UNIVERSIDAD DEL AZUAY

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería de Producción y Operaciones

Evaluación del Proyecto Kanban Fischer CVT,

Empleando Simulación de Operaciones

Trabajo de Grado Previo a la Obtención del Título de

Ingeniero de la Producción y Operaciones.

Autor:

Jhon Eduardo Sánchez Casierra

Director:

Pedro José Crespo Vintimilla

Cuenca – Ecuador

2012

DEDICATORIA

El siguiente trabajo esta dedicado a muchas personas especiales en mi vida. Mi madre Jenny, pilar fundamental de mi hogar y mi vida. Mis hermanos Jenny y Santiago quienes siempre velaron por mí. A mi padre Juvenal por su apoyo continuo en mi carrera.

Pero principalmente me gustaría dedicar este trabajo de grado a mi perro Axl. Un gran compañero y amigo, quién brindó su fidelidad y cariño incondicional a mi familia durante 13 magníficos años.

AGRADECIMIENTO

Mis mas sinceros agradecimientos al Dr. Andrés Abad por su apoyo durante la realización de este proyecto. Gracias por toda su dedicación y paciencia, su colaboración fue vital en este trabajo.

Al Dr. Piercósimo Tripaldi por su valiosa ayuda en un punto critico, que no hubiera podido superar sin su contribución.

TITULO

Evaluación del Proyecto Kanban Fischer CVT, Empleando Simulación de Operaciones

RESUMEN

La simulación es un método innovador para el desarrollo y evaluación de proyectos y procesos. En el siguiente trabajo de grado emplearemos el software de simulación de operaciones Promodel como fundamento para el cálculo de recursos en la implementación del proyecto Kanban en la cortadora Fischer del área CVT de construcción de neumáticos.Además de proporcionar una descripción detallada de todo el proceso que conlleva el desarrollo de una simulación,desde la planeación y medición de variables, hasta el desarrollo del simulador con su respectivo análisis de resultados. Las conclusiones obtenidas son bastante satisfactorias, permitieron un cálculo acertado de recursos a traves de una respuesta no contemplada en métodos tradicionales.

Palabras clave búsqueda:

Simulación, software, Promodel, Kanban, neumáticos, desarrollo, simulador.

Ing Pedro Crespo	Ing Pedro Crespo	Jhon Sànchez Casierra
Director de Escuela	Director de Tesis	Estudiante

ABSTRACT

EVALUATION OF THE "KANBAN FISCHER CVT" PROJECT THROUGH OPERATIONS SIMULATION

Simulation is an innovative method employed for the development and evaluation of projects and processes. In the following graduation work we will employ *Promodel* operations simulation software as a basis to calculate the resources used for the implementation of the Kanban project in the Fischer cutter of the CVT area of tire manufacture. In addition, a detailed description of the complete simulation process, from planning and variable measurement to the development of the simulator and the corresponding analysis of results, were provided. The conclusions are very satisfactory and they allowed us to make assertive calculations of the resources through answers that are not contemplated in traditional methods.

Key Words: Simulation, software, Promodel, Kanban, tires, development, simulator.

Ing. Pedro Crespo School Director	Ing. Pedro Crespo Thesis Director	Jhon Sánchez Casierra Student

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
DPTO. IDIOMAS

Translated by,
Diana Lee Rodas

INDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria……..…… i

Agradecimiento……..…. ii

Resumen…….. iii

Abstract…….…….. iv

Índice de Contenidos…….……. v

Índice de Tablas…….. vii

Índice de Anexos……. viii

INTRODUCCIÓN……... 1

CAPÍTULO 1: CONCEPTOS GENERALES

1.1 Historia de la Empresa……..…. 2

1.2 Descripción del Proceso……..……..…….. 5

1.3 Resumen del Proyecto Kanban Fischer CVT...… 13

1.4 Planteamiento del Conflicto……. 14

1.5 Simulación Primaria……. 15

CAPÍTULO 2: EVALUACIÓN DE VARIABLES DEL SISTEMA

2.1 Determinación de Variables……. 18

2.2 Medición de Variables……. 19

2.3 Planteamiento de Variables en Simulación……. 21

2.3.1 Traducción de Variables Determinadas a Términos del Simulador……..…… 21

2.3.2 Determinación de Locaciones, Entidades, Arribos y Procesos…..……..... 22

CAPÍTULO 3: DESARROLLO DE ESCENARIO Y EVALUACIÓN DEL PROYECTO

3.1 Planteamiento de la Simulación Definitiva…….. 29

3.2 Desarrollo de un Simulador de Programas de Producción……... 33

3.3 Prueba / Resultados de los Programas de Producción……...35

3.4 Número Recomendado de Carros…… 39

CONCLUSIONES…..…….…. 44

RECOMENDACIONES…….. 45

BIBLIOGRAFIA…..……...……. 47

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Medidas de Breaker…… 18

Tabla 2: Capacidad y Demanda de
Breaker por Medidas……...…….…. 20

Tabla 3: Tiempo de Corte de un
Rollo de Material……..…….…… 24

Tabla 4: Demanda de Material…….…. 25

Tabla 5: Similitud de Medidas……..... 36

Tabla 6: Combinaciones……. 36

Tabla 7: Número Óptimo de Réplicas…… 37

Tabla 8: Resumen de Datos del Simulador.……..….. 39

Tabla 8.1: Resumen Ampliado de
Datos del Simulador……..... 39

Tabla 8.2: Resumen Final de Datos
del Simulador…….. 40

Tabla 9: Cálculo de Distribución de Material…...…….. 41

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Txt de Simulación Primaria…….…. 48

Anexo 2: Txt de Simulación con Variables Definidas.…. 49

Anexo 3: Programas de Producción…..……..….… 50

Anexo 4: Resultados de la Simulación……...…….. 54

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Colocación de la Primera Piedra
de la construcción de ERCO …..…..…….…. 2

Figura 2: Primera Nave de la Fábrica……...…. 3

Figura 3: Firma de Convenio con
General Tire……..…….…. 4

Figura 4: Presentación del Primer Neumático
Fabricado……...…….…. 4

Figura 5: Pigmentos……..…….…. 6

Figura 6: Caucho Natural / Caucho
Sintético……..……..…….…. 7

Figura 7: Identificación de Colores..…….…. 7

Figura 8: Calandria……... …….…. 8

Figura 9: Núcleo, Relleno y Bandera……..….…. 9

Figura 10: Cambio de Ángulo en la Cortadora
de Pliego de Acero…..……. 10

Figura 11: Cambio de Ángulo en la Cortadora de
Breaker…….…. 10

Figura 12: Llanta Verde / Llanta Vulcanizada…….…. 12

Figura 13: Máquina de Rayos X……...……...…..…. 13

Figura 14: Funcionamiento del Tablero
Kanban……..……...…. 14

Figura 15: Pantalla Principal de la Simulación
Primaria…….……....…. 16

Figura 16: Locaciones……...……....…. 16

Figura 17: Arribos…….……....…. 17

Figura 18: Entidades…….…. 17

Figura 19: Recursos…….…….…. 17

Figura 20: Procesos……..…….…. 17

Figura 21: Capacidad de Máquinas…..…….…. 22

Figura 22: Velocidad para Entidades...…….…. 23

Figura 23: Destino de Arribos……..…….…. 23

Figura 24: Ingreso de los Tiempos
de Producción……...…. 24

Figura 25: Ingreso de Restricciones de
Producción…….…. 26

Figura 26: Tiempo de Simulación…….…. 27

Figura 27: Redes……...…….…. 28

Figura 28: Especificación de las Redes…….…. 28

Figura 29: Materiales del Breaker…….…. 29

Figura 30: Divisiones del Trabajo para Turno……..…. 30

Figura 31: Diagrama de Flujo del Proceso...…….…. 30

Figura 32: Diagrama de Flujo del Artificio
KANBAN…….…….…. 31

Figura 33: Secuencia del Artificio KANBA…….…. 32

Figura 34: Funcionamiento del artificio
de la entidad KANBAN…….……. 33

Figura 35: Programa de Producción con
6 Cambios……..…….…. 34

Figura 36: Programa de Producción con
5 Cambios……..…….…. 34

Figura 37: Programa de Producción de
Baja Productividad…….…….…. 35

Figura 38: Datos a Recopilar…….…….…. 38

Figura 39: Buffer……...…….. 40

Figura 40: Distribución de Carros……..……. 42

Jhon Eduardo Sánchez Casierra

Trabajo de Grado

Director: Ing. Pedro José Crespo Vintimilla

Noviembre 2012

EVALUACION DEL PROYECTO KANBAN FISCHER CVT, EMPLEANDO SIMULACION DE OPERACIONES

INTRODUCCION

El diseño y planeación de procesos y operaciones eficientes han sido siempre aspectos críticos en el entorno empresarial. Desarrollar un proceso para su posterior perfeccionamiento, no es rentable; lo que buscamos es generar métodos, que desde su inicio, generen valor y sean productivos para la compañía.

Cualquier herramienta que nos ayude a disminuir la incertidumbre en el transcurso del desarrollo de un proyecto o implementación del proceso; resulta sumamente valiosa. La simulación es una poderosa herramienta que nos ayuda a enfrentar la variabilidad al momento de planificar los recursos necesarios, la capacidad y el flujo de un proceso en particular. Determinando los aspectos críticos que influirán, es posible crear escenarios en los que probemos cuán robusto es nuestro sistema. Yendo desde las condiciones normales, hasta las situaciones más extremas de trabajo, la simulación nos ofrece una idea de cómo se desempeñara nuestro modelo ante cualquier circunstancia.

Creemos que la simulación es una gran herramienta y por ello buscaremos abrir un nuevo sendero en la estimación y desarrollo con la evaluación del proyecto: Kanban Fischer CVT, empleando simulación de operaciones. A través de él calcularemos los recursos necesarios para la implementación del proyecto que nos generen el menor costo y al mismo tiempo la capacidad necesaria.

CAPITULO 1

CONCEPTOS GENERALES

1.1 Historia de la Empresa

Continental Tire Andina nació un 31 de julio en 1955, como una respuesta de la empresa cuencana ante la caída de las importaciones de sombreros de paja toquilla, actividad a la que se dedicaba un 75% de la población en cuenca en aquel entonces. Con un capital de 24’000.000 de Sucres aportado por 36 accionistas, vio la luz por primera vez la Ecuadorian Rubber Company (Erco).

Luego de varias trabas legales impuestas por los importadores de neumáticos, quienes trataban de evitar toda costa la producción de neumáticos dentro del país, en 1961 se coloca la primera piedra de la planta erco.

Figura 1: Colocación de la primera piedra de la construcción de ERCO.

El sector seleccionado para la edificación era sumamente alejado por aquellas fechas. Era tan lejano de la ciudad que era común ver los caballos, que los empleados usaban para transportarse, pastando en la entrada de la compañía.

Esto se debe a que su ubicación fue pensada de tal manera que permitiese una expansión considerable algún día. La edificación tomaría apenas 1 año, un tiempo de construcción muy bueno para la década de los 60. Levantándose en 1962 la primera nave de Erco.

Figura 2: Primera nave de la fábrica.

Ese mismo año la fabrica firma un contrato con General Tire, marca estadounidense con gran trayectoria en la fabricación de neumáticos. Varios representantes de la firma visitaron la planta.

Figura 3: Firma de convenio con General Tire.

Técnicos de esta firma estadounidense ayudaron a diseñar los procesos, adquirir maquinarias y elaborar el primer layout de la empresa. Cabe recalcar que en aquellas épocas, términos como “layout” eran totalmente desconocidos en el entorno empresarial del país. Por ello podemos afirmar que la empresa ha sido desde sus inicios pionera en la innovación.

Ese mismo año (1962) se produciría la primera llanta, bajo la dirección de un equipo especializado de General Tire. Un modelo de neumático de lujo que se descontinuaría varias décadas después.

1Figura 4: Presentación del primer neumático fabricado.

Después de este hecho, todo fue muy bien en la empresa. En 1967, después de la visita del José María Velasco Ibarra, Presidente de la República, nos fueron otorgados fondos estatales para ampliar la planta al triple de su capacidad. Además, se crearon sucursales de venta en Quito y Guayaquil; se establece la primera asociación de empleados y con ella surge Cooperco, la cooperativa de ahorro y crédito de la compañía.

En1987, la compañía alemana Continental-Caoutchouc Gutta-Percha Companie adquiere a nivel mundial a General Tire, consolidándose como Continental General Tire. Dando inicio a una era totalmente nueva en la compañía. Para 1995, comenzaría para Erco este gran cambio, con el inicio de la producción de llantas radiales.

En 2002, la *radialización*[1] de la planta ya era un hecho, este proceso que aún no concluye es una de las actuales prioridades en la planta. Pero su implementación dependerá del mercado y sus exigencias. La popularidad de las llantas radiales es muy amplia y se prevé que para el 2015 se detendría la producción de llantas bias.

1.2 Descripción del Proceso

Continental Tire Andina esta dividida en 2 secciones CVT y PLT. CVT Commercial Vehicle Tire, se refiere a las llantas de aro 20 o superior, es decir neumáticos para: camión, transporte pesado, buses, etc. Passenger and Light Truck o PLT abarca todo lo que respecta a llantas aro 16 a menor; es decir llantas para autos pequeños y camionetas.

A su vez, PLT y CVT fabrican 2 líneas de neumáticos: radial y bias. Los neumáticos bias o tubulares son de tecnología antigua, siendo la línea inicial con la que arranco su producción Erco. Con los años, los neumáticos evolucionaron hacia la llanta

[1] *Radialización*: tendencia de la industria de neumáticos hacia la producción exclusiva de llantas radiales

radial, que ofrece varias ventajas sobre su predecesora. Los neumáticos PLT radial se fabrican en Erco desde 1995, la línea CVT radial apenas lleva 3 años en el mercado.

La fabricación de un neumático es un proceso complejo que requiere de continuos controles de calidad y especificaciones en cada uno de sus puntos. Si bien una llanta de camión no es igual a una llanta de aro más pequeño, la clasificación de sus diferentes etapas si es la misma (exceptuando los controles de calidad finales).

La construcción de un neumático se divide en 5 etapas:

1) **Planta 1**: al hablar de Planta 1 nos referimos al área de la empresa donde se procesan casi todos los materiales que se usarán posteriormente en el proceso de construcción; la mayoría de las materias primas se procesan en esta sección, pero contamos con algunos otros, como el pliego de acero, que son importados de otras plantas. Planta 1 incluye los procesos de mezclado (bambury), extrusión (tuberas), pliegos (calandría), etc.

