

**MODELO DE SIMULACION PARA EVALUAR LA METODOLOGIA
KANBAN EN EL PROCESO DE FABRICACION DE PUERTAS
SENCILLAS EN UNA EMPRESA DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA**

ANDRÉS JOSÉ DÍAZ ORTEGA



**UNIVERSIDAD
DE LA COSTA**
1970

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA –CUC
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
BARRANQUILLA, ATLÁNTICO
2016**

**MODELO DE SIMULACION PARA EVALUAR LA METODOLOGIA
KANBAN EN EL PROCESO DE FABRICACION DE PUERTAS
SENCILLAS EN UNA EMPRESA DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA**

TRABAJO DE GRADO

ANDRÉS JOSÉ DÍAZ ORTEGA

TUTOR:

SINDY JOHANA MARTÍNEZ MARÍN, MSc.

COTUTOR:

NILSON SEBASTIAN HERAZO PADILLA, MSc.



**UNIVERSIDAD
DE LA COSTA**
1970

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA –CUC
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
BARRANQUILLA, ATLÁNTICO**

2016

NOTA DE ACEPTACIÓN.

PRESIDENTE DEL JURADO.

JURADO.

JURADO.

BARRANQUILLA, FEBRERO DE 2016

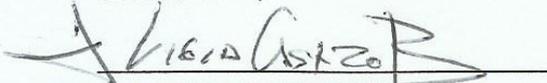
FACULTAD DE INGIENERÍA
PROGRAMA DE INGIENERÍA INDUSTRIAL
ACTA DE SUSTENTACIÓN Y APROBACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

El día 18 de Febrero del 2016 se da aprobación al Trabajo de Grado del estudiante que se menciona a continuación, el cual fue evaluado por los jurados Dr. JAIRO CORONADO HERNANDEZ como DTC del área de Ingeniería industrial, MSc, FABRICIO ANDRÉS NIEBLES ATENCIO como DTC del área de Ingeniería industrial. A continuación se relaciona la información pertinente.

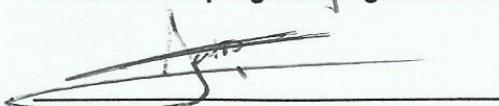
PROYECTO DE GRADO	ESTUDIANTES	TUTOR
MODELO DE SIMULACION PARA EVALUAR LA METODOLOGIA KANBAN EN EL PROCESO DE FABRICACION DE PUERTAS SENCILLAS EN UNA EMPRESA DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA.	ANDRÉS JOSÉ DÍAZ ORTEGA	MSc. SINDY JOHANA MARTÍNEZ MARÍN,
	CC:1140850592	CO-TUTOR MSc. NILSON ERAZO PADILLA

Se firma la presente en la ciudad de Barranquilla, a los diez (18) días del mes de febrero de 2016.

Cordialmente;



ING. LIGIA CASTRO BARROS
 Directora del programa Ingeniería Industrial



DR. JAIRO CORONADO HERNANDEZ
 Jurado 1



MSc. FABRICIO NIEBLES ATENCIO
 Jurado 2

AGRADECIMIENTOS

Al único Dios vivo YHVH, creador de todas las cosas, aquel que me dio las fuerzas y la inspiración en los momentos difíciles, por tal razón desde lo más profundo de mí ser dedico principal y primeramente este trabajo a Él.

También agradezco este trabajo a mis padres, a aquellos seres cariñosos, amorosos, cuyo apoyo, esfuerzo, educación en valores, hábitos inculcados y sentidos de pertenecía me ha brindado su apoyo en los momentos buenos y difíciles.

En general a mi familia, puesto que su compañía y apoyo ha sido incondicional a lo largo de mi vida y carrera profesional.

A los ingenieros Nilson Herazo y Sindy Martínez quienes durante todo el proceso de realización del presente trabajo de grado me ofrecieron su soporte y profesionalismo.

A mi novia Yesenia Bayuelo Bayuelo, cuyo apoyo y oraciones fueron indispensables para alcanzar este logro en mi vida.

A mis profesores de primaria, bachillerado y universidad cuya formación ligada a su alta entrega y dedicación en el ámbito de la educación y valores, me permitieron forjar con mayor solidez este gran paso en mi vida.

A la Ingeniera Queenie López Pansa, gracias por su apoyo y enseñanzas en el ámbito ingenieril.

A todas aquellas personas que de alguna u otra forma mediante su apoyo lograron impactar de manera positiva sobre la realización de este trabajo.

RESUMEN

La metodología Kanban es un sistema de producción Pull, cuyo significado japonés está estrechamente relacionado con la palabra tarjeta o registro visible, esta resume toda la información necesaria para llevar a cabo el proceso productivo generando las de órdenes de producción y transporte de material en el momento que se requiere y utilizando solo los recursos necesarios con la finalidad de reducir desperdicios, balancear cargas de trabajo e incrementar la productividad y desempeño de la compañía. Adicionalmente la simulación de procesos permite evaluar a bajo riesgo económico y en lapsos de tiempo cortos la utilidad de los conceptos Kanban. El presente estudio tiene como finalidad diseñar un modelo de simulación mediante el software Rockwell Arena® para evaluar la implementación de la metodología Kanban sobre un sistema de producción de puertas sencillas bajo pedido. Para ello la metodología del trabajo describe inicialmente el proceso de fabricación de Puertas, posteriormente calcula el número de réplicas necesarias para validar estadísticamente los modelos de simulación actual y Kanban, finalmente se sintetizan los parámetros y variables del sistema y se construyen los modelos de simulación anteriormente mencionados. Teniendo en cuenta la significancia establecida para la experimentación los resultados evidencian como el sistema actual de producción no cumple con los objetivos productivos de la compañía, manteniendo altos niveles de WIP, cuellos de botella y sin lograr la meta establecida para el nivel de servicio; mientras que mediante la metodología Kanban se logra mejorar los indicadores mencionados anteriormente ajustándolos a los objetivos propuestos por la compañía.

Palabras clave: Kanban, Sistema de Producción Pull, Tarjeta, Simulación, Sistema, Modelo, WIP, Cuello de botella, Productividad.

ABSTRACT

The Kanban method is a production system Pull whose Japanese meaning is closely related to the word card or visible record, this sums up all the information necessary to carry out the production process of generating the production orders and material transport at the time is required and using only the necessary resources in order to reduce waste, to balance workload and increase productivity and company performance. Additionally process simulation evaluates low economic risk and shorter time spans the usefulness of Kanban concepts. This study aims to design a model simulation by Rockwell Arena® software to evaluate the implementation of the Kanban methodology on a production system for single doors on request. The methodology initially described the process of manufacture of Simple Doors, then calculates the number of replicates needed to statistically validate current models Kanban simulation and finally the parameters and variables of the system are synthesized and simulation models are built above mentioned. Given the significance established for experimentation results show as the current production system does not meet the production targets of the company, maintaining high levels of WIP, bottlenecks and in breach of the target for the level of service; while using the Kanban methodology is able to improve the indicators mentioned adjusting to the goals set by the company.

Keywords: Kanban, Pull Manufacturing System, Card, Simulation, System Model, WIP, Bottleneck, Productivity.

LISTA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	14
1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
2. JUSTIFICACIÓN.....	20
3. OBJETIVOS.....	23
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	23
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
4. ESTADO DEL ARTE.....	24
5. MARCO TEÓRICO.....	37
5.1. METODOLOGIA KANBAN.....	37
5.1.1. TIPOS DE KANBAN.....	42
5.1.2. VENTAJAS DEL USO DE LA METODOLOGÍA KANBAN.....	48
5.1.3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA KANBAN.....	49
5.2. SIMULACIÓN DE PROCESOS.....	51
5.2.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA SIMULACIÓN.....	53
5.2.2. MODELOS DE SIMULACIÓN.....	55
5.2.3. FORMULACIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN.....	56
5.3. SOFTWARE DE SIMULACIÓN.....	58
5.3.1. PROMODEL®:.....	59
5.3.2. FLEXSIM®:.....	59
5.3.3. SIMUL8-PLANNER®:.....	59
5.3.4. ROCKWELL ARENA®.....	60
5.4. FUNDAMENTOS DE LA SIMULACIÓN EN ARENA.....	60
6. METODOLOGÍA.....	64
6.1. PROCESO DE FABRICACIÓN DE PUERTAS SENCILLAS.....	65
6.2. CONFIGURACION DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN.....	66
6.2.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL.....	67
6.2.2. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO: KANBAN	
72	
6.3. VALIDACION ESTADISTICA DEL MODELO DE LOS	
SIMULACIÓN.....	75
6.3.1. DETERMINACION DEL NUMERO DE REPLICAS DEL	
MODELO DE SIMULACION.....	75

6.3.2. DETERMINACION DEL NUMERO DE REPLICAS DEL MODELO DE SIMULACION CON APLICACIÓN KANBAN	79
7. RESULTADOS	80
7.1. RESULTADOS DEL MODELO ACTUAL PARA EL PROCESO DE FABRICACION DE PUERTAS SENCILLAS.....	80
7.2. RESULTADOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN KANBAN PARA EL PROCESO DE FABRICACION DE PUERTAS SENCILLAS	85
CONCLUSIONES.....	92
DEL MATERIAL.....	92
TRABAJOS FUTUROS	95
ANEXOS	102

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resultados comparativos entre sistemas Kanban bajo evaluación por simulación. Fuente: Mora et al, 2012.	26
Tabla 2. Comparación del trabajo y tiempo de proceso	32
Tabla 3. Comparación de las unidades promedio y utilización de locaciones entre los sistemas actual y Kanban.	34
Tabla 4. Distribución de probabilidad para los tiempos entre llegada y cantidad de arribos de material al sistema de fabricación de puertas sencillas.	68
Tabla 5. Distribución de probabilidad para los tiempos entre llegada y cantidad de puertas demandadas por pedidos.	69
Tabla 6. Descripción de los procesos para la fabricación de puertas sencillas.	69
Tabla 7. Definición de parámetros para los tiempos entre llegada y cantidad de arribos iniciales de material para sistema de fabricación de puertas sencillas. ...	73
Tabla 8. Definición de parámetros para los tiempos entre llegada y cantidad de arribos para el ingreso de material al de fabricación de puertas sencillas.	73
Tabla 9. Reporte de simulación para 20 réplicas, modelo actual del sistema.	77
Tabla 10. Análisis clásico de Intervalos para los indicadores de resultados del modelo actual de fabricación de puertas sencillas.	78
Tabla 11. Calculo de réplicas necesarias para el modelo actual de fabricación de puertas sencillas.	78
Tabla 12. Calculo de réplicas necesarias para el modelo actual de fabricación de puertas sencillas.	79
Tabla 13. Reporte de Indicadores modelo actual.	80
Tabla 14. Análisis de escenarios Kanban.	87
Tabla 15. Comparación Modelo Actual Vs Modelo Kanban para la fabricación de Puertas sencillas.	88
Tabla 16. Comparación Modelo Actual Vs Modelo Kanban para la fabricación de Puertas sencillas bajo el incremento de la demanda a 2 pedidos diarios.	90
Tabla 17. Comparación Modelo Actual Vs Modelo Kanban para la fabricación de Puertas sencillas bajo el incremento de capacidad el recurso utilizado para el armado de panels.	91

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Relación comparativa de Empresas que usan Kanban y las que no usan. Fuente: Faican y Calle, 2011.	49
Cuadro 2. Panel de Procesos Arena.	63
Cuadro 3. Material en cola de procesos. Arena.	70
Cuadro 4. Variables del módulo de simulación actual para la fabricación de puertas sencillas.	71
Cuadro 5. Variables del módulo de simulación para la fabricación de puertas sencillas mediante la implementación de la metodología Kanban.	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Un sistema Kanban de tarjetas duales. Fuente: Sipper y Bulfin, 1998.	43
Figura 2. Sistema Conwip. Fuente: González et al., 2010.	45
Figura 3. Sistema Kanban de Tipo Minimal Blocking. Fuente: Franco et al., 1998.	47
Figura 4. “Layout” del sistema “Kanban Trigger”. Fuente: Mora et al., 2012.	47
Figura 5. Formulación de un modelo de simulación. Fuente: Shannon, 1998.	58
Figura 6. Modelo de simulación del proceso actual de fabricación de puertas sencillas.	67
Figura 7. Manera incorrecta de almacenamiento de puertas sencillas en stock de producto empacado.	81
Figura 8. Manera correcta de almacenamiento de puertas sencillas en stock de producto empacado.	81
Figura 9. Congestión por exceso de producto terminado en la línea y área circundante.	82
Figura 10. Tiempos en proceso vs unidades en cola.	84

LISTA DE ANEXOS

Anexo 2. Diagrama de procesos de fabricación de puertas sencillas. 2014.....	103
Anexo 3. Diagrama de recorrido de fabricación de puertas sencillas. 2014.	104
Anexo 4. Histórico de demanda de Puertas sencillas durante el periodo 2014-1.	105
Anexo 5. Comportamiento de la demanda de Puertas sencillas durante el periodo 2014-1.....	106
Anexo 6. Histórico de entregas de cristales a la línea para la fabricación Puertas Sencillas año 2015.....	107
Anexo 7. Comportamiento de la cantidad de cristales entregados a la línea para la fabricación de puertas sencillas año 2015.	108
Anexo 8. Histórico de tiempo entre llegadas para el material “Aluminio” para la fabricación Puertas Sencillas año 2015.	109
Anexo 9. Comportamiento de los tiempos de llegada de material “aluminio” a la línea de producción de puertas año 2015.	110
Anexo 10. Histórico de entregas de aluminio a la línea para la fabricación Puertas Sencillas año 2015.	111
Anexo 11. Comportamiento de la cantidad de material (aluminio) entre llegadas año 2015.....	112
Anexo 12. Capacidad Productiva De La Línea De Puertas - Agosto 2014	113
Anexo 13. Análisis de escenarios Kanban.....	114
Anexo 14. Modelo de simulación para el sistema actual usando el software Rockwell Arena® (línea de producción).....	115
Anexo 15. Modelo de simulación para el sistema actual usando el software Rockwell Arena® (demanda y funcionamiento de movimiento de inventario)..	116
Anexo 16. Modelo de simulación para el sistema Kanban usando el software Rockwell Arena® (línea de producción).....	117
Anexo 17. Modelo de simulación para el sistema Kanban usando el software Rockwell Arena® (demanda, funcionamiento de movimiento de inventario y uso de las señales Kanban).....	118

INTRODUCCIÓN

Para aumentar la competitividad y posicionamiento en el mercado, las empresas de producción se ven obligadas al mejoramiento de sus procesos. Las empresas que centran su estrategia de desarrollo operativo en la utilización de herramientas de mejora continua y en el uso de tecnologías para el análisis de sus operaciones, procesos y actividades, responden mejor a los cambios del entorno empresarial al que pertenecen (Hyland et al., 2004).

El Kanban es una de las metodologías de mejora continua en los procesos, cuyo significado en japonés se relaciona con las palabras tarjetas o registros visibles (Sipper & Buffin, 1998). Por medio de estas tarjetas, la metodología Kanban realiza la compilación necesaria de información para llevar a cabo el proceso productivo, usándolas para la transmisión de órdenes de producción y manejo de material y/o productos a lo largo de la línea de producción (De Diego et al., 2009). La implementación de la metodología resulta interesante, puesto que con sus satisfactorios resultados se consigue la reducción de costos de inventario, colas en el proceso y desperdicios; además de que favorece el control de inventarios, balanceo de los procesos y organización del área de trabajo, entre otros.

Sin embargo, la implementación de esta metodología requiere de tiempo, no solo para las fases de integración de los involucrados hacia el uso de la filosofía, sino además en la observación y análisis de los resultados, considerando dentro de estos los riesgos económicos por la implementación (Ballesteros & Ballesteros, 2008).

Para reducir los riesgos y el tiempo involucrado en la prueba de metodologías aplicados a sistemas reales y complejos, la simulación se convierte en una herramienta que brinda soporte a la gestión de procesos, permitiendo la experimentación de manera controlada con parámetros,

variables y entidades que afectan a los sistemas (Ruiz et al., 2001). Esta herramienta de simulación es de gran aplicabilidad en los sistemas productivos debido a la cantidad de variables e interrelaciones entre las mismas, proporcionando como resultados la reducción de costos, inventarios y reprocesos (entre otros), y fortaleciendo el sistema de toma de decisiones.

Diversos estudios se centran en la combinación del uso de la metodología Kanban y la simulación de procesos, empleando diferentes softwares para brindar a los procesos productivos la información suficiente para la toma de decisiones en un tiempo a priori a la fase de implementación. De acuerdo con lo anterior, el presente estudio tiene como fin el desarrollo de un modelo de simulación para evaluar la factibilidad de la implementación de la metodología Kanban en el proceso de producción de puertas sencillas (línea de producto caso de estudio) bajo la estructura de trabajo de una empresa de fabricación y diseños arquitectónicos en vidrio y aluminio en la ciudad de Barranquilla. El objetivo con la realización de esta investigación es evidenciar a través de la simulación mayor control de inventario de producto terminado, reducción de cuellos de botellas, reprocesos y el cumplimiento de la demanda con la capacidad de producción actual.

En la realización de este modelo, se toma como base los cursogramas y diagramas de recorrido del proceso productivo en mención, considerando la estandarización del mismo; además, se utilizó demanda histórica de 8 meses para conocer la distribución de probabilidad estadística. La construcción del modelo se desarrolló en el software de simulación Arena®.

Considerando un nivel de confianza del 95%, se obtuvo como resultados principales de la simulación de este proceso productivo, la disminución de los efectos del cuello de botella en el proceso de ensamble de paneles, a través de la reducción de unidades promedio en cola en un 78%. Lo

anterior permitió a su vez, reducir en un 88% la cantidad de cristales en espera para el proceso de ensamble de vidrio.

Adicionalmente, se logró garantizar el cumplimiento de la restricción de espacio para los niveles de inventario, incluso en situaciones de alta rotación, estas cantidades no sobrepasan las 90 unidades, favoreciendo la disminución del 31% en el nivel de inventario. Por último, se evidencia el incremento de 4% en el nivel de servicio promedio del sistema, alcanzando un valor de 80,1%, el cual, supera la meta propuesta por la compañía para este indicador.

Este documento se encuentra distribuido de la siguiente manera: el primer capítulo presenta la identificación del problema, en el cual se expone que la falta de control y seguimiento al proceso son los principales inconvenientes para el correcto flujo de la programación e información a través de la línea de Puertas. Lo anterior se complementa con la justificación contenida en el segundo capítulo, en el cual se reconoce la importancia para la empresa de mantener su posicionamiento en el mercado a través de la estandarización y control a sus operaciones y procesos, mediante el análisis sistémico y la realización de estudios que demuestren factibilidad en la aplicación de herramientas de gestión productivas.

El tercer capítulo contiene los objetivos asociados a esta investigación y en el cuarto capítulo, se presenta la articulación del marco de antecedentes (estado del arte) que relaciona el uso de la metodología Kanban y su implementación por medio de la simulación de procesos. Seguido, el quinto capítulo presenta el marco teórico de los conceptos que abarcan la metodología Kanban y simulación de sistemas y procesos, a través del uso de diferentes herramientas de software.

Por su parte, el desarrollo metodológico que guía esta investigación se presenta en el sexto capítulo y los resultados principales de la simulación

del proceso en modelo actual y modelo propuesto con la metodología Kanban se muestren en el séptimo capítulo. Finalmente las conclusiones, trabajos futuros, referencias bibliográficas y anexos, se distribuyen de los capítulos 8 al 11 respectivamente.

1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La empresa caso de estudio se encuentra ubicada en la ciudad de Barranquilla, departamento del Atlántico. Esta empresa se dedica al diseño, fabricación, comercialización e instalación de sistemas arquitectónicos en aluminio y vidrio para construcciones de alta, media y baja elevación. Pese al desarrollo, crecimiento y expansión productiva y comercial de esta empresa, no existen actualmente métodos establecidos para el seguimiento y control de la producción en la línea de fabricación de puertas sencillas, pese a que las operaciones de este proceso se encuentran estandarizadas.

Actualmente, los procesos relacionados con el seguimiento y control de la producción se realizan por medio de formatos. Estos formatos brindan al personal de producción, información acerca de unidades trabajadas por turno y referencias de esas unidades, pero esta información no es suficiente para conocer el estado actual de las órdenes pendientes o ubicación de materia prima durante el proceso de producción. El problema se agudiza porque en ocasiones, luego de haberse recopilado la información, ésta no se maneja de manera integral por todas las áreas de interés, generando pérdida de información relacionada al estado actual de las órdenes, o incluso, confusión en cuanto al estado de órdenes entre los diferentes departamentos que intervienen en el proceso de fabricación.

Quizás los factores mencionados anteriormente no adquieren suma importancia en empresas cuyos procesos de producción son bastante simples o su tamaño es pequeño, pero en una empresa de tamaño considerable que maneja diferentes líneas de productos y numerosas referencias por cada línea de producto, es fundamental para el mejoramiento productivo la estandarización documental de los procesos de producción, la actualización sistémica de órdenes y la ubicación de materia prima de manera óptima. Además, es de importancia considerar

los planes, estrategias y políticas de crecimiento de la empresa, relacionados con la expansión de mercados.

2. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo a las definiciones del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo en Colombia, la empresa caso de estudio es considerada una empresa grande, con base al número de trabajadores empleados y al nivel de ingresos generados anualmente¹. Adicional a su tamaño, los productos elaborados por la empresa se encuentran posicionados en el mercado nacional e internacional, gracias a los niveles de calidad presentados.

Bajo las condiciones actuales identificadas en el planteamiento del problema, la empresa ha logrado responder a las necesidades de la demanda, pero se prevé que esta situación tienda a cambiar por las proyecciones en el incremento de la demanda para los años siguientes, debido a los planes de expansión hacia mercados internacionales. Recientemente la empresa ha entrado a NASDAQ², la bolsa de valores electrónica y automatizada de Estados Unidos, estrategia con la que se espera acelerar la expansión de mercados no sólo hacia Estados Unidos y Suramérica, sino también la incursión a nuevos mercados de Europa y Asia, según lo comenta el gerente de la empresa.

La empresa utiliza actualmente formatos para el seguimiento de las unidades producidas y materiales entrantes y salientes de la línea, sin embargo, estos formatos no son suficientes pues se detectan inconvenientes para conocer el estado actual de la producción en cuanto al estado y avance de las ordenes, producto en proceso, proceso terminado y materia prima requerida en la elaboración de los productos.

Los inconvenientes anteriores se convierten en consecuencias del problema general, ocasionando demoras en el proceso, incumplimiento

1 MINCOMERCIO INDUSTRIA Y TURISMO, Definición Tamaño Empresarial Micro, Pequeña, Mediana o Grande [en línea], <<http://www.mipymes.gov.co/publicaciones.php?id=2761>> [citado en 19 de Abril de 2015].

2 NASDAQ, [en línea], <http://business.nasdaq.com/> [citado en 19 de Abril de 2015].

del Lead Time, pérdida del material en proceso, pérdida de información de seguimiento, errores en programación y reprogramación de órdenes, incremento de niveles de inventarios, generación de back orders (pedido o unidades de producto del cual no se cuenta en stock para su despacho), acumulación de saldos y aumento de costos productivos por pérdidas y reprocesos.

Estas consecuencias se convierten en razones de peso ante la inminente necesidad de brindar una solución al problema planteado. Para esto, se requiere de la implementación de una metodología que le permita a la empresa garantizar el cumplimiento de los objetivos relacionados con el seguimiento y control de la producción para afrontar de manera eficiente el crecimiento de la compañía con la apertura de nuevos mercados e incremento de la demanda.

La metodología Kanban se convierte en una solución a este problema porque su implementación provee las herramientas necesarias para la gestión de la fabricación de puertas sencillas (línea de producto en estudio), enfatizada en la entrega a tiempo de órdenes y enfocada en mantener los niveles de inventario y cargas del equipo de trabajo en niveles controlados (Infante & Erazo, 2013).

La implementación de la metodología Kanban en el proceso de producción de la línea en estudio, permite ser evaluada en modelos de simulación de sistemas que posibilitan sintetizar la situación problema y analizarla en un horizonte de tiempo, bajo la consideración de políticas de la compañía y el análisis de los efectos resultantes de la interacción de los componentes individuales y variables del sistema real, a través del uso del software de simulación Rockwell Arena ®. Esta herramienta es de gran aplicabilidad en el sector académico y comercial debido a la facilidad de manejo, flexibilidad, y compatibilidad con los sistemas operativos (Kelton ,2008).

Cabe resaltar que el presente trabajo tiene como objetivo la evaluación por medio de un modelo de simulación de la implementación de la metodología Kanban en el proceso productivo relacionado a la línea de producto de Puertas Sencillas, con el fin de proponer mejoras al sistema real. El sistema productivo en consideración es un sistema de producción bajo pedido.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

- ✓ Diseñar un modelo de simulación para evaluar la implementación de la metodología Kanban en el proceso de fabricación de puertas sencillas en una empresa de la ciudad de Barranquilla.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Identificar los cuellos de botella generados en la línea de Puertas relacionados al manejo de material e información.
- ✓ Establecer un modelo de trabajo utilizando la metodología Kanban para el manejo de información a lo largo del flujo de material de la línea de Puertas.
- ✓ Evaluar la implementación de la metodología Kanban mediante el modelo de simulación.

4. ESTADO DEL ARTE

Los sistemas de producción han existido desde hace tiempo, pero en la actualidad los procesos de control y mejoramiento de estos sistemas se convierten en una necesidad que añade complejidad al proceso de toma de decisiones. Para brindar una solución a la complejidad sistémica de las organizaciones productivas, surge precisamente la simulación de sistemas, permitiendo realizar experimentación controlada sobre los parámetros, variables y entidades que conforman el sistema productivo (Sterman, 2000).

El enfoque actual de las compañías dedicadas a la producción de bienes, reside en la búsqueda de modelos de trabajo que permitan la eliminación de desperdicios y la reducción de inventarios sin afectar la calidad de los productos y tiempos de respuesta a las necesidades de los clientes. Desde esta perspectiva, los sistemas Pull ofrecen una solución porque destacan la idea del manejo de bajos inventarios y lotes pequeños, controlando tanto los inventarios como los procesos, mediante el manejo de información en tiempo real, orientando la producción por medio de la demanda, es decir, fabricando los productos tras el arribo de pedidos y evitando la fabricación constante de productos que puedan llegar a significar el aumento de los niveles de inventario (Mora et al., 2012).

Sin embargo, pese a las ventajas que ofrecen estos sistemas de control, para muchas compañías es considerado un proceso costoso y exhaustivo que prefieren evitar y continuar con los métodos actuales, debido también al riesgo asociado en la implementación de los mismos. Para superar esta deficiencia y evaluar el comportamiento de estos sistemas antes de incurrir en costos de implementación, se recomienda el desarrollo de modelos de simulación que permitan evaluar el comportamiento del sistema ante los cambios propuestos en las variables y parámetros clave en los procesos de producción de las empresas (Mora et al., 2012).

Dentro de este grupo de sistemas de control de características Pull, se encuentra la metodología Kanban que es la que se desea implementar en el desarrollo de este trabajo como solución al problema planteado. En este sentido y de acuerdo a lo expuesto anteriormente, la experimentación por simulación resulta conveniente porque permite administrar los parámetros, entidades y variables de los procesos para elaborar modelos que representen claramente los sistemas reales, brindando las metodologías de trabajo requeridas para la mejora del proceso y calidad del producto en su totalidad (Shannon, 1998).

