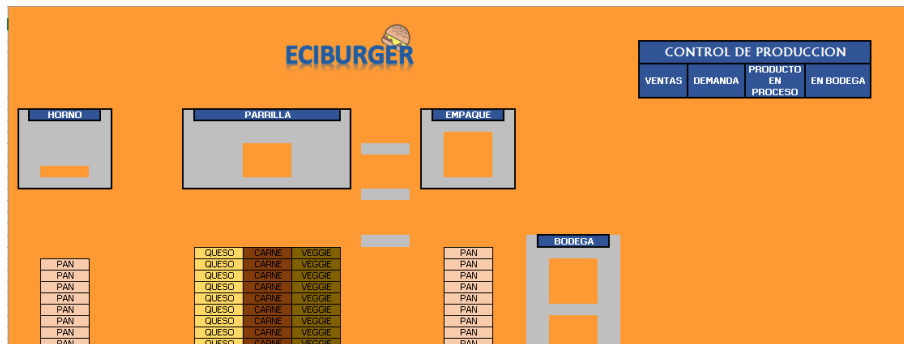


Ilustración 4 Interfaz Grafica

La simulación consiste en dos fases, una etapa practica en la que se hace uso de las técnicas push y pull, y otra donde se hace un análisis de los datos obtenidos e incluye alternativas de mejora.

Fase Practica

Para la primera fase se desarrolla la simulación y se establecen datos iniciales en los que se encuentran las políticas de inventario, se especifican las estaciones de trabajo las cuales son horneado, parrilla, ensamble, empaque, y bodega para que en el grupo de trabajo se asignen los roles en cada una de estas, adicional a esto, se especifican los dos tipos de productos que se van a fabricar que son las hamburguesas de carne y vegetariana.

Una vez cumplido esto se hace uso de la herramienta que determina los tiempos aleatorios para la llegada de los clientes y los tiempos para los de cada estación de trabajo.

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: Maiandra GD, 11 pto

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: Maiandra GD, 11 pto

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: Maiandra GD, 11 pto

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: Maiandra GD, 11 pto

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: Maiandra GD, 11 pto

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: Maiandra GD, 11 pto

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: Maiandra GD, 11 pto

Con formato: Fuente: Maiandra GD, Negrita, Español (España)

Con formato: Fuente: Maiandra GD

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Descripción, Centrado

Con formato: Color de fuente: Texto 2

Con formato: Fuente: Negrita

- Sistema Push

Se inicia el turno y la estación de inventario lleva el pan al horno y se pone a calentar por el tiempo estipulado en el cronometro.