   En el "Bambury" encontramos los mixer, molinos gigantes encargados de las mezclas de primarias caucho. Combinan caucho natural, caucho sintético, negro de humo y la mezcla de aditivos salida de la casa de pigmentos, para formar una masa homogénea que se usará como la materia prima básica en los demás procesos de planta 1.

Figura 5: Pigmentos.

Figura 6: Caucho natural (oscuro) y caucho sintético (blanco).

En el área de “Tuberas” encontramos 3 extrusoras de caucho que comprimen las mezclas primarias hasta formar láminas de alto densidad y espesor considerable, identificadas con líneas de color, denominadas rodamientos. El rodamiento es un elemento crítico dentro de un neumático, debido a que este elemento es el que estará en contacto con el asfalto; es el encargado de resistir la fricción, el calor, la humedad, el frio, etc.

Figura 7: Identificación de Colores.

En las tuberas prensamos el caucho producido en los mixer hasta obtener una lámina homogénea de caucho que se corta con una cizalla a la longitud exacta de la circunferencia de la llanta.

Un elemento muy importante en la estructura del neumático es el pliego de nylon, este componente que aún se emplea en toda la línea PLT ha desaparecido completamente del área radial CVT, aunque aun se usa en el área CVT Bias. La “Calandria” es la encargada de fabricar este material. La calandria es una maquina bastante voluminosa que toma varios hilos de nylon, los combina en un tejido y lo recubre con una fina capa de caucho por ambas caras.

Figura 8: Calandria.

Consiguiéndose una lámina de caucho reforzada internamente con nylon. Una llanta de camión bias puede contener hasta 14 láminas de nylon, mientras que en las llantas radiales dichos pliegos han sido reemplazados por breaker.

2) **Preparación de Materiales**: son los encargados de abastecer de material al área de construcción. Se divide en 2 partes: pestañas, cortadoras.

La pestaña de un neumático es un elemento crítico en el desempeño. La pestaña es el elemento que se enclava al aro del vehículo y evita que la llanta salga despedida con el movimiento.

Figura 9: Núcleo; núcleo y relleno; núcleo, relleno y bandera.

Esta formada por alambre de cobre recubierto de caucho (núcleo), sobre esta se agrega una lámina de caucho que al ser vulcanizado adquiere alta dureza (relleno), todo cubierto por otra lámina de caucho encargada de mantener juntos ambos elementos (bandera).

Las cortadoras son la sección más amplia de Preparación de Materiales, ya que existen al menos 15 máquinas de corte. Nos centraremos en las maquinas dirigidas a CVT radial, así tenemos las siguientes: fischer de pliego de acero, fischer de breaker y slitter. La cortadora slitter se encarga de cortar caucho para emplearlo como bandera en el área de pestañas.

Anteriormente habíamos mencionado que la planta no producía todos los materiales necesarios para la construcción de neumáticos, nos referíamos a las cortadoras fischer que trabajan con material recibido desde Mount Vernon, Estados Unidos.

La cortadora fischer de pliego, es la encargada de cambiar de sentido los hilos de alambre del pliego de acero. Para la construcción del neumático requerimos una inclinación del alambre a 0°, pero por motivos de producción la empresa en Mt Vernon lo fabrica con los hilos a 90°.

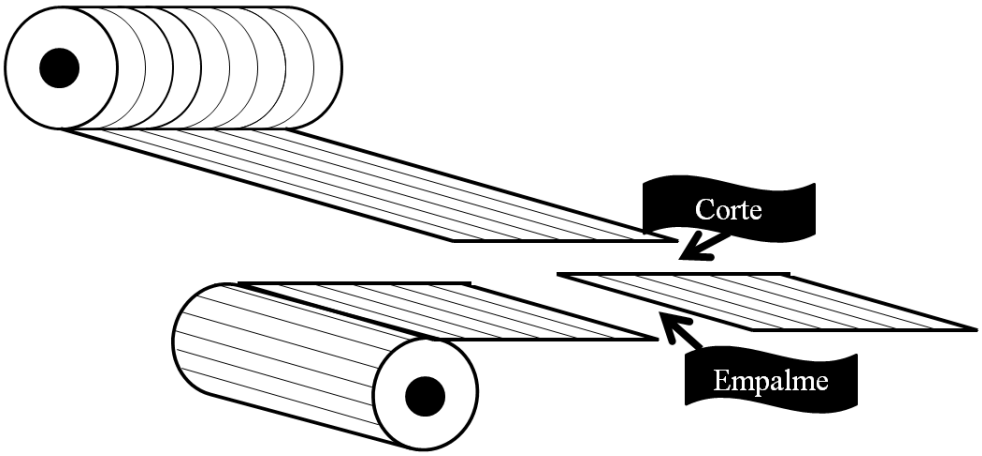

Figura 10: Cambio de ángulo en la cortadora de pliego de acero.

En cuanto a la cortadora fischer de breaker, el proceso es similar, con la diferencia de que en pliegos se trabaja con 1 sola medida, mientras que en breaker tenemos 12 cortes diferentes. La mecánica de la cortadora es la siguiente, toma un rollo similar al del pliego de acero y cambia el sentido de los hilos (pero no de manera ortogonal como en pliego), así como el ancho de corte. El neumático requiere que el breaker tenga una inclinación de 40°, de tal forma que al sobreponer una capa sobre otra, forme una red.

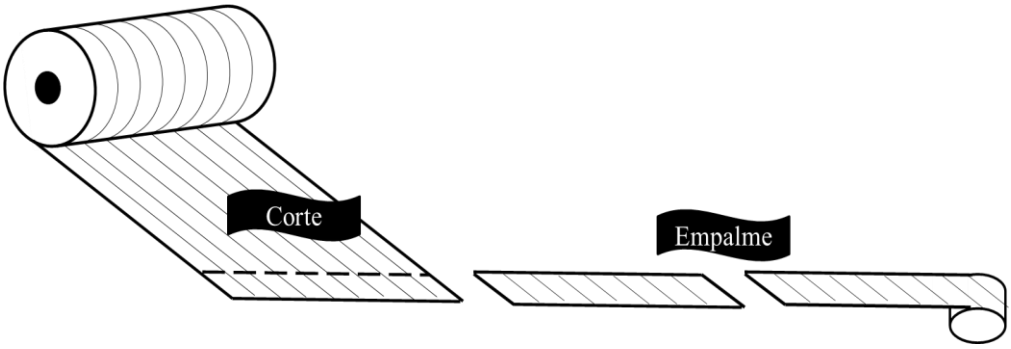

Figura 11: Cambio de ángulo en la cortadora de breaker.

3) **Construcción**: una vez que tenemos en stock todos los elementos estos pasan al área de construcción donde se combinaran para formar un neumático verde.

Llamamos llanta verde al neumático que está listo para vulcanizarse y recibir su conformación final; está compuesta de 2 partes: carcasa y paquete de breaker/rodamiento.

En el área PLT, cada una de estas partes se hace en maquinas diferentes. La carcasa se fabrica en las maquinas 88R, posteriormente se le agrega el paquete de breaker/rodamiento en las Expander, completando así un neumático verde PLT

En los que respecta a CVT, todo el trabajo se realiza en una sola máquina. Las constructoras SAV son manejadas por 2 operadores simultáneamente: uno fabrica la carcasa en un extremo de la máquina, mientras que al lado opuesto otro operador elabora el paquete de breaker/rodamiento. Se combinan en la misma máquina, dejando lista la llanta verde.

Aunque la idea de juntar ambas máquinas (88R y Expander) en una sola, como ocurre con las SAV, suena lógica; en realidad no fue tan simple requirió de un estudio de tiempos a profundidad, mejora de procesos e inclusive la automatización de algunos procesos.

4) **Vulcanización**: las llantas verdes son llevadas desde las constructoras hasta el área de prensas, donde serán curadas para obtener sus características físicas finales.

   La cura consiste en someter al neumático verde a 2 variables muy elevadas: presión y temperatura. Estos 2 factores generan cambios físico-químicos, los aditivos agregados por la casa de pigmentos reaccionan con el calor transferido y hacen que el neumático pase de un estado plástico a uno elástico, obteniendo de esta manera la dureza necesaria para soportar la fricción a la que será sometida en su vida útil. Al mismo tiempo, la presión en prensa graba el labrado de la llanta, otorgándole sus características de maniobrabilidad y tracción.

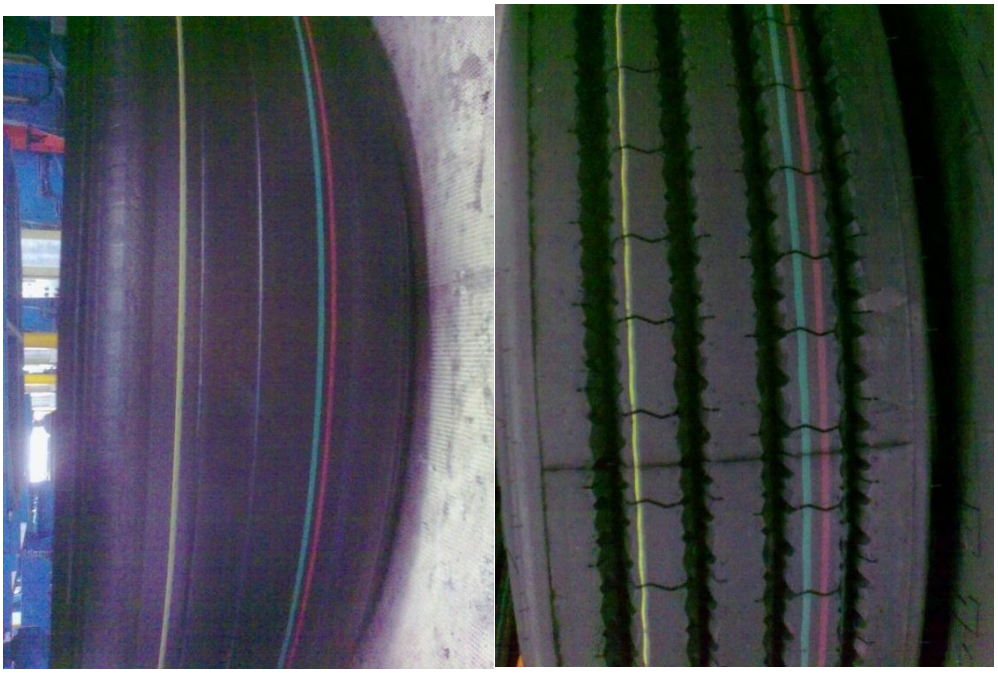

Figura 12: Llanta verde (izquierda) y llanta vulcanizada (derecha).

La cura lleva desde 20 min para una llanta pequeña, hasta los 100 min para una de CVT.

5) **Acabado Final**: luego de vulcanización el neumático esta listo para la venta, pero antes de esto debemos cubrir 2 aspectos más: acabado final y las pruebas de calidad.

Durante el proceso de cura, la llanta sufre de algunas pérdidas menores de caucho empujado hacia las ventilas del molde y las pestañas, creando rebaba. Pese a que la rebaba no afecta en nada el desempeño del neumático, debe ser retirada por cuestiones de presentación. El área de rebarbeo es la encargada de eliminar todos estos residuos del neumático, y dejarlo impecable para su posterior distribución. Si una llanta con rebaba saliera a la venta, si bien no generaría ningún problema, si sería mal vista por el comprador, por el tema de uniformidad.

Luego de esto, el neumático tiene una prueba final de calidad que determinará si todo el trabajo realizado hasta el momento ha sido de utilidad o solo una pérdida de tiempo. Para el área PLT tenemos las prueba de las maquinas

TUO-TUG, donde miden en centramiento del neumático. En cambio en CVT, realizamos un estudio de Rayos X. La máquina extrae una radiografía del neumático en la que es posible identificar defectos como: alambres abiertos, empalmes defectuosos, materia extraña en el neumático, etc.

Figura 13: Máquina de Rayos X.

Una vez pasadas estas pruebas, las que cumplen con las normas son llevadas a pre bodega para esperar ser despachadas, caso contrario son cargadas al sistema como scrap y cortadas en 2 para evitar su comercialización por accidente.

1.3 Resumen del Proyecto Kanban Fischer CVT

El objetivo del sistema es optimizar la programación de la cortadora fischer usando un kanban dinámico con stock mínimo y punto de re orden ajustable.

El elemento principal de nuestro sistema será la pizarra kanban, en ella se visualizará un indicador del número de rollos para una medida específica disponibles en los carros que se planean adquirir para el proyecto.

Los rollos estarán disponibles todo el tiempo para abastecer de manera continua a las constructoras SAV, y serán identificados con un pin metálico colocado en la parte central del mismo.

Cada vez que un rollo es tomado de los carros kanban, el ayudante deberá retirar el pin del rollo y colocarlo en la pizarra, de la siguiente manera:

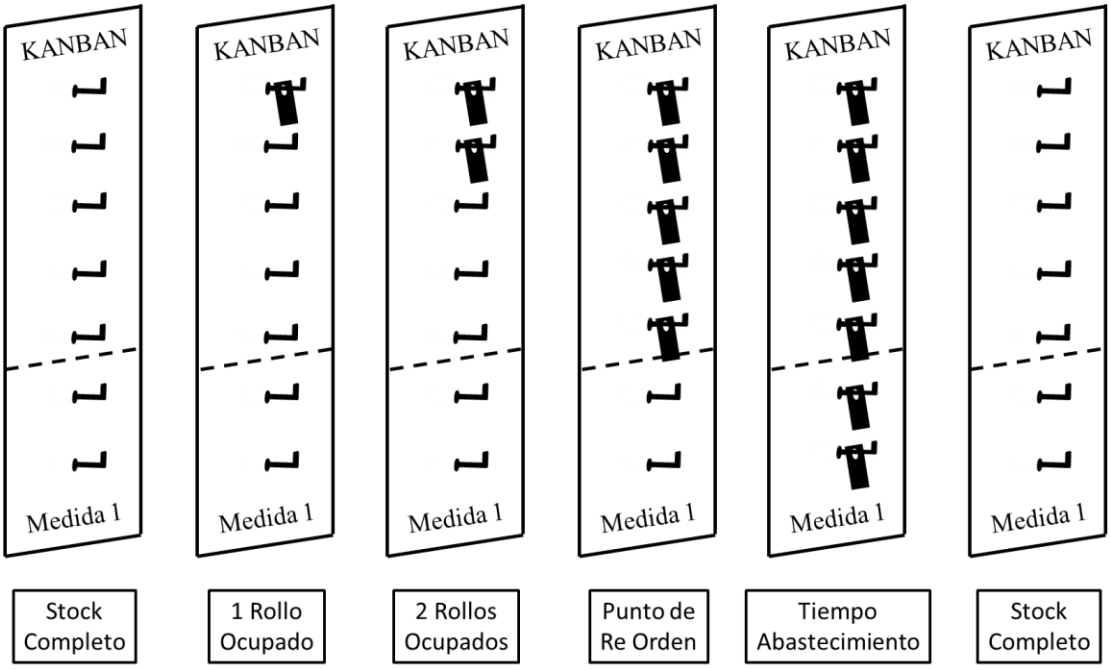

Figura 14: Funcionamiento del tablero kanban.