Para entender más acerca de la importancia de la simulación dentro del mejoramiento de los sistemas productivos con características pull, citamos a los autores Mora et al (2012) de la Universidad Tecnológica de Pereira. En su trabajo denominado “Comparación y Análisis de algunos Sistemas de Control de la Producción Tipo “Pull”, mediante Simulación”, los autores resaltan la dificultad de las empresas manufactureras para elegir el sistema de control que se ajuste a las necesidades de sus líneas de producción, convergiendo en la idea de que los sistemas de control de producción de tipo “pull” toman la delantera frente a sistemas de control tradicionales, tanto para el manejo de desperdicios como para el control de inventarios.

Como apoyo a las empresas en las decisiones relacionadas a la elección del sistema de control, los autores consideran el uso de la simulación para construir y analizar las diferentes situaciones que presentan los sistemas de producción tipo pull de una compañía, a través de la implementación de la metodología Kanban dentro del modelo de simulación. Para esto, simulan una línea de producción de tipo Flow Show de 3 estaciones regida por un sistema de producción bajo pedidos por medio de la herramienta de software PROMODELTM®.

En el análisis del sistema se halló que al variar parámetros como la distancia entre estaciones de trabajo o reducir la velocidad de transporte

de los productos, los indicadores de órdenes entregadas, tiempos y el ciclo de pedidos para los clientes, reflejan variaciones significativas. Con esto, se demuestra la flexibilidad de la utilización de un modelo de simulación para probar la metodología Kanban, puesto que al experimentar con parámetros como la velocidad del flujo de material y/o las especificaciones espaciales del área de trabajo simulada, se pueden obtener resultados diferenciadores y convenientes para la toma futura de decisiones.

Además, para este trabajo se pudo establecer un ranking de rendimiento o efectividad para los modelos Kanban utilizados bajo iguales condiciones de evaluación, resumidos en la tabla 1. Con estos resultados se puede concluir que con cada método Kanban analizado, el promedio de producto en proceso varía, al igual que las ordenes de entrega y el tiempo de dichas entregas; lo que significa que a pesar de que dichos métodos están dedicados a la mejora continua, unos pueden ser más útiles que otros, incluso dependiendo del sistema en que se esté implementando. De acuerdo a lo anterior, el método de Kanban doble tarjeta presenta mayor rendimiento, ya que con él se obtiene la mayor cantidad de ordenes entregadas y los menores tiempos de respuesta hacia la demanda del cliente.

PUESTO	SISTEMAS	PROMEDIO PRODUCTO EN PROCESO	ÓRDENEAS ENTREGADAS	TIEMPO CICLO
1	KANBAN DOBLE TARJETA	6,45	93	530,14
2	KANBAN TRIGGER	5,19	77	553,02
3	KANBAN MONO FICHA	4,78	75	572,85
4	KANBAN MINIMAL BLOCKING	4,79	64	599,44
5	CONWIP	2,96	51	624,36
6	KANBAN TARJETA DOBLE FUNCIÓN	2,94	49	643,22

Tabla 1. Resultados comparativos entre sistemas Kanban bajo evaluación por simulación. Fuente: Mora et al, 2012.

Por su parte, Winter y Muñoz (2008), en su ponencia “Evaluación bajo Simulación de un Sistema Just In Time”, buscan explicar el

comportamiento y utilidad que presentan los modelos JIT en los procesos de producción del TPS (Toyota Production Systems). Los autores corroboran el hecho de que en las últimas décadas, con el desarrollo de la tecnología en automatización, los procesos a nivel de manufactura han desarrollado sistemas integrados con el fin de incrementar la eficiencia de sus actividades; luego, para el control de estas actividades es requerido conocer al detalle el comportamiento y eficacia de los modelos JIT, utilizando para esto distintos simuladores por ordenador.

Para la construcción del modelo de simulación, los autores usaron el software MatLab®, considerando los productos y la demanda anteriormente cargados al sistema y adicionando conceptos de costos y sobreproducción, para lograr la reducción de los mismos. Como resultado de la simulación se obtiene que el número de Kanbans afecta al proceso y por ende, al factor de costos y almacenamiento; así, cuanto menor sea la cantidad de kanbans, menor será la capacidad de almacenaje. Además, cuando los contenedores se encuentran llenos, la producción se paraliza dejando de generar sobreproducción.

En el caso contrario, cuanto más contenedores haya, mayor será el tiempo para detener la producción y por lo tanto, mayor el costo de sobreproducción. Por último, este estudio concluye que los sistemas JIT son mucho más efectivos en situaciones donde la demanda manifiesta baja variación y que un número medio de kanbans con respecto a la demanda manifiesta un equilibrio de costo combinado.

El aporte del trabajo realizado por Winter y Muñoz (2008) a esta investigación subyace en la medición del rendimiento del modelo de simulación mediante el análisis de costos operativos, teniendo en cuenta tiempos de ocio por falta de material y costos de sobreproducción para demostrar mediante factores económicos el rendimiento de la metodología Kanban sobre el proceso de la línea de puertas.

Otro estudio relacionado es el de Campuzano (2010), quien expone en su tesis el diseño de una metodología de optimización para la implementación del Kanban, bajo el objetivo de crear estándares en la progresión de la producción, facilitar la formulación de indicadores efectivos que brinden seguimiento y control a la producción y proporcionar la trazabilidad del producto para efectos mismos de control. El autor afirma que muchas empresas pretenden el uso de estas metodologías para solucionar sus debilidades sólo por el hecho de haber sido implementada con éxito en otras empresas, razón por la cual no solo decide implementar la metodología Kanban, sino que adicionalmente, realiza la modelación de esta metodología para evaluar la efectividad de su implementación.

El modelo desarrollado por el autor en su trabajo de investigación, se basa en el diseño de un tablero Kanban y una tarjeta Kanban triangular, es decir, una tarjeta Kanban de trabajo cuyo diseño permitirá conocer el proceso a realizar, las cantidades a procesar, la siguiente estación de trabajo a la que continuara el material en proceso, la referencia de producto a tratar y las unidades de reorden. Para validar la implementación del modelo Kanban, se elaboró un modelo de simulación con el Software Simul8®, con horizonte de tiempo de 5 días, 24 horas por día y minutos como unidad de tiempo de simulación. Las principales variables se relacionan con la demanda, prioridad de pedidos y asignación de recursos en cada una de las celdas de trabajo, probados en el modelo actual y en el modelo propuesto.

Los resultados principales de esta investigación se resumen en la reducción de cuellos de botella por producto en proceso, gracias a la programación de lotes pequeños y al equilibrio de los procesos, garantizando que el primer proceso (bobinado) no produzca más de lo necesario, con base en lo producido al día anterior. Particularmente, comparando los modelos de trabajo actual y propuesto con metodología Kanban, se evidencia una reducción del 1% en el tiempo de ocupación,

que se traduce en 64 unidades adicionales en 6 meses, lo que representa un aumento de 7% en la producción mensual.

El aporte de esta investigación en la realización de este trabajo se centra en la forma de programación de las operaciones y procesos, liberando órdenes de producción que anteriormente estaban retenidas y controlando los niveles de material en cola e inventarios. De esta manera, se puede orientar la programación de órdenes solo cuando estas sean requeridas, es decir, con el ingreso de órdenes de puertas sencillas al sistema.

Otro estudio que soporta el desarrollo de modelos de simulación de la metodología Kanban en los procesos productivos, es realizado por Sánchez (2012) en su investigación titulada “Evaluación del Proyecto Kanban Fischer CVT Empleando Simulación de Operaciones”. El objetivo de este trabajo radica en encontrar un sistema que permita optimizar la programación de una cortadora Fischer en el proceso de fabricación de llantas mediante el uso de la simulación de procesos aplicando una metodología de Kanban dinámico, es decir, manejando niveles de stock de seguridad y puntos de reorden ajustables.

El sistema se basa principalmente en el uso de un tablero Kanban, similar a la propuesta por Campuzano (2010), en el que se visualizan principalmente los niveles de reorden como señal para la generación de Kanbans. El modelo propuesto incluye la metodología Kanban al final del proceso de fabricación, enviando una señal para iniciar el siguiente proceso, creando de esta manera un sistema de producción Pull. Para la construcción de este modelo se utilizó la herramienta de simulación PROMODEL®.

Los resultados obtenidos muestran que 5 carritos Kanban permiten al sistema mantener mayor orden y control del WIP (Work in Progress), mediante el uso combinado de una distribución específica de breakers en

los carritos y las señales Kanban para la generación de los cortes de dichos breakers en la máquina Fisher solo cuando sea necesario con el fin de mantener el sistema abastecido.

El aporte de esta investigación al presente trabajo resalta en la identificación del punto crítico del sistema donde la tarjeta Kanban debe transmitir la señal para llevar a cabo una orden de programación a producción, la cual permitirá automatizar el proceso desde el inicio, generando los materiales necesarios para mantener el sistema con el stock suficiente para satisfacer la demanda, eliminando los cuellos de botella y atrasos en el proceso productivo por falta de material.

Adicionalmente, Sánchez et al. (2009) simulan un sistema real de componentes fotovoltaicos con la implementación de la metodología Kanban sin tarjetas. Para esto, los autores utilizan como base las capacidades o espacios de almacenamiento de buffers al final de cada subproceso, con la finalidad de encontrar la cantidad óptima que minimice los buffers necesarios para alcanzar niveles de producción óptimos en un lapso de tiempo anual. Los buffers garantizan por un lapso de tiempo la producción de los procesos siguientes, aún si llegara a ocurrir una falla en un proceso anterior. La lógica de producción de este sistema se basa en la monitorización de cada buffer, es decir, si un buffer llegara a contener un espacio disponible para almacenar, esto indicaría que el subproceso anterior debe generar dicho lote de producto siempre y cuando su buffer anterior contenga material. Esta lógica simple es la base para garantizar el flujo constante de material.

Los resultados que obtuvo esta investigación fueron los incrementos de espacios sufridos por los buffers 2 y 4, teniendo en cuenta la evolución de la producción anual, generando sobre el sistema mayor control sobre los inventarios y la optimización de la capacidad efectiva del proceso productivo en la fabricación de componentes fotovoltaicos. Adicional a esto, mediante el uso de Kanban sin tarjetas, los autores refieren que el

sistema disminuye el consumo de papelería en cuanto a impresión de tarjetas y evita fallos debido a la falta circunstancial de dichas tarjetas.

El aporte sobre este trabajo subyace en la implementación de la metodología Kanban sin tarjetas, sirviendo como guía para la implementación de una forma de Kanban que supone ahorros en papel y disminuye los fallos por suministro de impresiones de tarjetas, además con la creación de estanterías especiales (con rotulo y/o información del producto) para el proceso de producción asociado a este trabajo de grado, se podrá obtener también mayor control sobre la información, los inventarios y la organización del el área de stock de producto terminado.

Otro estudio relacionado es el de Mendoza et al., (2011), en el cual introducen la metodología Kanban como una solución para mantener los niveles de inventario estable y programar la producción de acuerdo a lotes viables para el proceso. Resaltan además que la simulación es un avance tecnológico que unido a la metodología Kanban, permiten no solo automatizar la implementación de dicha metodología, sino además evaluar la variación del proceso a mínimo riesgo y bajos costos.

Utilizando la herramienta Witness®, los autores modelan el proceso de fabricación de colectores, encontrando el numero óptimo de lotes de producción y cantidad de tarjetas por referencia a utilizar para el proceso. Como conclusión adicional de este estudio, se resalta la importancia de la metodología Kanban como herramienta generadora de ventaja competitiva en las empresas al facilitar la entrega de productos de calidad a tiempo. Además, enfatizan en que el uso de la simulación favorece el ajuste del sistema ante escenarios no deseados, facilitando el proceso de toma de decisiones productivas y estrategias que minimicen los impactos indeseables en el sistema.

Loyd y McNairy (2003) en su ponencia titulada “ProcessModel Simulation to Show Benefits of Kanban/Pull System”, evalúan la implementación de

la metodología Kanban mediante el uso de la simulación de procesos para mejorar los procesos de fabricación de molinos de viento de la compañía K'nex. Con esto, los autores buscan demostrar como la combinación de Kanban y simulación es útil para encontrar cuellos de botella del sistema, evaluar el uso de recursos y tomar decisiones referentes a los procesos de compra y control de inventarios.

Para el desarrollo de esta investigación se considera la producción de molinos de viento bajo tres escenarios simulados: una línea de producción constante, un sistema de fabricación Kanban y la fabricación de uno de los componentes que actualmente compra la empresa. El tiempo de simulación se limita por la cantidad de molinos fabricados (50 molinos).

Los resultados de la simulación del sistema como una línea de producción constante, expone como ésta “fabricación desmedida” genera acumulación de inventarios y WIP, como se indica en la Tabla 2. Por su parte, el modelo Kanban propuesto envía 2 lotes de 10 piezas a fabricar, limitando los niveles inventario y WIP terminado en 40 unidades, garantizando además que no haya más de 2 contenedores de piezas entre procesos de fabricación, material en proceso y congestión del área de trabajo:

SISTEMA	WIP		TIEMPO	% UTILIZACIÓN ETAPA FAB.
MASA	WIP INICIAL	20	08:30	70,71%
	WIP FINAL	110		
KANBAN	WIP INICIAL	20	07:15	29,93%
	WIP FINAL	40		

Tabla 2. Comparación del trabajo y tiempo de proceso

De acuerdo con lo anterior, los autores concluyen que tanto los tiempos de entrega como el flujo de trabajo son agilizados al colocar en práctica la metodología Kanban. Agregan además que tras optimizar los tiempos de fabricación se logra como resultado la subutilización de sus estaciones de

trabajo y por ende la oportunidad de utilizar estos tiempos de ocio en la posible fabricación de otros componentes necesarios para el proceso. Adicionalmente refieren que con la simulación de procesos y el uso de equipos de computación es posible evaluar de manera eficiente la implementación de la metodología Kanban, ofreciendo de primera mano las herramientas necesarias para realizar análisis a bajo riesgo acerca de la toma de decisiones para el control de inventario y la gestión de capacidades antes de iniciar la aplicación real de la metodología.

El aporte de este estudio al presente trabajo resalta de nuevo la efectividad de los modelos de simulación para evaluar la efectividad de los sistemas Kanban en los procesos productivos, a través de la comparación de escenarios de modelos actuales y propuestos y la evaluación de indicadores como niveles de inventario, utilización de recursos y nivel de servicio.

El estudio titulado “Analysis Of WIP Inventory Control And Simulation Of KANBAN System Within Wiring Harness Company” por Kissani y Bouya (2014), argumenta nuevamente el uso de la simulación de procesos para validar la implementación de un sistema Pull/Kanban con resultados positivos en la optimización de las variables tiempos de atención y nivel de inventario WIP. Los autores argumentan que las herramientas de simulación han ganado gran confiabilidad en los resultados de aplicación a sistemas productivos, minimizando los riesgos y el dinero asociados a nuevas decisiones y direccionando las decisiones productivas hacia la eficiencia y el éxito en su implementación.

El trabajo anterior consiste en la simulación de una línea de fabricación de cables a pedido por medio del software ProModel®. La experimentación se basa en la simulación del modelo actual de trabajo y el modelo propuesto con la implementación de la metodología Kanban.

De acuerdo a un diagnóstico inicial realizado por los autores, la empresa trabaja bajo la premisa de estar utilizando una metodología JIT, además realizan trabajos de gestión administrativa y logística para coordinar el manejo de información de pedidos y disminuir el WIP mediante la creación de áreas de almacenamiento satélite cercanos a la línea de producción (inventarios de seguridad). Pero el diagnóstico muestra que la realidad es otra, la empresa continua utilizando sistemas rudimentarios para la realización de inventarios para conocer el material en proceso, lo cual se convierte en un sistema poco confiable para el manejo de la información.

Como resultados principales de la simulación del modelo actual, se evidencia que aunque la compañía asegura utilizar un sistema JIT, los altos inventarios de WIP son una clara violación a este principio. La implementación de la metodología Kanban para la construcción del modelo propuesto, arroja resultados notorios para la eficiencia del proceso y la disminución de los volúmenes de WIP. La comparación de los resultados entre el modelo actual y el modelo Kanban se resumen en la tabla 3.

LOCATIONS	MODEL 1	MODEL KANBAN	MODEL 1	MODEL KANBAN
	AVG CONTENTS		% UTILIZATION	
Cutting	999,63	23,35	99,96%	2,33%
Crimping	109,03	6,62	10,90%	0,66%
Welding	9,21	2,92	0,92%	0,29%
Warehousing	163,97	537,14	16,40%	53,71%
Packaging	0,06	0	0,01%	0%
Storage PO	8,26	NA	82,59%	NA
Twisting	4,45	0,92	0,44%	0,09%
Mounting Piping	0,25	0,47	0,02%	0,05%
Plug In Moduloe	1,18	0,66	0,12%	0,07%
Quality Control	0,11	0,06	0,01%	0,01%
Wire Coil Queue	0,99	4,85	99,84%	69,26%

Tabla 3. Comparación de las unidades promedio y utilización de locaciones entre los sistemas actual y Kanban.

Kissani y Bouya (2014) concluyen que el sistema actual tiene un porcentaje de utilización del 82.59% del área de almacenamiento de material para el proceso y altos WIP para algunos procesos, por ejemplo, la actividad de corte. Lo anterior es causa de congestión en el área de trabajo y del incremento de costos por almacenamiento. Al comparar los modelos, se concluye que el Kanban es eficaz para el control de inventarios de WIP y que la simulación permitió la evaluación de su implementación, evidenciar la disminución del WIP y aprovechar mejor el uso de recursos, tal como se observa en los indicadores de porcentajes de utilización.

El estudio anterior se convierte en el estudio base para el desarrollo de este trabajo de grado porque maneja supuestos compartidos entre ambas empresas objeto de estudio; entre estos cabe mencionar que son sistemas de producción bajo pedido a los cual se propone implementar la metodología Kanban, cuyo uso en la literatura predomina para sistemas de producción constante. Además, ambas empresas manejan la premisa de procesos estandarizados y controlados que en la realidad muestran sistemas productivos de poca eficiencia por altos niveles de inventario, cuellos de botella, WIP e indicadores de nivel de servicio afectados.

De igual forma, Crespo y García (1996) realizan un análisis comparativo entre diferentes sistemas de planificación, programación y control de la producción: MRP, OPT y JIT/KANBAN. Puntualmente en el análisis de la metodología Kanban plantean que trabajar sistemas de producción bajo pedidos resulta ser una alternativa adecuada al manejar tamaños intermedios de incertidumbre y complejidad del sistema, debido al supuesto de fabricación exclusivo bajo demanda del cliente o de la subsiguiente estación de trabajo, favoreciendo la producción de lotes pequeños.

El trabajo realizado por Ruiz et al. (2010), complementa la idea de utilización de Kanban en sistemas de producción bajo pedido al analizar la

implementación de este sistema en una empresa fabricante de componentes para equipos especializados en los que no se manejan inventarios y la producción es halada por los pedidos de los clientes. Los principales resultados de esta implementación se resumen en la garantía de flujo de componentes constante a lo largo de la cadena de valor, disminución de retrasos, inventarios, equilibrios de cargas de trabajo durante periodos de baja y alta demanda, y generación automática de órdenes para reponer en almacén tras las entregas a los clientes.

Vasallo (2013) realiza un análisis de alto grado de similitud a la investigación desarrollada por Ruíz (2010), considerando como parámetros: ventas, plazos de suministro de materia prima, plazos de entrega de los pedidos de los clientes y el costo del inventario; con esto se establecen los puntos de pedidos, los tamaños de lote, las cantidades de material a pedir y el número de tarjetas Kanban a utilizar. Los resultados obtenidos por Vasallo (2013) son evidentes en cuanto a cumplimiento de plazos de entrega, menores costos de inventario, eliminación de tiempos improductivos y fácil manejo de la información de necesidad de material.

Adicionalmente concluye que menor cantidad de inventario significa no solo descongestión del área de trabajo, sino menor mano de obra aplicada al área de almacenamiento. En el análisis final muestra la relación entre gastos, costos e ingresos, concluyendo que a través de la metodología Kanban se obtiene un 42,93% más en beneficios que el sistema tradicional de trabajo y un ahorro de 5% de utilización por máquina.

El aporte de estos trabajos validan la utilización de la metodología Kanban en sistemas de producción bajo pedidos, mostrando los beneficios asociados a la implementación de esta metodología y los valiosos aportes de la simulación de sistemas para evaluar dicho proceso de implementación

5. MARCO TEÓRICO

5.1. METODOLOGIA KANBAN

Los orígenes de la metodología Kanban se remontan a la década de los 50 en los que la compañía Toyota despertó interés en aplicar las técnicas de abastecimiento que utilizaban los supermercados de la época. Estos almacenes de cadena centraban su estrategia en utilizar sólo lo necesario para dar cumplimiento a la demanda, manteniendo almacenado sólo los productos y cantidades necesarias y controlar el proceso de abastecimiento a partir de la metodología Kanban con controles de paso a la línea de producción (Faican & Calle, 2011). Toyota implementa esta metodología en su planta principal como una de sus principales técnicas gerenciales aplicadas a los procesos productivos para el año 1953 (Faican & Calle, 2011). Para los años 80's se convierte en un hito en el desarrollo de la ingeniería industrial, dentro del enfoque japonés hacia la gestión de la calidad total y la producción a justo (Linares & Acevedo, 2012).

Como complemento a esta metodología, nacen los sistemas Just-In-Time (JIT por su sigla en inglés). Los sistemas Just-In-Time no se definen exclusivamente como procedimientos de control de stocks, material y obras en curso, sino como el conjunto de sistemas o filosofías de gestión, cuyo objetivo es eliminar los desperdicios e incrementar la utilización al máximo de los recursos del sistema de trabajo (Pascual & Guardiet, 1999). Esta metodología fue promovida inicialmente por la industria automotriz, especialmente por la compañía Toyota. Los sistemas JIT toman como base el sistema Fordista, permitiendo encontrar respuestas asertivas a los inconvenientes presentados durante el proceso de capitalización y globalización hacia el mercado internacional (Juárez Núñez, 2002).

La integración de la metodología Kanban y Just-In-Time como herramienta del sistema de información para la compañía Toyota, se remonta a 1975 (Faican & Calle, 2011), reconociendo la organización y armonía que el sistema Kanban proporciona al sistema de producción al autorizar las ordenes de los tipos de productos requeridos en las cantidades y en el momento preciso para cada uno de los procesos productivos (Rajadell & Sánchez ,2010).

La metodología Kanban fue perfeccionándose a medida que se implementaba en diferentes plantas problemáticas de la compañía y de la industria automotriz en general, siendo cada vez más eficiente, y traspasando las fronteras geográficas en su implementación, llegando hasta empresas manufactureras de productos electrónicos en el Reino Unido (Rajadell & Sánchez, 2010).

Por su parte, Estrada (2006) desmiente la idea de que las metodologías Kanban y Just-In-Time sólo aplican para el control de inventarios, y aunque es cierto que es una de sus principales funciones, estas metodologías integran a los modelos de control de inventarios, elementos de importancia como la calendarización de actividades mediante etiquetas y control en la organización del flujo de trabajo en los procesos de producción.

Siguiendo a otros autores en la definición de la metodología Kanban, Arbós (2011) sigue la idea de Rajadell y Sánchez (2010), al afirmar que el sistema Kanban funciona bajo la premisa de que los sistemas productivos deben incrementar su productividad mediante la obtención de los requerimientos necesarios, en cantidades específicas y en el momento preciso para reducir pérdidas en costos, productos, reprocesos y almacenamiento. Adicionalmente, el autor explica como Kanban incorporado al Just-In-Time logra distinguir a los procesos como "clientes" y "proveedores". Los clientes determinan los elementos necesarios para el proceso, mientras que los proveedores suministran, mediante tarjetas, la

variedad, cantidad y plazos de entrega de los productos, previniendo de esta manera que se agregue trabajo innecesario a las áreas de cuyas órdenes de producción ya han sido iniciadas (Fernández & Soto, 2011).

Bajo este tipo de sistema, las necesidades son cubiertas luego de ser comprobadas. La herramienta Kanban se caracteriza por proveer de versatilidad el sistema productivo, aunque no determine la producción bajo una planificación a posteriori, resulta sensible a las alteraciones en los planes de producción (Rajadell & Sánchez, 2010). Como ya es conocido el sistema Kanban relaciona el uso de tarjetas de señalización, pero Aguilar (2002) adiciona que si se administran adecuadamente, estas señales para el manejo de la producción y transporte de material, pueden manejarse en forma de cuadros, luces de colores, contenedores de colores, líneas de nivel en paredes, entre otras formas, que al ser percibidos de manera práctica por los operarios del proceso, permitirán el cumplimiento de los objetivos principales de Kanban: eliminar transacciones, reprocesos, papeleos, consultas, e inventarios innecesarios.

Luis Cuatrecasas Arbós (2011) afirma que el sistema Kanban funciona bajo la premisa de que los sistemas productivos deben incrementar su productividad mediante la obtención de los requerimientos necesarios, lo que son elementos y cantidades específicas, en el momento preciso para realizar la debida actividad, con el fin de reducir pérdidas en costos y almacenamiento.

Sipper y Buffin (1998) reafirman el significado de la palabra Kanban como una palabra japonés relacionado con tarjetas o registro visible. Además, estos autores coinciden con el pensamiento de Arbós (2011) en la interacción de clientes y proveedores como elementos visibles en el registro de las variables productivas.

En síntesis, el Kanban es un sistema de transmisión de órdenes de producción y manejo de material y/o productos a lo largo de la línea de producción, mediante la compilación de información necesaria para llevar a cabo el proceso productivo por medio de señales de diferente índole (tarjetas, cuadros, luces, carros, etc.) (De Diego et al., 2009), cuyo objetivo principal es satisfacer la demanda de los clientes, mientras que al mismo tiempo busca minimizar los tiempos de entrega, las cantidades en inventario y por ende los costos, permitiendo que el mercado o cliente mediante pedidos tire y ponga en marcha la producción (Urquiola & Tamayo, 2014).

De acuerdo a los autores Sipper y Buffin (1998), los objetivos del Kanban se resumen en los siguientes:

- ✓ El Kanban busca limitar la cantidad de material en proceso, prohibiendo que procesos anteriores inicien actividades de producción a voluntad. La metodología busca que dichos procesos anteriores inicien labores sólo cuando se les transmita la orden de producción, de manera que se pueda mantener un flujo de materiales fijos en proceso y se llegue a disminuir el número de Kanbans, motivando la disminución de los tiempos en proceso y la cantidad de material en stock.
- ✓ Debido a que las órdenes de producción son controladas por los procesos posteriores de manera automática, esto se convierte en una labor sencilla de la actividad de control.
- ✓ La tarjeta Kanban de identificación debe ser clara y siempre visible en los contenedores de materiales; esto, con el fin de servir como indicadores claves para identificar el contenido del mismo.

Para otros autores como Ballesteros y Ballesteros (2008), el Kanban influye positivamente en el proceso de producción, al evitar que trabajos y operaciones innecesarias sean agregados al momento de la labor, permitiendo la disminución de los trámites de información, el control de la producción, la reducción de los niveles de inventario y sobreproducción, y

los procesos de mejora continua en la minimización de desperdicios y tiempos de entrega. Además, esta metodología es una pieza clave para encontrar cuellos de botella significativos en el flujo de material e información, facilitando la mejora diaria del proceso y convirtiéndose en el paso inicial para el desarrollo de sistemas productivos bajo la metodología Just-In-Time.

En sistemas de producción robustos, la metodología Kanban sirve de apoyo en la flexibilidad y versatilidad para que las órdenes de producción se manejen bajo sistema de prioridades (Ballesteros & Ballesteros, 2008). Para esto, Sipper y Bufin (1998) enfatizan en que es necesario que las tarjetas Kanbans contengan los datos de identificación necesarios como nombres, codificación, cantidad de materiales e información de lugar de emisión y recepción, sin exagerar en los detalles descriptivos que puedan añadir complejidad en el manejo y afecten la eficiencia de los mismos.