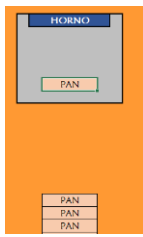


Ilustración 5 Estación de Horneado



Ilustración 6 Cronometro en proceso Est. Horneado



Ilustración 7 Cronometro finalizado Est. Horneado

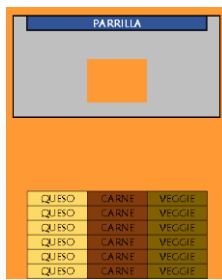


Ilustración 7 Estación de Parrilla



Ilustración 7 Cronometro en proceso Est. Parrilla



Ilustración 7 Cronometro finalizado Est. Parrilla

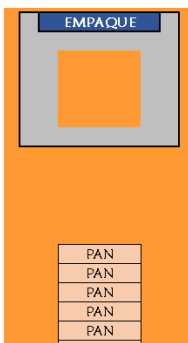


Ilustración 7 Estación de Empaque



Ilustración 7 Cronometro en proceso Est. Empaque



Ilustración 7 Cronometro finalizado Est. Empaque

Con formato: Conservar con el siguiente

Con formato: Fuente: 7 pto

Con formato: Descripción, Centrado

Con formato: Fuente: 7 pto, Cursiva, Color de fuente: Texto 2

Con formato: Fuente: 7 pto, Cursiva, Color de fuente: Texto 2

Con formato: Fuente: 7 pto, Cursiva, Color de fuente: Texto 2

Con formato: Fuente: 7 pto, Cursiva, Color de fuente: Texto 2

Con formato: Fuente: 7 pto, Cursiva, Color de fuente: Texto 2

Con formato: Fuente: 7 pto, Cursiva, Color de fuente: Texto 2

Tabla con formato

Tabla con formato

Con formato: Conservar con el siguiente

Con formato: Conservar con el siguiente

Con formato: Fuente: Maiandra GD, 8 pto

Con formato: Fuente: Maiandra GD, 8 pto

Con formato: Fuente: Maiandra GD, 8 pto, Sin Cursiva

Con formato: Fuente: Maiandra GD, 8 pto, Sin Cursiva

Con formato: Descripción, No conservar con el siguiente

Con formato: Descripción, No conservar con el siguiente

Una vez termina este tiempo el pan se retira del horno y se almacena en inventario en proceso.

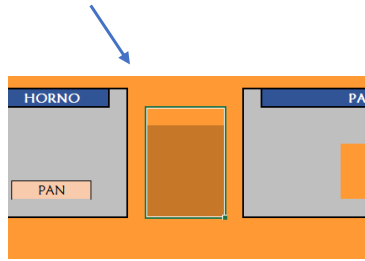


Ilustración 8 Zona de Inventario en proceso.

Lo que permite que una vez que la estación de parrilla active su cronometro pueda hacer uso de este, el mismo procedimiento ocurre para las estaciones siguientes hasta que llega a bodega, ya que ahí se almacena y se vende hasta que llegue un cliente, se aclara que la producción del día las define el grupo dependiendo de las políticas de inventario que se establezcan previamente.

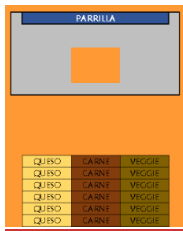


Ilustración 98 Estación de Parrilla

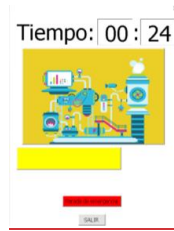


Ilustración 109 Cronometro en proceso Est. Parrilla



Ilustración 113 Cronometro finalizado Est. Parrilla

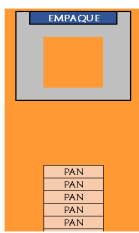


Ilustración 124 Estación de Empaque



Ilustración 134 Cronometro en proceso Est. Empaque



Ilustración 144 Cronometro finalizado Est. Empaque

- Con formato: Fuente: 7 pto
- Con formato: Fuente: 7 pto
- Con formato: Fuente: 7 pto
- Con formato: Fuente: 7 pto
- Con formato: Fuente: 7 pto
- Con formato: Fuente: 7 pto

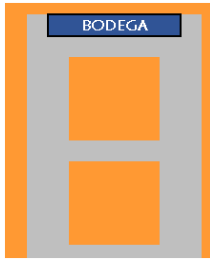


Ilustración 15: Bodega

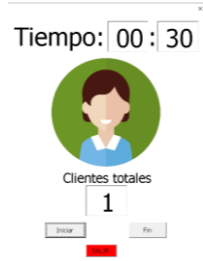


Ilustración 16: Cronómetro llegada de clientes



Ilustración 17: Cronómetro finalizado en el turno.

Para simular el sistema push, se debe realizar una planeación previa para conocer el número de unidades que se van a producir utilizando la siguiente tabla:

		Turno 1	Turno 2	Turno 3	Turno 4	Turno 5	Turno 6	Turno 7	Turno 8	Turno 9	Turno 10
Requerimientos											
Pedidos en firme											
Órdenes programadas											
Órdenes planeadas											
Inventario a la mano	Inventario inicial										
Órdenes liberadas											

calculocálculo

Tabla 3. Tabla MRP

Donde:

- **Requerimientos:** Consiste en el pronóstico de demanda para cada turno
- **Pedidos en firme:** Pedidos realizados por el cliente previamente
- **Órdenes programadas:** Órdenes de producción que han sido programadas previamente.
- **Órdenes planeadas:** Número de unidades planeadas para producir en ese turno.
- **Inventario a la mano:** Inventario a la mano del turno anterior + órdenes programadas + órdenes planeadas – el máximo valor entre los requerimientos y los pedidos en firme.
- **Órdenes liberadas:** Número En esta fila de la tabla se compensa el tiempo de entrega establecido por el proveedor, por ejemplo, si el tiempo de entrega es de 1 turno significa que se debe realizar la orden un turno antes para obtener la materia prima en el momento que se necesita