La pizarra establece un punto de re orden en el cual se programa el corte de es material suficiente para cubrir la demanda en el área. El tiempo de abastecimiento también está considerado, según datos de ingeniería industrial, comparamos el tiempo de corte versus la demanda de una medida en particular, y establecemos un stock mínimo que nos ayuda a mantener cubierto el consumo de las constructoras mientras cortamos nuevo material.

1.4 Planteamiento del Conflicto

Nuestros stock total y stock de seguridad están limitados por la capacidad de almacenamiento de los carros kanban. Al calcular el espacio necesario para el

sistema corremos el riesgo de sobredimensionar el área, o por el contrario, instalar una capacidad menor a la necesaria.

El punto correcto no es ninguno de los 2 extremos, sino uno equilibrado que sea capaz de abastecer eficientemente el sistema, absorber cambios de demanda y todo esto empleando el menor número posible de rollos. El cálculo realizado para el kanban es claro, 5 carros son suficientes para abastecer la demanda de las SAV y su vez mantener un pequeño buffer para absorber la variaciones de la misma.

Pero otras opiniones alegan que 5 carros no cubrirían ni la demanda actual, mucho menos soportará cambios inesperados en el programa de producción. Afirman que se requerirían al menos 9 carros para un funcionamiento adecuado.

Otro problema que enfrenta el sistema es la caducidad de los materiales. La norma dicta que luego de haberse cortado el material este tiene una vida útil de 7 días. Esta norma es aplicable para rollos producidos en la misma planta; pero en nuestro caso, al trabajar con material importado, este tiempo de vida útil se reduce según el estado del rollo al momento del corte. Por ello, además de kanban el sistema debe contener un FIFO que nos ayude a contrarrestar de alguna manera el envejecimiento del material. Además, la programación de la simulación será planificada para 7 días como máximo, aunque lo más recomendable sería establecer un tiempo promedio de espera entre el corte del material y el uso de los rollos en las constructoras SAV

1.5 Simulación Primaria

Para empezar con la simulación, plantearemos un escenario muy sencillo que contenga:

3 máquinas (1 cortadora Fischer y 2 constructoras SAV)

2 trabajadores (operador de Fischer y ayudante de SAV)

2 rutas (Fischer-Kanban y SAV-Fischer)

5 carros Kanban

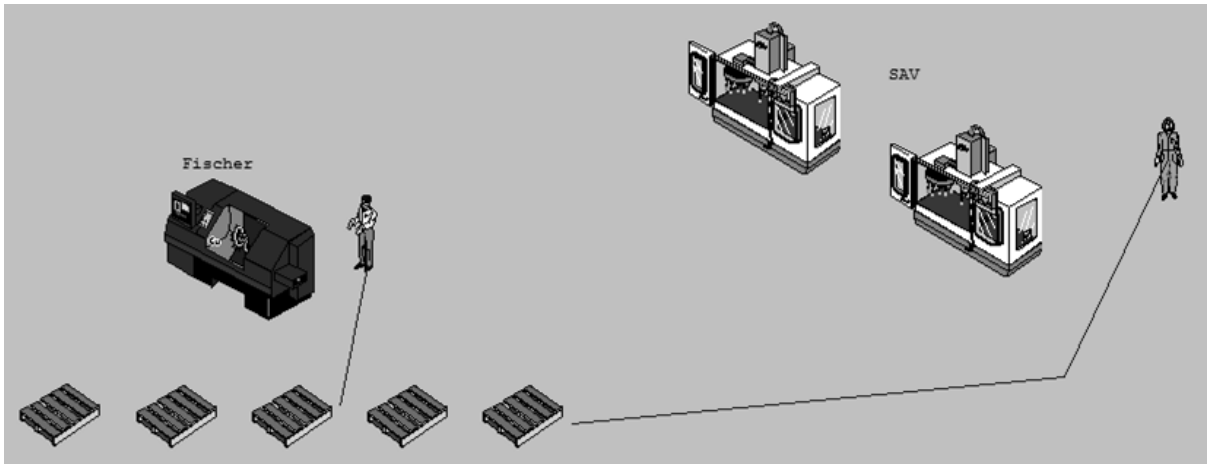

Figura 15: Pantalla principal de la simulación primaria.

Pese a no contener información del sistema como: tiempos estándar, distancias, esperas, capacidades o demandas. En la parte operativa de la simulación dejamos pre establecida la posibilidad de ingresar todos estos factores, lo que nos ayudará a acelerar el proceso de simulación en tanto avance el proyecto y su investigación.

Las pantallas principales del simulador se verán así:

Locations

Icon	Name	Cap.	Units	DTs...	Stats
	Fischer	1	1	None	Time Serie
	Carro_Kanban_Fischer	1	5	None	Time Serie
	Carro_Kanban_Fischer..	1	1	None	Time Serie
	Carro_Kanban_Fischer..	1	1	None	Time Serie
	Carro_Kanban_Fischer..	1	1	None	Time Serie
	Carro_Kanban_Fischer..	1	1	None	Time Serie
	Carro_Kanban_Fischer..	1	1	None	Time Serie
	SAV	1	2	None	Time Serie
	SAV.1	1	1	None	Time Serie
	SAV.2	1	1	None	Time Serie

Figura 16: Locaciones.

Arrivals

Entity...	Location...	Qty Each...	First Time...	Occurrences
Breaker	Fischer	1	0	infinite

Figura 17: Arribos.

Entities

Icon	Name	Speed (mpm)	Stats
	Breaker	50	Time Series
	Rollo_Breaker	50	Time Series
	Carro_Lleno	50	Time Series

Figura 18: Entidades.

Resources

Icon	Name	Units	DTs...	Stats	Specs...	Search...
	Operador_Fischer	1	None	By Unit	Net1, N1	None
	Ayudante_SAV	1	None	By Unit	Net2, N1	None

Figura 19: Recursos.

Process [1]

Entity...	Location...	Operation...
Breaker	Fischer	GET Operador_Fischerwait 2fr
Rollo_Breaker	Carro_Kanban_Fischer	GET Operador_Fischer
Rollo_Breaker	Carro_Kanban_Fischer	GET Ayudante_SAV
Rollo_Breaker	SAV	Get Ayudante_SAV

Figura 20: Procesos.

Para una descripción mas detallada del escenario ver *Anexo 1*

CAPITULO 2

EVALUACION DE LAS VARIABLES DEL SISTEMA

2.1 Determinación de Variables

Nuestro sistema estará centrado en la cortadora de breaker razón por la cual es necesario conocer las características de este material.

Una llanta de camión radial contiene 4 láminas diferentes de breaker, las mismas que están hechas de 2 materiales diferentes:

MJY045 para los 1er y 4to breaker, y

M10116 para el 2do y 3er breaker.

Aunque ciertas medidas comparten materiales, cada una posee diferente medida y ángulo de corte, por lo cual la maquina trabaja a distinta velocidad con cada una de ellas. Bajo esta premisa, consideramos que la capacidad de máquina sería una variable importante para nuestra simulación.

Como mencionamos anteriormente, cada uno de los 4 breakers tiene diversas medidas y ángulos, y están codificados de la siguiente manera: material + código 2 dígitos; como se muestra a continuación:

1er BRK	MJY045-09
	MJY045-11
	MJY045-12
	MJY045-13
2do BRK	M10116-01
	M10116-03
	M10116-05
	M10116-09

3er BRK	M10116-02
	M10116-04
	M10116-06
	M10116-08
4to BRK	MJY045-01
	MJY045-03
	MJY045-04
	MJY045-05
	MJY045-06

Tabla 1: Medidas de Breaker.

Existe una combinación específica de breakers para cada tipo de neumático. Este hecho nos ayuda a establecer 3 nuevas variables, dos muy relevantes para el sistema y otra importante solo para la simulación.

Por un lado, la demanda interna es sumamente significativa para el proyecto; indistintamente del tipo de neumático en producción, lo importante para el sistema es la demanda global de una determinada medida de breaker durante un periodo, para nuestro caso la unidad de medida será metros por mes (m/mes).
Así mismo, cada vez que exista un cambio de medida o de material en la máquina, este tiempo de calibración deberá ser tomado en cuenta como una para en la producción.

Para poder generar una simulación realista necesitamos crear de alguna manera condiciones normales. Usaremos la demanda interna para determinar qué y cuánto producir en la máquina. Al mismo tiempo, empleando un generador aleatorio de programas de producción simularemos una "demanda real" que será usada para evaluar qué tan bien satisface el sistema kanban las máquinas constructoras.

Si bien estas variables controlan la producción de nuestro sistema, debemos tener en cuenta el factor humano. Las distancias entre máquinas y el transporte del material, son aspectos que también deben ser incluidos debido a su influencia en el proceso a través de demoras y fatiga.

Finalmente, el objetivo principal de nuestra simulación es calcular el número de carros necesarios para el correcto funcionamiento del sistema kanban. Por ello, la cantidad de rollos de las distintas medidas a producirse es otra variable de interés para nuestro sistema.

2.2 Medición de Variables

Hemos determinado que las principales variables que controlan nuestro sistema son: capacidad, demanda, cambios de medida, demanda real, distancia y transporte.

Gracias al departamento de ingeniería industrial y al sistema integrado de manufactura (SIM) es posible conocer de manera inmediata los consumos, la capacidad de la maquina y las paradas para cambio de rollo para cada tipo de material. En el siguiente cuadro se detalla los datos mencionados:

	Material	**Capacidad (min/m)**	**Demanda (m/día)**	**N° de Cambios/mes**	**N° Rollos**
1er Breaker	MJY045-09	0.5	237	20	7.3
	MJY045-11	0.5	47	20	1.4
	MJY045-12	0.5	369	20	11.3
	MJY045-13	0.5	354	20	10.8
2do Breaker	M10116-01	0.5	370	30	7.5
	M10116-03	0.3	47	30	1.0
	M10116-05	0.3	238	30	4.8
	M10116-09	0.3	355	30	7.2
3er Breaker	M10116-02	0.3	371	30	7.6
	M10116-04	0.3	47	30	1.0
	M10116-06	0.3	239	30	4.9
	M10116-08	0.3	356	30	7.2
4to Breaker	MJY045-01	0.4	372	30	7.6
	MJY045-03	0.4	465	30	9.5
	MJY045-04	0.4	106	30	2.2
	MJY045-05	0.4	47	30	1.0
	MJY045-06	0.4	24	30	0.5

Tabla 2: Capacidad y Demanda de Breaker por Medidas.

En lo que a distancias y transporte respecta tomaremos algunas mediciones para cuantificarlas. Específicamente mediremos: el trayecto entre la cortadora y el rack de almacenamiento, para el operador de la cortadora fischer; y la distancia entre el rack de almacenamiento y el área de carga de la constructora SAV, para el ayudante.

Hemos determinado que la distancia entre maquinas es 78.8m y la distancia entre la cortadora y los carros kanban es de 12m.

2.3 Planteamiento de Variables en Simulación

2.3.1 Traducción de Variables a Términos de Simulación

Hemos cuantificado nuestras variables, pero estos datos deben ser traducidos a términos del simulador con el fin de que puedan ser representados de manera objetiva. Analizaremos una por una cómo usaremos estas variables.

Capacidad: en Promodel la capacidad de una máquina no puede representarse como el número de unidades que esta genere en una determinada unidad de tiempo, es necesario representarla como una espera.

El comando "WAIT" nos ayuda a representar el tiempo que demora en producirse o generarse un elemento en una maquinaria, por ende la capacidad de la maquina vendrá dada por el numero de unidades que sea capaz de generar en una jornada, para este caso 8 horas. Para este punto requeriremos de un tiempo estándar para la producción del material a analizar. Mas adelante detallaremos todo el procedimiento necesario para introducir nuestros datos de capacidad en el simulador.

Demanda: anteriormente habíamos acordado que los datos de demanda medidos en la planta los usaremos únicamente para determinar nuestros puntos de reorden y cantidad optima de inventario. Por ello, no será necesario introducirlos a nuestra simulación.

Demanda Real: un sistema Kanban se programa solo, debido a que su programa de producción está dado por la demanda del proceso. Para nuestro sistema generaremos un programa de producción aleatorio para la máquina constructora y a su vez el requerimiento de materiales de esta se convertirá en nuestro programa de producción para el simulador.

La demanda será representada como una cola de espera en la que se programará una medida tras otra. Creemos que este método será suficiente

para nuestros propósitos, ya que buscamos evaluar el número de contenedores para el sistema y no el nivel de eficiencia en sí del sistema. De ser nuestro caso este último, sería necesario programar que las órdenes se envíen automáticamente, y eso requeriría de muchos más comandos.

Cambios de Medida: al igual que la demanda estos serán representados como esperas. A diferencia de la capacidad, el cambio de medida tiene un tiempo único y esto facilita mucho su introducción en Promodel. El tiempo perdido por cambios de medida podría representarse de entrada como un tiempo no disponible, por ejemplo, si cada cambio toma 15min y nuestro programa contempla 4 cambios en un turno de 8 horas, una forma eficiente de representar los cambios de medidas es colocar 7 horas útiles para turno.

Distancia y Transporte: estos datos son muy sencillos de ingresar, ya que Promodel permite ingresar directamente datos como longitud y velocidad. Será necesario crear redes por las que se desplazaran nuestros obreros y en ellas ingresaremos esta información.