Siguiendo esta idea, Faican y Calle (2011) exponen a las tarjetas Kanban como sistemas de señalización automáticas que deben contener la siguiente información para organizar el flujo de materiales en los procesos productivos:

- ✓ Descripción
- ✓ Código
- ✓ Cantidad de materiales
- ✓ Inventario máximo
- ✓ Puntos de reorden
- ✓ Proveedor interno
- ✓ Cliente interno

Para cumplir con el objetivo Kanban, no es necesario que todas las empresas utilicen los mismos sistemas o medios físicos de tarjetas, debido a que dependiendo del tipo de industria pueden surgir inconvenientes; tal es el caso de las empresas que usan grasas, donde el

material de las tarjetas pueden resultar afectadas e incluso convertir en ilegible la información. En el caso de empresas como Hewllet-Packard, simplemente colocan cintas adhesivas en el suelo formando cuadros, los cuales significaban que si el cuadro estaba vacío, el material debe ser repuesto justo allí.

5.1.1. Tipos de Kanban

Los autores Ballesteros y Ballesteros (2008) mencionan la existencia de tres tipos de Kanbans, dos de estos son los más utilizados y reconocidos; uno está destinado al uso en la compilación de la información necesaria para ordenar el transporte del material y el otro, el número fijo de productos a realizar. Estas cantidades no necesariamente pueden ser las mismas, incluso la orden de ambas tarjetas pueden ser combinadas en una sola.

Sistema de una tarjeta

Siper y Bufin (1998) expresan este modelo como el más sencillo en cuanto a implementación, pero a cambio comentan que pierde un poco de control sobre el sistema de trabajo. En este solo se usan los T-Kanban, hablando del transporte de material, puesto que para el proceso de producción no se utiliza hasta este nivel los P-Kanbans; razón por la cual, las actividades de producción son guiadas por programación de los procesos.

Con base a lo anterior, este sistema se sintetiza como la combinación entre un sistema de control por empuje para la producción (debido a que se produce conforme a un programa), y un control pull para las entregas.

Por otro lado, las órdenes de producción y/o transporte pueden hacerse mediante sistemas visuales, los cuales actúan como Kanbans siempre que los centros de trabajo se encuentren a distancias cortas.

Sistema de tarjeta dual

El sistema de tarjeta dual consta de dos ciclos: el ciclo P y el ciclo T (Sipper & Bufin, 1998). El ciclo P controla las órdenes de producción, mientras que el ciclo T controla las órdenes de transporte. Para ambos ciclos se maneja el material por “contenedores”, los cuales transportan cantidades fijas de material o producto, por tanto, cada entrada a un centro de almacenaje contiene una tarjeta T-Kanban y cada salida, una tarjeta P-Kanban relacionada con la orden de producción.

La figura 1 muestra un sistema dual de tarjetas en el que un centro de trabajo anterior abastece a uno posterior. Los buzones Kanban se encuentran presentes en cada punto de entrada y salida de un centro de trabajo i , asegurando los tres aspectos importantes para un sistema Kanban, expresados de la siguiente manera: no existen contenedores de material sin tarjeta Kanban, solo una P-Kanban puede autorizar la producción, así como solo una T-Kanban puede autorizar un transporte de material, Garantizando la sincronía entre estaciones de trabajo.

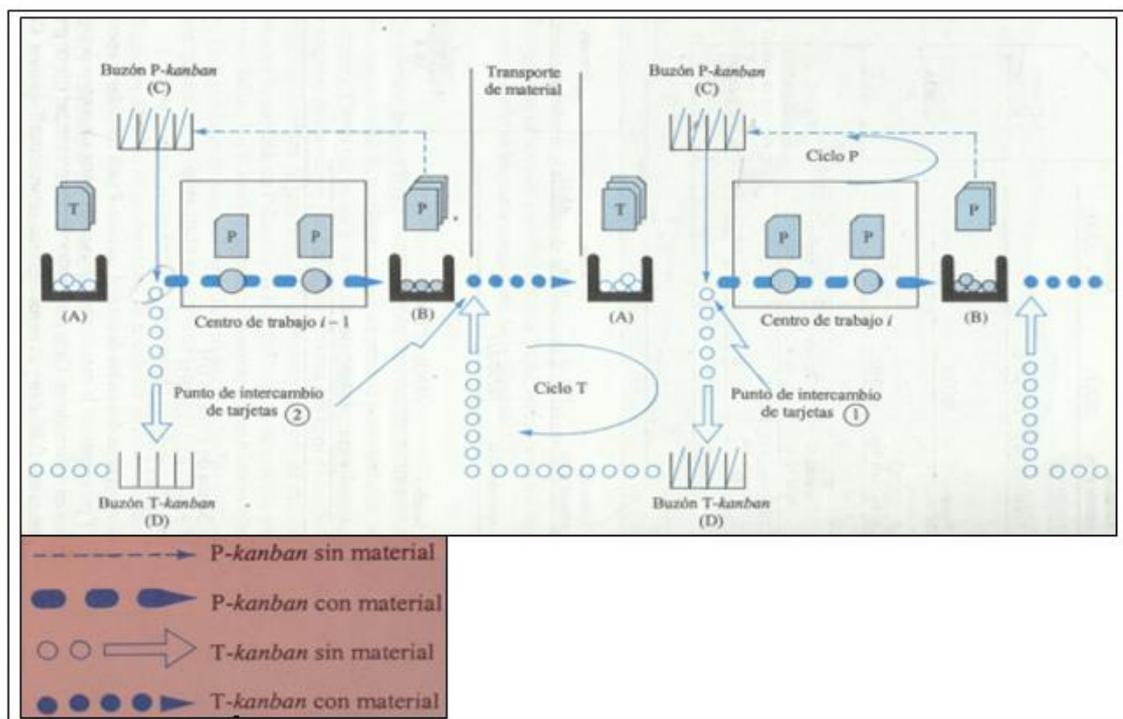


Figura 1. Un sistema Kanban de tarjetas duales. Fuente: Sipper y Bulfin, 1998.

De acuerdo a la figura anterior, a continuación se presenta como opera el sistema de dos tarjetas considerando tanto el Ciclo P como el ciclo T, y la interacción de ambos en los centros de trabajo del sistema de producción. Una vez que un número determinado de P-Kanban se acumulan en el buzón C del centro de trabajo i, estas se llevan al punto de intercambio de tarjetas (1), donde los contenedores reemplazan las T-Kanban por las P-Kanban y se obtienen nuevas órdenes de producción en el centro de trabajo i.

Ahora en el ciclo T, luego de que un número determinado de T-Kanban se acumula en el buzón D del centro de trabajo i, estas son llevadas al punto de intercambio de tarjetas (2) del centro de trabajo i-1, reemplazando las tarjetas P-Kanban de los contenedores por tarjetas T-Kanban. De esta forma se inicia el traslado de material requerido para mantener el flujo de material y requerimientos hacia el centro de trabajo i.

Una vez finalizada esta etapa, inicia de manera iterativa el ciclo P, considerando la cantidad de centros de trabajo.

Como conclusión a este sistema, existen 3 aspectos importantes para el flujo del Kanban:

- ✓ Ningún contenedor debe estar sin un Kanban.
- ✓ Solo las T-Kanban autorizan el movimiento de material.
- ✓ Solo las P-Kanban autorizan la producción.

Bajo este sistema de dualidad y trabajo sincronizado de los ciclos, se obtiene que los Kanbans controlen el nivel de inventario al establecer que todo lote debe contener Kanbans.

La confiabilidad del uso del Kanban será proporcional a los niveles de reducción de demanda y desperdicio, menores tiempos de preparación,

confiabilidad de equipos y niveles de productos defectuosos que se transportan de un centro de trabajo a otro (Sipper & Bufin, 1998).

Pérez (2007) argumenta que el sistema de dos tarjetas es útil cuando las distancias entre estaciones de trabajos son largas y se necesitan de buffers en las estaciones, bajo la existencia de material almacenado que aguarda ser utilizado dentro de la secuencia del proceso, a través de una tarjeta Kanban de señalización.

Sistema Conwip

El sistema Constant Work in Process (CONWIP por su sigla en inglés) es un tipo de Kanban que se caracteriza por mantener constante el inventario en proceso (González et al., 2010). En este sistema, una tarjeta es asignada al inicio de la línea de producción y se asocia con el trabajo realizado por la respectiva línea; por tanto, la cantidad de trabajos para dicho sistema debe coincidir con el número máximo de tarjetas disponibles al inicio de este (Spearman, 2000).

González et al. (2010) demuestra en la figura 2 que luego de que una actividad ha concluido dentro del proceso, la tarjeta asociada es trasladada al inicio de la línea, quedando disponible para ser cargada a un nuevo trabajo con la asignación del parámetro k correspondiente al número inicial de tarjetas Kanban.

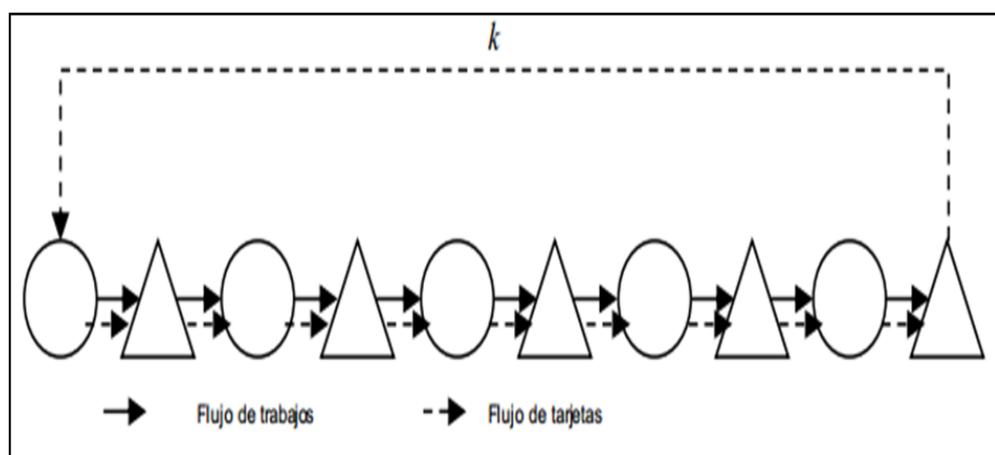


Figura 2. Sistema Conwip. Fuente: González et al., 2010.

Adicionalmente, el sistema CONWIP es considerado un sistema tipo Pull, aunque otros autores difieren en esta teoría, Blanco et al. (2006) considera que el sistema Conwip es por lo menos en parte pull, solo al final del proceso, afirma que en el resto de este, la metodología es netamente un sistema de control Push puesto que las ordenes son empujadas a lo largo del proceso hasta nuevamente llegar al final de él hasta hacer uso momentáneo del sistema pull, esto hace pensar que el sistema actual Conwip no corresponde a un sistema Kanban en su totalidad, pues el Kanban es un sistema netamente Pull. Con relación a la efectividad de este sistema en comparación con los otros tipos de sistema Kanban, se concluye que ésta depende directamente del entorno de aplicación (Framinan, 2003).

Kanban Minimal Blocking

Este sistema también es conocido como política del mínimo bloqueo. Se distingue de otros sistemas al utilizar como parámetro de flujo, el estado de un contenedor de piezas bajo el supuesto de que la petición de piezas ocurra una vez que un contenedor sea retirado del punto de salida de una etapa (Franco et al., 1998).

De acuerdo a los autores Franco et al. (1998), el sistema actual resulta beneficioso cuando se cuenta con una línea de producción donde existen maquinas o centros de trabajo que realicen la misma operación. En este caso, si para la tarea siguiente la maquinaria está dañada, el Kanban transmite la información de producción a la maquina siguiente, manteniendo el flujo de trabajo y reacción constante a la demanda.

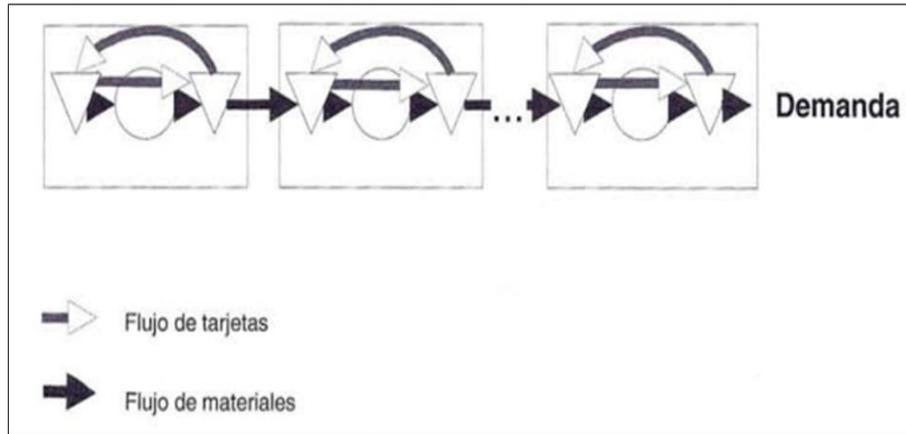


Figura 3. Sistema Kanban de Tipo Minimal Blocking. Fuente: Franco et al., 1998.

Kanban tipo Trigger

Bajo este sistema, las señales Kanban fluyen desde los centros de demanda hacia los buffers de salida o inventario en espera, con ello se controla la producción y el transporte, teniendo en cuenta el requerimiento en cola del proceso siguiente (Mora et al., 2012).

La figura 4 evidencia lo expuesto anteriormente en este tipo de sistemas. En ella puede observarse que las tarjetas Kanban son enviadas con la información necesaria de demanda de productos hacia cada uno de los buffers de inventario con la finalidad de liberar material hacia los centros de procesamiento para iniciar las actividades de fabricación de productos.

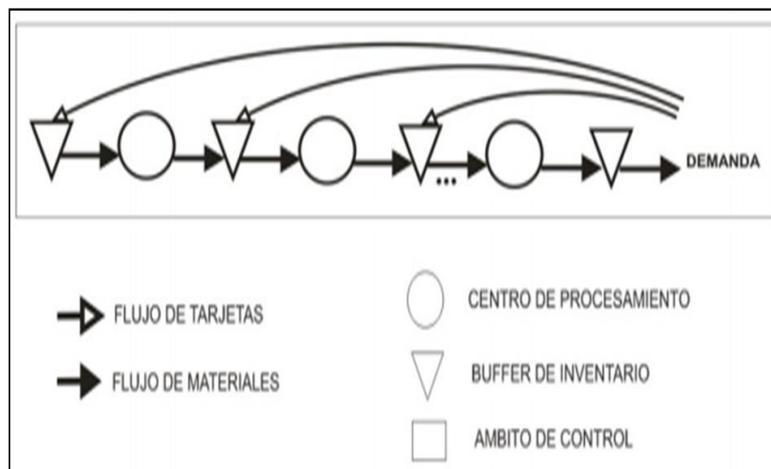


Figura 4. "Layout" del sistema "Kanban Trigger". Fuente: Mora et al., 2012.

5.1.2. Ventajas del uso de la metodología Kanban

Faican y Calle (2011) resumen en el cuadro 1 las diferencias entre las empresas que usan Kanban y las que no usan, siendo reconocidas, además de las ya mencionadas como principales ventajas, la satisfacción de la demanda, estandarización, adaptación al cambio, disminución de tiempos en procesos, reducción de reprocesos, inventarios, cuellos de botella, congestiones y añade valor agregado en la certificación bajo la norma ISO 9000.

EMPRESAS QUE USAN KANBAN	EMPRESAS QUE NO USAN KANBAN
Centradas en la satisfacción del consumidor	Centradas en los beneficios
Centradas en satisfacer la demanda	Centradas en crear demanda
Paciencia	Impaciencia
Mayor trabajo en equipo	Poco trabajo en equipo
Adquiere certificación ISO-9000	sin certificación ISO-9000
La alta dirección contacta con la fábrica y clientes	Alta dirección distante a clientes o fabrica
Homogeneidad	Diversidad
Los problemas son tesoros	Los problemas son signos de debilidad
Técnicas de comunicación visual (más rápidas)	Técnicas de comunicación verbal (lentos)
La estandarización es esencial	Estandarización limitada
El enfoque es claro para todos	Todo es importante
Se sigue una dirección de arriba hacia abajo	Resistencia a la dirección de arriba hacia abajo
Anticipación al cambio tanto en elaboración de tipos de productos	Ser víctimas del cambio

como la cantidad de los mismos	
--------------------------------	--

Cuadro 1. Relación comparativa de Empresas que usan Kanban y las que no usan.
Fuente: Faican y Calle, 2011.

5.1.3. Implementación del sistema Kanban

Los autores Ballestero y Ballestero (2008) recomiendan que antes de iniciar la implementación de la metodología es esencial que el personal, no solo el encargado de la implementación, sino todo aquel que pertenece al sistema (empresa u organización), sean conscientes de las ventajas de la utilización de esta metodología y de los inconvenientes que pueden presentarse en aspectos culturales y personales con relación al tema del autocontrol en los procesos.

Con base en lo anterior, los autores exponen como condiciones mínimas para la implementación de Kanban en un sistema, las siguientes:

- ✓ Conocer al detalle la programación de la producción.
- ✓ Instaurar un flujo lógico de materiales.
- ✓ Establecer una secuencia lógica tanto en el flujo de materiales como de información entre clientes del sistema.
- ✓ Estar en capacidad de actualizar el sistema de forma continua.

Adicionalmente, Soto (2008) enfatiza en la necesidad de que se produzca en la misma línea de producción diferentes productos o modelos, que existan medios de transporte como contenedores entre estaciones de trabajo, y que el espacio o tiempo de transporte de material entre estos sea el mínimo y su procesamiento constante.

Fases de la implementación del Kanban

De acuerdo con Faican y Calle (2011), para la correcta implementación de la metodología Kanban deben seguirse las siguientes cuatro fases de manera sistémica:

- ✓ Entrenamiento del personal
- ✓ Implementación Kanban en los componentes más problemáticos del sistema
- ✓ Implementar Kanban en el resto de los componentes del sistema
- ✓ Revisión del sistema Kanban, puntos de reorden y niveles de reorden

Ballesteros y Ballesteros (2008) explican a profundidad las condiciones establecidas por Faican y Calle (2011) para cada una de las fases mencionadas en la implementación del Kanban:

- ✓ Entrenamiento del personal: Entendido como entrenamiento, educación y compromiso por parte del personal. Esta condición garantiza que en todos los niveles de la organización se comprendan las generalidades, beneficios y fundamentos de la metodología Kanban. El compromiso total es requerido debido a que aunque el personal no participe de manera activa en la implementación de la metodología, se verán afectados en los cambios presentados en la organización. El compromiso desde los altos niveles de la organización garantiza el éxito de la metodología aplicada al sistema, en cuanto a la adaptación del personal involucrado o incluso las habilidades que estos deben adquirir para resolver los diversos inconvenientes que presenten los sistemas en desarrollo del Kanban.
- ✓ Implementación Kanban en los componentes más problemáticos del Sistema: Esta fase hace referencia básicamente a la implementación de la prueba piloto en un área aislada de la planta, para la observación, control y análisis de las variables clave que permitirán la oportunidad de encontrar las actividades ocultas que darán como resultado la

mejora del personal, de acuerdo a su plan de entrenamiento. Por otra parte, marcan como piezas de revisión y mejora, actividades como programación y control de la producción, diseño del proceso, estandarización de procesos, reducción de inventarios, eliminación de depósitos de material innecesarios y el trabajo adecuado entre los proveedores y clientes que intervienen en el sistema.

- ✓ Implementar Kanban en el resto de los componentes del sistema: Una vez que se ha implementado Kanban en las áreas problemáticas y se han obtenido resultados favorables, se procede a aplicar la metodología a las demás áreas de la organización. La estrategia consiste en fortalecer la tercera fase de la metodología mediante la comunicación constante entre el personal de las diversas áreas de aplicación Kanban, con el fin de encontrar soluciones a las problemáticas, teniendo en cuenta la participación del personal en el proceso de toma de decisiones.
- ✓ Revisión del sistema Kanban, puntos de reorden y niveles de reorden: Es necesario verificar que no haya trabajo fuera de la secuencia y si alguno presenta inconvenientes, el supervisor debe permanecer informado para la debida gestión de la solución.

5.2. SIMULACIÓN DE PROCESOS

En la actualidad, los sistemas son cada vez más complejos. Estas complejidades son el resultado de las interrelaciones de los diferentes elementos que conforman los sistemas, haciendo que la dificultad en la administración de estos aumente conforme aumenta la complejidad (Shannon, 1988).

De acuerdo a lo anterior, Shannon (1998) afirma que la complejidad de los sistemas tiende a crecer conforme transcurre el tiempo y que el grado de complejidad obtenido por el sistema trasciende su estructura física, que al combinarse con la estructura organizacional, los niveles de interacción de entidades, entre otros, incrementan su dificultad para ser

analizado o estudiado. Es en este punto donde la simulación ofrece la respuesta al método de estudio para el análisis de sistemas complejos; incluso, si la complejidad de los sistemas incrementa con el transcurso del tiempo, así mismo la computación se fortalece, ofreciendo cada vez mejores herramientas y útiles aplicaciones en el diseño de procesos para la simulación.

Para la simulación, los sistemas son el conjunto de componentes que funcionando de manera recíproca buscan alcanzar un objetivo que de manera colectiva reaccionan a influencias externas a él, construyendo representaciones de procesos de abstracción para comprender diversos aspectos que en dicho sistema se presentan (Speeding, 1997; Izquierdo et al., 2008).

El proceso de simulación implica el desarrollo de modelos estocásticos que usan variables aleatorias con bases probabilísticas para estudiar la relación de las diferentes entradas del modelo. De acuerdo a esto, el método de simulación de Montecarlo es aplicable para la modelación de sistemas complejos resultando ser el intercepto entre el uso de conceptos probabilísticos para la modelación de sistemas y la capacidad de ordenadores para que a través de la generación de números aleatorios y los cálculos automatizados se obtengan análisis más efectivos para estos sistemas (Judge, 1999).

Para Shannon (1988), el modelado es la representación de sistemas, objetos e ideas que son expresadas de forma diferente a la entidad original, mediante la réplica de dichos originales, con el objetivo de explicar, entender o mejorar un sistema.

El *Diccionario Universitario Webster*³ define el concepto de *simular* como “fingir, llegar a la esencia de algo, prescindiendo de la realidad” Con base en esta definición, Pazos (2003) define a la simulación como un proceso

³ WEBSTER, [en línea], <http://www.merriam-webster.com/dictionary/university> [citado en 19 de Abril de 2015].

que al diseñar y experimentar un modelo real, busca entender su comportamiento, considerando las restricciones impuestas por un conjunto de criterios y evaluando las diferentes estrategias para la operación del sistema en cuestión.

Para Arango et al. (2005), la simulación es una herramienta cuya finalidad es la validación final de un modelo, análisis y sensibilidad para la experimentación, con el fin de obtener resultados que permitan el control o intervención sobre el sistema real. Zeigler (1976) ofrece su propio significado, afirmando que la simulación no es más que una imitación de la experiencia real, que además puede ser representando de manera virtual posibilitando las respuestas a los interrogantes planteados sobre el sistema en estudio. Un concepto más sistemático es aquel que señala Fishwick (1995), describiendo la simulación como el proceso inmutablemente asociado y repetitivo a tres componentes: diseño, ejecución y análisis de ejecución.

5.2.1. Ventajas y desventajas de la simulación

Debido a las condiciones de complejidad de muchos sistemas, se imposibilita la opción de utilizar un modelo matemático para concretar una solución analítica para este, razón por la cual se hace necesario el uso de modelos de simulación.

La elección de modelos de simulación conlleva a una serie de ventajas y desventajas, presentadas a continuación (Pazos, 2003; Shanon, 1998):

Ventajas:

- ✓ Permite la comparación de diseños alternativos, estudiando aquellos que satisfacen los requerimientos señalados.
- ✓ Permiten el estudio de un sistema bajo un conjunto de criterios o parámetros determinados.

- ✓ Permite estudiar un sistema durante un marco o lapso de tiempo adecuado.
- ✓ Tiene fuerzas aplicaciones educativas y de entrenamiento.

Desventajas:

- ✓ Costoso en cuanto a tiempo y recursos.
- ✓ Debido a la aleatoriedad, los resultados de la simulación pueden arrojar resultados diferentes en concordancia con la optimización del sistema real.
- ✓ La calidad de los resultados de un modelo dependen en mayor parte de la calidad del modelo como tal, es decir, que tan aproximado es este al sistema original

Requieren de la calibración y validación de los modelos. Pazos (2003) argumenta una serie de condiciones en las que se hace necesario el uso de modelos de simulación, entre las cuales se encuentran:

- ✓ Cuando los modelos matemáticos sean insuficientes para desarrollar una solución a la problemática del sistema.
- ✓ Cuando se cuenten con los métodos analíticos, pero los modelos matemáticos sean tan complejos que se les dificulte encontrar una solución.
- ✓ Cuando se desea observar y/o analizar la trazabilidad de ciertos parámetros a lo largo de un periodo de simulación.
- ✓ Cuando la experimentación en tiempo real sea difícil o imposible.
- ✓ Cuando se requiera acelerar el tiempo de sistemas o procesos a lo largo de un tiempo de realización.

Este último genera la posibilidad de controlar variables como el tiempo o retardo de actividades, ideas clave para la solución de problemas en sistemas productivos.

5.2.2. Modelos de simulación

Según Pazos (2003) un modelo es considerado como la representación de un sistema real con el fin de estudiarlo, Estos modelos pueden clasificarse de la siguiente manera:

- ✓ Físicos: modelos usados en la industria arquitectónica, móvil y aeronáutica, representan los sistemas a escala. Estos son apreciados en el diseño de plantas y la arquitectura, permitiendo visualizar relaciones espaciales. Su principal característica radica en que las entidades se asemejan a la entidad real modelada y pueden ser elaborados en el tamaño original o a escala. Ejemplos de estos modelos son las maquetas, modelos bidimensionales y tridimensionales, modelos a menor escala, entre otros (Pazos, 2003).
- ✓ Matemáticos: son el tipo de modelos que expresa las relaciones de sus componentes en términos lógicos y cuantitativos (Shannon, 2003).

Para Shannon (2003) los modelos de simulación pueden clasificarse de la siguiente manera:

- ✓ Según el instante temporal: Modelos estáticos o dinámicos. Los modelos estáticos representan un sistema en solo un momento determinado. Los modelos dinámicos representan por su parte a un sistema en evolución constante a lo largo de una línea temporal.
- ✓ Según la aleatoriedad de las variables de estado: Los modelos pueden ser determinísticos o estocásticos. Los modelos determinísticos carecen de variables de tipo aleatoria, mientras que los modelos estocásticos se caracterizan por el manejo de variables aleatorias.
- ✓ Según el modo en que evolucionan las variables: Discretos y continuos. En un modelo discreto las variables cambian en un conjunto contable de instantes de tiempo, mientras que en los continuos, estas varían continuamente en función del tiempo.

Pazos (2003) añade que los modelos se pueden clasificar de forma general o particular. Incluso agrega que en los modelos analógicos, una propiedad de la entidad original es sustituida por otra con el fin de generar comportamientos similares al original, mediante la experimentación con sustitutos.

5.2.3. Formulación de modelos de simulación

Shannon (1988) recalca la importancia de utilizar sistemas computacionales para la aplicación de modelos de simulación, como herramienta útil para la implementación y ejecución de modelos complejos.