Sistema Pull

Con formato: Izquierda

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, 9 pto, Negrita

Con formato: Fuente: Maiandra GD, 11 pto, Sin Negrita

Con formato: Fuente: Negrita

Con formato: Fuente: Negrita

Con formato: Fuente: Sin Negrita

Con formato: Fuente: Sin Negrita

Para el caso del sistema Pull los estudiantes deben calcular la cantidad de señales Kanban para determinar el flujo de la producción que cumplirá con la demanda, A continuación, se presenta la fórmula utilizada para el cálculo de las señales con la descripción de cada uno de sus criterios.

Formula señales Kanban.

$$K = \frac{d(\bar{w} + \bar{p})(1 + \alpha)}{c}$$

Parámetros	Descripción
K	Número de unidades entre estaciones
d	Demanda esperada en unidades
W	Tiempo promedio de espera durante el proceso de producción más el tiempo de manejo de materiales por contenedores, en fracciones de día.
P	Tiempo promedio de procesamiento por contenedor, en fracciones de día.
C	Cantidad en un contenedor estándar de las partes.
a	Una variable de política que agrega inventario de seguridad para cubrirse en circunstancias inesperadas.

Tabla 2 Criterios para hallar señal ~~kanban~~Kanban

La simulación del sistema pull funciona de la siguiente manera:

Para iniciar la producción se debe esperar que en la macro "BODEGA" aparezca el primer cliente, una vez esto suceda se inicia la estación "horneado" y una vez finalice su tiempo se pasa a inventario en proceso. Cuando esto sucede se debe tener en cuenta el parámetro k establecido, ya que ese es el número de unidades que se deben mantener entre las estaciones de "horneado" - "parrilla" y "parrilla"- "empaque".

De esta manera se maneja la tarjeta Kanban bajo el sistema pull, donde recordemos que el modelo se maneja de atrás hacia adelante, es decir, a partir de la demanda.

~~Seguido de esto se activa la simulación que consiste en inicializar el cronometro del turno y hacer uso de la misma herramienta para cumplir con la llegada de clientes, de forma similar que en el sistema push.~~

Nota: ~~Después de cada simulación es importante identificar el número de ventas perdidas, producto en inventario en proceso y producto en inventario en bodega, datos que serán necesarios para el análisis por parte de los estudiantes.~~

Con formato: Fuente: Negrita, Sin Resaltar

Con formato: Fuente: Cambria Math

Tabla con formato

Con formato: Fuente: Cambria Math

Con formato: Fuente: Cambria Math

Con formato: Fuente: Cambria Math

Con formato: Fuente: Cambria Math

Con formato: Fuente: Negrita



Ilustración 18 Control de Producción.

Fase de Análisis

Para la segunda fase se genera el informe A3, que especifique las condiciones actuales del proceso productivo y las respectivas mejoras que considere, se puede hacer uso de cualquier tipo de herramientas y programas que permitan la argumentación de la propuesta de mejora.

Archivos de la Simulación

Planta Eciburguer.xlsx

MODULO BODEGA PT.xlsm

MODULO CT 1.xlsm

MODULO CT 2.xlsm

MODULO CT 3.xlsm

Bibliografía

[1](2021). Retrieved 12 March 2021, from https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07052019000300115

[2](PDF) Engaging Engineering Students with Gamification. (2021). Retrieved 12 March 2021, from https://www.researchgate.net/publication/259821679_Engaging_Engineering_Students_with_Gamification

[3](2021). Retrieved 12 March 2021, from <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13375/1/Sistema%20de%20Produccion%20de%20Caso%20de%20Fabrica%20RPH%20Motors.pdf>

[4](2021). Retrieved 12 March 2021, from <https://core.ac.uk/download/pdf/211102906.pdf>

[6](2021). Retrieved 12 March 2021, from http://rdigitales.uptc.edu.co/memorias/index.php/admin_indus/admin_indus/paper/view/1761

Con formato: Fuente: Sin Negrita

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