2.3.2 Determinación de Locaciones, Entidades, Arribos y Procesos.

Ahora que ya hemos definido el modo de ingreso de nuestras variables, tendremos que generar todos los recursos necesarios para que estas funcionen. Para ello tenemos los LEAP: Location, Entities, Arrivals y Process

Capacidad: para representar los datos de capacidad de máquina no se debe usar el ítem "CAPABILITY" en el icono de máquina de la ventana de locaciones (ctrl + l)

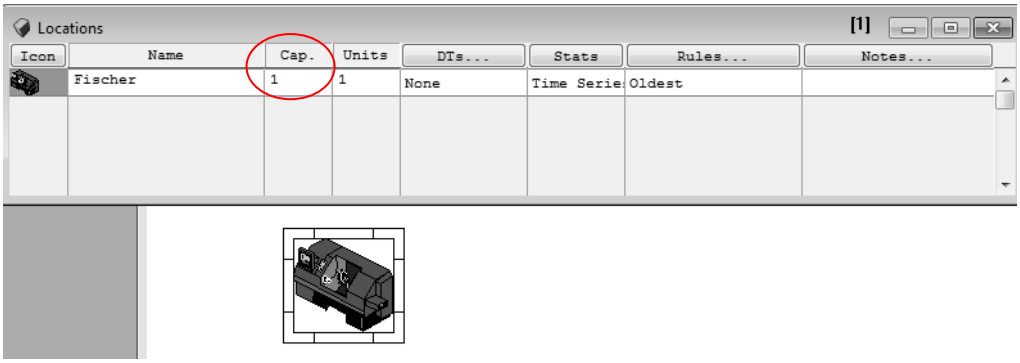

Figura 21: Capacidad de Máquinas.

Debido a que este criterio se refiere a cuántas piezas o materiales puede procesar simultáneamente la máquina, y no a cuánto puede producir en una determinada cantidad de tiempo, que es el concepto de capacidad que buscamos aplicar.

Para ello entonces debemos ir hasta la ventana de Entidades (ctrl + e) y debemos crear el ítem que es producido en la máquina; en este caso Breaker. La velocidad de 150fpm (feets per minute) es un estándar que no modificaremos.

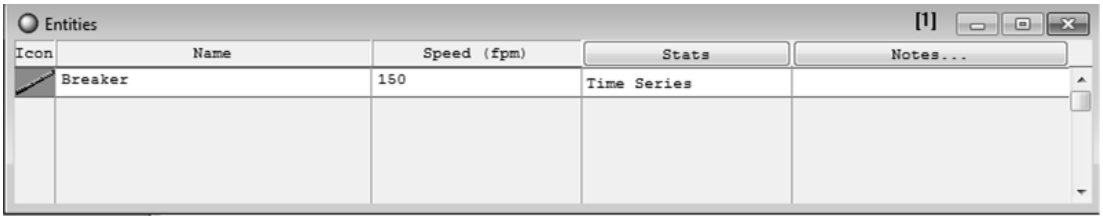

Figura 22: Velocidad para entidades.

Después de esto, en la ventana de arribos (ctrl + a) ingresamos mas información sobre nuestro material. En la parte de “ENTITY” seleccionamos la entidad Breaker que habíamos creado anteriormente; en “Location” fijamos a Fischer como el lugar donde se realiza el proceso de la entidad Breaker.

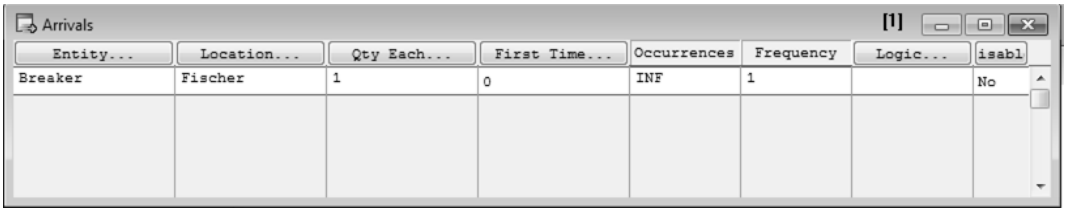

Figura 23: Destino de Arribos.

Los demás ítems de esta ventana como Cantidad (QTY EACH) e Inicio de Proceso (FIRST TIME) los dejaremos con sus datos predeterminados, al menos por el momento.

Luego en la ventana de Proceso (ctrl + p) le asignamos una duración a la operación. Todos los tiempos de proceso se ingresan como esperas (WAIT) en el simulador, debido a que la maquina genera rollos de material, tomaremos estos como unidad. Cada rollo contiene un determinado número

de metros de material, y al tener el tiempo de corte de cada metro, es posible determinar el tiempo de corte de un rollo completo. Como se muestra a continuación:

	Material	Capacidad (min/m)	Demanda (m/día)	N° de Cambios/mes	# Rollos	m/rollo	min/rollo
1er Breaker	MJY045-09	0.5	237	20	7.3	33	16
	MJY045-11	0.5	47	20	1.4	33	16
	MJY045-12	0.5	369	20	11.3	33	16
	MJY045-13	0.5	354	20	10.8	33	16
2do Breaker	M10116-01	0.5	370	30	7.5	49	25
	M10116-03	0.3	47	30	1.0	49	12
	M10116-05	0.3	238	30	4.8	49	12
	M10116-09	0.3	355	30	7.2	49	12
3er Breaker	M10116-02	0.3	371	30	7.6	49	12
	M10116-04	0.3	47	30	1.0	49	12
	M10116-06	0.3	239	30	4.9	49	12
	M10116-08	0.3	356	30	7.2	49	12
4to Breaker	MJY045-01	0.4	372	30	7.6	49	20
	MJY045-03	0.4	465	30	9.5	49	20
	MJY045-04	0.4	106	30	2.2	49	20
	MJY045-05	0.4	47	30	1.0	49	20
	MJY045-06	0.4	24	30	0.5	49	20

Tabla 3: Tiempo de Corte de un Rollo de Material.

Tomaremos el tiempo de la última columna del cuadro como la “espera” para obtener un rollo de material de nuestra máquina cortadora. Tomando como ejemplo la primera variedad del 2do breaker, que en nuestra simulación se vería de la siguiente manera:

Figura 24: Ingreso de los tiempos de producción.

Demanda: nuestros puntos y cantidades de reorden serán calculadas mediante el histórico de consumo en la maquina. Estos datos ya fueron determinados como parte del proyecto kanban y se muestran a continuación:

	Material	**Punto de Re Orden**	**Cantidad a Producir (rollos)**
1er Breaker	MJY045-09	10	8
	MJY045-11	2	2
	MJY045-12	16	12
	MJY045-13	15	11
2do Breaker	M10116-01	16	8
	M10116-03	2	1
	M10116-05	10	5
	M10116-09	15	8
3er Breaker	M10116-02	16	8
	M10116-04	2	1
	M10116-06	10	5
	M10116-08	15	8
4to Breaker	MJY045-01	16	8
	MJY045-03	20	10
	MJY045-04	5	3
	MJY045-05	2	1
	MJY045-06	1	1

Tabla 4: Demanda de Material.

Demanda Real: para crear la demanda de nuestra simulación usaremos un generador de programas de producción, que desarrollaremos mas adelante. Pero por motivos de programación de la planta, el kanban no produce cantidades variables, sino un número especifica dado por el histórico de la demanda. Para hacer efectivos los datos históricos de demanda, debemos insertarlos en la ventana de procesos (ctrl + p), aunque este proceso es un poco complicado ya que debemos llevar a cabo algunos pasos.

Lo primero que vamos a hacer es crear una variable que nos ayude a generar órdenes específicas para cada tipo de breaker, además nos ayudará a ingresar un contador en la pantalla que nos muestre que específicamente estamos cumpliendo con lo solicitado. En la ventana de variables (ctrl + b) creamos una entidad, la llamaremos BRK, e insertamos su icono en la ventana, que servirá como un contador.

Una vez creada la variable, nos dirigimos a la ventana de procesos (ctrl + p) e insertamos los datos del proceso. Por ejemplo, para la primera variedad del 2do breaker tenemos un tiempo de proceso de 25 min/rollo y requerimos producir lotes de 8 rollos cada vez, sería necesario ingresar los 3 siguientes comandos:

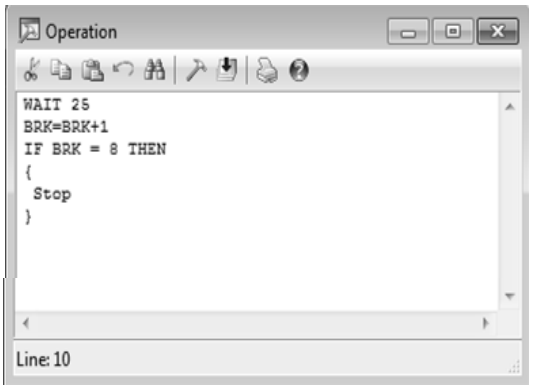

Figura 25: Ingreso de restricciones de producción.

```
1)  WAIT 25
2)   BRK=BRK+1
3)   IF BRK = 8 THEN
      {
       Stop
       }
```

1) 25 min de tiempo de proceso, expresado como una espera con el comando WAIT.

2) Esta sentencia nos ayuda a visualizar nuestro contador. La variable BRK que habíamos creado, representa el numero de rollos procesados simultáneamente en la maquina, en este caso solo 1; la parte que muestra BRK+1 indica que los rollos deben acumularse o en este caso, sumarse.

3) Al igual que en Excel, el comando IF nos permite plantear una condición para el proceso. En este caso estamos indicando que el contador de rollos debe llegar únicamente hasta 8 (BRK=8) y luego de ellos (THEN) detener el proceso (STOP).

Cambios de Medida: el número de cambios dependerá del número de órdenes que se programen, como ya habíamos mencionado, el tiempo dedicado a cambios de medida será tomado como un tiempo muerto que restaremos del tiempo disponible del turno, de la siguiente manera:

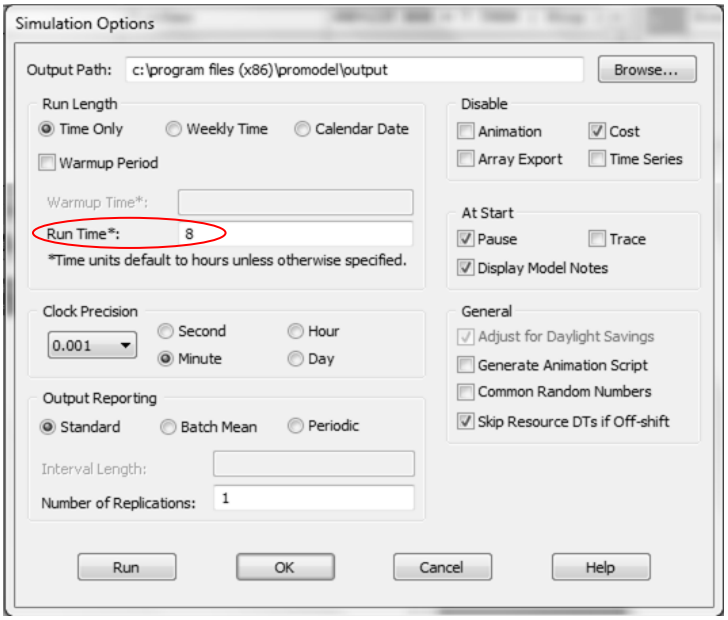

Figura 26: Tiempo de simulación.

En el menú "SIMULATION OPTIONS" planteamos como tiempo de corrida (RUNNING TIME) el tiempo en horas totalmente disponible.

Distancia y Transporte: las longitudes y velocidades medidas se integrarán a la simulación a través de redes (nets) o rutas trazadas por las que se movilizaran los operadores. El primer paso consiste en crear las redes, en la ventana PATH NETWORKS (ctrl + n) seleccionamos el nombre y los puntos principales de las redes. Para nuestro caso crearemos 2 redes: net 1 y net2. Net 1 se refiere al trayecto recorrido por el operador de la cortadora Fischer entre la maquina y el sistema kanban. Net 2 corresponde a la ruta seguida por el ayudante de la constructora para llevar material desde la cortadora Fischer.

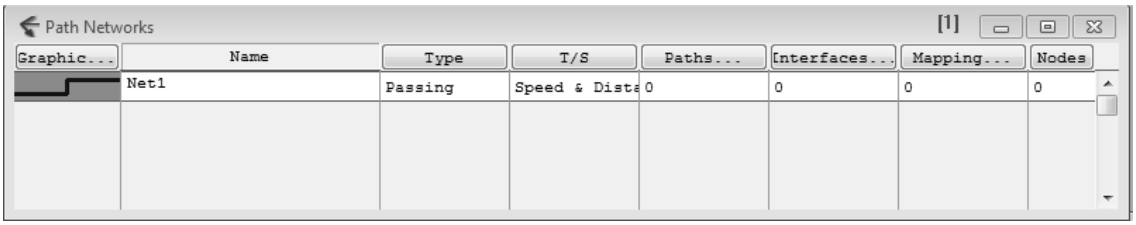

Figura 27: Redes.

Una vez creadas las redes podemos ingresar la información de distancias y velocidades. En la ventana "Specifications" es muy simple introducir dicha información.

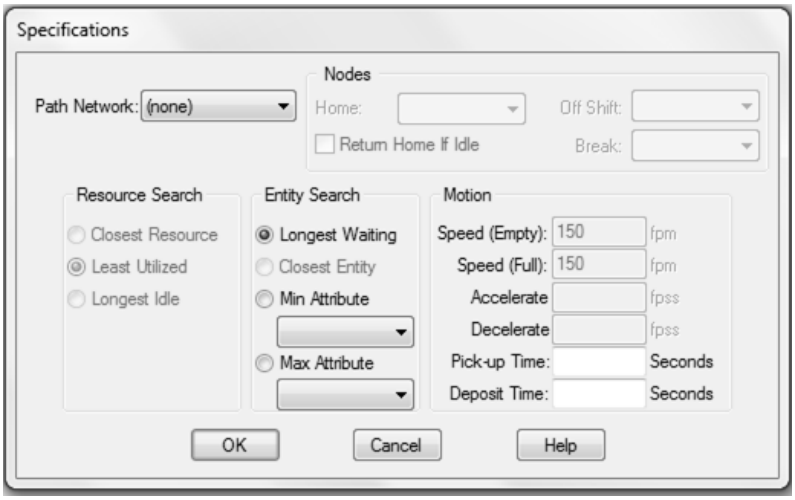

Figura 28: Especificación de las redes

<u>Para una descripción mas detallada del escenario ver *Anexo 2*</u>

CAPITULO 3

DESARROLLO DE ESCENARIO Y EVALUACIÓN DE PROYECTO

3.1 Planteamiento de la Simulación Definitiva

La versión final de la simulación se presentará mediante 2 programas, que incorporen las 2 modalidades de trabajo que se realizan en planta.