Para esto identifica una serie de pasos a seguir en la formulación de un modelo de simulación:

- ✓ Identificar los eventos: el autor la define como cualquier acción capaz de modificar el estado del sistema
- ✓ Definición del mecanismo de control de tiempos: aplicación de *relojes de simulación* que permitan mantener un record o trazabilidad de la evolución del modelo a lo largo del tiempo. Dentro de esta clasificación se incluye:
 - Temporización síncrona: el tiempo simulado (reloj) avanza a incrementos de tiempo fijo.
 - Temporización asíncrona: se da la posibilidad de manipular el tiempo de avance de un evento.
- ✓ Identificación de las estructuras de datos:
 - Definir variables de estado
 - Reloj de simulación
 - Listas o tablas de sucesos
 - Contadores estadísticos

- ✓ Definición del flujo de control y datos del programa simulador: Está relacionada con el supuesto de temporización asíncrona y aleatoriedad de variables por medio de generadores de números aleatorios.
- ✓ Definir la estructura del programa que se utiliza para simular:
 - Rutina de inicialización
 - Programa principal
 - Rutina de eventos (actualización de datos estadísticos)
 - Rutinas de temporización
 - Generadores de informe
 - Una rutina para la generación de evento aleatorio
- ✓ Seleccionar el tiempo de lenguaje para la implementación del modelo de simulación
- ✓ Programar
- ✓ Verificación del modelo de simulación: necesario para la corrección de divergencias en el modelo.
- ✓ Validación del modelo de simulación: necesaria para evaluar si el modelo es ideal para el estudio del sistema real.

La figura 5 presenta en detalle el algoritmo expuesto para la formulación de modelos de simulación.

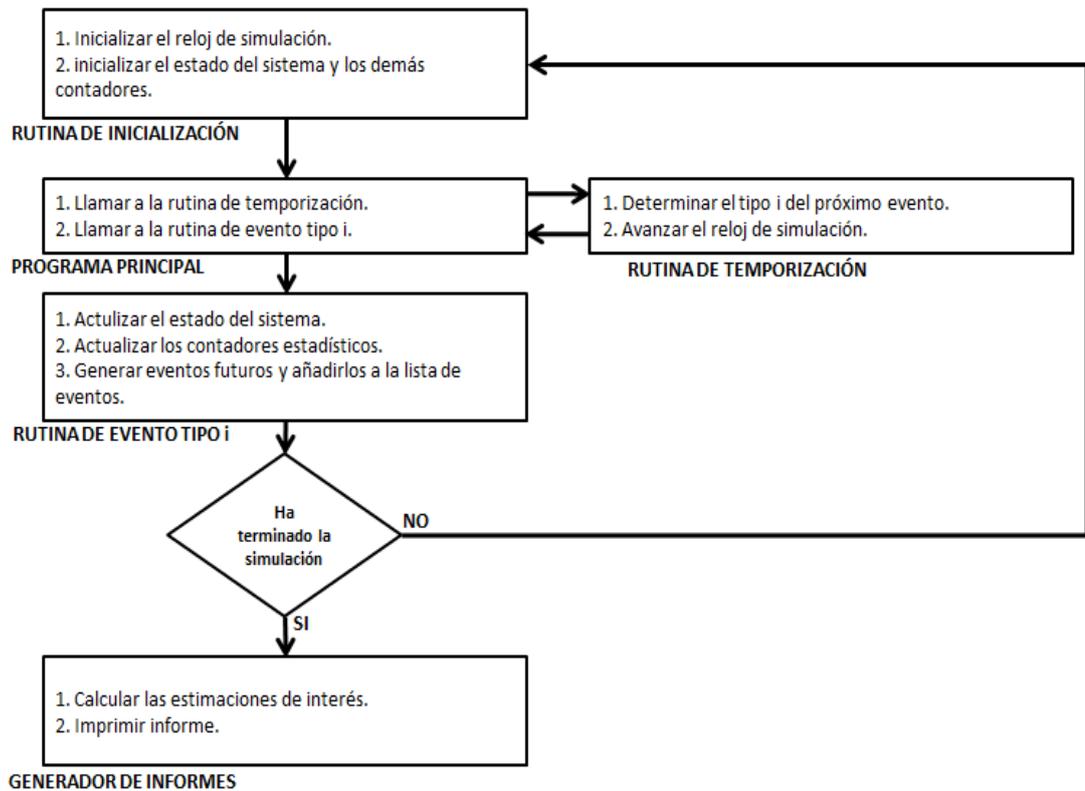


Figura 5. Formulación de un modelo de simulación. Fuente: Shannon, 1998.

5.3. SOFTWARE DE SIMULACIÓN

Petit, Piera y Casanovas (2002) argumentan que a pesar de existir lenguajes de programación que pueden ser usados para simular el comportamiento de sistemas discretos, existen otras alternativas para obtener estudios de simulación de manera aún más ágil. Una de estas es el uso de software de simulación, los cuales ofrecen las herramientas y características necesarias para la réplica de un sistema y su evolución según la variación de sus parámetros.

Actualmente existe gran variedad de compañías dedicadas al desarrollo de programas para la simulación de sistemas, dentro los software más utilizados se encuentran:

5.3.1. PROMODEL®:

Software de gran capacidad y flexibilidad para interactuar con los sistemas operativos Windows. Considerado como uno de los software más avanzados para la simulación de eventos discretos que permite la evaluación, planificación, diseño y control de la producción, actividades de almacenamiento, logística y demás relaciones operacionales y estratégicas. La ventaja que genera su uso se refleja en el ahorro económico de sistemas de planificación y control (Guerreros & Henríquez, 2013).

5.3.2. FLEXSIM®:

Desarrollado por Bill Nordgren, Roger Hullinger, Eamonn Lavery, Cliff King y Anthony Johnson. Este software permite modelar problemas básicos de un sistema con un alto nivel de precisión, ofreciendo una herramienta sencilla para el desarrollo de modelos de simulación que permita abordar dichos problemas sin la necesidad de escribir códigos de programación. Su enfoque permite visualizar en mayor grado las actividades de producción debido a aplicaciones en tercera dimensión y compatibilidad con paquetes de software de diseño, tales como AutoCad, ProE, Solid Works, entre otros. El nivel de precisión estadístico y detalles gráficos son valores agregados al programa (Marmolejo et al., 2013).

5.3.3. SIMUL8-PLANNER®:

Es una plataforma para la planificación basada en la simulación de procesos, la cual programa mediante secuencias inteligentes, el flujo de productos a través de una planta de trabajo. Combinando la planificación y la simulación es capaz de generar programas de producción que logren satisfacer sistemas de entrega de pedido y capacidad límite de trabajo, entregando resultados con alta confiabilidad, versatilidad para el análisis

mediante la variación de parámetros y un grado refinado de visualización, (Hindle & Duffin, 2006).

5.3.4. ROCKWELL ARENA®

Es un software para la simulación de procesos compuesto por un conjunto de bloques que gráficamente representan un variado número de procesos clasificados de acuerdo a su complejidad; dichos bloques son entrelazados para permitir el flujo de entidades entre ellos. El programa cuenta con la exposición gráfica del modelo, de manera que se puede observar como las entidades fluyen a través de este, haciendo del proceso de simulación una actividad visual, dinámica y con mayores posibilidades de análisis en cuanto a la capacidad de observar de manera completa el modelo e interferir en este de acuerdo al modelo en proposición (Palacios, 2006).

Dentro de las herramientas más importantes que presenta este software, se referencian los bloques gráficos que permiten mostrar los valores correspondientes al estado de las variables a lo largo del periodo modelado, así como la recopilación de información estadística del modelo y los informes generados.

El software ha sido destinado dentro de sus aplicaciones típicas a áreas como la manufactura, la cadena de suministros, procesos de negocios, salud, mejoramiento en almacenamiento y logística. La demanda del mercado se resume a la industria manufacturera con aplicaciones a la cadena de suministros y proceso de negocios en mayor nivel porcentual, seguido del sector militar y el sector salud (Barbis, 2005).

5.4. FUNDAMENTOS DE LA SIMULACIÓN EN ARENA.

Los siguientes conceptos básicos para el análisis del programa Arena son ampliados por los autores Ariza et al. (2003):

Entidad

Son definidas como personas, objetos, elementos, que fluyen o circulan a través del sistema produciendo cambios en las variables.

Recurso

Elemento fijo que puede ser utilizado por las entidades. Son utilizadas cuando se presentan actividades clave del sistema y que además restringen el flujo de entidades.

Atributo

Se define como una característica inherente a la entidad.

Variable

Se define como una característica general, propia del sistema, y este tiene el mismo valor dentro de todo el sistema, este valor puede ser determinado por el sistema o el usuario.

Evento

Es aquello que tras haber ocurrido cambia el estado del sistema.

Cola

Es aquella que aparece mediante la formación de grupos ordenados de entidades.

Panel de procesos básicos

Es el conjunto de módulos que permiten mediante sus conexiones la elaboración de un modelo en forma de diagrama del sistema, aunque con baja complejidad. Existen módulos lógicos y básicos; los módulos lógicos con parte activa del sistema, aparecen en el diagrama de modelado, mientras que los segundos no aparecen en el diagrama, estos se encuentran en hojas y básicamente colaboran en la declaración de variables y propiedades de los elementos propios del sistema (Ariza et al, 2003).

Para comprender el proceso de construcción de modelos de simulación con este software, se conceptualizan a continuación los elementos del panel de procesos básicos y algunos del panel de procesos avanzados en el cuadro 2.

PANEL PROCESOS BÁSICOS		
MÓDULO	DESCRIPCIÓN	SIMBOLO
CREATE	Módulo en el que se generan las entidades que fluirán a través del sistema. Este se encuentra al inicio del modelo	
DISPOSE	Módulo encargado de retirar del modelo las entidades que han circulado a través del sistema. Este se encuentra al final del modelo	
PROCESS	Módulo las entidades perciben las actividades y/u operaciones del sistema que involucran el uso de recursos	
DECIDE	Son módulos que, de acuerdo a una regla de decisión determinaran la dirección de las entidades a través del sistema	
BATCH	Este bloque permite definir lotes o grupos de entidades definidas con anterioridad	
SEPARATE	Bloque utilizado para dividir los lotes que fueron formados temporalmente	
ASSIGN	Bloque que permite el cambio de los atributos de las entidades del sistema	
RECORD	Es un bloque importante para el análisis posterior a la finalización del modelo, este guarda o recolecta toda la información estadística concerniente a la actividad de simulación	
ENTITY	Define el atributo Entity Type, es decir, los costes y animaciones iniciales de las entidades creadas	
QUEUE	Define el tipo de cola (regla: FIFO, LIFO, etc) y el nombre de la misma.	
RESOURCE	Definen los recursos usados en los procesos del modelo.	
VARIABLES	Definen las variables y arreglos que participaran en el modelo de simulación.	
SCHEDULE	En este módulo se determinara los horarios de trabajo que predominaran en el modelo de simulación	
SETS	Con el fin de facilitar la modelación, se utiliza este módulo para la formación de grupos repetitivos de recursos, colas, contadores, entre otros	
PANEL PROCESOS AVANZADOS		
MÓDULO	DESCRIPCIÓN	SIMBOLO
HOLD	Cumple 3 funciones, la primera es retener unidades hasta recibir una señal (enviada por un modulo signal), la segunda es retener unidades con base en la evaluación de una condición del sistema, y la tercera, la última forma forma de retención de entidades es de manera permanente.	
MATCH	Tiene como finalidad sincronizar dos o mas entidades.	
SIGNAL	Envía señales a un tipo específico de módulos para que estos cumplan una determinada función.	
DELAY	Módulo que retiene las entidades que llegan a él por un tiempo determinado.	
RELEASE	Módulo que se encarga de la liberación de un producto.	

Cuadro 2. Panel de Procesos Arena.

6. METODOLOGÍA

El diseño metodológico que guía la realización de este trabajo inicia con la descripción del proceso de fabricación de puertas sencillas y análisis del mismo, a través de los diagramas de procesos (ver Anexo 1) y diagrama de recorrido (ver Anexo 2). Estos diagramas son directamente proporcionados por la empresa caso de estudio y facilitan el conocimiento del sistema para la posterior modelación en el software de simulación.

Con base en lo anterior, se construye en la herramienta de simulación el modelo actual que es una réplica del sistema real, considerando las variables, parámetros y entidades de mayor ponderación en el proceso productivo. Seguido a esto, se ejecuta la simulación y se analizan los resultados, centrando el interés en la identificación de cuellos de botella, análisis del nivel de inventario y su relación espacial con la distribución en planta de la línea de producción y sus alrededores; por último, se analiza el nivel de servicio ofrecido por el sistema, teniendo en cuenta los dos últimos aspectos mencionados.

Una vez analizado el sistema actual, se construye el modelo propuesto configurando las nuevas entidades, parámetros y variables sobre el sistema inicial para modelar la metodología Kanban. Luego, al correr la simulación, se analizan los resultados mediante la comparación con el sistema actual, examinando las principales diferencias en el comportamiento de los procesos restrictivos, nivel de inventario y nivel de servicio.

Posterior a este análisis y tras haber descubierto las principales diferencias que constituyen oportunidades de mejora para el sistema, se construyen escenarios para experimentar y seleccionar la configuración de mayor ajuste a los resultados, en pro de la reducción de cuellos de botella y aumento de la eficiencia operativa en el proceso de fabricación de puertas sencillas.

6.1. PROCESO DE FABRICACIÓN DE PUERTAS SENCILLAS

El proceso productivo del producto PUERTAS SENCILLAS inicia con el transporte y disposición del material (perfiles de aluminio) en la zona de stock de material, ubicado en el área de armado de la línea de puertas. Simultáneo a este proceso, la materia prima (cristal) es transportada desde la bodega de vidrio hasta la zona de stock de cristales en el área de ensamble de cristal de la misma línea. Los accesorios necesarios para el armado de hojas tales como tornillos, bisagras y tensores son transportados desde el almacén de accesorios hacia el área de armado; de igual forma, los insumos requeridos para el ensamble del producto, tales como manijas, silicona y catalizador, son transportados desde la bodega de accesorios hacia el área de ensamble de la línea.

La perfilería de aluminio ubicada en el área de stock de material para el armado de puertas es transportada hasta 2 mesas de armado que trabajan simultáneamente; sobre una mesa es colocado el material para el armado de hojas (4 perfiles de aluminio) y a este material se le realiza una inspección detallada del acabado de la pintura y respectivas medidas. Luego de ser inspeccionado, se realiza el trazado del material para señalar los agujeros de instalación de las bisagras y la falleba; una vez finalizado el trazado, se perforan e instalan estos accesorios y se arma la hoja uniendo por medio de tensores el perfil superior a los laterales.

Este producto en proceso, es transportado hasta la mesa de ensamble, donde es montado el cristal. Una vez finalizado esta operación, la hoja es transportada hasta la máquina de silicona para instalar el empaque perimetral y silicona bicomponente en los espacios entre el cristal y los perfiles. Seguido a esto, se colocan los pisavidrios y se maquilla la hoja, retirando los excesos de silicona. De esta forma, una vez terminada la hoja es transportada hacia el área de ensamble final.

Sobre la otra mesa de armado es colocado el material para el armado de marcos (4 perfiles de aluminio); de igual forma se realiza inspección y se procede a la instalación del perfil superior con el mecanismo para la falleba. Seguido a esto, se coloca empaque perimetral a las 4 piezas del marco y se transporta hacia el área de ensamble final.

En esta área, se arma el marco uniendo los perfiles de este por medio de tensores. Luego, la hoja de la puerta se monta sobre el marco siendo fijada con las bisagras y se pule la puerta, inspeccionando la impermeabilización de la misma. Finalizado este proceso, se envía hacia las áreas de empaque y almacenamiento de producto terminado.

6.2. CONFIGURACION DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN

Con base en la descripción del proceso de producción para la fabricación de puertas sencillas, se construye el modelo de simulación que describe los elementos esenciales del sistema real en el software Arena® (ver Anexos 13 y 14). La figura 6 presenta el diagrama de flujo que expone el proceso de fabricación.

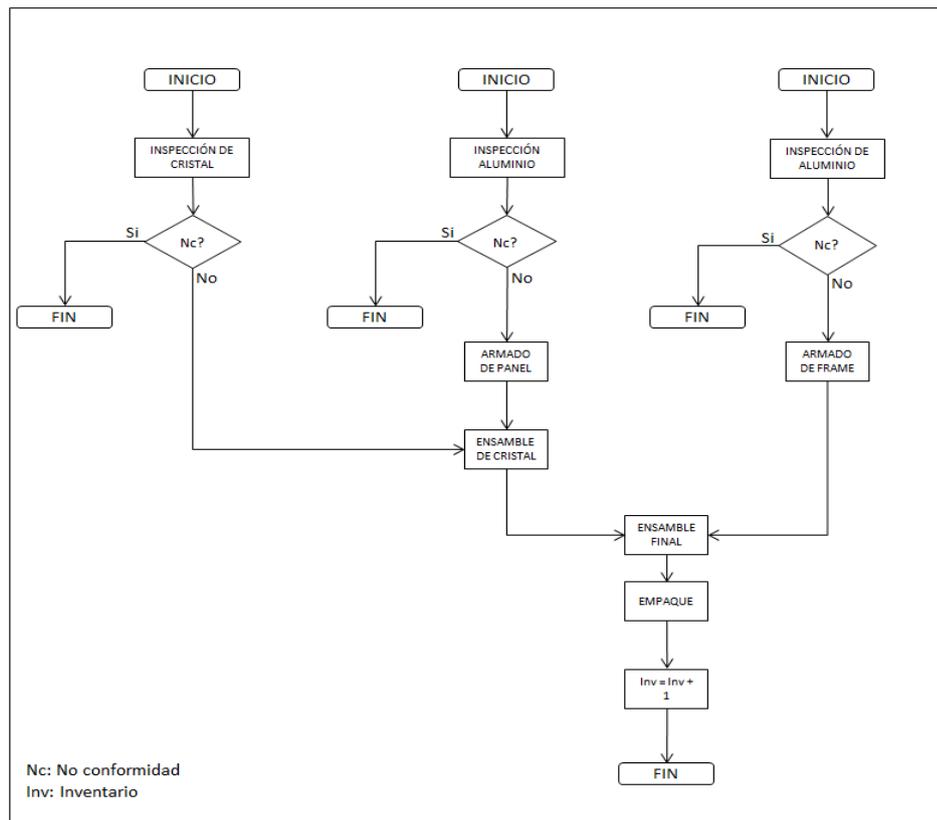


Figura 6. Modelo de simulación del proceso actual de fabricación de puertas sencillas.

6.2.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL

A continuación se detallan las configuraciones generales del modelo de simulación actual.

Generalidades

El modelo se ejecuta simulando 180 días de fabricación de puertas sencillas, con jornadas laborales de 16 horas diarias, distribuidas en dos turnos de 8 horas. Por tanto, la unidad de medida del sistema se define en horas.

Entradas del sistema

Compuesto por 4 entidades. Las primeras tres entidades que ingresan al sistema corresponden al material dispuesto para el proceso: material aluminio para el armado de frames, material aluminio para el armado de paneles y cristales; la cuarta entidad corresponde a la demanda de puertas sencillas.

La cantidad de llegadas de material aluminio y cristal con consideradas infinitas. La distribución de probabilidad a la cual se ajustan los datos de los tiempos entre llegadas y cantidad de llegada de material fueron analizados bajo el uso del software estadístico Input Analyzer®, los cuales se encuentran resumidos en la tabla 4. Los detalles de este análisis puede observarse en los anexos del 5 al 10.

TIEMPO ENTRE LLEGADA DE MATERIALES				CANTIDAD DE LLEGADA DE MATERIAL		
NOMBRE	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD	PARÁMETROS	ECUACIÓN	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD	PARÁMETROS	ECUACIÓN
Frames	BETA	Parámetros de forma: $p = 0.0979$ $q = 0.18$	$7.5+9*BETA(0.0979, 0.18)$	BETA	Parámetros de forma: $p = 0.378$ $q = 0.494$	$-0.5+34*BETA(0.378, 0.494)$
Panels	BETA	Parámetros de forma: $p = 0.0979$ $q = 0.18$	$7.5+9*BETA(0.0979, 0.18)$	BETA	Parámetros de forma: $p = 0.378$ $q = 0.494$	$-0.5+34*BETA(0.378, 0.494)$
Cristal	Tiempo entre llegadas constante	n/a	K = 16 Horas	WEILBULL	Parámetro de forma: $a = 16$ Parámetro de escala: $a = 2.16$	$9.5 + WEIB(16, 2.16)$

Tabla 4. Distribución de probabilidad para los tiempos entre llegada y cantidad de arribos de material al sistema de fabricación de puertas sencillas.

Los pedidos de puertas sencillas se definen con llegada constantes de uno por día. Para el estudio de la demanda se analizan los pedidos de los clientes por un periodo de 8 meses, puesto que según la experiencia de los coordinadores de producción, este lapso de tiempo es representativo para evidenciar cambios en los procesos, los resultados obtenidos bajo el uso del software Input Analyzer® para determinar el tipo de distribución para las cantidades de demanda por pedido son presentadas en la tabla 5, los detalles de este análisis se pueden observar en los anexos 3 y 4.

TIEMPO ENTRE LLEGADA DE PEDIDOS				CANTIDAD DE PUERTAS POR PEDIDO		
NOMBRE	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD	PARÁMETROS	ECUACIÓN	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD	PARÁMETROS	ECUACIÓN
Puertas	Tiempo entre llegadas constante	n/a	$K = 1$	BETA	Parámetros de forma: $p = 0.721$ $q = 3.88$	$0.999 + 148 * BETA(0.721, 3.88)$

Tabla 5. Distribución de probabilidad para los tiempos entre llegada y cantidad de puertas demandadas por pedidos.

No conformidades

La experiencia data que el 1% del material aluminio y/o cristal resulta no conforme y por tanto rechazado para su ingreso en la línea, razón por la cual se crean decides rotulados como “NC” para rechazar este porcentaje de las llegadas de materiales a la línea.

Procesos

La actividad de fabricación de puertas sencillas comprende 5 procesos básicos. Estos procesos definen el tiempo de sus actividades mediante una distribución de probabilidad normal. Los resultados de la experimentación realizada por la compañía para obtener estos datos pueden ser observados en el anexo 11. El resumen detallado de cada proceso se muestra a continuación en la tabla 6.

PROCESO	MEDIA	DESVIACIÓN	RECURSOS	CANTIDAD DE RECURSO
ARMADO DE FRAMES	8,86	1,372	OPERARIO1	1
ARMADO DE PANELES	47,86	9,571	OPERARIO2	1
ENSAMBLE DE CRISTAL	25,58	5,116	OPERARIO3	1
ENSAMBLE FINAL	12,16	2,431	OPERARIO4	1
EMPAQUE	12,28	2,256	OPERARIO5	1

Tabla 6. Descripción de los procesos para la fabricación de puertas sencillas.

Recursos

Cada unidad del recurso operario es considerado una cuadrilla de 4 operarios; además, la lógica de la acción de los procesos están definidas

por: Seize, Delay Release. Esto significa que mediante el uso del recurso operativo, el proceso capturará la unidad a procesar, la retendrá durante el proceso y luego la liberará.

Cola de material en proceso

En el cuadro 3 se definen las colas de material en proceso mediante el uso del módulo Match.

COLA	CONCEPTO
MATCH1.QUEUE1	COLA DE FRAMES DE PANEL
MATCH1.QUEUE2	COLA DE CRISTAL DE PANEL
MATCH2.QUEUE1	COLA DE FRAMES DE ENSAMBLE FINAL
MATCH2.QUEUE2	COLA DE PANEL ENSAMBLE FINAL

Cuadro 3. Material en cola de procesos. Arena.

Integración de material

El modelo cuenta con 2 módulos Match. El primero de estos, rotulado como Match1 captura las entidades provenientes del armado de paneles y de la llegada de cristales, liberando luego dichas entidades en pares. Siguiendo a esto, un módulo Batch garantizará la unión permanente de estas entidades para formar una sola, y ser enviadas al proceso de ensamble de paneles.

El módulo Match2 toma las entidades provenientes del armado de frames y el ensamble de cristal para luego liberar en pares dichas entidades y enviarlas hacia un Batch2; en este módulo las entidades mencionadas serán unidas permanentemente y esta nueva entidad ingresa al proceso de ensamble final.

Variables

El modelo en ejecución utiliza 4 variables definidas por el usuario, tal como se hace explícito en el cuadro 4:

VARIABLE	CONCEPTO	FORMULA
NIVEL DE SERVICIO	CALCULA EL NIVEL DE SERVICIO POR VENTA	VENTAS/INVENTARIO
INVENTARIO	REALIZA EL CONTEO DE LAS UNIDADES FABRICADAS	INVENTARIO + 1
DEMANDA	REALIZA EL CONTEO DE LAS UNIDADES SOLICITADAS	DEMANDA + CANTIDAD
VENTAS	CALCULA LAS VENTAS REALIZADAS SOBRE EL PEDIDO	VENTAS + CANTIDAD

Cuadro 4. Variables del módulo de simulación actual para la fabricación de puertas sencillas.

Demanda

El modelo de simulación utiliza una estructura lógica para establecer la relación entre las unidades en inventario y las cantidades demandadas. Un segundo sistema genera mediante la creación de la entidad los pedidos de puertas. Los pedidos son ingresados al modelo a razón de 1 por día, o lo que es igual 1 cada 16 horas.

Asignaciones

El módulo asign2 realiza un conteo de las cantidades fabricadas, mientras que el módulo asign3 realiza un conteo de las cantidades demandas; el cuadro 4 muestra las formulas relacionadas a estas operaciones. El módulo asign3 también concede el atributo cantidad o tamaño de pedido a la entidad puertas del módulo create rotulado como “demanda”, esta cantidad se define mediante una distribución de probabilidad beta tal como se observa en la tabla 5.

Escenarios de venta

El modulo “decide9” considera las situaciones de venta. Cuando las cantidades demandadas son menores o iguales a las cantidades en

inventario, la entidad que representa el pedido será enviada al asign6, en el cual se asignará a la variable ventas el valor del inventario, y por lo tanto, la variable inventario tomara el valor de cero. Una vez actualizados los valores de las variables de ventas e inventarios, el módulo calculará el nivel de servicio para dicha venta, cuya fórmula se expresa en el cuadro 4.

En caso de que las cantidades en inventario sean mayores a las cantidades demandas, el bloque “decide” enviará la entidad representante del pedido al bloque asign4; aquí se actualizarán los valores de la variable ventas, adicionando el valor de la cantidad o tamaño del pedido. En contraste con el asign6, en esta situación la variable inventario mediante una sustracción depurara las cantidades vendidas. Igual que en el bloque asign6, se procede en última instancia a calcular el nivel de servicio para el evento.

6.2.2. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO: KANBAN

La representación del modelo propuesto mediante el uso de los bloques característicos del software de simulación Rockwell Arena ® se encuentran en los anexos 15 y 16. A continuación se describe la forma como se configuró el modelo Kanban de simulación del sistema.

Generalidades

El modelo se ejecuta simulando los mismos parámetros generales del modelo actual.

Entradas del sistema

Compuesto por 7 entidades. En relación al modelo pre-Kanban, el modulo “create” para la generación de la demanda se define de la misma manera, es decir, con llegadas constantes de un pedido por día. La variable

cantidad, asignada como atributo al pedido, está definida por la misma distribución que rige paramétricamente al modelo actual de fabricación.

Las entidades que generan el material (aluminio/cristales) para la fabricación de puertas sencillas crean una sola entidad al inicio de la ejecución del modelo. Los parámetros para la generación de estas entidades se muestran en la tabla 7.

