



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

CAMPUS GUADALAJARA

BENEFICIOS DIRECTOS E INDIRECTOS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE INVENTARIOS

LINO EDUARDO AGUIRRE BARRERA

Tesis presentada para optar por el grado de Maestro en
Optimación de Sistemas Productivos con
Reconocimiento de Validez Oficial de Estudios de la
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA,
según acuerdo número 994189 con fecha 09-VII-99.

Zapopan, Jal., Julio de 2003



TE
CLASIF: 1105 P 2003 AGU

ADQUIS: 54380 *ej. 2*

FECHA: 06/08/09

DONATIVO DE _____

\$ _____ *agregar al 54379*



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

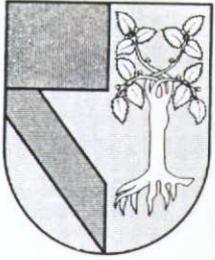
CAMPUS GUADALAJARA

BENEFICIOS DIRECTOS E INDIRECTOS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE INVENTARIOS

LINO EDUARDO AGUIRRE BARRERA

Tesis presentada para optar por el grado de Maestro en
Optimación de Sistemas Productivos con
Reconocimiento de Validez Oficial de Estudios de la
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA,
según acuerdo número 994189 con fecha 09-VII-99.

Zapopan, Jal., Julio de 2003



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

CAMPUS GUADALAJARA

JEFE DEL DEPTO. DE CONTROL ESCOLAR
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
P R E S E N T E .

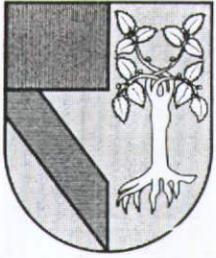
Por medio de la presente me permito hacer de su conocimiento que el **SR. LINO EDUARDO AGUIRRE BARRERA**, de la Maestría en Optimación de Sistemas Productivos, ha concluido satisfactoriamente su trabajo para la obtención de Grado con la alternativa de Tesis titulada “ **BENEFICIOS DIRECTOS E INDIRECTOS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE INVENTARIOS**“, que después de haber sido dirigida y revisada previamente reúne todos los requisitos técnicos y pedagógicos para solicitar fecha de Examen de Grado.

Agradezco de antemano la atención que pueda brindar a la presente, reiterándome a sus órdenes.

ATENTAMENTE

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Francisco Villanueva', is written over a horizontal line. The signature is fluid and cursive.

ING. FRANCISCO JAVIER VILLANUEVA VILLANUEVA
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN DE
EXAMENES DE GRADO



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

CAMPUS GUADALAJARA

DICTAMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN DE GRADO

SR. LINO EDUARDO AGUIRRE BARRERA

Presente.

En mi calidad de presidente de la Comisión de Exámenes de Grado, y después de haber analizado el trabajo de titulación presentado por usted en la alternativa de **TESIS**, titulado:

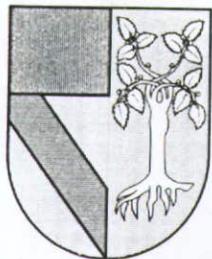
“BENEFICIOS DIRECTOS E INDIRECTOS DE UN SISTEMA DE
CONTROL DE INVENTARIOS“

Le manifiesto que reúne los requisitos a que obligan los reglamentos en vigor para ser presentado ante el H. Jurado del Examen de Grado, por lo que deberá de entregar siete ejemplares como parte de su expediente al solicitar el examen.

ATENTAMENTE

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Francisco Villanueva', written over a horizontal line.

ING. FRANCISCO JAVIER VILLANUEVA VILLANUEVA
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

CAMPUS GUADALAJARA

16 Julio del 2003

ING. FRANCISCO JAVIER VILLANUEVA VILLANUEVA
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN DE
EXÁMENES DE GRADO
P R E S E N T E .

Me permito hacer de su conocimiento que LINO EDUARDO AGUORRE BARRERA de la Maestría en Optimación de Sistemas Productivos ha concluido satisfactoriamente su trabajo de titulación con la alternativa TESIS, titulado:

“BENEFICIOS DIRECTOS E INDIRECTOS DE UN SISTEMA DE
CONTROL DE INVENTARIOS“

Manifiesto que, después de haber sido dirigida y revisada previamente, reúne todos los requisitos técnicos para solicitar fecha de Examen de Grado.