Existen 4 tipos distintos de breaker, generados a partir de 2 materiales; es decir 2 medidas compartirán un mismo material (1ra y 4ta; 2da y 3ra).

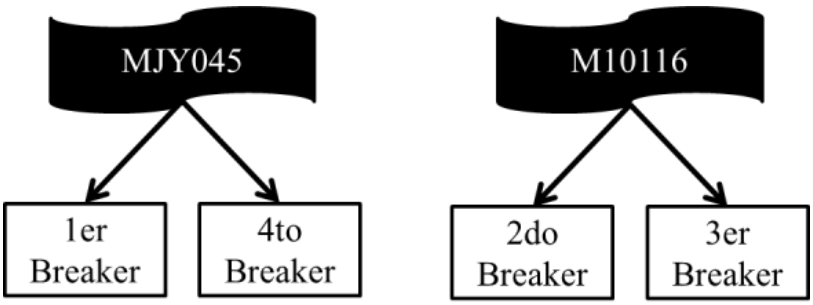

Figura 29: Materiales del breaker.

La programación de un turno se realiza siempre para 1 solo material, o sea, 2 medidas distintas de breaker. Solo en casos extremos se programa un cambio de material durante el turno, y como dicha condición escapa a las condiciones normales, no será considerada en nuestra simulación. Hemos decidido dividir nuestro programa en 2 escenarios: uno para 1ra y 4ta, y otra para 2da y 3ra.

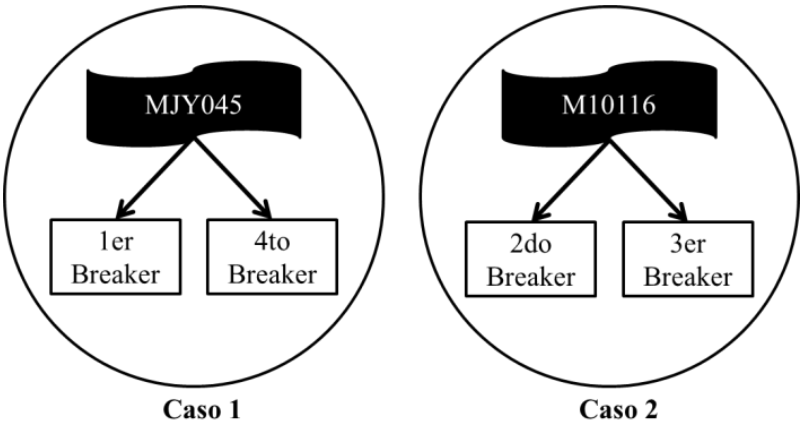

Figura 30: Divisiones de trabajo para turno.

Durante el turno, la constructora SAV maneja un mínimo de 3 cambios de medida de neumático y un máximo de 6. Este aspecto también será incluido para la programación.

El programa final será tal como se ha detallado hasta el momento, pero con un pequeño artificio que detallaremos a continuación.

Hasta el momento nuestra simulación es únicamente una representación que obedece un programa de producción, así:

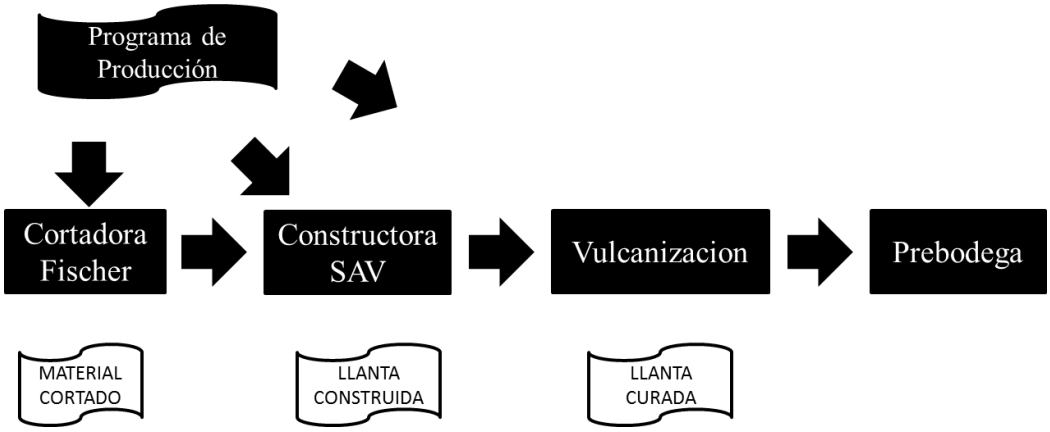

Figura 31: Diagrama de flujo del proceso.

Pero el objetivo de todo sistema kanban es eliminar la programación de la producción, por ello incluimos el artificio antes mencionado que nos ayudará a auto-programar la producción, de la siguiente manera:

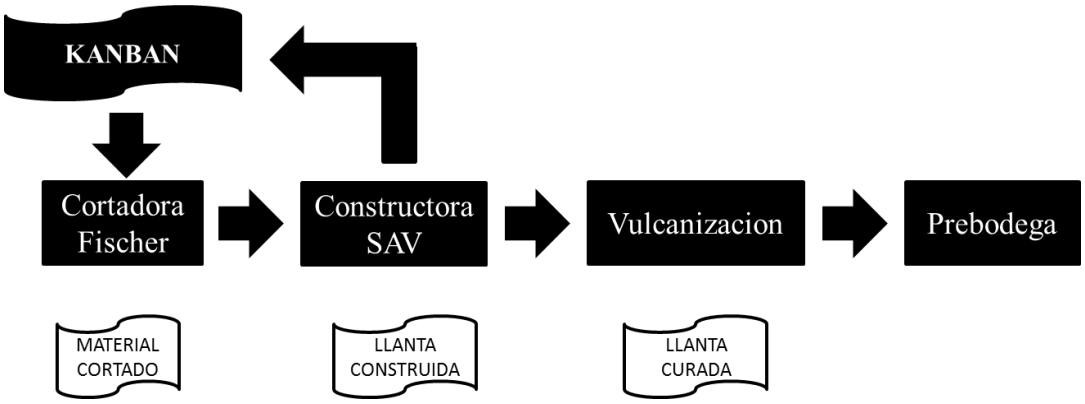

Figura 32: Diagrama de flujo del artificio KANBAN.

Con la inclusión de una nueva entidad, que hemos denominado KANBAN, lograremos hacer que nuestro sistema funcione según la filosofía kanban.

Normalmente, el programa de producción nos indica qué hacer y en qué proporción. La cortadora produce el material, la constructora elabora la llanta, en vulcanización es curada y finalmente almacenada en pre-bodega.

La función de la entidad KANBAN es la siguiente: el proceso empieza al llegar la entidad KANBAN a la cortadora fischer, iniciando así la producción en la maquina de todas las medidas requeridas. El material cortado es llevado a la constructora SAV donde al finalizar el proceso nuestro producto será, obviamente, la llanta construida. Con la construcción de la última llanta empleando material del rollo llevado a la maquina, insertamos el siguiente artificio:

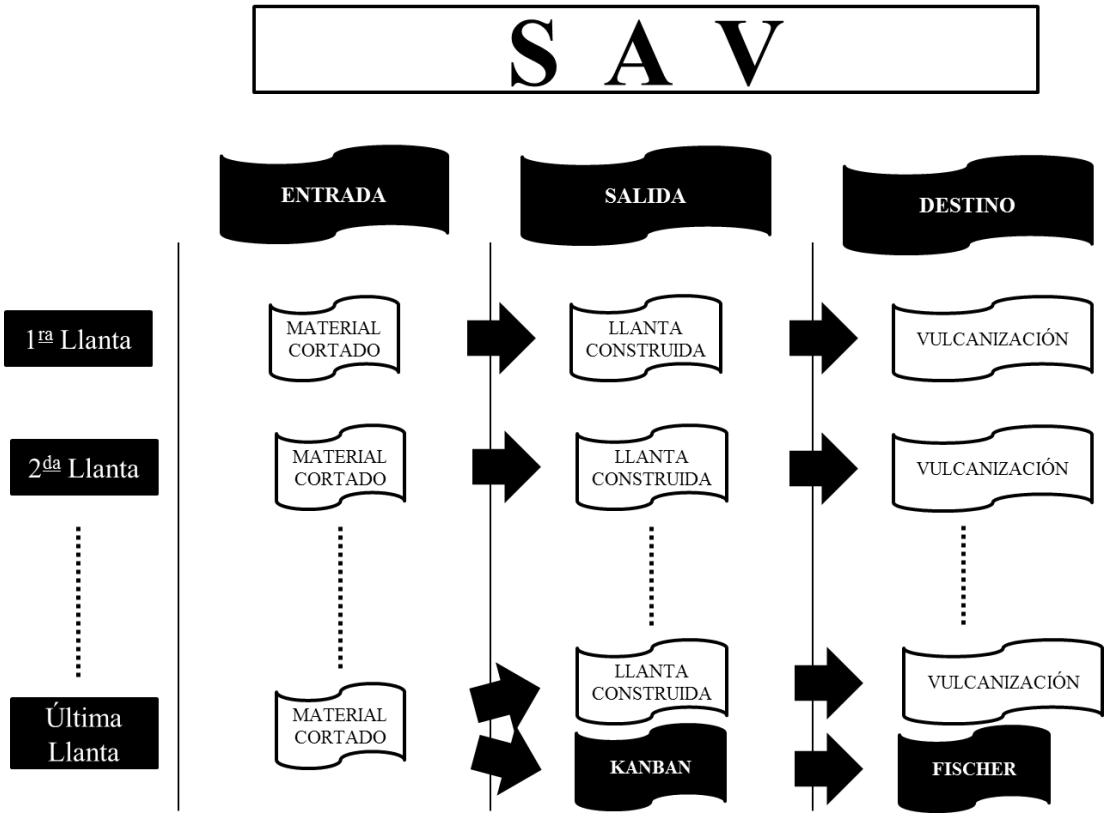

Figura 33: Secuencia del artificio KANBAN.

Un rollo de breaker contiene material suficiente para construir 14 llantas, las primeras 13 se generan de manera normal, es decir, ingresa la materia prima y como resultado obtenemos una llanta construida con destino a vulcanización. Pero, junto con la última llanta, además de ésta producimos un nuevo KANBAN con destino a la cortadora fischer, que inicia nuevamente el proceso y además indica qué material producir; tal como lo haría un kanban.

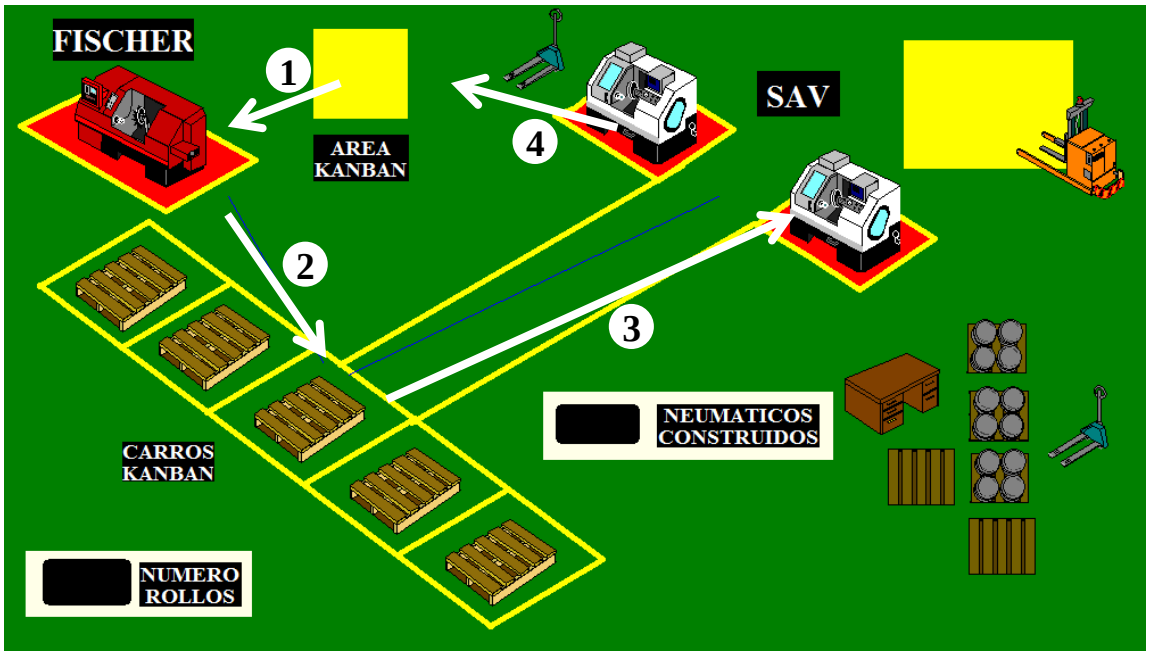

Figura 34: Funcionamiento del artificio de la entidad KANBAN.

De esta manera automatizamos el sistema, con este artificio será capaz de trabajar solo sin la necesidad de un programa de producción de medidas y cantidades especificas

3.2 Desarrollo de un Simulador de Programas de Producción.

Para poder evaluar nuestro simulador, es necesario tener un programa de producción realista que determine efectivamente qué capacidad de almacenamiento será necesaria para que nuestro kanban funcione.

Pero no podemos únicamente tomar posibles programas de producción y evaluarlos en el simulador; es necesario que dichos programa sean aleatorios y repetibles. Aleatorios, para evitar cualquier tipo de sesgo generado por la influencia del artífice del experimento, y repetibles para que, en caso de ser necesario, revaluar exactamente el experimento.

Una solución sencilla es generar un pequeño simulador de números aleatorios en Excel y a través de ellos formar programas de producción sin orden ni cambios específicos. El programa será simple; generará un programa de producción de entre 4 y 6 cambios, seleccionará medidas aleatorias y cantidades según las capacidades de la constructora SAV. Las medidas de Breaker requeridas para el turno serán auto-programadas por el sistema kanban.