TIEMPO ENTRE LLEGADA DE MATERIALES				CANTIDAD DE LLEGADA DE MATERIAL		
NOMBRE	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD	PARÁMETROS	ECUACIÓN	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD	PARÁMETROS	ECUACIÓN
Frames	constante	n/a	n/a Cantidad máxima de llegadas = 1	Constante	n/a	Variable: Nkanban, establecida por el usuario
Panels	constante	n/a	n/a Cantidad máxima de llegadas = 1	Constante	n/a	Variable: Nkanban, establecida por el usuario
Cristal	constante	n/a	n/a Cantidad máxima de llegadas = 1	Constante	n/a	Variable: Nkanban, establecida por el usuario

Tabla 7. Definición de parámetros para los tiempos entre llegada y cantidad de arribos iniciales de material para sistema de fabricación de puertas sencillas.

Simultáneamente, cada ingreso de material consta de un módulo “create” adicional que genera una única entidad (ver tabla 8), la cual con apoyo de los módulos “separate” impulsará la ejecución de un sistema Pull basado en la producción del número de cantidades descritas por la variable venta_neta_dia.

TIEMPO ENTRE LLEGADA DE MATERIALES				CANTIDAD DE LLEGADA DE MATERIAL		
NOMBRE	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD	PARÁMETROS	ECUACIÓN	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD	PARÁMETROS	ECUACIÓN
Create9	constante	n/a	n/a Cantidad máxima de llegadas = 1	Constante	n/a	K = 1
Create10	constante	n/a	n/a Cantidad máxima de llegadas = 1	Constante	n/a	K = 1
Create11	constante	n/a	n/a Cantidad máxima de llegadas = 1	Constante	n/a	K = 1

Tabla 8. Definición de parámetros para los tiempos entre llegada y cantidad de arribos para el ingreso de material al de fabricación de puertas sencillas.

No conformidades

Aplica método de decisión del modelo actual.

Procesos del sistema

Aplica generalidades del modelo actual.

Recursos

Aplica generalidades del modelo actual.

Cola de material en proceso

Aplica generalidades del modelo actual.

Integración de material

Aplica generalidades del modelo actual.

Variables

El modelo en ejecución utiliza 6 variables definidas por el usuario y resumidas en el cuadro 5:

VARIABLE	CONCEPTO	FORMULA
NIVEL DE SERVICIO	CALCULA EL NIVEL DE SERVICIO POR VENTA	VENTAS/INVENTARIO
INVENTARIO	REALIZA EL CONTEO DE LAS UNIDADES FABRICADAS	INVENTARIO + 1
VENTA NETA DÍA	CAPTURA LA CANTIDAD NETA VENDIDA POR PEDIDO	CANTIDAD VENDIDA, (VARIABLE CANTIDAD)
NKANBAN	CANTIDAD MÁXIMA DE PUERTAS SENCILLAS EN INVENTARIO	CANTIDAD DEFINIDA POR EL USUARIO
DEMANDA	REALIZA EL CONTEO DE LAS UNIDADES SOLICITADAS	DEMANDA + CANTIDAD
VENTAS	CALCULA LAS VENTAS REALIZADAS SOBRE EL PEDIDO	VENTAS + CANTIDAD

Cuadro 5. Variables del módulo de simulación para la fabricación de puertas sencillas mediante la implementación de la metodología Kanban.

Demanda

Aplica generalidades del modelo actual.

Asignaciones

Aplica generalidades del modelo actual.

Escenarios de venta

Aplica generalidades del modelo actual.

Señales Kanban

La forma como es transmitida la señal para iniciar el funcionamiento del sistema Pull se realiza a través de los módulos signal ubicados al final de la estructura del modelo de demandas. Una vez que las entidades de demanda cruzan los módulos signal 1 y 3, se envía una señal a los bloques hold provistos en cada etapa inicial de llegada de material del modelo de fabricación de puertas sencillas. De este modo, se libera la entidad o "tarjeta" que al ser capturada por el modulo "separate" generará la cantidad de puertas sencillas necesarias para mantener las Nkanban en circulación y por tanto, garantizar el reemplazo de las unidades retiradas del inventario tras la venta.

6.3. VALIDACION ESTADISTICA DEL MODELO DE LOS SIMULACIÓN

6.3.1. DETERMINACION DEL NUMERO DE REPLICAS DEL MODELO DE SIMULACION

Mediante la ejecución de una réplica del modelo de simulación no es posible obtener resultados que brinden la suficiente veracidad acerca del

comportamiento real, dinámico y general de los elementos que interactúan en el sistema en estudio. Sin embargo, es posible obtener resultados o mediciones estadísticamente válidas, mediante la realización de múltiples réplicas con distribuciones muestrales independientes.

Estas respuestas independientes, tales como la desviación y la varianza estándar proporcionan el grado de dispersión de las muestras de la variable aleatoria en estudio, además, también se encuentra el intervalo de confianza, el cual proporciona al modelo el grado de seguridad respecto a la estimación.

Para calcular el número de réplicas se tendrá en cuenta como indicador de resultado las variables de Nivel de Servicio, Nivel de Inventario y los tamaños de cola promedio en los procesos de fabricación de puertas sencillas, así como las colas de los módulos Match que a estos anteceden.

Para cada indicador se considera arbitrariamente un número de réplicas inicial de $n=20$ con un nivel de confianza propuesto del 95%. El error e es un factor de precisión, éste es la mitad del intervalo o Half Width, considerado como el error entre la media estimada y la media teórica. La siguiente fórmula encierra los parámetros necesarios para calcular el intervalo de confianza y el número de réplicas que generaran soporte estadístico a la estructura del modelo de simulación (Torres, 2012):

$$h = t_{(n-1, 1-\alpha/2)} \sqrt{\frac{S_n^2}{n}} \quad h = Z_{(1-\alpha/2)} \sqrt{\frac{S_n^2}{n}} \quad (F1)$$

Para conocer este error, para cada indicador de estudio se ejecutan arbitrariamente 20 réplicas iniciales al modelo de simulación, los resultados de estas se expresan a continuación en la tabla 9.

Replications: 20 Time Units: Days						
Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Armado_frames_Queue	1.7047	0,05	1.5244	1.9192	0.00	32.0000
Armado_panels_Queue	160.19	39,74	53.9006	396.97	0.00	629.00
Batch 1.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	2.0000
Batch 2.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	2.0000
Empaque.Queue	0.01333598	0,01	0.00000465	0.06450943	0.00	5.0000
Ens_final_Queue	0.1117	0,09	0.00	0.5899	0.00	16.0000
Ens_vidrio_Queue	0.01462684	0,02	0.00137935	0.1777	0.00	13.0000
Match 1.Queue1	0.01390089	0,02	0.00	0.1676	0.00	14.0000
Match 1.Queue2	324.20	38,67	190.16	489.45	0.00	833.00
Match 2.Queue1	185.70	58,43	28.8669	545.54	0.00	886.00
Match 2.Queue2	4.9555	4,82	0.00	35.4665	0.00	173.00

Time Persistent						
Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
demanda	2150.53	84,27	1880.59	2558.53	0.00	4896.00
inventario	49.6505	9,27	27.8324	99.91	0.00	306.00
nivel_servicio_	0.7592	0,04	0.6361	0.9124	0.00	1.0000
ventas	1688.03	25,48	1566.43	1763.26	0.00	3607.00

Tabla 9. Reporte de simulación para 20 réplicas, modelo actual del sistema.

A través de la fórmula anteriormente expuesta se infiere por medio del despeje de la variable n que el número de réplicas podrá ser calculado a partir de la siguiente fórmula:

$$n = \left[\frac{t_{(n'-1, 1-\alpha/2)} * S_{(n')}}{e} \right]^2 \quad (F2)$$

Donde, el valor de t corresponde al valor de la tabla t -student para los parámetros $n'=20$ y nivel de significancia del 95%. El valor S corresponde a la desviación estándar de la muestra preliminar n' , obtenido mediante la ejecución de las 20 réplicas preliminares y procesando sus resultados en generador de reportes de la herramienta Input Analyzer® (tabla 10).

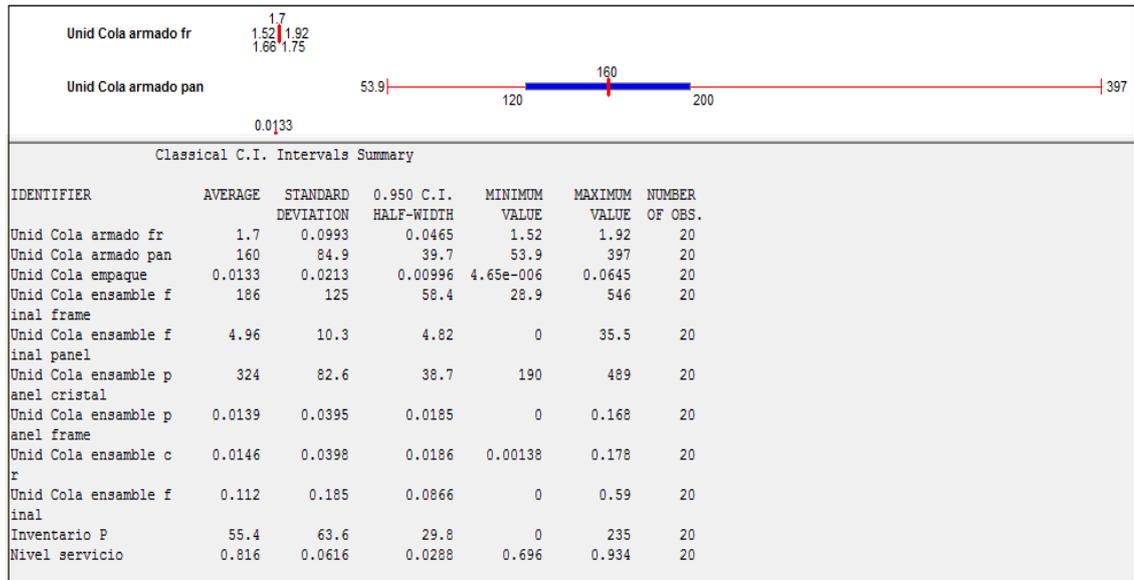


Tabla 10. Análisis clásico de Intervalos para los indicadores de resultados del modelo actual de fabricación de puertas sencillas.

Reemplazando los valores anteriores se obtienen los resultados presentados en la tabla 11.

INDICADOR DE PROCESO	HALF HIDTH	ERROR	DESVIACIÓN ESTANDAR	No. RÉPLICAS NECESARIAS
Unidades en Cola de Armado de Frames	0,05	0,025	0,0993	69
Unidades en cola de Armado de Paneles	39,72	19,86	54,9	33
Unidades en cola de empaque	0,01	0,005	0,0213	79
Unidades en cola de ensamble final	0,09	0,045	0,185	74
Unidades en cola de ensamble de cristal	0,02	0,01	0,0398	69
Match1.Queue1 (cola frames de panel)	0,02	0,01	0,0395	68
Match1.Queue2 (cola cristal de panel)	38,67	27,069	82,6	41
Match2.Queue1 (cola frames de ensamble final)	58,43	29,215	125	80
Match2.Queue2 (cola panel ensamble final)	4,82	2,41	10,3	80
Nivel de servicio	0,04	0,02	0,0532	31
Nivel de inventario	9,27	6,489	63,6	421

Tabla 11. Calculo de réplicas necesarias para el modelo actual de fabricación de puertas sencillas.

Por tanto, para validar estadísticamente los resultados de todos los indicadores del sistema en general, se opta por elegir el mayor número de réplicas obtenida de los cálculos para cada indicador, es decir, 421 réplicas.

6.3.2. DETERMINACION DEL NUMERO DE REPLICAS DEL MODELO DE SIMULACION CON APLICACIÓN KANBAN

Al igual que en el modelo actual, para calcular el número de réplicas que contribuirán a la validación del modelo, se tomará como referencia los indicadores de nivel de servicio, nivel de inventario y las unidades en cola de cada proceso del sistema.

El procedimiento para este cálculo es igual al utilizado en el modelo actual con 20 réplicas arbitrariamente. Tanto los resultados de Half Width provistos por el Arena®, como los de las desviaciones calculadas por medio del Output Analyzer® son resumidos en la tabla 12, en la cual se aprecia además los resultados del número de réplica necesario para la validación. Para conseguir este último resultado fue necesario reemplazar en la formula F2 del modelo actual los valores de Half Width y desviaciones obtenidas para cada indicador del modelo propuesto.

INDICADOR DE PROCESO	HALF HIDTH	ERROR	DESVIACIÓN ESTANDAR	No. RÉPLICAS NECESARIAS
Unidades en Cola de Armado de Frames	0,03	0,021	0,07	49
Unidades en cola de Armado de Paneles	0,44	0,22	0,938	80
Unidades en cola de empaque	0	0	0,00125	N/A
Unidades en cola de ensamble final	0	0	0,006	N/A
Unidades en cola de ensamble de cristal	0,12	0,06	0,257	80
Match1.Queue1 (cola frames de panel)	0,44	0,22	0,931	78
Match1.Queue2 (cola cristal de panel)	1,17	0,585	2,49	79
Match2.Queue1 (cola frames de ensamble final)	1,38	0,69	2,94	80
Match2.Queue2 (cola panel ensamble final)	0,11	0,055	0,225	73
Nivel de servicio	0,02	0,01	0,0465	95
Nivel de inventario	0,53	0,371	6,05	1165

Tabla 12. Calculo de réplicas necesarias para el modelo actual de fabricación de puertas sencillas.

Finalmente, para validar estadísticamente los resultados de todos los indicadores del sistema en general, se opta por elegir el mayor número de réplicas obtenida de los cálculos para cada indicador, es decir, 1165 réplicas.

7. RESULTADOS

8.

8.1. RESULTADOS DEL MODELO ACTUAL PARA EL PROCESO DE FABRICACION DE PUERTAS SENCILLAS

Los resultados del modelo de simulación que representan la situación actual del proceso de fabricación de puertas sencillas para un nivel de confianza de 95%, se resumen en el reporte obtenido por Arena ® en la Tabla 13.

Replications: 421		Time Units: Days					
Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
Armado_frames_Queue	1.6957	< 0,01	1.3727	2.0897	0.00	32.0000	
Armado_panels_Queue	174.74	< 8,32	40.4340	454.86	0.00	872.00	
Batch 1.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	2.0000	
Batch 2.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	2.0000	
Empaque.Queue	0.02020266	< 0,00	0.00	0.1505	0.00	6.0000	
Ens_final_Queue	0.1630	< 0,03	0.00	1.1468	0.00	17.0000	
Ens_vidrio_Queue	0.01078450	< 0,00	0.00093434	0.4015	0.00	31.0000	
Match 1.Queue1	0.01354396	< 0,01	0.00	1.2827	0.00	47.0000	
Match 1.Queue2	322.93	< 7,45	147.80	674.15	0.00	1063.00	
Match 2.Queue1	169.66	< 10,91	0.01715903	545.54	0.00	927.00	
Match 2.Queue2	8.1426	< 1,90	0.00	164.71	0.00	325.00	
Time Persistent							
Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
demanda	2159.64	< 16,12	1759.76	2630.96	0.00	5154.00	
inventario	47.5170	< 1,76	21.5260	141.13	0.00	413.00	
nivel_servicio_	0.7629	< 0,01	0.5674	0.9593	0.00	1.0000	
ventas	1693.41	< 5,16	1484.50	1783.36	0.00	3624.00	

Tabla 13. Reporte de Indicadores modelo actual.

Estos resultados evidencian los problemas actuales de la línea de producción. El espacio destinado para el stock de producto terminado propone una restricción de hasta 120 unidades máximas, tomando cada parte del área de stock e ignorando los espacios entre arrumes para poder moverse entre estos y poder hacer verificación del producto (Figura 7), lo que supone que en óptimas condiciones, el espacio para stock no debe superar las 90 unidades (Figura 8).

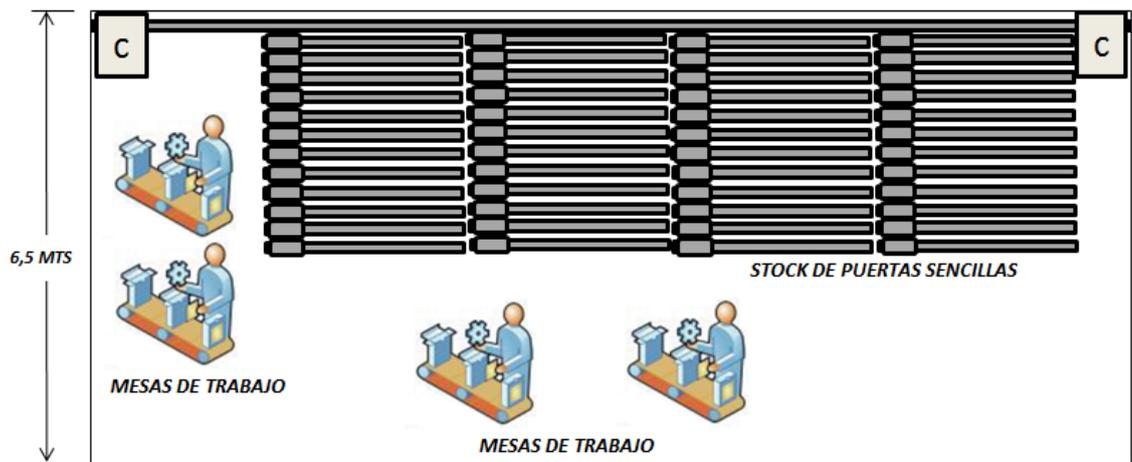


Figura 7. Manera incorrecta de almacenamiento de puertas sencillas en stock de producto empacado.

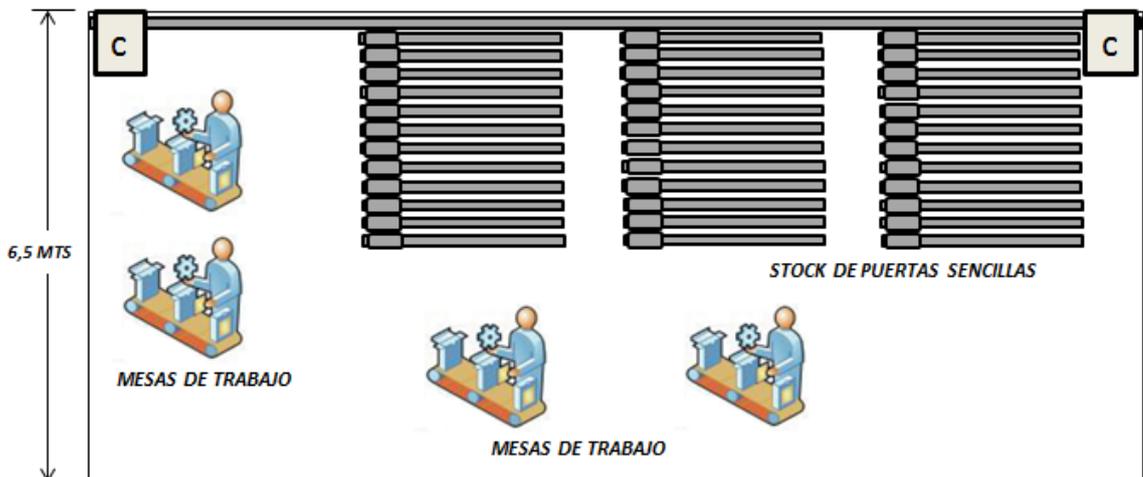


Figura 8. Manera correcta de almacenamiento de puertas sencillas en stock de producto empacado.

Ocasionalmente, el stock de empaque sobrepasa estas cantidades restrictivas, mostrando 141 unidades como máximo promedio con mayor valor de 413 unidades. Esta condición supone trabajo adicional para el grupo de despacho en las labores de cargue, ya que el movimiento de las puertas requiere mayor cuidado debido a la inestabilidad de los arrumes en estas condiciones.

Al no existir áreas destinadas para contener este tipo de situaciones, la línea opta por tomar parte de las unidades en inventario y crear áreas de stock de producto empacado en las etapas de ensamble de cristal y

ensamble final. Esto no solo obstaculiza las actividades habituales en estas secciones o pone en riesgo el material terminado y en proceso, sino que además ocasiona que la línea eventualmente detenga sus actividades debido a la falta de espacio para realización de la misma. Ante esta situación, la línea también opta por colocar material terminado en los pasillos, ocasionando congestión del flujo de material y/o personal en estos, como se muestra en la figura 9.

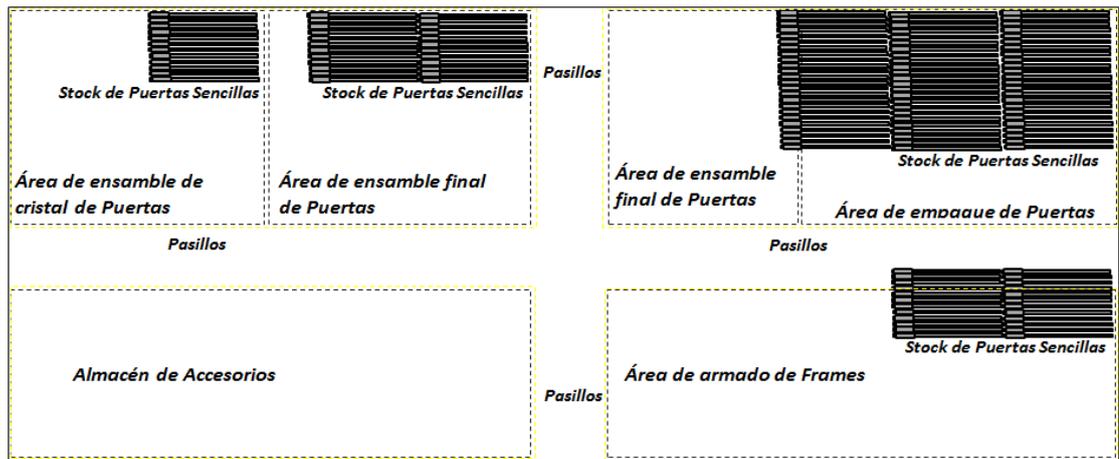


Figura 9. Congestión por exceso de producto terminado en la línea y área circundante.

En últimas instancias, la compañía ha optado por tomar el material adicional en stock y transportarlo a bodegas externas a la compañía para controlar el problema de falta de espacio, generando gastos adicionales de transporte y almacenamiento, además de una logística más compleja a la hora del despacho de las cantidades hacia sus clientes.

Otra evidente problemática que se observa es la acumulación de unidades en cola de procesos o antes de estos, debido a los desfases en cuanto a los tiempos de cada actividad del sistema. El proceso restrictivo de acuerdo a los resultados del modelo de simulación es el armado de paneles, ya que en este se retiene mayor unidades promedio en cola con un valor de 174 puertas sencillas, debido a que el tiempo de procesamiento es mayor al resto del sistema, tal como lo ilustra la figura 10.

De igual forma que sucede con las unidades empacadas, el material en cola de proceso retenido se ubica en áreas no específicas en la línea, incurriendo en la pérdida y/o daño del material en proceso.

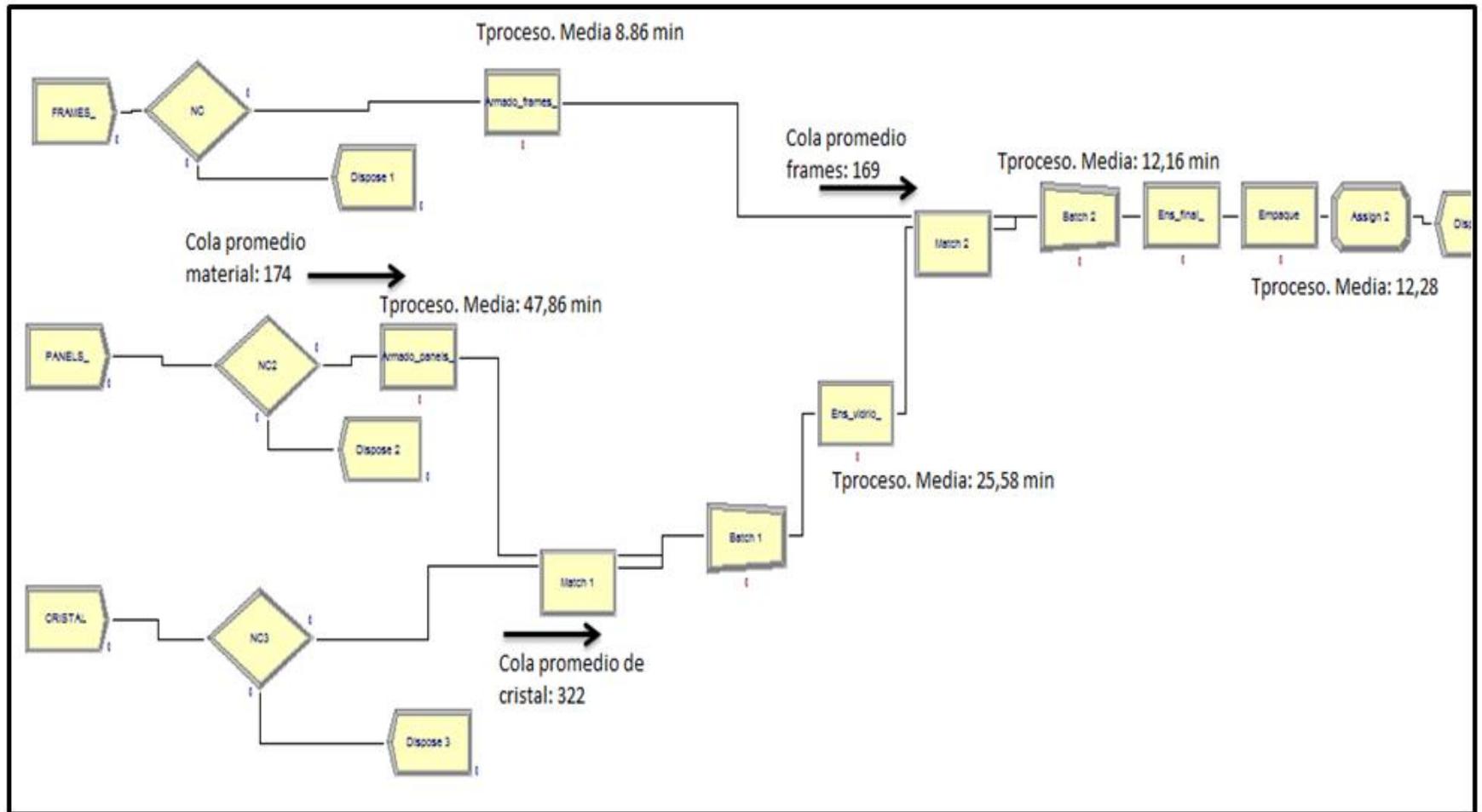


Figura 10. Tiempos en proceso vs unidades en cola.

El número de marcos (frames) promedio de 169 unidades en cola es resultado de la espera de hojas o paneles ensamblados. Este proceso a su vez, se ve afectado debido al tiempo de procesamiento de los marcos de las hojas, la cual incrementa las cantidades en cola de cristales a 322 unidades promedio. Se debe tener en cuenta que resulta más delicado mantener altas unidades de cristales, ya que el cristal es más frágil y se incrementan las no conformidades por manipulación en stock.

Lo anterior es crítico debido a que la línea actualmente cuenta con espacio para albergar en óptimas condiciones hasta 130 unidades de material de aluminio en proceso y hasta 200 cristales. El desfase descrito se debe a una falta de coordinación de las cantidades requerida para mantener balanceado el flujo de material a través de las actividades del sistema.

Por último, los resultados obtenidos muestran que para un nivel de significancia del 95%, el nivel de servicio tomará valores entre el 75,29% y 77,29%. La ejecución del modelo registra al final de las réplicas que el cumplimiento del nivel de servicio del sistema es del 76%, lo cual es una falta clara a la meta establecida por la entidad, puesto que el objetivo para el rendimiento de este indicador debe ser por lo menos del 80%. El intervalo de confianza suministra suficiente validez para afirmar que para el 95% de las situaciones la línea no alcanzara el nivel de servicio deseado por la compañía.