Agradezco de antemano la atención prestada y me pongo a sus órdenes para cualquier aclaración.

A T E N T A M E N T E

M. Concepción F.

MTRA. MARÍA CONCEPCIÓN FERNÁNDEZ GARCÍA
ASESOR DE TESIS



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

SEDE GUADALAJARA

**SELECCIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE INVENTARIOS, UTILIZANDO PROMODEL,
TOMANDO EN CUENTA LOS IMPACTOS DIRECTOS E INDIRECTOS DE LA CELDA DE
MANUFACTURA FAB1.**

LINO EDUARDO AGUIRRE BARRERA

Tesis presentada para optar por el grado de
Maestro en Optimación de Sistemas Productivos con
Reconocimiento de Validez Oficial de Estudios de la
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA,
según acuerdo número 994189 con fecha 09-VII-99.

Zapopan, Jal., Julio del 2003

I N D I C E

ABSTRACTO	3
INTRODUCCIÓN	5
OBJETIVO	8
CAPÍTULO 1 TEORÍAS DE CONTROL DE INVENTARIOS	10
JIT (Producción JUSTO A TIEMPO)	11
TOC Teoría de Restricciones	17
CAPÍTULO 2 ASPECTOS A CONSIDERAR	23
Impactos Directos	25
Impactos Indirectos	26
CAPÍTULO 3 HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN	27
Promodel	28
Stat::Fit	28
Ruta del Proceso	30
Parámetros Varios (Tiempos Estándares, duración del Turno, Lote por estación, Cantidad de equipo)	31
Tiempos Estándar	32
CAPÍTULO 4 RESULTADOS	33
Modelo de Simulación	34
Simulando JIT	38
Simulando TOC	39
Resultados de c/experimento (Matriz de Metodología V.S. Indicadores)	40
CONCLUSIONES	41
GLOSARIO	44
ANEXOS	45

ABSTRACTO

"Beneficios Directos e Indirectos de un Sistema de Control de Inventarios"

La hipótesis dentro de la cual gira todo éste documento es la de que un sistema de control de inventarios trae consigo impactos ó beneficios tanto directos como indirectos. Procederemos a identificarlos y se cuantificarán para poder estudiarlos detenidamente.

En éste documento de igual modo se se analizarán y estudiarán los tangibles e intangibles que se dan por consecuencia de un adecuado control de inventarios, en particular el estudio lo realizaremos en la línea de manufactura de Fab1 de IBM.

Justificación

La tecnología JIT (Justo a Tiempo) junto con la tecnología TOC (Teoría de Restricciones) son dos de muchas tecnologías que ayudan en la administración del WIP (material en proceso).

Dentro de IBM se ha demostrado en varios casos prácticos los beneficios que se obtienen mediante la implementación indistintamente de una u otra. Los beneficios que se han observado giran en función de tiempo de ciclo, manejo de material, cantidad mínima de material en proceso, balanceo de líneas, etc... El objeto de realizar ésta tesis, es la de evaluar y juzgar apoyados en un simulador de eventos discretos, cuál de las dos tecnologías se desempeñará mejor cuando sea implementada en la línea de manufactura de Fab1. La ventaja de simular es la que podemos apropiarnos y tomar control completo de la línea de manufactura "Fab1" (modelada en el simulador), y obviamente sin impactos a la línea de manufactura "Fab1" real. La razón del porqué utilizar a Promodel como herramienta de simulación se explica en el capítulo tres de esta investigación.

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Guadalajara, existen varias empresas trasnacionales con una gran cantidad de proyectos, así como con una gran variedad de productos nuevos que se manufacturan día con día, y cada vez el tiempo con el que aparecen y se obsoletan es muy rápido, todo esto nos obliga a tener un sistema de control de inventario en piso (WIP, work in process) confiable y eficiente, para poderlo administrar adecuadamente.