Generar

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	12 R22.5 GENRAL MS520	60
2	275/80 R22.5 GENERAL S370	45
3	11 R22.5 GENERAL S360	10
4	295/80 R22.5 BARUM BF12	23
5	12 R22.5 BARUM BD21	12
6	295/80 R22.5 GENERAL S360	8
		158

RESUMEN

CODIGO	CANTIDAD
12 R22.5 BARUM BD21	12
12 R22.5 GENERAL M247	0
12 R22.5 GENRAL MS520	60
12 R22.5 BARUM BU53	0
12 R22.5 GENERAL S360	0
275/80 R22.5 GENERAL S370	45
11 R22.5 GENERAL MS520	0
11 R22.5 BARUM BU53	0
11 R22.5 GENERAL S360	10
11 R22.5 BARUM BF12	0
295/80 R22.5 BARUM BF12	23
295/80 R22.5 GENERAL S360	8
295/80 R22.5 GENERAL D445	0
295/80 R22.5 BARUM BD21	0
	158

BREAKER			
1ra	2da	3ra	4ta
MJY045-13	M10116-09	M10116-08	MJY045-03
MJY045-13	M10116-09	M10116-08	MJY045-03
MJY045-11	M10116-03	M10116-04	MJY045-05
MJY045-09	M10116-05	M10116-06	MJY045-04
MJY045-12	M10116-01	M10116-02	MJY045-01
MJY045-12	M10116-01	M10116-02	MJY045-01

Figura 35: Programa de producción con 6 cambios

Generar

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	295/80 R22.5 BARUM BF12	55
2	12 R22.5 GENERAL M247	29
3	12 R22.5 BARUM BU53	49
4	295/80 R22.5 GENERAL S360	3
5	Sin Programa	0
6	12 R22.5 GENERAL S360	15
		151

RESUMEN

CODIGO	CANTIDAD
12 R22.5 BARUM BD21	0
12 R22.5 GENERAL M247	29
12 R22.5 GENRAL MS520	0
12 R22.5 BARUM BU53	49
12 R22.5 GENERAL S360	15
275/80 R22.5 GENERAL S370	0
11 R22.5 GENERAL MS520	0
11 R22.5 BARUM BU53	0
11 R22.5 GENERAL S360	0
11 R22.5 BARUM BF12	0
295/80 R22.5 BARUM BF12	55
295/80 R22.5 GENERAL S360	3
295/80 R22.5 GENERAL D445	0
295/80 R22.5 BARUM BD21	0
	151

BREAKER			
1ra	2da	3ra	4ta
MJY045-13	M10116-09	M10116-08	MJY045-03
MJY045-13	M10116-09	M10116-08	MJY045-03
MJY045-13	M10116-09	M10116-08	MJY045-03
MJY045-12	M10116-01	M10116-02	MJY045-01
MJY045-12	M10116-01	M10116-02	MJY045-01

Figura 36: Programa de producción con 5 cambios

Generar

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	12 R22.5 BARUM BU53	11
2	11 R22.5 GENERAL S360	42
3	Sin Programa	0
4	Sin Programa	0
5	12 R22.5 BARUM BD21	6
6	12 R22.5 GENERAL S360	1
		60

RESUMEN

CODIGO	CANTIDAD
12 R22.5 BARUM BD21	6
12 R22.5 GENERAL M247	0
12 R22.5 GENRAL MS520	0
12 R22.5 BARUM BU53	11
12 R22.5 GENERAL S360	1
275/80 R22.5 GENERAL S370	0
11 R22.5 GENERAL MS520	0
11 R22.5 BARUM BU53	0
11 R22.5 GENERAL S360	42
11 R22.5 BARUM BF12	0
295/80 R22.5 BARUM BF12	0
295/80 R22.5 GENERAL S360	0
295/80 R22.5 GENERAL D445	0
295/80 R22.5 BARUM BD21	0
	60

BREAKER			
1ra	2da	3ra	4ta
MJY045-13	M10116-09	M10116-08	MJY045-03
MJY045-13	M10116-09	M10116-08	MJY045-03
MJY045-13	M10116-09	M10116-08	MJY045-03
MJY045-09	M10116-05	M10116-06	MJY045-04

Figura 37: Programa de producción de baja productividad.

Este último ejemplo (de baja producción) es meramente documental, debido a que nuestro simulador trabajará solo bajo condiciones normales y eso excluye problemas o daños de máquina, baja velocidad y baja producción. Pero es un caso que podría darse y que estadísticamente el generador de programas de producción no descarta, aunque requeriría un estudio especial muy aparte del que realizamos.

3.3 Prueba / Resultado de los Programas de Producción

El momento de evaluar el sistema empleando el simulador, ha llegado. Debemos garantizar quela simulación posea la menor variabilidad posible; para ello lo más importante es establecer un número de experimentos adecuado. Cada programa de producción contiene entre 4 y 6 cambios, de entre 14 medidas diferentes de neumáticos.

Pero si analizamos un poco más la estructura de los neumáticos, encontramos varias similitudes en las combinaciones de breaker contenidas:

	BREAKER			
CODIGO	1er	2do	3er	4to
12 R22.5 BARUM BD21	MJY045-13	M10116-09	M10116-08	MJY045-03
12 R22.5 GENERAL M247	MJY045-13	M10116-09	M10116-08	MJY045-03
12 R22.5 GENRAL MS520	MJY045-13	M10116-09	M10116-08	MJY045-03
12 R22.5 BARUM BU53	MJY045-13	M10116-09	M10116-08	MJY045-03
12 R22.5 GENERAL S360	MJY045-13	M10116-09	M10116-08	MJY045-03
275/80 R22.5 GENERAL S370	MJY045-11	M10116-03	M10116-04	MJY045-05
11 R22.5 GENERAL MS520	MJY045-09	M10116-05	M10116-06	MJY045-03
11 R22.5 BARUM BF12	MJY045-09	M10116-05	M10116-06	MJY045-03
11 R22.5 BARUM BU53	MJY045-09	M10116-05	M10116-06	MJY045-06
11 R22.5 GENERAL S360	MJY045-09	M10116-05	M10116-06	MJY045-04
295/80 R22.5 BARUM BF12	MJY045-12	M10116-01	M10116-02	MJY045-01
295/80 R22.5 GENERAL S360	MJY045-12	M10116-01	M10116-02	MJY045-01
295/80 R22.5 GENERAL D445	MJY045-12	M10116-01	M10116-02	MJY045-01
295/80 R22.5 BARUM BD21	MJY045-12	M10116-01	M10116-02	MJY045-01

Tabla 5: Similitud de Medidas.

En lo que concierne a nuestra cortadora, únicamente tenemos 6 variantes para generar sus programas de producción. Sin importar que tan complejo sea el programa de la constructora SAV, para la cortadora Fischer todas las posibilidades se reducen a estas combinaciones de Breakers.

Por ello, para determinar el número óptimo de experimentos lo primero que haremos es reducir las posibilidades empleando análisis combinatorio, específicamente, usaremos la formula de Coeficiente Binomial. Esta formula involucra 2 variables: n y r, donde "n" es el total de elementos posibles y "r" el numero de selecciones para un caso en particular. Analizaremos las combinaciones para 6, 5 y 4 cambios, que son lo que denominamos como producción normal. Es decir, para n=6 analizaremos: r=6, r=5 y r=4. Adicional a ello, es necesario incluir un caso en el que existan varios cambios, pero todos dentro de la misma familia, serán las combinaciones para 1 (para n=6 con r=1). De esta manera:

n	**r**	**Combinaciones**
6	6	1
6	5	6
6	4	15
6	1	2
Total		**24**

Tabla 6: Combinaciones.

Según los resultados mostrados en la tabla, procederemos de la siguiente manera: elaboraremos 24 programas de producción (1 con 6 medidas, 6 con 5, 15 con 4 y 2 que incluyan todos los elementos de una misma familia). Todos ellos deberán cumplir las condiciones de producción normal, es decir, una producción entre 150 y 160 neumáticos por turno. En esta parte no aplicaremos estadística, debido que para una población tan pequeña (24 unidades) se nos pedirá evaluar todo el universo.

En cuánto a las réplicas por programa de producción, realizaremos "n" repeticiones de cada experimento; es decir evaluaremos sobre la marcha en que punto la variabilidad del proceso se reduce a menos del 5%. La aplicación del tanteo no es lo mas técnico a estas alturas de la prueba, pero debido a que desconocemos los operadores matemáticos usados por Promodel, es imposible determinar exactamente un número adecuado para ello. Para este propósito, iniciaremos nuestros experimentos con 10 replicas, y posterior a ello las aumentaremos 5 adicionales cada vez, hasta obtener el nivel adecuado de precisión. Como se muestra en el siguiente ejemplo:

Experimento 1	
# Replicas	**Avg**
10	16.40
15	16.25
20	16.00
25	15.91
30	15.8
35	15.75
40	15.70
45	15.70
50	15.70

Experimento 2	
# Replicas	**Avg**
10	19.16
15	18.91
20	18.90
25	18.90
30	18.90
35	18.90
40	18.90
45	18.90
50	18.90

Tabla 7: Número óptimo de replicas.

Para el Experimento 1 el nivel óptimo de réplicas se alcanza en los 40; mientras que para el Experimento 2 basta con 20 replicas.

Los programas a ser usados se muestran en el *Anexo 3*

Adicional a esto, Promodel arroja varias estadísticas al finalizar la simulación, entre las que nos interesan tenemos las siguientes:

Name	Scheduled Time (HR)	Capacity	Total En	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Utilization
Fischer	8.00	1.00	24.00	19.56	0.98	1.00	1.00	97.82
SAV.1	8.00	1.00	3.00	66.67	0.42	1.00	0.00	41.67
SAV.2	8.00	1.00	3.00	118.25	0.74	1.00	1.00	73.91
SAV	16.00	2.00	6.00	92.46	0.58	2.00	1.00	57.79
Carro Kanban.1	8.00	16.00	19.00	235.12	9.31	16.00	16.00	58.17
Carro Kanban.2	8.00	16.00	4.00	52.78	0.44	4.00	4.00	2.75
Carro Kanban.3	8.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carro Kanban.4	8.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carro Kanban.5	8.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carro Kanban	40.00	80.00	23.00	203.41	1.95	20.00	20.00	12.18
Area Kanban	8.00	1.00	1.00	480.00	1.00	1.00	1.00	100.00
PreBodega	8.00	999999.00	70.00	191.63	27.95	70.00	70.00	0.00

Figura 38: Datos a recopilar.

1 Avg Time per Entry, nos indica el tiempo promedio de espera de una entidad en ser usada. Así tenemos que, por ejemplo, un rollo de breaker, bajo el sistema kanban, demora en promedio19.56 minutos en ser producido, lo cual es congruente con la simulación de prueba generada, dado que el tiempo de producción promedio para esa medida en particular es 20 minutos.

Dentro de *2 Avg Contents* y *2 Maximum Contents* nos interesa solo la parte referente a la locación Carros Kanban. *2 Avg Contents* indica la cantidad promedio de rollos que se almacenen en el sistema, mientras que *2 Maximum Contents* indica máximo de rollos que se almacenaron en algún momento de la simulación.

Finalmente, *3 Utilization* indica el porcentaje de utilización real que tenemos de una locación, es decir, en qué porcentaje estamos aprovechando la capacidad de un elemento. Posterior a las pruebas, tabulamos los datos relevantes para nuestro experimento y en base a ellos determinaremos una conclusión final en siguiente punto de este capitulo.

<u>Los resultados tabulados se muestran en el *Anexo 4*</u>

3.4 Número Recomendado de Carros

Finalizada la secuencia de simulación podemos determinar un número adecuado de carros kanban que nos ayuden a minimizar la inversión, pero sobretodo a controlar el WIP y evitar que se genere material innecesario solo evitar horas ociosas.

El siguiente cuadro muestra un cortísimo resumen de los datos arrojados por el simulador:

	Avg Time per Entry	Avg Contents	Maximum Contents	% Utilization
1ra	16.87	6.67	10.20	57.77
2da	17.29	7.34	10.72	59.93
3ra	11.70	7.20	13.60	65.29
4ta	20.07	6.87	12.25	51.81

Tabla 8: Resumen de Datos del Simulador.

En este cuadro se presentan los promedios de las 24 simulaciones para cada valor. El dato del tiempo promedio es un buen referente sobre la efectividad de los datos dado a que se asemeja mucho a los datos medidos en máquina. El único dato no confiable de este cuadro es el *Avg Time per Entry* para 2da. Debido a que este material en particular tiene 2 tiempos estándar muy diferentes dentro de la misma familia. Pero afortunadamente, este aspecto no afectara mayormente nuestro experimento debido a que buscamos un cálculo de espacio físico y no un estudio de tiempos.

Por lo afirmado anteriormente, nos centraremos en los puntos *Avg Contents* y *Maximum Contents*, y en base a estos 2 datos determinaremos nuestras conclusiones. De la siguiente manera:

	Avg Time per Entry	Avg Contents	Maximum Contents	% Utilization	Max Contents - Avg Contents	Avg Contents +Buffer(*)	# rollos
1ra	16.87	6.67	10.20	57.77	3.53	8.44	9.00
2da	17.29	7.34	10.72	59.93	3.38	9.03	9.00
3ra	11.70	7.20	13.60	65.29	6.40	10.40	11.00
4ta	20.07	6.87	12.25	51.81	5.39	9.56	10.00

***Buffer = (Max Contents - Avg Contents) / 2**

Tabla 8.1: Resumen Ampliado de Datos del Simulador.

Para este cálculo, utilizaremos el método de buffer según TOC, en el que se propone usar un colchón de seguridad capaz de cubrir el 50% de las necesidades máximas de un sistema frente a una para inesperada. Dado que nuestro experimento esta orientado a un control de espacio físico usaremos el 50% de la diferencia entre *Maximum Contents* y *Avg Contents*.