8.2. RESULTADOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN KANBAN PARA EL PROCESO DE FABRICACION DE PUERTAS SENCILLAS

Para seleccionar el número de tarjetas que satisfaga no solo las restricciones de espacio del área de stock de empaque de puertas, sino que además cumpla con el nivel de servicio propuesto por la compañía, se realiza un análisis de escenarios por medio de la herramienta Process Analyzer (ver Anexo 12), presentado en la tabla 14.

Los niveles de inventario óptimo en todo instante no deben superar las 90 unidades, como ya se había mencionado anteriormente.

Antes de presentar los resultados del modelo Kanban mediante el uso de simulación de proceso se ha decidido calcular mediante la siguiente fórmula el número de tarjetas teórico a utilizar teniendo en cuenta las restricciones espaciales del layout y adicionando una política de SS acorde a la necesidad de mantener suficiente inventario de producto terminado para no solo satisfacer la demanda sino además mantener el nivel de servicio de la compañía en un valor mínimo del 80%.

$$\text{Inv. Máx} = \text{SS} + (\text{Ddiaria} * \text{tiempo de entrega}) \quad (\text{F3})$$

$$\text{Nkanban} = \text{Inv. Máx} / \text{tamaño contendor} \quad (\text{F4})$$

Ddiaria promedio = 26 unids

Tamaño de paquete de piezas entregado entre estaciones = 1

Tiempo de entrega a clientes = 1 día

La compañía considera utilizar todo el espacio en stock de producto terminado para mantener inventario, razón por la cual se establece un inventario máximo acorde a la restricción espacial de 90 unidades, lo cual supone un SS de 74 unidades o 2,84 días extras en caso de ocurrir inconvenientes en el proceso de producción.

$$\text{SS} = 74 \text{ unids}$$

Reemplazando:

$$\text{Inventario Máx} = 74 + (26 * 1)$$

$$\text{Inventario Máx} = 90$$

$$\text{Nkanban} = 90 / 1$$

Nkanban = 90

De acuerdo a la formula anterior, teóricamente son requeridas 90 tarjetas para el sistema de producción presente.

Finalmente se utiliza la simulación de procesos para realizar la comparación de escenarios con la utilización de 50, 60, 70, 80 y 90 tarjetas Kanban respectivamente para contemplar los resultados aproximados a los objetivos de la empresa.

		ESCENARIOS DE EXPERIMENTACIÓN				
VARIABLES	VARIABLES	1	2	3	4	5
DE CONTROL	NKANBAN	50	60	70	80	90
DE RESPUESTA	NIVEL SERVICIO	0,703	0,742	0,768	0,789	0,801
	NIVEL DE INVENTARIO	48,991	58,824	68,683	78,247	86,039
	COLA ARMADO DE FRAME	1,193	1,480	1,720	1,913	2,070
	COLA ARMADO DE PANEL	12,423	18,102	24,221	30,508	37,656
	COLA ENSAMBLE VIDRIO	0,014	0,097	0,075	0,053	0,044
	COLA ENSAMBLE FINAL	0,011	0,008	0,006	0,005	0,004
	COLA EMPAQUE	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
	MATCH1.QUEUE1	0,738	0,466	0,343	0,250	0,196
	MATCH1.QUEUE2	13,885	19,441	25,367	31,740	38,656
	MATCH2.QUEUE1	13,749	18,673	24,334	30,402	37,073
MATCH2.QUEUE2	0,384	0,268	0,184	0,144	0,116	

Tabla 14. Análisis de escenarios Kanban.

El quinto escenario (90 tarjetas) muestra mayor aproximación a las políticas de la compañía, adicionalmente este resultado converge con el Nkanban calculado de acuerdo a la formula F4. En cuanto a lo que nivel de servicio concierne, este escenario cumple con el nivel de servicio mínimo que estipula la empresa, alcanzando un valor de 80,1%. Por tanto, el nivel de servicio incrementa un 4% respecto al modelo actual, cumpliendo con el objetivo establecido por la compañía para dicho indicador.

La tabla 15 presenta la comparación de los resultados del modelo actual y el modelo propuesto con aplicación de tarjeta Kanban.

INDICADOR DE PROCESO	PROMEDIOS			MÁXIMOS		
	MODELO ACTUAL	MODELO KANBAN	% VAR	MODELO ACTUAL	MODELO KANBAN	% VAR
Unidades en Cola de Armado de Frames	1,69	2,07	0,22	32	88,15	1,75
Unidades en cola de Armado de Paneles	174,7	37,656	-0,78	872	88,15	-0,90
Unidades en cola de empaque	0,02	0,001	-0,95	6	1,209	-0,80
Unidades en cola de ensamble final	0,16	0,004	-0,98	17	1,975	-0,88
Unidades en cola de ensamble de cristal	0,01	0,044	3,40	31	4,46	-0,86
Match1.Queue1 (cola frames de panel)	0,01	0,196	18,60	47	5,13	-0,89
Match1.Queue2 (cola cristal de panel)	322,9	38,656	-0,88	1063	89,058	-0,92
Match2.Queue1 (cola frames de ensamble final)	169,6	37,073	-0,78	927	82,482	-0,91
Match2.Queue2 (cola panel ensamble final)	8,14	0,116	-0,99	325	3,426	-0,99
Nivel de servicio	0,7629	0,801	0,05	1	1	0,00
Nivel de inventario	47,51	32,6	-0,31	431	86,039	-0,80

Tabla 15. Comparación Modelo Actual Vs Modelo Kanban para la fabricación de Puertas sencillas.

De acuerdo a la parametrización del modelo y su validez estadística bajo un 95% de confianza, se obtienen las siguientes consideraciones para los resultados de la experimentación:

Los resultados muestran en general mejora en el flujo de material dentro del sistema. Las colas críticas antes mencionadas en el modelo actual con altos volúmenes de material en proceso, presentan una disminución considerable en el modelo propuesto. Específicamente, la cola del proceso restrictivo de armado de Paneles disminuye el material en espera hasta un 78%, debido a una programación que permite únicamente el procesamiento de las unidades necesarias para mantener un nivel estable de producto terminado.

Lo anterior contribuye a mejorar el problema de las altas cantidades de cristal en espera de frames de panel para ser procesados; la cola de cristal en espera muestra una disminución de material de hasta un 88%, lo que evidencia una mejora al flujo de material acumulado por desfases entre los tiempos de procesamiento en el armado de paneles y el arribo de cristales para el ensamble.

Por otra parte, los resultados indican que eventualmente en el sistema actual, los niveles de inventario superan la restricción de espacio para el material en stock de producto empacado, alcanzando en los casos más críticos un número de 431 unidades en stock, lo cual incurre en problemas de almacenamiento e implementación de métodos complejos y poco prácticos para almacenar el producto terminado. En el modelo propuesto, se garantiza que los niveles máximos de inventario alcanzarán valores de hasta 86 unidades, cumpliendo con la restricción de espacio de la distribución física de la línea y garantizando actividades de almacenamiento organizadas, prácticas y de mínimo riesgo para el producto.

Aunque se evidencia que eventualmente el modelo actual puede llegar a alcanzar un valor máximo del 100% del nivel de servicio, debe aclararse que esto será posible contando con un alto nivel de producto en inventario, y por lo tanto, altos niveles de material en proceso debido a las desfases en los tiempos de producción y arribo de material en el sistema. El modelo propuesto expone que también alcanzará en algún instante un 100% del nivel de servicio, aunque respetando las restricciones espaciales y evitando que las actividades de almacenamiento constituyan situaciones caóticas que entorpezcan el flujo efectivo del proceso.

Finalmente, considerando la política actual de expansión de mercados de la compañía, se propone el análisis de un escenario adicional en el cual se duplique la cantidad de pedidos recibidos diariamente, pasando de un pedido a dos pedidos de demanda. Para evaluar la efectividad del modelo propuesto ($N_{kanban} = 90$) ante este escenario, se comparan los indicadores obtenidos con los del modelo actual. Los resultados obtenidos en esta experimentación se muestran en la Tabla 16 por medio de la herramienta Process Analyzer.

De acuerdo con lo anterior, con el incremento de la demanda se observa como para ambos sistemas el inventario promedio se mantiene dentro de la restricción espacial de 90 unidades, sin embargo los promedios y valores máximos para el modelo actual sobrepasan los niveles restrictivos, generando eventualmente problemas para el almacenamiento de materiales y obstrucción de las áreas circundantes de trabajo.

Desde este punto de vista, la metodología Kanban se mantiene como una opción de mejora viable. Por otra parte, el nivel de servicio para ambos escenarios disminuye, estando en ambos modelos por debajo del mínimo establecido por la empresa, pero aún así, el uso de la metodología Kanban continua ofreciendo los mejores resultados.

ESCENARIO	VARIABLE CONTROL	VARIABLES RESPUESTA		
	DEMANDA	NIVEL DE INVENTARIO		
	VALOR	PROMEDIO	PROMEDIO DE MÁX	MÁXIMO
MODELO ACTUAL	2	12	15	109
MODELO KANBAN	2	13	15	90
ESCENARIO	VARIABLE CONTROL	VARIABLES RESPUESTA		
	DEMANDA	NIVEL DE SERVICIO		
	VALOR	PROMEDIO	PROMEDIO DE MÁX	MÁXIMO
MODELO ACTUAL	2	39,13%	47,26%	100%
MODELO KANBAN	2	44,29%	55,62%	100%

Tabla 16. Comparación Modelo Actual Vs Modelo Kanban para la fabricación de Puertas sencillas bajo el incremento de la demanda a 2 pedidos diarios.

Considerando el proceso restrictivo obtenido bajo el análisis de los resultados consignados en la Tabla 16, se plantea como escenario adicional la política de la compañía de incrementar la capacidad de la actividad de armado de paneles para dar celeridad al proceso de ensamble de cristal y disminuir en cadena las cantidades en cola de cristal en espera para ensamble y por ende, las cantidades en espera para ensamble final. Los resultados de este escenario se muestran en la Tabla 17:

INDICADOR DE PROCESO	PROMEDIOS			MÁXIMOS		
	MODELO ACTUAL	MODELO KANBAN	% VAR	MODELO ACTUAL	MODELO KANBAN	% VAR
Unidades en Cola de Armado de Frames	2	2,9349	0,72	32	89	1,78
Unidades en cola de Armado de Paneles	4	6,5631	0,78	41	87	1,12
Unidades en cola de empaque	0	0,00502693	-0,92	7	5	-0,29
Unidades en cola de ensamble final	1	0,02089078	-0,96	18	19	0,06
Unidades en cola de ensamble de cristal	5	6,9419	0,53	91	67	-0,26
Match1.Queue1 (cola frames de panel)	10	1,6244	-0,84	345	30	-0,91
Match1.Queue2 (cola cristal de panel)	172	93,725	-0,45	1000	90	-0,91
Match2.Queue1 (cola frames de ensamble final)	83	14,2159	-0,83	721	81	-0,89
Match2.Queue2 (cola panel ensamble final)	61	0,6039	-0,99	834	27	-0,97
Nivel de servicio	78,72%	93,23%	0,18	100,00%	100,00%	0,00
Nivel de inventario	75	51	-0,32	576	90	-0,84

Tabla 17. Comparación Modelo Actual Vs Modelo Kanban para la fabricación de Puertas sencillas bajo el incremento de capacidad el recurso utilizado para el armado de paneles.

Teniendo en cuenta los resultados referentes al modelo original (Tabla 13), se observa como esta nueva estrategia logra disminuir significativamente las cantidades en cola de la actividad de armado de paneles desde 174 unidades hasta 4 unidades. Con esto se evidencia la notoria reducción del cuello de botella de los cristales en espera para el ensamble de vidrio, disminuyendo de 322 hasta 172 unidades, dando flujo a la actividad de ensamble final de puertas sencillas.

Pese a que el nivel de servicio para el modelo actual logra incrementar hasta dos puntos respecto al modelo original, con la introducción del concepto Kanban este indicador no solo alcanza la meta propuesta por la compañía, sino que además la supera alcanzando un valor de 93.23%. Al observar el comportamiento del nivel de inventario en el modelo actual, es notorio el incremento de estos valores, traduciéndose en problemas locativos para el almacenamiento y seguridad del área; con la implementación del Kanban, estos niveles se mantienen controlados cumpliendo con las restricciones espaciales planteadas inicialmente.

CONCLUSIONES

El presente trabajo logra representar el sistema real por medio de un modelo de simulación discreta. En el análisis sistémico de la simulación se evidenció cuellos de botella en diferentes etapas del proceso productivo, causa asignada del alto número de no conformidades de material en la línea. Además, se identificó como actividad restrictiva de la línea el proceso de armado de paneles, situación que obliga al almacenamiento provisional de material en proceso que se convierte en un foco de accidentes y no conformidades en el producto, dada la característica del material.

Otro de los factores de importancia en el análisis del proceso fue el indicador de servicio, que actualmente no cumple con el objetivo propuesto por la empresa objeto de estudio, con diferencias porcentuales mínimas de 5 puntos (bajo el nivel de confianza utilizado en las pruebas estadísticas correspondientes).

En la revisión de la literatura se evidenció la utilidad de los sistemas Kanban en el mejoramiento de la eficiencia operativa de sistemas de producción, con resultados significativos en la reducción de niveles de inventario y costos asociados, disminución de reprocesos y no conformidades en productos en proceso y producto final, identificación y eliminación de cuellos de botellas, reducción del tiempo de producción y aumento de los niveles de servicio.

Esta metodología se complementa con la simulación de sistemas al permitir la modelación del sistema real a través de la interacción de variables, entidades y parámetros, facilitando la realización de experimentos controlados y toma de decisiones a nivel estratégico y operativo que guíen la solución a los problemas presentados en la línea en estudio.

Los resultados de la intervención al sistema de producción para la fabricación de puertas sencillas a través del modelo de simulación, evidencian como principales deficiencias los altos números de unidades en cola de cada proceso y/o estación, lo cual contribuye al uso inadecuado de los espacios físicos en la planta. El proceso con mayor cantidad de unidades en cola es el armado de paneles, debido a que sus tiempos de procesamiento son los más altos del sistema y generan el represamiento de cristales en espera para ser ensamblados en los respectivos marcos.

Adicionalmente, los resultados indican que eventualmente los niveles de inventario de producto terminado sobrepasan la restricción espacial de 90 unidades, utilizando como mecanismo de solución el uso de otras áreas de la planta para el almacenamiento de estos productos, lo que genera mayor congestión y represamiento entre etapas del proceso. Estas deficiencias afectan considerablemente el indicador del nivel de servicio, cuyo resultado dista del objetivo empresarial.

Como metodología de solución a estas deficiencias a nivel operativo, se propone la elaboración de un modelo de simulación discreta que evalúe el comportamiento de la implementación de conceptos Kanban al sistema productivo de la línea de fabricación de puertas sencillas. Los resultados de estas simulaciones muestran mejoramiento significativo en el tamaño de la cola para el proceso de mayor restricción. Además, con la parametrización del modelo y análisis de escenarios, se logró aumentar el indicador asociado al nivel de servicio y la reducción de inventario de producto en proceso.

En el análisis de escenarios se concluye que modelo con mejor ajuste al nivel del servicio utiliza 90 tarjetas Kanban, garantizando además el cumplimiento de la restricción espacial para el área de almacenamiento. Adicionalmente, al duplicar las unidades de pedidos de demanda, el

sistema Kanban presenta mejores resultados en los indicadores en comparación con el modelo actual.

TRABAJOS FUTUROS

Como primera línea de continuación para este trabajo se encuentra la implementación de este estudio en otras líneas de producción de la compañía (otras referencias de producto), tomando como base la estructura de este modelo. Se recomienda antes de la implementación de la metodología Kanban, el desarrollo de otras metodologías que validen la estandarización de los procesos productivos.

Además, el desarrollo de este trabajo considera la línea de producción partiendo desde la etapa de armado, pero uno de los principales inconvenientes que presentan la compañía es la falta de un sistema de programación de la producción automático o semi automático para el movimiento de material que se procesará antes de llegar a la línea de producción. Por esta razón, se considera apropiado incorporar este estudio a secciones anteriores a la línea de producción, tales como despacho de material de bodega de aluminio, Corte, Troquel, e incluso bodega de cristal.

Finalmente, dentro de otros estudios interdisciplinarios se puede considerar la simulación de la metodología Kanban para la realización de pedidos a los proveedores de material prima Aluminio y Vidrio, e incluso, combinando el modelo propuesto con planes de requerimiento de material y/o gestión de inventarios para mantener un mayor control sobre las políticas de abastecimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO, Adolfo; LINARES, Martha. El enfoque y rol del ingeniero industrial para la gestión y decisión en el mundo de las organizaciones. En: Industrial Data. Enero-junio, 2012. Vol. 15, no. 1. p. 9-24

BALLESTEROS, Diana; BALLESTEROS, Pedro. Una forma práctica para aplicar el sistema Kanban en las Mypimes. En: Scientia Et Technica. Septiembre, 2008, vol. XIV, no. 39. p. 200-205.

CAMPUZANO, Luis. Diseño de una Metodología de optimización para la implementación de la técnica Kanban. Un caso aplicado a la industria de fabricación de transformadores de distribución. Tesis Magister Ingeniería Administrativa. Medellín. Universidad Nacional de Colombia, 2010. p. 88.

Crespo, T. García, V. Sistemas De Planificación Y Control De La Fabricación: Análisis Comparativo. En: Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa. 1996, vol. 2, no. 1, p 101-124.

CRESPO, Franco; RODRIGUEZ, Velando; GARCIA, J. Alternativas para utilizar un sistema de control de la producción de tipo Kanban. En: Investigaciones europeas de Direccion y Economia de la Empresa. Vol. 4, no. 1, p. 101- 122.

CUATRECASAS, Luis. Organización de la producción y dirección de operaciones. Sistemas actuales de gestión eficiente y competitiva. Madrid. Ediciones Díaz de Santos, 2011. p. 755.

FABREGAS, Aldo; WADNIPAR, Rodrigo; PATERNINA, Carlos; MANCILLA, Alfonso. Simulacion de sistemas de sistemas productivos con Arena. Barranquilla. Ediciones Uninorte, 2003. p. 208.

FAICAN, Fabiola; CALLE, Hernan. Implementacion y estandarización de estrategias de manufactura “5’S y Kanban” en el área de preparación de materiales en la empresa continental tire andina S.A. Trabajo de grado Ingeniero Industrial. Cuenca. Universidad Politecnica Salesiana Sede Cuenca, 2011. p. 276.

FISHWICK, Paul A. Simulation Model Design. En: Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference ed. C. Alexopoulos, K. Kang, W. R. Lilegdon, and D. Goldsman. 1995. p 209.

GONZALEZ, Pedro; MOLINA, Jose; LEON, Jose; RUIZ, Rafael. Evaluación del mpcto del reprocesado en los sistemas Kanban y Conwip. En: 4th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management - XIV Congreso de ingeniería de Organizacion. Septiembre, 2010, p. 1406-1414.

HYLAND, P. W.; DI MILIA, P.; SLOAN, T. R. (2004). CI Tools and Techniques: Are There Any Differences Between Firms?. 5th International CINet Conference. Sidney.

HERNANDEZ, Maria; HENRIQUES, Andre. Improvement of the supply chain for the sugar cane exportation process employing discrete events simulation techniques. En: Acta Scientiarum. Technology. Octubre-Diciembre, 2013. Vol. 35, no. 4. p. 637-643.

INFANTE, Esteban; Erazo, Deiby. Propuesta de Mejoramiento de la Productividad de la Línea de Camisetas Interiores en una Empresa de Confecciones por Medio de la Aplicación de Herramientas Lean Manufacturing. Seminario-Taller “Gestión De Plantas Industriales”. Cali. Universidad de San Buenaventura Cali, 2013. p. 20.

JUAREZ, Humberto. Los sistemas just-in-time/Kanban, un paradigma productivo. EN: Política y cultura, [en línea]. otoño, 2002, no. 18, p. 40.

Kissami, I; Bouya W. Analysis of WIP Inventory Control and Simulation of KANBAN System within Wiring Harness Company. En: Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. , January 7 - 9, 2014. p. 2489-2498.

Loyd, N., McNairy, M. (2003). ProcessModel Simulation to Show Benefits of Kanban/Pull System. En R. Johnson; J. Serrano, Huntsville Simulation Conference. Conferencia llevada a cabo en Alabama, Estados Unidos.

MENDOZA, Antonio; Montserrat, Acebes; De la Fuente, Enrique. Automatización de los Sistemas de Gestión Kanban. CARTIF Parque Tecnológico de Boecillo. España. p. 205. 2011

MINCOMERCIO INDUSTRIA Y TURISMO, Definición Tamaño Empresarial Micro, Pequeña, Mediana o Grande [en línea], <<http://www.mipymes.gov.co/publicaciones.php?id=2761>> [citado en 19 de Abril de 2015].

MORA, Alejandro; TOBAR, Jorge; SOTO, José. Comparación y análisis de algunos Sistemas de control de la Producción tipo “Pull”, mediante Simulación. En: Scientia et Technica. Agosto, 2012, no. 51, p 100- 106.

NASDAQ, [en línea], <http://business.nasdaq.com/> [citado en 19 de Abril de 2015].

PEREZ, Paula. Definición, clasificación y aplicación del Sistema Kanban. Trabajo de grado Ingeniero Industrial. Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira, 2007. p. 102.

PERRONE, L.; WIELAND, F.; LIU, J.; LAWSON, B.; NICOL, D.; FUJIMOTO, R. Simul8-planner for composites manufacturing. En: Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, Winter, 2006. p. 1779- 1784.

PETIT, Antonio; PIERA, Miguel; CASANOVAS, Josep. Modelado y simulación. Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios Barcelona. Edicions Upc, 2002. p. 310.

PIAMONTE LLANERO, Modelo de simulacion. Editores Corpoica, Colombia. p. 64.

PIERAA, Miquel; GUASCH, Toni; CASANOVAS, Josep; RAMOS, Juan. Como mejorar la logística de su empresa mediante la simulación. Madrid. Ediciones Diaz de Santos S.A. 2006. p. 105.

RAJADELL, Manuel; SANCHEZ, Jose. Lean Manufacturing. La evidencia de una necesidad. Madrid. Ediciones Díaz de Santos, 2010, p. 259.

REYES, Primitivo. Manufactura Delgada (Lean) y Seis Sigma en empresas mexicanas: experiencias y reflexiones. En: Contaduría y administración. Abril- junio, 2002, no. 205. p. 51-69.

RUIZ, Mercedes; RAMOS; Isabel; TORO, Miguel. Mejora de los Procesos Software Utilizando Simulación e Integración de Técnicas. En: *CEUR workshop proceedings*. 2001. Vol. 84. p. 6.

Ruiz, P; Zarrabeitia, B; Alvarez, Izaskun; Diaz, Pablo. Análisis de la implantación de un sistema de planificación Pull Mixto en un fabricante de componentes para bienes de equipo. 4th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management XIV Congreso de Ingeniería de Organización. Conferencia llevado a cabo en Donostia, San Sebastián.

SÁNCHEZ, Jhon. Evaluación del proyecto Kanban Fisher CVT, empleando simulación de operaciones. Trabajo de grado Ingeniero de la Producción y Operaciones. Cuenca. Universidad de Azuay, 2012. p. 55.

SÁNCHEZ, Pedro; ECHÁVARRI, Rodrigo. Dimensionado óptimo de buffers con metodología kanban sin tarjetas. 3rd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management- XIII Congreso de Ingeniería de Organización. September, 2009. p. 1745- 1753.

SHANNON, Robert. Simulación de sistemas: Diseño, desarrollo e implantación. Mexico. Editor Trillas, p. 1988. 427.

SIMON, Isaias; SANTANA, Francisca; GRANILLO, Rafael; PIEDRA, Victor. La simulación con FlexSim, una fuente alternativa para la toma de decisiones en las operaciones de un sistema híbrido. En: Científica. Enero- Marzo, 2013. Vol. 17, no. 1. p. 39-49.

SIPPER, Daniel; BULFIN, Robert. Planeación y control de la producción. Mexico. McGraw- Hill Interamericana Editores S.A, 1998. p. 736.

SOTO, Magnolia. Experiencias de la aplicación de Kanban en la construcción de viviendas en serie. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Mexico. Universidad Nacional Autónoma de México. 2008. p. 92.

SOTO, José; FERNÁNDEZ, Sergio. Los Metamodelos de Regresión en Simulación con Aplicación en Sistemas de Manufactura. En: Scientia Et Technica. Abril, 2010, vol. 17, no. 47. p. 285-290.

SPEEDING, C. An Introduction to Agricultural Systems. England. Applied Science Publishers, 1997. p. 189.

TAMAYO, Amelia; URQUIOLA, Idalianys. Concepción de un procedimiento para la planificación y control de la producción haciendo uso de herramientas matemáticas. En: Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa. Diciembre, 2014, vol. 18, no 18. p. 130-145.

STERMAN, Jhon. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. USA. McGraw-Hill Higher Education, 2000. p. 982.

TOLEDANO, Asier; MAÑES, Nagore; GARCIA, Sergio. "Las claves del éxito de Toyota". LEAN, más que un conjunto de herramientas y técnicas. En: Cuardenos de Gestion. Noviembre, 2009, vol. 9, no. 2. p. 113-122.

TORRES, Pedro J. Simulación del Tráfico en una Vía Expresa y Análisis Estadístico de los Resultados. Ingeniería Industrial. 2012. No 30. p. 45-79.

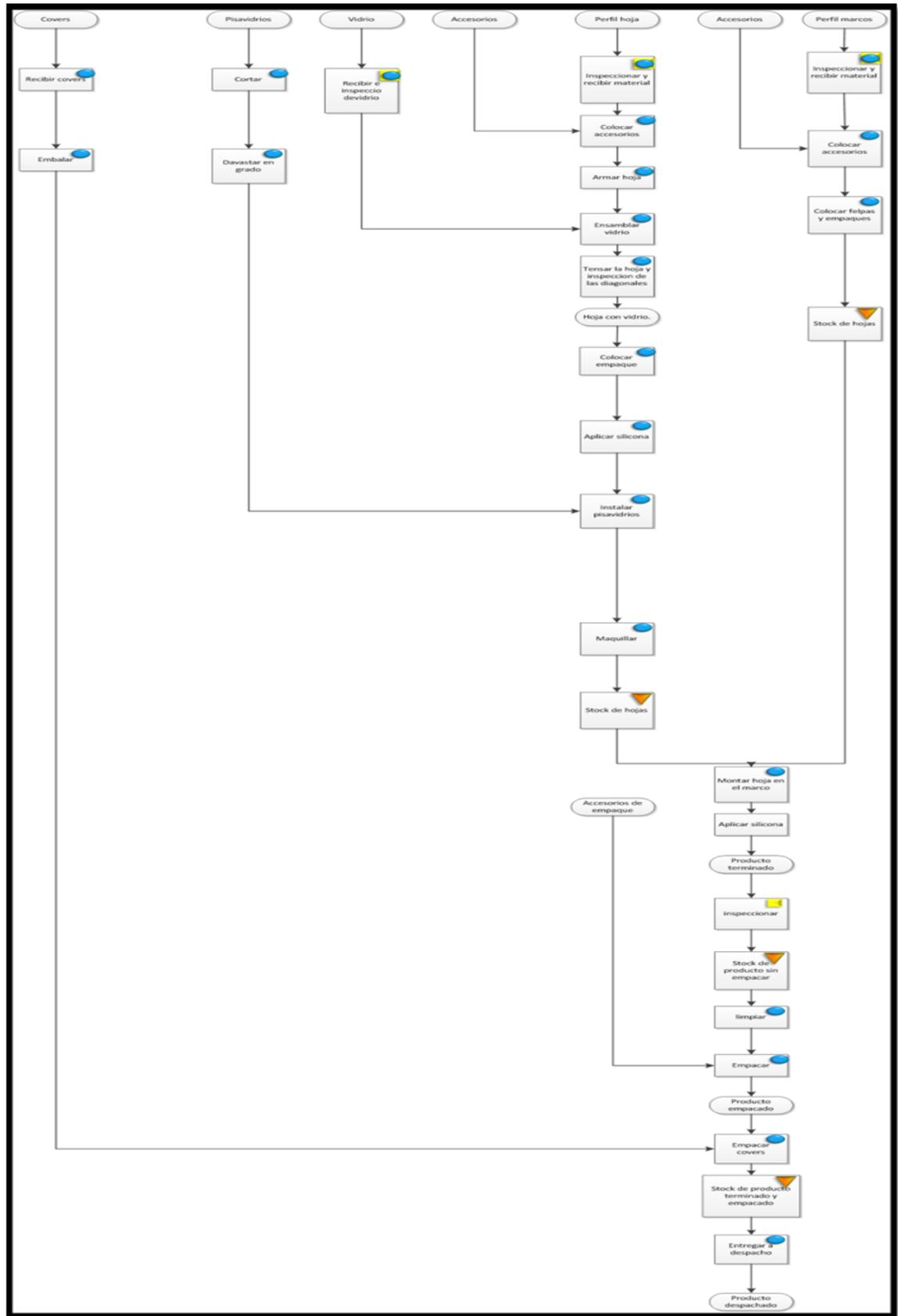
Vasallo, A (2013). Cálculo, diseño e implantación de criterios y herramientas de almacenaje bajo criterios Kanban y JIT en Siproa. (Tesis de pregrado). Universidad Pontificia. España, Madrid.