En esta investigación se comparan los sistemas de control de inventario en piso KanBan (elemento del justo a tiempo JIT) y Teoría de Restricciones, en cuanto a sus impactos directos e indirectos medidos vía simulación utilizando PROMODEL, en una línea de manufactura de IBM conocida como Fab1.

Un Impacto Directo es aquel que varía directamente o tiene una relación directa con el sistema de control de inventario en piso (WIP); y un Impacto Indirecto es aquel que no tiene relación directa con el sistema de control de inventario en piso.

En esta tesis nos enfocaremos en los Sigüientes Impactos Indirectos: Calidad (Yield) y Dinero visto como "Días de Abastecimiento" del inglés (DOS days of supply); por otro lado nos enfocaremos en los siguientes los impactos directos: Tiempo de Ciclo, y la tasa de salida del material.

Todo el análisis de los Impactos Directos e Indirectos se realizará con los resultados que arroje el simulador Promodel, modelando la línea de producción de IBM conocida como Fab1.

La razón por la que nos enfocaremos a el área de Fab1 dentro de IBM, es porque de acuerdo a la experiencia de supervisores y gerentes de manufactura, esta línea de producción es muy propensa a sufrir bajas en su desempeño debido a los cambios del inventario en proceso (WIP).

Consideramos que con una administración eficiente del WIP puede ayudar a mantener un desempeño uniforme de la celda de manufactura, volviendo a ésta más robusta ante los cambios del WIP.

Nota: Actualmente la celda de manufactura Fab1, no cuenta con una metodología de Administración del WIP.

OBJETIVO

El objetivo principal del modelo de simulación y de los análisis de los datos que éste arroje es la de determinar y recomendar en base a los indicadores (Impactos Directos e Indirectos), qué metodología de administración de WIP, ya sea KanBan, ó TOC (Theory of Constraints), es mejor, cuantificando los impactos directos e indirectos que se obtienen de cada uno de ellos, y entonces poder determinar claramente cual es el mejor y el mas conveniente para nuestra línea de producción, dando argumentos claros para que la Gerencia decida cuál de las dos metodologías se implementará en la celda de manufactura Fab1.

Los productos que se corren en esa celda de manufactura siguen un mismo proceso ó ruta de manufactura, por lo que no importa los tipos de productos que pasen por Fab1, además que se seguirá la actual Ruta de Manufactura y no se harán ningún tipo de cambios en ésta.

CAPÍTULO 1 Teorías de Control de Inventarios

JIT (JUST IN TIME: producción justo a tiempo)

El JIT es una filosofía de manufactura que incluye diferentes conceptos. Puede ser conceptualizado como una bolsa de herramientas que pueden ser utilizados en diferentes etapas, cada una de ellas viene a resolver un problema muy particular y concreto; tal como un desarmador de cruz no sirve para mover y remover clavos, así de la misma forma la herramienta apropiada de JIT, deberá de ser utilizada para la situación en particular de la compañía.

El JIT puede ser implementado entre un proveedor y su cliente, ó entre dos procesos de manufactura que tienen una relación cliente-servidor. Un punto a favor muy importante de JIT, es que expone los desperdicios de los procesos de producción, y por lo tanto da la oportunidad a la compañía de eliminarlos. El JIT ayuda primordialmente a las compañías dándoles la visión de dónde deben de poner mayor foco y atención, para realizar actividades que tengan mayor Valor Agregado y evitar las actividades y acciones que no presenten valor agregado para la compañía.

Las Herramientas del JIT son las Siguietes.

1.- KAIZEN

El kaizen es una palabra japonesa que significa mejora continua. El kaizen se fundamenta en la creencia que dice “No importa que tan bien sea el desempeño de la persona o de la compañía, el día de mañana deberá de ser mucho mejor”.

Cuando nosotros pensemos que hemos hecho lo mejor que hemos podido, entonces llegará la competencia y lo hará mejor.

2.- CELDAS DE MANUFACTURA

Las celdas de manufactura vienen a ser la parte más evidente del JIT. Uno de los primeros pasos que toma una compañía al implementar JIT es el de establecer celdas de manufactura.