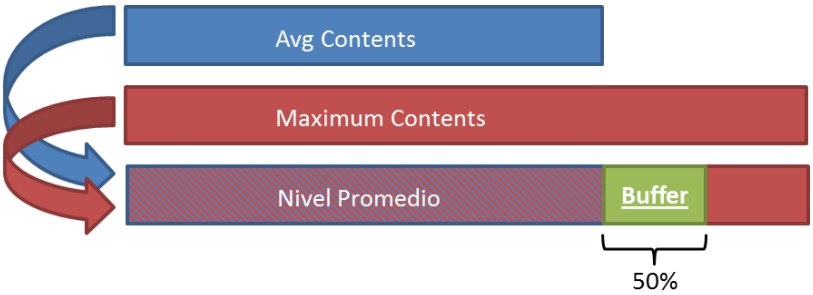

Figura 39: Buffer.

Este buffer cubrirá la mayoría de los casos en que el WIP sobrepase el nivel promedio. No es necesario cubrir toda la diferencia existente entre estos 2 valores, debido a que el punto máximo se presenta en escasas ocasiones, posiblemente 1 sola vez en toda la serie de simulaciones.

Debido a que nuestra simulación se divide en 2 partes (una para 1ra y 4ta, y otra para 2da y 3ra), multiplicaremos por 2 todos los valores obtenidos y con ello aseguraremos la filosofía kanban, ese decir, producción regida por el sistema pull, determinada por la demanda.

	Avg Time per Entry	Avg Contents	Maximum Contents	% Utilization	Max Contents - Avg Contents	Avg Contents +Buffer(*)	# rollos	**# rollos dia**
1ra	16.87	6.67	10.20	57.77	3.53	8.44	9.00	18.00
2da	17.29	7.34	10.72	59.93	3.38	9.03	9.00	18.00
3ra	11.70	7.20	13.60	65.29	6.40	10.40	11.00	22.00
4ta	20.07	6.87	12.25	51.81	5.39	9.56	10.00	20.00
								78.00

Tabla 8.2: Resumen Final de Datos del Simulador.

Sabiendo que la capacidad de cada carrito es de 16 rollos, estimamos un total de 5 carros con una capacidad total de 80 rollos. Es decir una capacidad de 102% para un proceso trabajando al 100% de efectividad sin paras ni perdidas mayores por desperdicio. Considerando los porcentajes de producción del último mes, podríamos determinar cuánto espacio destinar para cada medida, de la siguiente manera:

Breaker	%	% x 78	Total por Medida
MJY045-09	6%	5	18
MJY045-11	1%	1	
MJY045-12	8%	6	
MJY045-13	8%	6	
M10116-01	8%	6	18
M10116-03	1%	1	
M10116-05	6%	5	
M10116-09	8%	6	
M10116-02	10%	8	22
M10116-04	1%	1	
M10116-06	8%	6	
M10116-08	9%	7	
MJY045-01	9%	7	20
MJY045-03	12%	9	
MJY045-04	3%	2	
MJY045-05	1%	1	
MJY045-06	1%	1	

Tabla 9: Cálculo de Distribución de Material.

Para realizar la distribución nos basamos en la misma tabla de porcentajes de producción, que anteriormente nos había ayudado a determinar las unidades por medida. Debido a que el Kanban se programa en función de los requerimientos de la constructora, hemos dado prioridad a las medidas de mayor demanda; ya que al usarse a diario en casi todos turnos es necesario tener un rápido acceso a ellas a través de una ágil identificación. Todos los carritos kanban, con excepción del último, se programaron de esta manera.

Con esta premisa, concluimos nuestro experimento con la siguiente distribución:

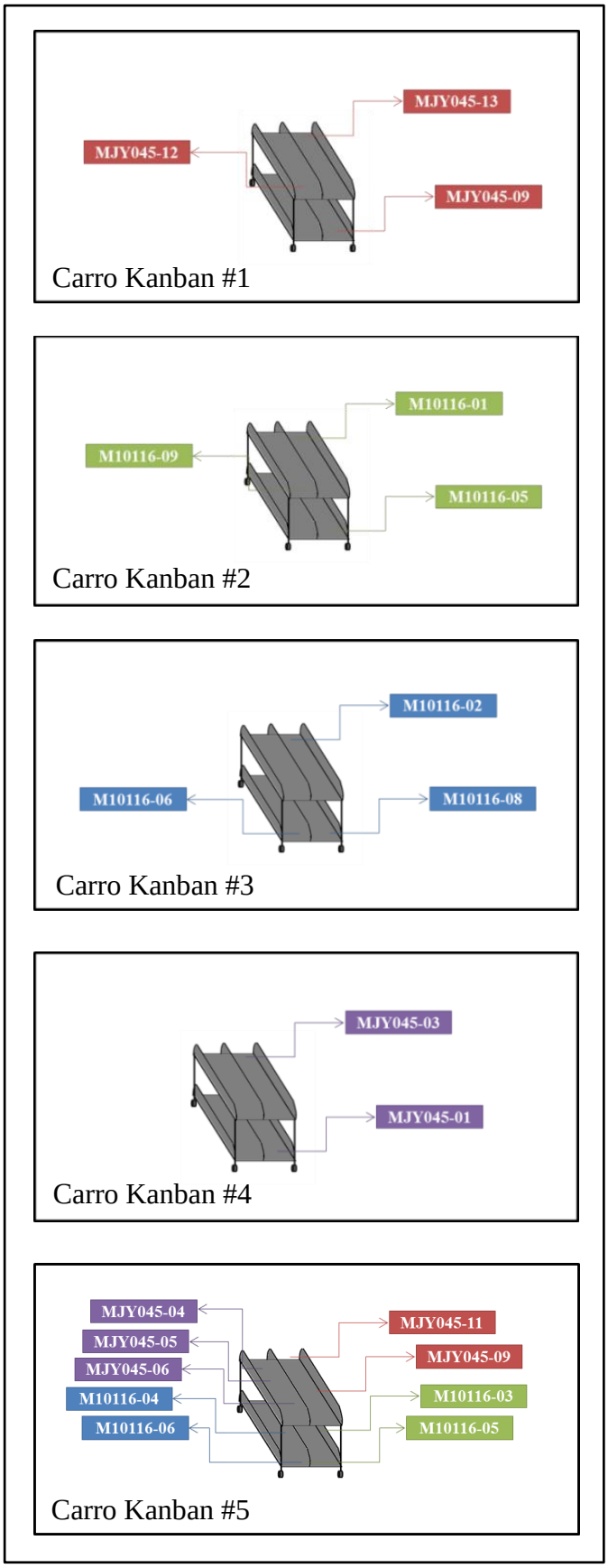

Figura 40: Distribución de Carros

Para el último carro Kanban hemos colocado todas las medidas sobrantes de la distribución anterior. Pero de igual manera respetando la demanda, para este caso hemos considerado las cuestiones ergonómicas; colocándose así las medidas mas usadas (de este carro) en la parte alta y las de menor demanda en la parte inferior.

De esta manera, empleando software para simulación de operaciones hemos formulado una propuesta para la adquisición de carros, mantener el orden y controlar el WIP en el área, que considera la producción real bajo un sistema Kanban como su punto de partida. De ser necesario un reajuste, no habría que reformular todo el sistema (como se realizaría usando métodos tradicionales) simplemente se modificarían ciertos parámetros en la programación del simulador y nuevamente sería posible repetir este mismo estudio.

Este tipo de tecnologías cada vez se popularizan más y más en los ámbitos de la producción. La posibilidad de realizar pruebas sin perdidas materiales ni paras injustificables en la producción, es posible; y en pocos años no solo estará a nuestro alcance, sino que todos nos veremos involucrados en esta tendencia.

CONCLUSIONES

Al finalizar el proceso de la simulación podría afirmar que sus resultados son bastante satisfactorios. Los datos arrojaron conclusiones bastante lógicas, y aunque difieren de los cálculos para el Kanban realizados en base a tablas, muestran mucha coherencia y podría afirmar que son confiables.

En el realización de este proyecto, aprendimos que una de las herramientas más valiosas para un profesional es, sin duda, el ingenio. Prueba de ello son el artificio KANBAN del simulador y el método empleado para determinar el tamaño de la muestra.

Ambos ejemplos son en realidad muy simples, la dificultad radica en las horas de trabajo y todo el ingenio que requirió su planteamiento. Valga señalar que sin los elementos mencionados anteriormente, no hubiera sido posible la realización de este proyecto.

Durante el desarrollo de un proyecto, nos encontramos con situaciones en las que debemos elegir entre varias alternativas o caminos, procurando la mejor decisión posible. Como es el caso de nuestro problema de estudio, en el que el número ideal de carritos kanban presenta muchas opciones, pero solo unas cuantas viables. Por razones de tiempo (o presupuesto en otros casos) no es posible evaluar todas y cada de una de las posibilidades, sino que analizamos únicamente las más probables y eliminamos las demás. Al usar simulación es posible ampliar el campo de análisis de opciones debido a que no se usan recursos reales (en el caso de experimentos) ni requiere repetición de estudios (en el caso de proyectos contra reloj). Esto nos proporciona un panorama totalmente nuevo de posibilidades que podrían resultar útiles o potencialmente útiles con algún cambio. Un ejemplo de ello es nuestro caso de estudio, donde el número de carros kanban recomendado por el simulador (5 carritos) ni siquiera estaba considerado en las opciones iniciales.

RECOMENDACIONES

Al emprender un proyecto que implica la realización de experimentos debemos mirar nuestro objeto de estudio de manera holística. Al mirar nuestro proyecto como una parte funcional de un todo, evitaremos la omisión de detalles importantes que podrían resultar muy relevantes en nuestro experimento, y que podrían afectar su aplicación en el proceso real.

Si bien el tema principal de este documento es la simulación, durante su desarrollo nos hemos apoyado en muchas otros ámbitos de la producción como: la ingeniería de métodos, TOC, matemáticas puras, estadística, etc. Este es uno de los principales problemas que enfrentamos los profesionales jóvenes, la dificultad de combinar los distintos elementos aprendidos a lo largo de la carrera. En la vida profesional, rara vez se aplica una disciplina pura como tal; por lo general siempre viene acompañada de otros elementos (ajenos o complementarios) que le brindan soporte y facilite su aplicación. Sería ideal que la facultad apuntara a una educación integral, que combinara varios aspectos y nos ayude a superar esta dificultad.

En cuanto a la empresa, sería muy conveniente promover mucho más el pensamiento del TOC entre sus administradores de la producción. Un gravísimo paradigma de nuestro medio es el temor a parar máquinas cuando no son necesarias, para evitar "perder" dinero con estas paradas.

Uno de los principales motivos que llevaron al área de CVT a emprender con el proyecto Kanban en la cortadora Fischer fue por la sobreproducción en algunas medidas que generaba la misma. Produciendo en consecuencia la invasión de áreas de almacenamiento reservadas para otras medidas, perdidas por caducidad de material y desabastecimiento de ciertos materiales por la sobreproducción de otros. Todo esto generado por la idea de nunca parar máquinas.

Debemos difundir y aplicar la Regla del Correcaminos, y daremos solución inmediata a muchos de los actuales problemas en el ámbito local de la producción.

Como recomendación final, debemos mostrar apertura hacia los nuevos métodos y tecnologías aplicadas al campo de la producción. Indistintamente de si nos agraden o no, nos veremos involucrados de todas formas con estas tendencias y no podemos quedarnos fuera. Hace varios años existía resistencia a los computadores, actualmente son una herramienta fundamental para toda actividad humana. Por ello, debemos estar dispuestos a aceptar el aprendizaje continuo como una forma de vida, ya que la evolución tecnológica no se detiene y solo de nosotros depende avanzar conjuntamente con ella.

BIBLIOGRAFIA

- BAINES, T.S. and Harrison, D.K., 1999, "An opportunity for system dynamics in manufacturing system modeling", Production Planning and Control, V 10, # 6, pp 542-552
- BANGSOW, Steffen, 2010, "Manufacturing Simulation", Springer
- BARTON, J. A., Love, D.M., Taylor, G.D., 2003, "Evaluating design implementation strategies using simulation", I. J of Production Economics
- CARMONA, M.A., Rubio, C., Lemus, C., 2002 "Estadística Aplicada a la Investigación" Universidad Autónoma de Mayarit
- CIMORELLI, Stephen, 2005, "Kanban for Supply Chain", Productivity Press, pp 77-91
- DELRIEGO, Manuel, 2007, "Nociones de Estadística Experimental", Hispana
- MEAD, Roger, 2004, "The Desing of Experiments: Statistical Principles for Practical Application, Cambridge University Press
- MENGCHU, Zhou, 2008, "Modeling, Simulation, and Control", World Scientific Printers
- O'REILLY Rad Team, 2012, "Best of TOC 2012", O'Reilly
- PATHAWAYS to Success, 2002, "Modeling and Simulation on Manufacturing", National Academy Press
- ZULCH G., Jonsson U., Fischer J., 2002, "Hierarchical simulation of complex production systems by coupling of models", Int. J. of Production Economics, 77, pp 39-51
- ZWBEN, M. and Fox, M. S., 1994, "Intelligent scheduling", Morgan Kaufmann Publishers, Inc. CA, USA

ANEXOS

Anexo 1: Txt de Simulación Primaria

```
*****************************************************************************
*                                                                           *
*                        Formatted Listing of Model:                        *
*                     C:\Users\sony\Desktop\Tesina.MOD                      *
*                                                                           *
*****************************************************************************

  Time Units:                          Minutes
  Distance Units:                      Meters

*****************************************************************************
*                                  Locations                                *
*****************************************************************************

  Name                    Cap Units Stats       Rules           Cost
  ----------------------- --- ----- ----------- --------------- ------------
  Fischer                 1   1     Time Series Oldest, ,
  Carro_Kanban_Fischer    1   5     Time Series Oldest, , First
  Carro_Kanban_Fischer.1  1   1     Time Series Oldest, ,
  Carro_Kanban_Fischer.2  1   1     Time Series Oldest, ,
  Carro_Kanban_Fischer.3  1   1     Time Series Oldest, ,
  Carro_Kanban_Fischer.4  1   1     Time Series Oldest, ,
  Carro_Kanban_Fischer.5  1   1     Time Series Oldest, ,
  SAV                     1   2     Time Series Oldest, , First
  SAV.1                   1   1     Time Series Oldest, ,
  SAV.2                   1   1     Time Series Oldest, ,

*****************************************************************************
*                                   Entities                                *
*****************************************************************************

  Name           Speed (mpm)  Stats       Cost
  -------------- ------------ ----------- ------------
  Breaker        50           Time Series
  Rollo_Breaker  50           Time Series
  Carro_Lleno    50           Time Series

*****************************************************************************
*                                Path Networks                              *
*****************************************************************************

  Name     Type        T/S               From     To       BI   Dist/Time  Speed Factor
  -------- ----------- ----------------- -------- -------- ---- ---------- ------------
  Net1     Passing     Speed & Distance N1       N2       Bi   13.98      1
  Net2     Passing     Speed & Distance N1       N2       Bi   72.08      1

*****************************************************************************
*                                  Interfaces                               *
*****************************************************************************

  Net         Node        Location
  ----------- ----------- --------------------
  Net1        N1          Fischer
              N2          Carro_Kanban_Fischer
  Net2        N1          SAV
              N2          Carro_Kanban_Fischer

*****************************************************************************
*                                  Resources                                *
*****************************************************************************

                                   Res      Ent
  Name               Units Stats    Search   Search Path       Motion        Cost
  ------------------ ----- -------- -------- ------ ---------- ------------- ------------
  Operador_Fischer   1     By Unit  Closest  Oldest Net1       Empty: 50 mpm
                                                     Home: N1   Full: 50 mpm

  Ayudante_SAV       1     By Unit  Closest  Oldest Net2       Empty: 25 mpm
                                                     Home: N1   Full: 10 mpm
```