WEBSTER, [en línea], <http://www.merriam-webster.com/dictionary/university> [citado en 19 de Abril de 2015].

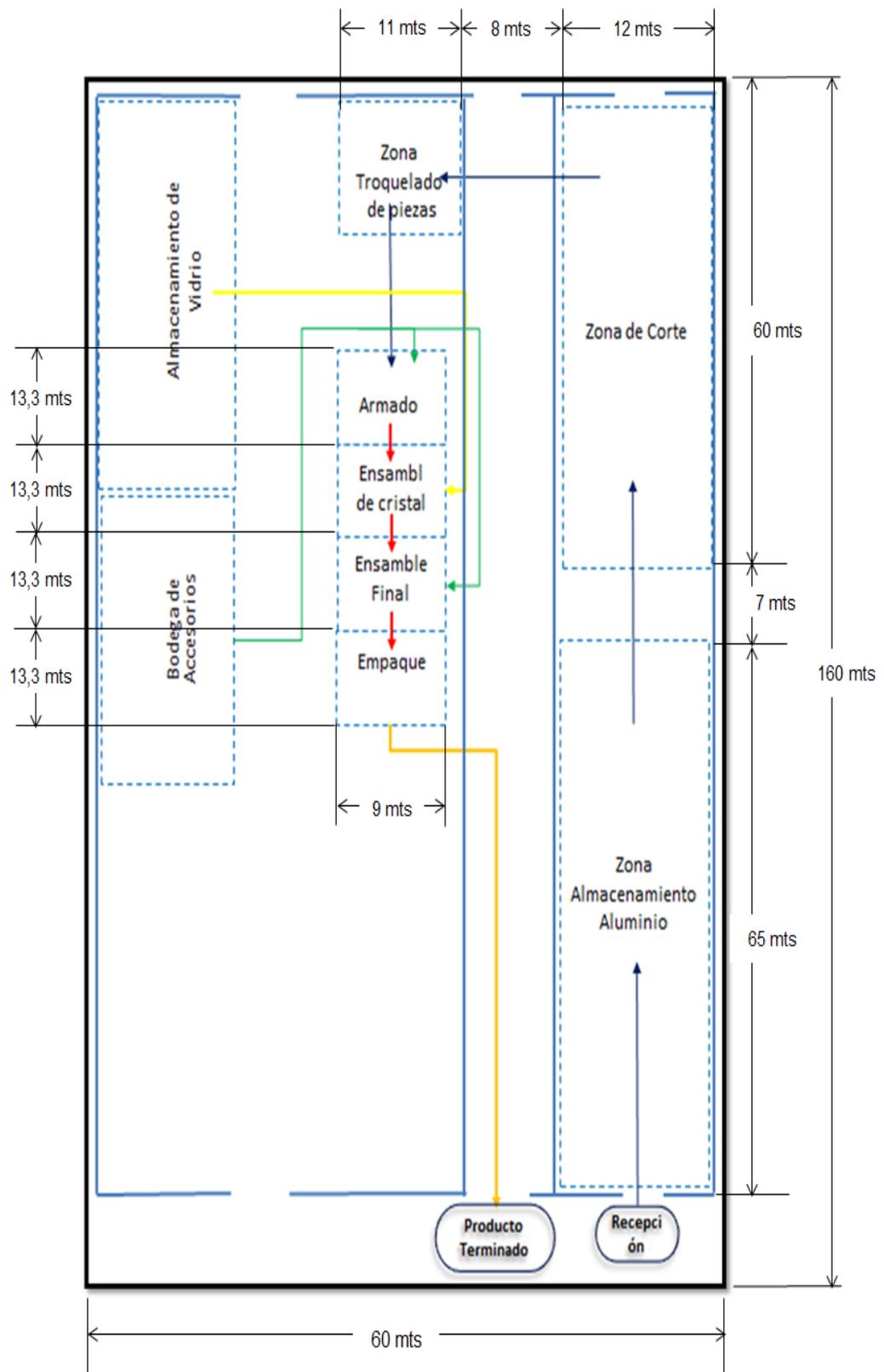
WINTER, Christian; MUÑOZ, Francisco. Evaluación bajo Simulación de un Sistema Just In Time. enginy@eps. 2009, no.1. p. 9-12.

ZEIGLER, Bernard P. Theory of Modelling and Simulation. Wiley & Sons. New York. 1976.

ANEXOS



Anexo 1. Diagrama de procesos de fabricación de puertas sencillas. 2014.

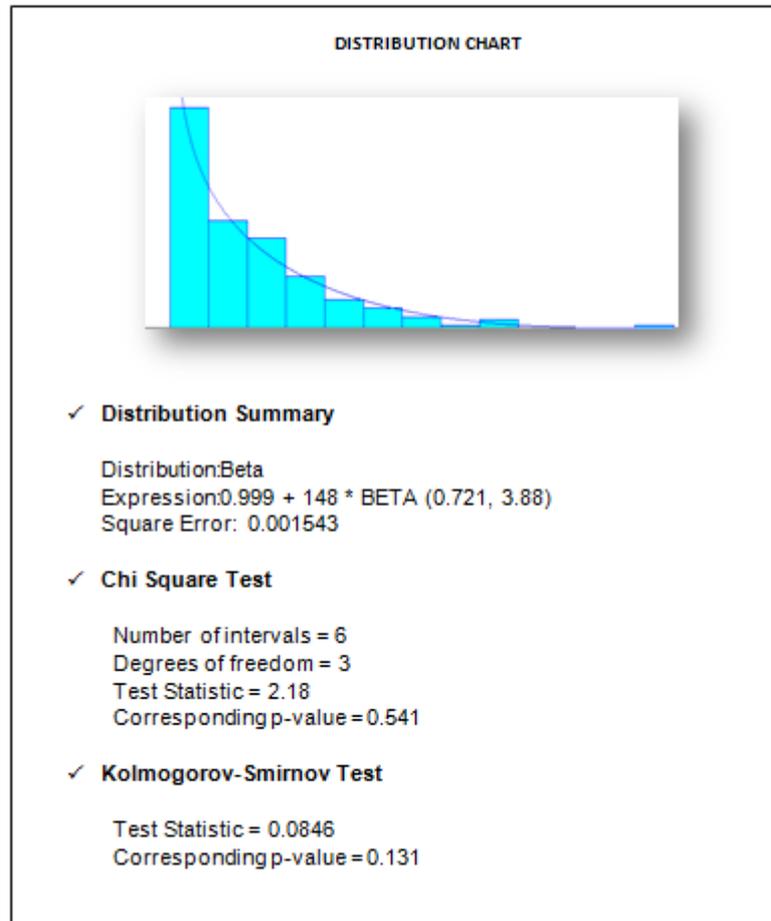


Anexo 2. Diagrama de recorrido de fabricación de puertas sencillas. 2014.

FECHA	DEMANDA								
09/01/2014	56	04/03/2014	18	25/04/2014	11	16/06/2014	45	07/08/2014	8
10/01/2014	8	06/03/2014	7	26/04/2014	41	17/06/2014	5	09/08/2014	12
11/01/2014	54	07/03/2014	4	28/04/2014	32	18/06/2014	36	11/08/2014	26
13/01/2014	3	08/03/2014	22	29/04/2014	14	19/06/2014	13	12/08/2014	43
15/01/2014	35	10/03/2014	7	30/04/2014	102	20/06/2014	2	13/08/2014	13
16/01/2014	2	11/03/2014	14	03/05/2014	46	21/06/2014	39	14/08/2014	4
17/01/2014	22	12/03/2014	53	05/05/2014	28	23/06/2014	24	15/08/2014	36
18/01/2014	71	13/03/2014	27	06/05/2014	37	25/06/2014	4	16/08/2014	2
20/01/2014	22	14/03/2014	54	07/05/2014	11	26/06/2014	26	18/08/2014	8
21/01/2014	41	15/03/2014	73	08/05/2014	4	27/06/2014	9	20/08/2014	27
22/01/2014	22	17/03/2014	29	09/05/2014	11	28/06/2014	38	21/08/2014	11
23/01/2014	64	18/03/2014	27	10/05/2014	11	30/06/2014	4	22/08/2014	12
24/01/2014	9	20/03/2014	9	13/05/2014	21	02/07/2014	19	23/08/2014	10
25/01/2014	35	21/03/2014	21	14/05/2014	7	03/07/2014	16	25/08/2014	1
27/01/2014	24	22/03/2014	11	15/05/2014	56	04/07/2014	37	26/08/2014	10
29/01/2014	8	24/03/2014	7	16/05/2014	34	05/07/2014	17	27/08/2014	17
30/01/2014	90	26/03/2014	18	17/05/2014	14	08/07/2014	30	28/08/2014	6
31/01/2014	12	27/03/2014	24	19/05/2014	1	09/07/2014	44	29/08/2014	3
01/02/2014	13	28/03/2014	149	20/05/2014	36	10/07/2014	43	30/08/2014	9
03/02/2014	18	29/03/2014	19	21/05/2014	9	11/07/2014	38	01/09/2014	2
04/02/2014	48	31/03/2014	23	22/05/2014	34	12/07/2014	11	02/09/2014	21
06/02/2014	12	01/04/2014	7	23/05/2014	12	14/07/2014	12	03/09/2014	2
07/02/2014	15	02/04/2014	22	24/05/2014	59	15/07/2014	26	04/09/2014	29
08/02/2014	29	03/04/2014	1	26/05/2014	2	16/07/2014	3	05/09/2014	26
10/02/2014	1	04/04/2014	50	27/05/2014	2	17/07/2014	7	06/09/2014	11
11/02/2014	98	05/04/2014	37	28/05/2014	33	18/07/2014	27	08/09/2014	1
12/02/2014	38	07/04/2014	18	29/05/2014	10	22/07/2014	59	09/09/2014	27
13/02/2014	60	08/04/2014	53	30/05/2014	32	23/07/2014	8	10/09/2014	37
14/02/2014	50	09/04/2014	10	02/06/2014	5	24/07/2014	2	11/09/2014	13
17/02/2014	3	10/04/2014	17	04/06/2014	15	25/07/2014	28	12/09/2014	8
18/02/2014	22	11/04/2014	11	05/06/2014	13	26/07/2014	65	13/09/2014	1
20/02/2014	6	12/04/2014	96	06/06/2014	34	28/07/2014	6	15/09/2014	26
21/02/2014	13	14/04/2014	13	07/06/2014	13	29/07/2014	72		
22/02/2014	56	15/04/2014	11	09/06/2014	11	30/07/2014	5		
24/02/2014	3	16/04/2014	67	10/06/2014	76	31/07/2014	5		
25/02/2014	17	19/04/2014	25	11/06/2014	24	01/08/2014	4		
26/02/2014	8	22/04/2014	2	12/06/2014	20	02/08/2014	31		
27/02/2014	6	23/04/2014	23	13/06/2014	13	04/08/2014	4		
28/02/2014	12	24/04/2014	61	14/06/2014	27	06/08/2014	10		

Nota: la demanda se recibe 1 vez por día

Anexo 3. Histórico de demanda de Puertas sencillas durante el periodo 2014-1.

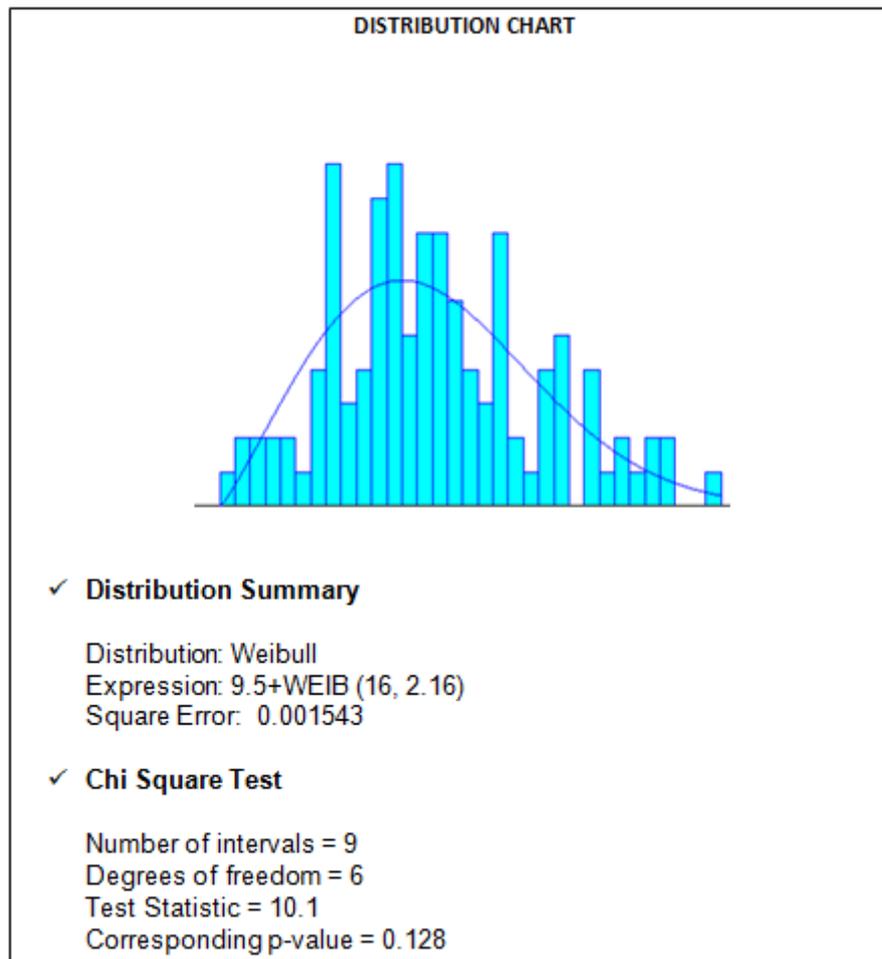


Anexo 4. Comportamiento de la demanda de Puertas sencillas durante el periodo 2014-1.

FECHA	CANT	FECHA	CANT	FECHA	CANT
07-abr	20	16-may	31	24-jun	17
08-abr	34	17-may	31	25-jun	24
09-abr	21	18-may	27	26-jun	26
10-abr	21	19-may	14	27-jun	21
11-abr	20	20-may	13	28-jun	22
12-abr	17	21-may	23	29-jun	17
13-abr	38	22-may	11	30-jun	29
14-abr	39	23-may	28	01-jul	18
15-abr	36	24-may	42	02-jul	16
16-abr	23	25-may	17	03-jul	17
17-abr	22	26-may	23	04-jul	20
18-abr	20	27-may	25	05-jul	23
19-abr	25	28-may	24	06-jul	15
20-abr	16	29-may	22	07-jul	18
21-abr	17	30-may	23	08-jul	24
22-abr	24	31-may	30	09-jul	28
23-abr	19	01-jun	17	10-jul	23
24-abr	32	02-jun	32	11-jul	34
25-abr	12	03-jun	24	12-jul	32
26-abr	20	04-jun	29	13-jul	39
27-abr	20	05-jun	20	14-jul	28
28-abr	17	06-jun	34	15-jul	25
29-abr	21	07-jun	22	16-jul	24
30-abr	23	08-jun	19	17-jul	22
01-may	17	09-jun	14	18-jul	19
02-may	28	10-jun	20	19-jul	27
03-may	28	11-jun	24	20-jul	11
04-may	37	12-jun	38	21-jul	35
05-may	18	13-jun	36	22-jul	31
06-may	26	14-jun	17	23-jul	26
07-may	34	15-jun	25	24-jul	10
08-may	21	16-jun	32	25-jul	23
09-may	21	17-jun	12	26-jul	24
10-may	13	18-jun	19	27-jul	28
11-may	32	19-jun	25	28-jul	16
12-may	27	20-jun	25	29-jul	28
13-may	21	21-jun	21	30-jul	16
14-may	21	22-jun	21	31-jul	28
15-may	31	23-jun	20	01-ago	26

NOTA: LLEGADAS CONSTANTES DE 1 VEZ POR DÍA

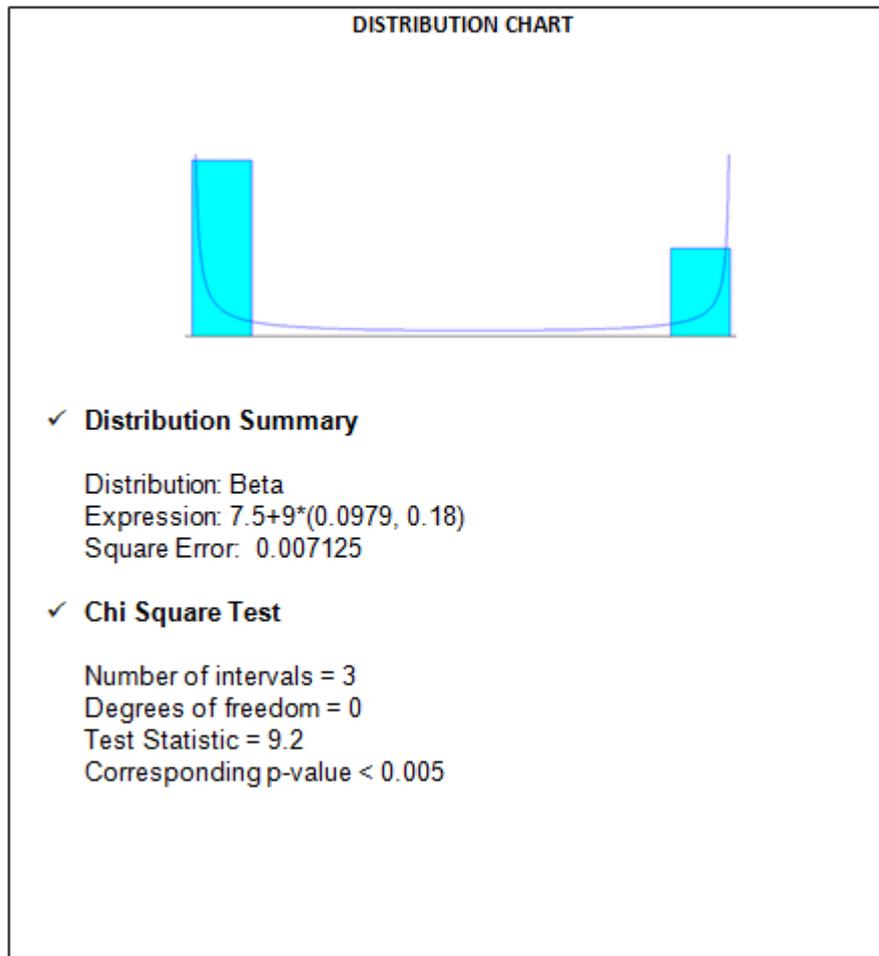
Anexo 5. Histórico de entregas de cristales a la línea para la fabricación Puertas Sencillas año 2015.



Anexo 6. Comportamiento de la cantidad de cristales entregados a la línea para la fabricación de puertas sencillas año 2015.

No. MUESTRA	TIEMPO (HORAS)	No. MUESTRA	TIEMPO (HORAS)
1	16	30	8
2	8	31	8
3	8	32	8
4	8	33	8
5	16	34	8
6	16	35	8
7	8	36	8
8	8	37	8
9	16	38	8
10	8	39	8
11	16	40	8
12	16	41	8
13	8	42	8
14	8	43	8
15	16	44	16
16	16	45	16
17	8	46	16
18	16	47	16
19	16	48	16
20	8	49	8
21	8	50	8
22	8	51	8
23	16	52	8
24	16	53	8
25	16	54	8
26	16	55	8
27	8	56	8
28	16	57	8
29	16	58	8
59	8	62	8
60	8	63	8
61	8		

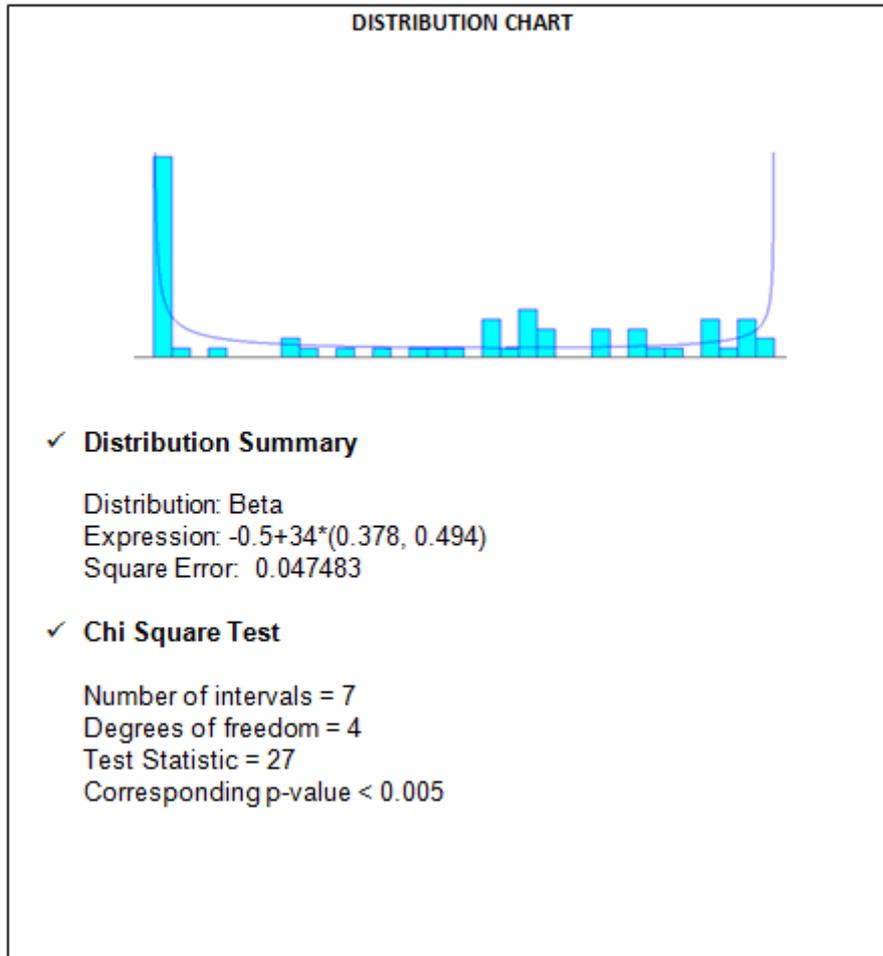
Anexo 7. Histórico de tiempo entre llegadas para el material “Aluminio” para la fabricación Puertas Sencillas año 2015.



Anexo 8. Comportamiento de los tiempos de llegada de material “aluminio” a la línea de producción de puertas año 2015.

No. MUESTRA	CANTIDAD	No. MUESTRA	CANTIDAD
1	0	33	21
2	30	34	19
3	30	35	10
4	30	36	12
5	0	37	21
6	0	38	3
7	20	39	18
8	20	40	20
9	0	41	21
10	18	42	26
11	0	43	26
12	0	44	0
13	32	45	0
14	32	46	0
15	0	47	0
16	0	48	0
17	30	49	24
18	0	50	24
19	0	51	28
20	32	52	26
21	32	53	27
22	33	54	20
23	0	55	20
24	0	56	24
25	0	57	15
26	0	58	14
27	31	59	7
28	0	60	18
29	0	61	33
30	1	62	7
31	16	63	8
32	18		

Anexo 9. Histórico de entregas de aluminio a la línea para la fabricación Puertas Sencillas año 2015.



Anexo 10. Comportamiento de la cantidad de material (aluminio) entre llegadas año 2015.

CAPACIDAD PRODUCTIVA DE LA LINEA DE PUERTAS - AGOSTO 2014

SISTEMA: PUERTA SENCILLA

HOLGURA: 0,2

ETAPA	ACTIVIDAD	No. OPERARIOS (CUADRILLA)	MUESTRAS	MEDIA (MÍN)	DESVIACIÓN
ARMADO DE FRAME	1. SE PREPARA ANCHO Y SUPERIOR 2. SE COLOCAN ACCESORIOS (FELPA, EMPAQUE)	1	50	8,86	1,372
ARMADO DE PANEL	1. SE PREPARA ANCHO Y SUPERIOR 2. SE PERFORAN LOS ANCHOS Y SUPERIORES 3. SE COLOCAN ACCESORIOS (FELPA, EMPAQUE) 4. SE COLOCAN PLATINAS	1	50	47,86	9,571
ENSAMBLE DE CRISTAL	1. SE APLICA SILICONA PERIMETRAL 2. SE ENSAMBLA EL CRISTAL AL PANEL 2. SE COLOCA PISA VIDRIOS Y SE LIMPIA	1	50	25,58	5,116
ENSAMBLE FINAL	1. ENSAMBLE SENCILLO (SE INSTALA EL PANEL AL MARCO)	1	50	12,16	2,431
EMPAQUE	1. SE LIMPIA LA PUERTA 2. SE APLICA BLUEMAX 3. SE EMPACA CON CARTON Y ZUMCHO PLÁSTICO	1	50	12,28	2,256

OBSERVACIONES:

Estas capacidades varían ya que se debe tener en cuenta BUSCAR EL MATERIAL, ACC, CAMBIO DE SILICONA EN LA PISTOLA, VER. PLANOS, por tal motivo se agregó a cada operación 20% de holgura desde el momento que termina y vuelve a realizar la misma.

Las capacidades se sacaron con base a turno de 7,5 Hrs.

Se obtuvo estas capacidades teniendo siempre el material y acc disponible en el momento que se desea.