Algunas de las razones para implementar celdas son las siguientes:

- Las operaciones se mueven en conjunto, lo que elimina los transportes entre sectores.
- Las partes son producidas a partir de una etapa de materia prima, hasta la etapa final de producto terminado en la misma celda de manufactura.
- Las celdas de manufactura facilitan la producción de una pieza a la vez, eliminando con esto la producción por lotes.
- Los controles visuales de la operación entera es mejorada. Cuando existen problemas en la celda de manufactura, la retroalimentación es inmediata.

3.- PRODUCCION DE FLUJO DE UNA SOLA PIEZA

La producción de flujo de una sola pieza se relaciona muy directamente con las celdas de manufactura. La producción en flujo es un lote de una sola pieza, por lo que constituye un rechazo a la producción por lotes o producción en masa. La producción de flujo integra verticalmente a todas las operaciones tal como están siendo llevadas a cabo.

Algunas de las ventajas de la producción de flujo en una pieza son las siguientes:

- Dado que las partes se procesan una a la vez, las partes defectuosas se limitan a las que están en ese momento en la celda, en contraste a la producción por lotes, que el lote por entero es el que se trata como defectuoso.

- El flujo de una sola pieza contribuye a producir solamente el material que es requerido, muy en contrario a la producción lotificada que obliga al sobre inventario, al procesar partes que no son estrictamente necesarias.
- El flujo de una sola pieza disminuye el inventario WIP
- El flujo de una sola pieza da retroalimentación en tiempo real acerca del estatus del proceso.
- El flujo de una sola pieza provee las oportunidades para el KAIZEN (mejora continua)

4.- LOS SIETE DESPERDICIOS - MUDA

MUDA es una palabra japonesa utilizada para llamar así a los desperdicios, El reconocimiento y eliminación de desperdicios es crítico si se pretenden implementar mejoras. Los siete desperdicios son los siguientes:

- Desperdicios provenientes de la sobreproducción
- Desperdicios provenientes de las demoras y esperas sin valor agregado
- Desperdicios provenientes de Transportes
- Desperdicios provenientes o intrínsecas al proceso
- Desperdicios provenientes del sobre inventario
- Desperdicios provenientes de manejo de material o de movimientos innecesarios
- Desperdicios provenientes de producir piezas defectuosas

5.- LAS 5 S's

Las cinco S's se refieren a las 5 palabras japonesas que se utilizan para llamar así a la limpieza, orden y pulcritud. Estos conceptos generalmente mejoran otras metas importantes como lo son la productividad, y la exhibición y eliminación de desperdicios y al control visual. Por ejemplo si

las herramientas para alguna operación se encuentran organizadas y están disponibles en la secuencia en que son necesarias, MUDA, será reducida en esa operación. (Desperdicios provenientes de manejo de material o de movimientos innecesarios). Las cinco S's son las siguientes:

- Seiri – Alinear todo y organizar
- Seiton – Colocar todo en orden y acomodarlo
- Seiso – Limpiar el lugar de trabajo
- Seiketsu – Orden personal y pulcritud
- Shitsuke – Disciplina en cuanto a seguir los procedimientos del área de trabajo

6.- INVENTARIO KANBAN

Aquí en este elemento del JIT es en donde nos enfocaremos precisamente, en el Kanban como herramienta de control de inventario en piso (WIP).

KANBAN es una palabra japonesa que significa 'desplegar' ó 'tarjeta de instrucción'. En una fábrica el concepto es considerado como una tarjeta que describe el número de parte, la cantidad de partes, origen de las partes y dónde deberán de ser entregadas dichas partes.

La aplicación de Kanban es comparada como lo que sucede en un supermercado. Específicamente los estantes y alacenas donde ponen sus productos a disposición de sus clientes. La existencia de los productos es evidente, es visual, y tanto los clientes como los despachadores son capaces de verlo. Si un cliente desea algo, simplemente 'jala' el producto para sí y lo obtiene, si es la última pieza del mostrador, entonces quedará un hueco vacío que le 'notificará' al despachador que surta de nuevo dicho mostrador.