Anexo 2: Txt de Simulación con Variables Definidas

```
*****************************************************************************
*                                                                           *
*                        Formatted Listing of Model:                        *
*                     C:\Users\sony\Desktop\Tesina.MOD                      *
*                                                                           *
*****************************************************************************

  Time Units:                          Minutes
  Distance Units:                      Feet

*****************************************************************************
*                                  Locations                                *
*****************************************************************************

  Name        Cap Units Stats        Rules      Cost
  ---------- --- ----- ----------- ---------- ------------
  Fischer     1   1     Time Series Oldest, ,

*****************************************************************************
*                                   Entities                                *
*****************************************************************************

  Name               Speed (fpm)  Stats        Cost
  ---------------- ------------ ----------- ------------
  Breaker            150          Time Series
  Breaker_M1011601 150          Time Series

*****************************************************************************
*                                  Resources                                *
*****************************************************************************

                                Res         Ent
  Name      Units Stats     Search      Search Path        Motion          Cost
  -------- ----- -------- ---------- ------ ---------- --------------- ------------
  Res1      1     By Unit  Least Used Oldest             Empty: 150 fpm
                                                         Full: 150 fpm

*****************************************************************************
*                                  Processing                               *
*****************************************************************************

                                Process                      Routing

 Entity   Location Operation              Blk  Output   Destination Rule     Move Logic
 -------- -------- ------------------     ---- -------- ----------- -------  ------------
 Breaker  Fischer  WAIT 25
                   BRK=BRK+1
                   IF BRK = 8 THEN
                   {
                    Stop
                   }


                                          1    Breaker  EXIT        FIRST 1

*****************************************************************************
*                                  Arrivals                                 *
*****************************************************************************

  Entity   Location Qty Each   First Time Occurrences Frequency  Logic
  -------- -------- ---------- ---------- ----------- ---------- ------------
  Breaker  Fischer  1          0          INF         1

*****************************************************************************
*                                 Attributes                                *
*****************************************************************************

  ID         Type         Classification
  ---------- ------------ --------------
  a          Integer      Entity

*****************************************************************************
*                              Variables (global)                           *
*****************************************************************************

  ID         Type         Initial value Stats
  ---------- ------------ ------------- -----------
  BRK        Integer      0             Time Series
```

Anexo 3: Programas de Producción

-6 cambios de medida en turno

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	12 R22.5 BARUM BD21	12
2	275/80 R22.5 GENERAL S370	38
3	11 R22.5 BARUM BF12	19
4	11 R22.5 BARUM BU53	50
5	11 R22.5 GENERAL S360	23
6	295/80 R22.5 GENERAL D445	9
		151

-5 cambios de medida en turno

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	12 R22.5 BARUM BD21	14
2	275/80 R22.5 GENERAL S370	55
3	Sin Programa	0
4	11 R22.5 BARUM BU53	11
5	11 R22.5 GENERAL S360	72
6	295/80 R22.5 BARUM BF12	2
		154

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	12 R22.5 GENRAL MS520	12
2	Sin Programa	0
3	11 R22.5 GENERAL MS520	46
4	11 R22.5 BARUM BU53	56
5	11 R22.5 GENERAL S360	37
6	295/80 R22.5 GENERAL D445	9
		160

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	12 R22.5 GENERAL S360	36
2	275/80 R22.5 GENERAL S370	33
3	11 R22.5 GENERAL MS520	40
4	11 R22.5 BARUM BU53	38
5	Sin Programa	0
6	295/80 R22.5 GENERAL D445	9
		156

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	12 R22.5 GENERAL M247	45
2	275/80 R22.5 GENERAL S370	24
3	11 R22.5 GENERAL MS520	11
4	Sin Programa	0
5	11 R22.5 GENERAL S360	38
6	295/80 R22.5 BARUM BD21	39
		157

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	12 R22.5 BARUM BU53	37
2	275/80 R22.5 GENERAL S370	25
3	11 R22.5 BARUM BU53	35
4	11 R22.5 GENERAL S360	11
5	11 R22.5 BARUM BF12	43
6	Sin Programa	0
		151

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	Sin Programa	0
2	275/80 R22.5 GENERAL S370	39
3	11 R22.5 GENERAL MS520	11
4	11 R22.5 BARUM BU53	53
5	11 R22.5 GENERAL S360	31
6	295/80 R22.5 GENERAL S360	25
		159

-4 cambios de medida en turno

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	12 R22.5 GENERAL M247	49
2	275/80 R22.5 GENERAL S370	45
3	11 R22.5 GENERAL MS520	43
4	11 R22.5 BARUM BU53	22
5	Sin Programa	0
6	Sin Programa	0
		159

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	12 R22.5 BARUM BD21	53
2	275/80 R22.5 GENERAL S370	52
3	11 R22.5 GENERAL MS520	41
4	11 R22.5 GENERAL S360	14
5	Sin Programa	0
6	Sin Programa	0
		160

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	12 R22.5 GENRAL MS520	32
2	275/80 R22.5 GENERAL S370	25
3	11 R22.5 BARUM BU53	48
4	11 R22.5 GENERAL S360	49
5	Sin Programa	0
6	Sin Programa	0
		154

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	12 R22.5 GENRAL MS520	50
2	275/80 R22.5 GENERAL S370	43
3	11 R22.5 BARUM BU53	40
4	295/80 R22.5 BARUM BF12	23
5	Sin Programa	0
6	Sin Programa	0
		156

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	275/80 R22.5 GENERAL S370	27
2	11 R22.5 GENERAL MS520	32
3	11 R22.5 BARUM BU53	38
4	11 R22.5 GENERAL S360	56
5	Sin Programa	0
6	Sin Programa	0
		153

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	275/80 R22.5 GENERAL S370	46
2	11 R22.5 BARUM BF12	48
3	11 R22.5 BARUM BU53	10
4	295/80 R22.5 GENERAL D445	51
5	Sin Programa	0
6	Sin Programa	0
		155

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	12 R22.5 GENRAL MS520	48
2	275/80 R22.5 GENERAL S370	30
3	11 R22.5 GENERAL S360	50
4	295/80 R22.5 GENERAL D445	29
5	Sin Programa	0
6	Sin Programa	0
		157

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	12 R22.5 GENRAL MS520	10
2	275/80 R22.5 GENERAL S370	50
3	11 R22.5 BARUM BF12	36
4	295/80 R22.5 GENERAL S360	55
5	Sin Programa	0
6	Sin Programa	0
		151

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	12 R22.5 BARUM BU53	25
2	11 R22.5 GENERAL MS520	45
3	11 R22.5 BARUM BU53	41
4	11 R22.5 GENERAL S360	45
5	Sin Programa	0
6	Sin Programa	0
		156

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	12 R22.5 BARUM BD21	54
2	11 R22.5 GENERAL MS520	43
3	11 R22.5 BARUM BU53	26
4	295/80 R22.5 GENERAL D445	37
5	Sin Programa	0
6	Sin Programa	0
		160

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	275/80 R22.5 GENERAL S370	51
2	11 R22.5 BARUM BU53	36
3	11 R22.5 GENERAL S360	40
4	295/80 R22.5 BARUM BF12	29
5	Sin Programa	0
6	Sin Programa	0
		156

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	275/80 R22.5 GENERAL S370	26
2	11 R22.5 GENERAL MS520	31
3	11 R22.5 BARUM BU53	34
4	295/80 R22.5 BARUM BF12	65
5	Sin Programa	0
6	Sin Programa	0
		156

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	11 R22.5 GENERAL MS520	27
2	11 R22.5 BARUM BU53	60
3	11 R22.5 GENERAL S360	24
4	295/80 R22.5 GENERAL S360	44
5	Sin Programa	0
6	Sin Programa	0
		155

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	12 R22.5 BARUM BU53	52
2	11 R22.5 BARUM BU53	35
3	11 R22.5 GENERAL S360	41
4	295/80 R22.5 BARUM BF12	29
5	Sin Programa	0
6	Sin Programa	0
		157

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	12 R22.5 BARUM BU53	50
2	11 R22.5 GENERAL MS520	15
3	11 R22.5 GENERAL S360	17
4	295/80 R22.5 GENERAL S360	68
5	Sin Programa	0
6	Sin Programa	0
		150

-Sin cambios de familia en el turno

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	12 R22.5 GENERAL M247	40
2	12 R22.5 GENERAL S360	45
3	12 R22.5 BARUM BD21	26
4	12 R22.5 GENRAL MS520	37
5	12 R22.5 BARUM BU53	8
6	Sin Programa	0
		156

PROGRAMA TURNO

	CODIGO	CANTIDAD
1	295/80 R22.5 BARUM BF12	36
2	295/80 R22.5 GENERAL D445	37
3	295/80 R22.5 BARUM BD21	36
4	295/80 R22.5 GENERAL S360	50
5	Sin Programa	0
6	Sin Programa	0
		159

Anexo 4: Resultados de la Simulación

	1ra				2da				3ra				4ta			
Experimento	Avg Time per Entry	Avg Contents	Maximum Contents	% Utilization	Avg Time per Entry	Avg Contents	Maximum Contents	% Utilization	Avg Time per Entry	Avg Contents	Maximum Contents	% Utilization	Avg Time per Entry	Avg Contents	Maximum Contents	% Utilization
1	16.82	6.99	10.36	56.58	15.34	7.01	10.22	52.42	11.42	7.03	13.27	61.32	19.56	7.04	12.51	55.55
2	16.94	7.07	10.62	58.43	15.39	6.99	10.28	53.31	11.86	7.30	13.78	67.51	19.78	6.96	12.05	47.78
3	16.89	6.52	10.04	58.67	15.62	6.89	11.72	74.77	11.46	7.06	13.32	61.95	19.56	7.04	12.46	57.10
4	16.97	6.68	10.02	58.75	15.88	6.77	8.71	29.95	11.84	7.29	13.76	67.26	20.27	6.80	12.08	48.29
5	16.12	6.97	10.55	57.99	15.58	6.90	9.71	44.78	11.52	7.09	13.39	62.80	20.49	6.72	12.63	58.07
6	17.51	6.48	10.00	57.55	11.93	7.45	10.67	59.16	11.72	7.21	13.62	65.57	19.69	7.00	12.43	53.62
7	16.94	7.16	10.71	58.58	15.39	6.99	8.49	26.59	11.69	7.19	13.58	65.14	20.18	6.83	12.28	50.26
8	16.03	6.64	9.95	57.28	11.96	7.43	11.71	74.67	11.86	7.30	13.78	67.53	20.32	6.78	12.07	47.91
9	17.97	7.07	10.64	56.90	12.13	7.32	11.18	66.77	11.81	7.27	13.72	66.77	20.46	6.73	11.72	46.35
10	17.99	6.87	10.64	56.43	25.74	7.45	11.93	77.85	11.76	7.24	13.67	66.16	20.41	6.75	11.75	45.90
11	17.47	6.51	9.86	58.58	12.42	7.16	11.99	78.77	11.78	7.25	13.69	66.38	20.33	6.78	12.38	51.88
12	16.16	7.02	9.89	58.18	24.88	7.71	11.65	73.71	11.89	7.32	13.82	68.03	19.51	7.06	12.52	54.52
13	17.38	6.89	9.76	58.05	11.79	7.54	11.54	72.05	11.71	7.20	13.60	65.37	19.69	7.00	12.46	52.50
14	17.72	6.84	9.71	56.73	25.24	7.60	9.15	36.48	11.57	7.12	13.44	63.45	19.90	6.92	12.08	49.01
15	16.03	6.22	10.11	56.21	25.54	7.51	9.59	43.05	11.84	7.29	13.76	67.26	19.56	7.04	12.70	55.87
16	16.01	6.45	9.71	57.98	11.85	7.50	11.47	71.01	11.54	7.10	13.41	63.04	20.29	6.79	12.56	55.73
17	17.33	6.44	10.48	58.30	24.84	7.72	11.47	71.12	11.72	7.21	13.62	65.56	19.92	6.91	12.05	48.15
18	17.83	6.38	10.18	57.49	24.89	7.70	11.05	64.86	11.53	7.09	13.39	62.82	20.20	6.82	12.44	56.96
19	16.24	6.13	10.06	58.46	24.88	7.71	12.35	84.22	11.88	7.31	13.80	67.81	20.30	6.79	12.41	54.95
20	16.73	6.37	9.93	58.00	11.87	7.49	11.02	64.41	11.76	7.24	13.67	66.17	20.40	6.75	12.00	46.90
21	16.46	6.66	10.30	56.47	12.42	7.16	9.62	43.44	11.67	7.18	13.56	64.83	19.69	7.00	12.34	55.97
22	17.09	6.60	10.27	57.39	12.22	7.27	8.57	27.81	11.53	7.10	13.40	62.87	20.50	6.72	11.77	48.62
23	16.09	6.78	10.47	58.89	12.22	7.27	12.22	82.30	11.80	7.26	13.71	66.69	20.35	6.77	11.93	46.59
24	16.16	6.45	10.61	58.61	25.00	7.67	11.05	64.76	11.66	7.17	13.54	64.64	20.22	6.81	12.50	54.88