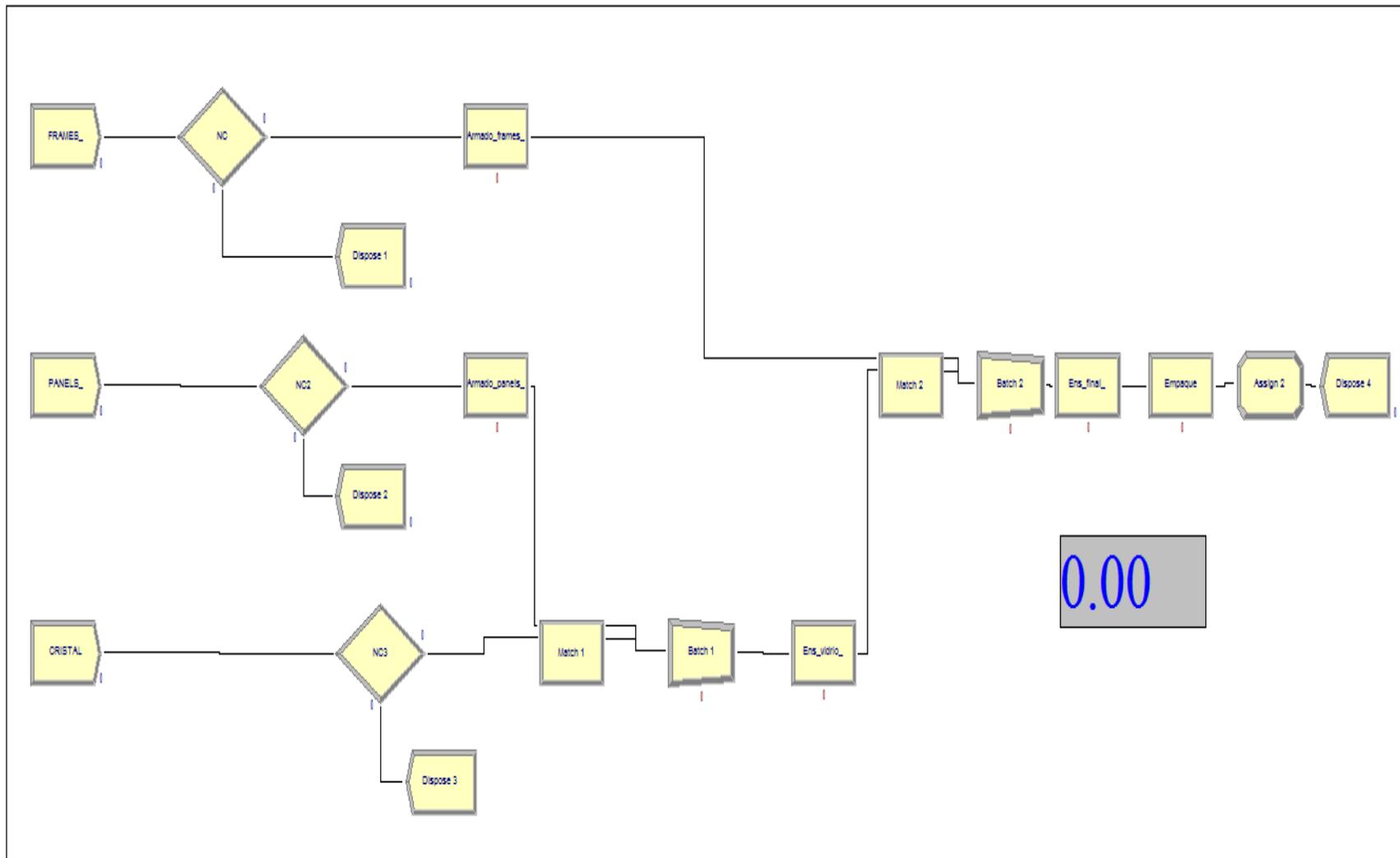
El patinador de aluminio se demora en promedio en ir a buscar entre 10-20 proyectos completos alrededor de 30 min.

El patinador de acc se demora entre 20 - 50 min. En ir a buscar los insumos y acc necesarios para la producción.

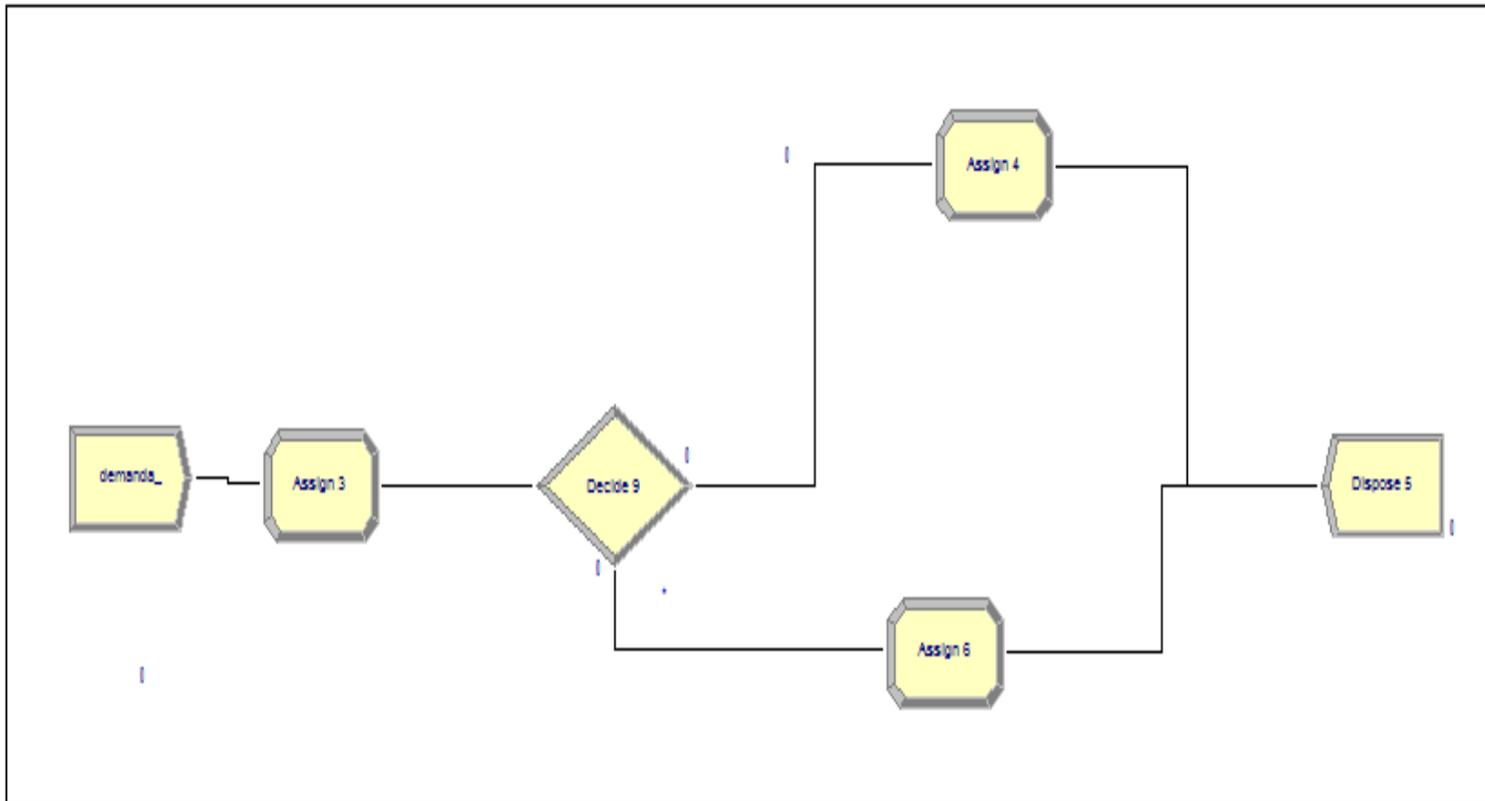
Anexo 11. Capacidad Productiva De La Línea De Puertas - Agosto 2014

S	Scenario Properties			Control	Responses											
	Name	Program File	Reps	Nkanban	nivel_servicio_Value	inventario Value	Armado_framas_Queue.NumberInQueue	Armado_panels_Queue.NumberInQueue	Ens_vidrio_Queue.NumberInQueue	Ens_final_Queue.NumberInQueue	Empaque_Queue.NumberInQueue	Match 1.Queue1.NumberInQueue	Match 1.Queue2.NumberInQueue	Match 2.Queue1.NumberInQueue	Match 2.Queue2.NumberInQueue	inventario Value
1	Scenario 1	1: PUERTAS	1165	50	0.703	48.991	1.193	12.423	0.137	0.011	0.002	0.738	13.885	13.749	0.384	19.722
2	Scenario 2	1: PUERTAS	1165	60	0.742	58.824	1.480	18.102	0.097	0.008	0.002	0.466	19.441	18.673	0.268	23.389
3	Scenario 3	1: PUERTAS	1165	70	0.768	68.683	1.720	24.221	0.075	0.006	0.001	0.343	25.367	24.334	0.184	26.816
4	Scenario 4	1: PUERTAS	1165	80	0.789	78.247	1.913	30.508	0.053	0.005	0.001	0.250	31.740	30.402	0.144	29.983
5	Scenario 5	1: PUERTAS	1165	90	0.801	86.039	2.070	37.656	0.044	0.004	0.001	0.196	38.656	37.073	0.116	32.604

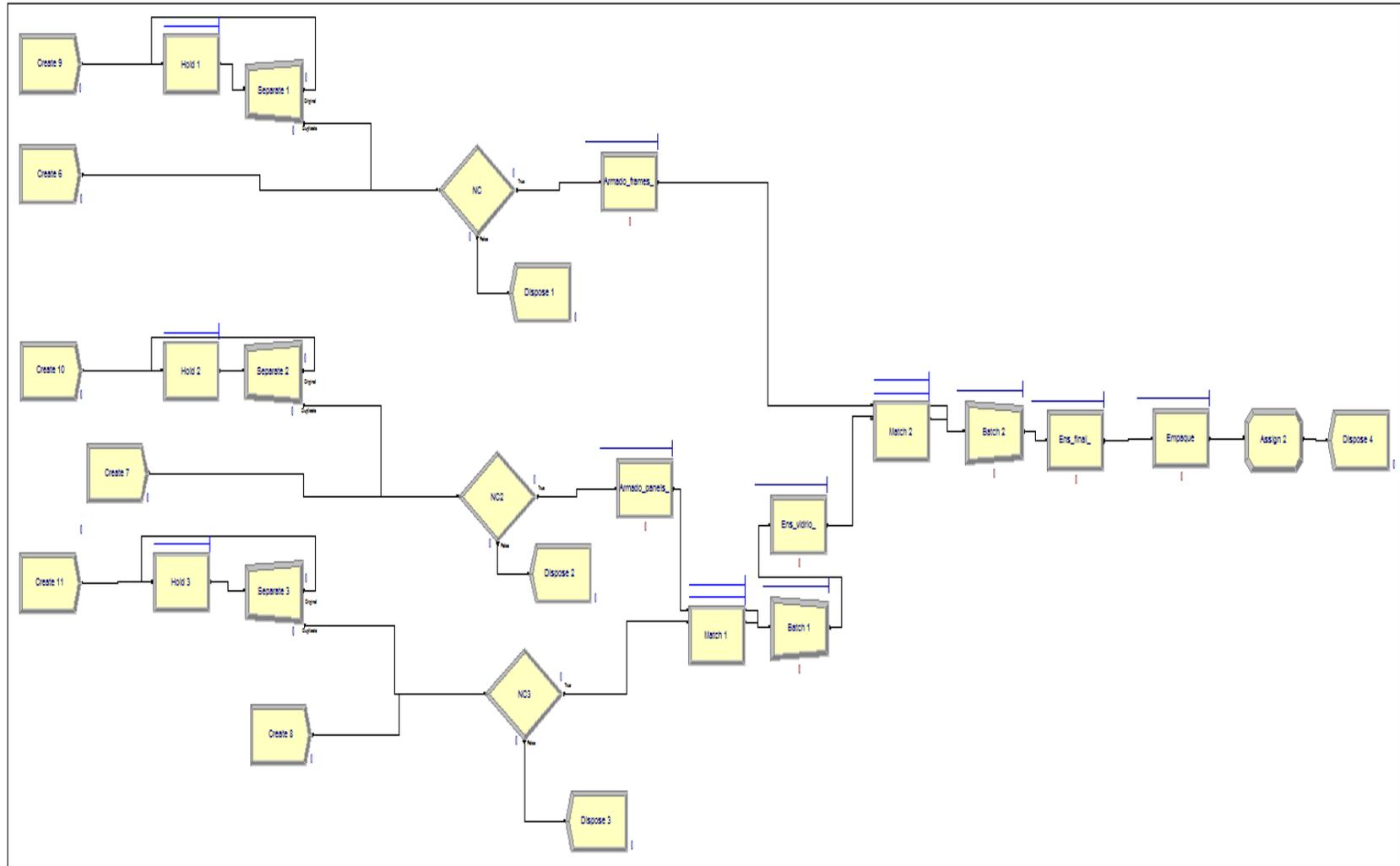
Anexo 12. Análisis de escenarios Kanban.



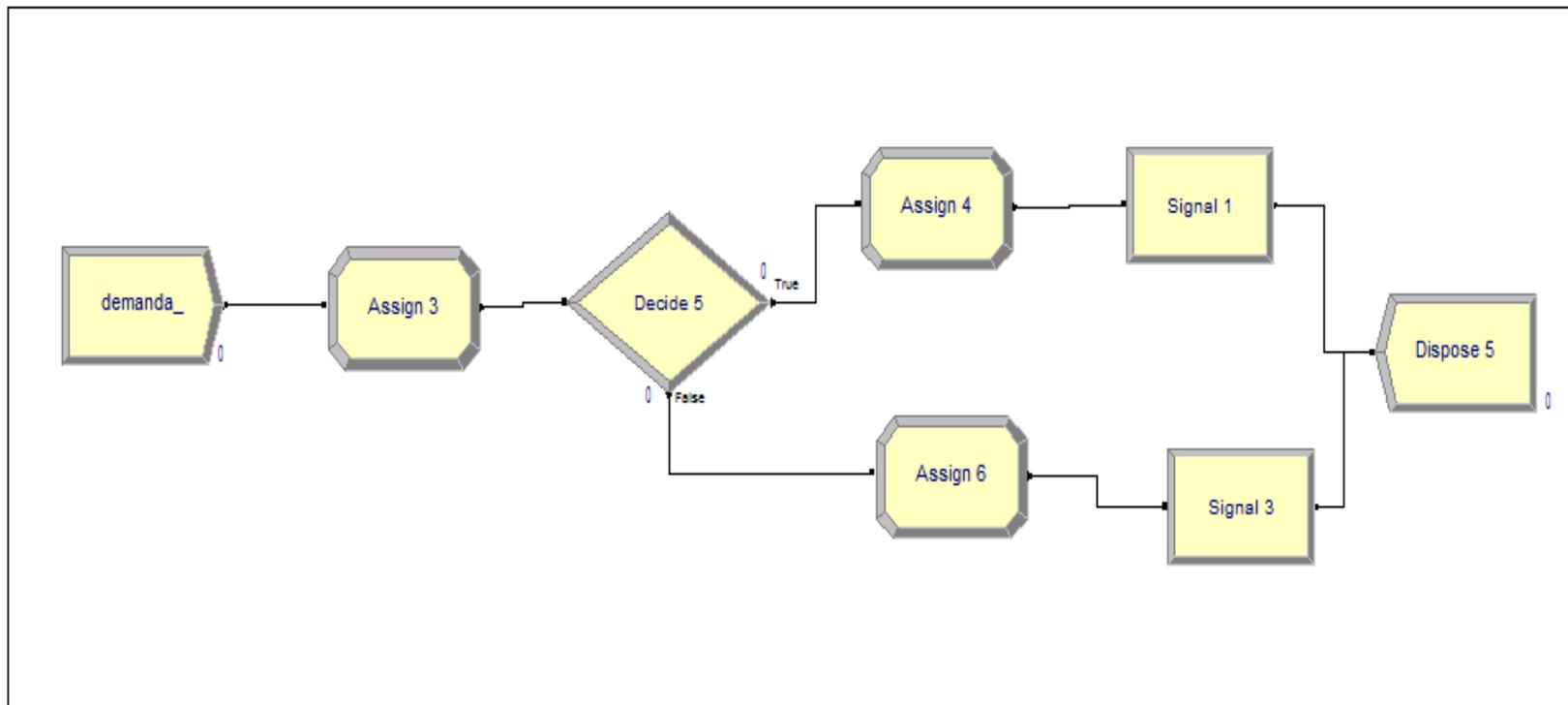
Anexo 13. Modelo de simulación para el sistema actual usando el software Rockwell Arena® (línea de producción)



Anexo 14. Modelo de simulación para el sistema actual usando el software Rockwell Arena® (demanda y funcionamiento de movimiento de inventario)



Anexo 15. Modelo de simulación para el sistema Kanban usando el software Rockwell Arena® (línea de producción)



Anexo 16. Modelo de simulación para el sistema Kanban usando el software Rockwell Arena® (demanda, funcionamiento de movimiento de inventario y uso de las señales Kanban)



NORMAS PARA LA ENTREGA DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO A LA UNIDAD DE INFORMACION

VERSIÓN: 02

FECHA: Junio 2012

CODIGO: DOC-VACRE-NETGUDI

ANEXO 1

CARTA DE ENTREGA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO

Barranquilla, 18 DE FEBRERO DE 2016

Marque con una X

Tesis Trabajo de Grado

Yo ANDRÉS JOSÉ DÍAZ ORTEGA, identificado con C.C. No. 1.140.850.592 de BARRANQUILLA, actuando en nombre propio y como autor de la tesis y/o trabajo de grado titulado MODELO DE SIMULACIÓN PARA EVALUAR LA METODOLOGIA KANBAN EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PUERTAS SENCILLAS EN UNA EMPRESA DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA presentado y aprobado en el año 2016 como requisito para optar al título de INGENIERO INDUSTRIAL; hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (DVD) y autorizo a la UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento.

Y autorizo a la Unidad de información, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad de la Costa, CUC, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en la página Web de la Facultad, de la Unidad de información, en el repositorio institucional y en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la institución y Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato DVD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

EL AUTOR - ESTUDIANTES, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad ante la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL ESTUDIANTE - AUTOR, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos, la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Barranquilla D.E.I.P., a los 18 días del mes de Febrero de Dos Mil Dieciséis 2016.

EL AUTOR - ESTUDIANTE.

Andrés José Díaz Ortega
FIRMA

	NORMAS PARA LA ENTREGA DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO A LA UNIDAD DE INFORMACION	VERSIÓN: 02
		FECHA: Junio 2012
		CODIGO: DOC-VACRE-NETGUDI

ANEXO 2
FORMULARIO DE LA DESCRIPCIÓN DE LA TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO DE GRADO:

MODELO DE SIMULACIÓN PARA EVALUAR LA METODOLOGIA KANBAN EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PUERTAS SENCILLAS EN UNA EMPRESA DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA

AUTOR

Apellidos Completos	Nombres Completos
DÍAZ ORTEGA	ANDRÉS JOSÉ

JURADOS

Apellidos Completos	Nombres Completos
NIEBLES ATENCIO CORONADO HERNÁNDEZ	FABRICIO ANDRÉS JAIRO RAFAEL

ASESOR (ES) O CODIRECTOR

Apellidos Completos	Nombres Completos
MARTÍNEZ MARÍN NILSON SEBASTIAN	SINDY JOHANA HERAZO PADILLA

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO INDUSTRIAL

FACULTAD: INGENIERIA

PROGRAMA: Pregrado Especialización _____



NORMAS PARA LA ENTREGA DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO A LA UNIDAD DE INFORMACION

VERSIÓN: 02

FECHA: Junio 2012

CODIGO: DOC-VACRE-NETGUDI

CIUDAD: Barranquilla **AÑO DE PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO:** 2016
NÚMERO DE PÁGINAS: 118

TIPO DE ILUSTRACIONES:

- | | |
|--|--------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Ilustraciones | <input type="checkbox"/> Planos |
| <input type="checkbox"/> Láminas | <input type="checkbox"/> Mapas |
| <input type="checkbox"/> Retratos | <input type="checkbox"/> Fotografías |
| <input checked="" type="checkbox"/> Tablas, gráficos y diagramas | |

MATERIAL ANEXO (Vídeo, audio, multimedia o producción electrónica):

Duración del audiovisual: _____ minutos.
Número de casetes de vídeo: _____ Formato: VHS _____ Beta Max _____ ¾
_____ Beta Cam _____ Mini DV _____ DVCam _____ DVC Pro _____ Vídeo 8
_____ Hi 8 _____
Otro. Cuál? _____
Sistema: Americano NTSC _____ Europeo PAL _____ SECAM _____
Número de casetes de audio: _____
Número de archivos dentro del DVD
2

PREMIO O DISTINCIÓN

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

ESPAÑOL

KANBAN
SISTEMA DE PRODUCCIÓN PULL
SYSTEM
TARJETA
SIMULACIÓN
SISTEMA
MODELO
WIP
CUELLO DE BOTELLA
PRODUCTIVIDAD

INGLÉS

KANBAN
PULL MANUFACTURING
SYSTEM
CARD
SIMULATION
SYSTEM
MODEL
WIP
BOTTLENECK
PRODUCTIVITY

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS: (Máximo 250 palabras – 1530 caracteres)

	NORMAS PARA LA ENTREGA DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO A LA UNIDAD DE INFORMACION	VERSIÓN: 02
		FECHA: Junio 2012
		CODIGO: DOC-VACRE-NETGUDI

RESUMEN

La metodología Kanban es un sistema de producción Pull, cuyo significado japonés está estrechamente relacionado con la palabra tarjeta o registro visible, esta resume toda la información necesaria para llevar a cabo el proceso productivo generando las de órdenes de producción y transporte de material en el momento que se requiere y utilizando solo los recursos necesarios con la finalidad de reducir desperdicios, balancear cargas de trabajo e incrementar la productividad y desempeño de la compañía. Adicionalmente la simulación de procesos permite evaluar a bajo riesgo económico y en lapsos de tiempo cortos la utilidad de los conceptos Kanban. El presente estudio tiene como finalidad diseñar un modelo de simulación mediante el software Rockwell Arena® para evaluar la implementación de la metodología Kanban sobre un sistema de producción de puertas sencillas bajo pedido. Para ello la metodología del trabajo describe inicialmente el proceso de fabricación de Puertas, posteriormente calcula el número de réplicas necesarias para validar estadísticamente los modelos de simulación actual y Kanban, finalmente se sintetizan los parámetros y variables del sistema y se construyen los modelos de simulación anteriormente mencionados. Teniendo en cuenta la significancia establecida para la experimentación los resultados evidencian como el sistema actual de producción no cumple con los objetivos productivos de la compañía, manteniendo altos niveles de WIP, cuellos de botella e incumpliendo con la meta establecida para el nivel de servicio; mientras que mediante la metodología Kanban se logra mejorar los indicadores ya mencionados ajustándolos a los objetivos propuestos por la compañía.

 UNIVERSIDAD DE LA COSTA <small>1970</small>	NORMAS PARA LA ENTREGA DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO A LA UNIDAD DE INFORMACION	VERSIÓN: 02
		FECHA: Junio 2012
		CODIGO: DOC-VACRE- NETGUDI

ABSTRACT

The Kanban method is a production system Pull whose Japanese meaning is closely related to the word card or visible record, this sums up all the information necessary to carry out the production process of generating the production orders and material transport at the time is required and using only the necessary resources in order to reduce waste, to balance workload and increase productivity and company performance. Additionally process simulation evaluates low economic risk and shorter time spans the usefulness of Kanban concepts. This study aims to design a model simulation by Rockwell Arena® software to evaluate the implementation of the Kanban methodology on a production system for single doors on request. The methodology initially described the process of manufacture of Simple Doors, then calculates the number of replicates needed to statistically validate current models Kanban simulation and finally the parameters and variables of the system are synthesized and simulation models are built above mentioned. Given the significance established for experimentation results show as the current production system does not meet the production targets of the company, maintaining high levels of WIP, bottlenecks and in breach of the target for the level of service; while using the Kanban methodology is able to improve the indicators already mentioned adjusting to the goals set by the company.

	LICENCIA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA PUBLICAR Y PERMITIR CONSULTA Y USO	VERSIÓN: 01
		FECHA: OCTUBRE 2015
		CODIGO: DOC-VACRE- FLAPCU

LICENCIA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA PUBLICAR Y PERMITIR CONSULTA Y USO

Barranquilla, Fecha: 18 de Febrero de 2016

Parte 1. Términos de la Licencia general para publicación de obras en el repositorio institucional

- i. La vigencia es a partir de la fecha en que se incluye en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la universidad con una antelación de dos meses antes de la correspondiente prorroga.
- ii. El autor / Los autores:
 - Autorizan a la corporación Universidad de la Costa - CUC para publicar la obra en el formato que el repositorio lo requiera (impreso, digital, electrónico o cualquier otro conocido o por conocer) y conocen que dado que se publica en Internet por este hecho circula con un alcance mundial.
 - Aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto renuncian a recibir emolumento alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente Licencia y de la Licencia Creative y la Commons con que se publica.
 - Manifiestan que se trata de una obra original y la realizo o realizaron sin usurpar derechos de autor de terceros, obras sobre la que tiene (n) los derechos que autoriza (n) y que es el o ellos quienes asumen total responsabilidad por el contenido de su obra ante la CORPORACIÓN UNIVERSIDAD DE LA CUC y ante terceros. En todo caso la CORPORACIÓN UNIVERSIDAD DE LA COSTA se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del AUTOR o AUTORES y la fecha de publicación. Para todos los efectos CORPORACIÓN UNIVERSIDAD DE LA COSTA - CUC, actúa como un tercero de buena fé.
 - Autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.
 - Aceptan que la Corporación Universidad de la Costa pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

SI EL DOCUMENTO SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA O UNA ORGANIZACIÓN, CON EXCEPCIÓN DE LA CORPORACIÓN UNIVERSIDAD DE LA COSTA – CUC, LOS AUTORES GARANTIZAN QUE SE HAN CUMPLIDO CON LOS DERECHOS Y OBLIGACIONES REQUERIDOS POR EL RESPECTIVO CONTRATO O ACUERDO.

Parte 2. Autorización para publicar y permitir la consulta y uso de obras en el Repositorio Institucional de la Corporación Universidad de la Costa – CUC

	LICENCIA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA PUBLICAR Y PERMITIR CONSULTA Y USO	VERSIÓN: 01
		FECHA: OCTUBRE 2015
		CODIGO: DOC-VACRE- FLAPCU

Con base a en este documento, Usted autoriza la publicación electrónica, consulta y uso de su obra Corporación Universidad de la Costa – CUC y sus usuarios de la siguiente manera, Usted:

- Otorga una (1) licencia especial para publicación de obras en el repositorio institucional de la CORPORACION UNIVERSIDAD De La Costa – CUC (Parte 1) forma parte integral del presente documento y de la que ha recibido una (1) copia.

Si autorizo X No autorizo.

- Autoriza para que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados por Usted, con la Licencia Creative Commons Reconocimiento – No comercial – Sin obras derivadas 2.5 Colombia cuyo texto completo se puede consultar en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/> y que admite conocer.

Si autorizo X No autorizo . Si Usted no autoriza para que la obra sea licenciada en los términos expuestos y opta por una opción legal diferente describala:

EN CONSTANCIA DE LO ANTERIOR:

Tipo de documento:

Artículo Libro Capitulo de Libro Informe / avance de Investigación Tesis X
 Ponencia / Conferencia Video Objeto de aprendizaje
 Otro

Título de la obra (s):

MODELO DE SIMULACIÓN PARA EVALUAR LA METODOLOGIA KANBAN EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PUERTAS SENCILLAS EN UNA EMPRESA DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA

Autor (es):

ANDRÉS JOSÉ DÍAZ ORTEGA Andrés José Díaz Ortega 1.140.850.592

Nombre

Firma

C.C

Datos contacto. (Teléfono, correo Dirección)

300 5457512 – 3792257, adiaz14@live.com

Fecha entrega (D/M/A): 18/02/2016