7.- SMED

La mayoría de los tiempos de puesta en operación de los equipos representa un desperdicio. El SMED (Single Minute Exchange of Die), se concentra en todas las oportunidades por el cambio y el 'seteo'. Primero deberá separarse el seteo interno del externo. El seteo interno es aquel que se realiza cuando el equipo está apagado. El seteo externo es aquel que se efectúa cuando la máquina esta operando. La meta será entonces tratar de convertir todo aquel seteo interno en seteo externo, en la medida de lo posible. Una vez que están identificados los seteos internos y los externos, se aplican los conceptos de las 5 S's y de tiempos estándares.

Muchas compañías de manufactura visualizan el tiempo de puesta en operación como un factor fijo en el proceso de manufactura. Por lo que cuando muchas compañías evalúan la capacidad requerida, ellos compran equipo de capital que en un momento dado puede no ser necesario si hubieran practicado conceptos de SMED.

8.- POKA YOKE

PokaYoke es una frase japonesa que significa "a prueba de tontos". La idea detrás del pokayoke es la de diseñar elementos del proceso de producción que son de auto-diagnóstico. Si es posible, los dispositivos que se diseñen deberán ser capaces de hacer obvios desordenes, sin la necesidad de que el operador esté pendiente de la operación.

RESUMIENDO.

Las herramientas mencionadas anteriormente, y que forman parte integral de lo que es el programa ó filosofía JIT no benefician en la misma medida si se implementan individualmente que si son implementadas en conjunto, debido a que existe entre ellas una fuerte relacion y cuando todas ellas trabajan juntas se complementan unas con las otras. Por ejemplo, el concepto de 'Control visual' de las 5 S's, tiene una relación directa con el sistema de inventarios 'Kanban', así como también el 'flujo de una sola pieza' y las 'celdas de manufactura'. De manera similar la teoría KAIZEN está profundamente asociada en las filosofías de trabajo estandarizado. Muchas de ellas, si no es que todas las herramientas, se relacionan a los principios de trabajo estandarizado, de cualquier manera lo que tomaremos del JIT para ésta tesis será el KanBan que es la metodología de control de WIP.

TOC Teoría de Restricciones

La teoría de restricciones (Theory of Constraints, TOC) es un desarrollo relativamente reciente en el aspecto práctico de tomar decisiones en la organización en las situaciones en las cuales las restricciones existen. La teoría primero fue descrita por el Dr. Eliyahu M. Goldratt en su libro, "*La Meta*". En muchas organizaciones, la lógica del TOC forma parte de porciones importantes de la filosofía de esa organización de la mejora continua.

La teoría de restricciones se utiliza en tres niveles:

1. Gerencia de producción - aplicado inicialmente aquí para solucionar problemas de cuellos de botellas, de programar la línea, y de la reducción del inventario en proceso.
2. Análisis del rendimiento del proceso - la aplicación del TOC ha resultado revolucionaria en la toma de decisiones basada en costeo (cost-based) con respecto a la toma de decisión basada en la mejora continua de los procesos en los cuales el rendimiento de los procesos del sistema, las restricciones del sistema, y las capacidades de la línea de producción.
3. Teoría de los procesos lógicos de las restricciones - este tercer nivel es la aplicación general del razonamiento del TOC para atacar una variedad de problemas de proceso dentro de organizaciones. La lógica del TOC se aplica para identificar qué factores están limitando a una organización de alcanzar sus metas, desarrollando una solución al problema, y conseguir que los individuos involucrados en el proceso participen en el cambio para sí mismos.

Una barrera o restricción es cualquier cosa en una organización que limita su desarrollo o su desempeño. Por supuesto, esto asume que se ha definido una meta apropiada. Para la mayoría de las organizaciones, la meta o razón de negocio es hacer dinero así ahora como en el futuro. Hay dos tipos básicos de restricciones: restricciones físicas y restricciones no-físicas. Una restricción física es algo así como la capacidad física de una máquina. Una restricción no-física puede ser algo como la demanda para un producto, un procedimiento corporativo, o el paradigma de un individuo para mirar el mundo.

Los pasos en la aplicación del TOC son los siguientes:

1. Identifique las restricciones del sistema. Es necesario que las restricciones estén priorizadas, de manera que solo consideremos aquellas que realmente limitan progreso del sistema hacia la meta.
2. Decida cómo explotar las restricciones del sistema. Una vez que hayamos identificado las restricciones, tendremos que decidir el ¿Cómo manejar el resto de los recursos que no son las restricciones? La respuesta es que los manejaremos de modo que apenas proporcionen la cantidad que sea necesaria para que corresponda con la salida de los recursos que son restricción. NUNCA los dejaremos proveer más salida de la que sea necesaria porque el hacerlo nos mueve lo más cercano a la meta.
3. Subordine todo a la decisión antedicha en el paso de progresión 2. Puesto que las restricciones nos estarán guiando para alcanzar nuestra meta, aplicamos todos los recursos que nosotros tengamos y podamos para romper las restricciones. Las restricciones no son actos divinos. En prácticamente todos los casos su impacto limitador puede ser reducido o ser eliminado.

4. Eleve las restricciones del sistema. Si continuamos trabajando hacia romper una restricción (también llamado elevación de una restricción) en una cierta etapa, la restricción se convertirá en algo que igualará la capacidad del sistema ó la superará. Ya entonces la restricción estará rota o superada.
5. Si la restricción está superada, vuelva al paso de progresión 1. Cuando sucede eso, seguramente habrá otra restricción, en alguna parte del sistema que ahora será la que nos está limitando el progreso hacia la meta.

El proceso se debe reaplicar, quizás muchas veces. Es muy importante no dejar que la inercia se convierta en una restricción. La mayoría de las restricciones en la organización están desde su propia fabricación. Son las reglas, las políticas, y los procedimientos atrincherados que se han convertido en una cierta barrera u obstáculo. Muchas veces, cuando finalmente rompemos una restricción, no vemos hacia atrás y no repasamos y no cambiamos las reglas ni las políticas que causaron la restricción inicialmente. La mayoría de los restricciones en organizaciones son hoy restricciones de política más que restricciones físicas.

Para una organización de la manufactura, cuya meta es la de hacer dinero ahora como en el futuro, el TOC define tres medidas operacionales que miden si las operaciones están trabajando hacia esa meta:

- Rendimiento del proceso: La tarifa en la cual el sistema genera el dinero con ventas. Éste se considera ser igual que el margen de contribución (precio de venta -- coste de materias primas). Los costes de trabajo se consideran parte de gastos de explotación más que rendimiento del proceso.

- **Inventario:** Todo el dinero que el sistema invierte en cosas que se puede (o podría) vender. Éste es la inversión total del sistema, que incluye no solamente inventario convencional, sino también edificios, pista, vehículos, planta, y equipo. No incluye el valor del trabajo agregado al inventario de WIP (work in process)
- **Gastos De Explotación:** Todo el dinero que el sistema pasa en inventario que da vuelta en rendimiento del proceso. Esto incluye todo el dinero vertido constantemente en el sistema para hacer que trabaje la planta, por ejemplo las calderas, de luz, de los materiales del desecho, de la depreciación, etc.

Las cuatro medidas siguientes se utilizan para identificar los resultados para la organización total:

Beneficio Neto = Rendimiento de procesamiento - Gastos de Explotación

Retorno sobre inversión (ROI) = $(\text{Rendimiento del proceso} - \text{Gastos de explotación}) / \text{inventario de los gastos de explotación}$

Gastos De la Productividad = $\text{Rendimiento del proceso} / \text{Gastos de Explotación}$

Volumen de ventas = $\text{Rendimiento del proceso} / \text{Inventario}$

Dado las medidas según lo descrito, los empleados pueden tomar decisiones locales examinando el efecto de esas decisiones en el rendimiento de procesamiento de la organización, el inventario, y gastos de explotación totales. Una decisión que da lugar a aumentar el rendimiento del proceso total, a disminuir el inventario total, o a disminuir los gastos de explotación totales para la firma será generalmente una buena decisión para el negocio.

La teoría de restricciones elimina mucha de la contabilidad analítica. Está claro que la aplicación de los principios de la contabilidad analítica (sobre todo la asignación de costes para tomar decisiones en el nivel local) conduce a la toma de decisiones pobres por parte de la gerencia en el departamento así como en los niveles superiores de la organización. En concreto, el TOC elimina virtualmente el uso de las cantidades de la orden económica (EOQ), cuantificación de la porción de la producción, derivar los costos del producto, fijación de precios, la determinación de productividad, y el uso de los incentivos en el funcionamiento.

La mayoría de los individuos verán fácilmente el uso de la teoría de restricciones en la mejora para programar la producción o en la mejora de la fabricación o manufactura. Esto es simplemente incorrecto. Aunque es verdad que la teoría de restricciones nos provee de ejemplos simples en el ambiente de fabricación, el TOC es en verdad aplicable a cualquier proceso en cualquier organización. Esto incluye universidades, hospitales, los abastecedores de servicio de todas las variedades, el gobierno y, por supuesto, la manufactura.

RESUMIENDO.

El TOC desde un punto de vista práctico y simplista se resume como:

Identificar restricción–Explotar Restricción–Subordinar todo ala Restricción–Eleva la Restricción. Estos cuatro pasos son los que son tomados en cuenta para ser modelados en Promodel, para así poder evaluar y cuantificar el comportamiento de los Indicadores (Impactos Directos/Indirectos).

Comparativo entre JIT y TOC

- TOC se enfoca en mejorar el equipo que es el cuello de botella, mientras que JIT asume que toda el area es una restricción y reparte la “protección” entre todos los equipos sin enfocarse únicamente a la restricción.
- En JIT no se puede evaluar la eficiencia del operador, debido a que el trabajo de éste, es regido por las tarjetas Kanban.
- TOC y JIT, a través de diferentes formas de administrar la producción, obtienen resultados similares.
- Ambos sistemas intentan mejorar y reducir la variación dentro del sistema de producción.
- Ambos sistemas manejan niveles de WIP muy reducidos, y con una salida de producción o “thruput” equivalente; la forma en que TOC logra que esto suceda es programando el cuello de botella a que trabaje a su máxima capacidad, y JIT lo logra mediante la asignación de tarjetas de kanban, para procurar que el equipo este trabajando.

CAPÍTULO 2 Aspectos a Considerar

Un impacto en términos de manufactura es cualquier factor que altera y modifica el comportamiento de la celda de manufactura, y por lo regular se encuentran sujetos de la forma en que se maneja el WIP dentro de ella.

En esta tesis nos enfocamos particularmente en el comportamiento de los impactos Directos e Indirectos modelando en la celda de manufactura los sistemas de control del WIP, KanBan y TOC.

Cualquier Impacto Directo sobre la celda de manufactura es aquel donde la administración del WIP se encuentra involucrada directamente o tiene una influencia directa sobre ésta.

Cualquier Impacto Indirecto sobre la celda de manufactura es aquel donde la administración del WIP no se encuentra involucrada directamente o que no tiene alguna influencia directa sobre ésta.

Habiendo una vez definido lo que es un impacto directo y un impacto indirecto, sobre una celda de manufactura, ahora puntualizaremos cuáles serán los impactos directos e indirectos, que serán observados y cuantificados para determinar las conclusiones de ésta tesis.

Impactos Directos

Los Impactos Directos que serán analizados son el Tiempo de Ciclo del material (wip) y el Thruput o tasa de salida del material producido del área.

Tiempo de Ciclo:

La razón para considerar al tiempo de ciclo como un impacto directo, es porque dicha medición viene completamente asociada al WIP. La medición de tiempo de ciclo viene definido como la duración de una pieza (wip) desde que se introduce a la línea de manufactura, hasta que sale de ésta ya procesada y transformada. Didácticamente puede verse como que se toma una pieza que al ser ingresada a la celda de manufactura, se le pone una etiqueta con la hora y la fecha en la que fue ingresada, y que al salir de la celda de manufactura, se le pone otra etiqueta con la hora y fecha en la que está saliendo; entonces si tomamos ambas etiquetas y determinamos el lapso de tiempo transcurrido entre ambas obtendríamos el tiempo que estuvo la pieza en la celda de manufactura siendo procesada, y esto es el Tiempo de Ciclo.

- *Tasa de salida del material:*

La razón para considerar a la tasa de salida como un impacto directo, viene dado que en la ecuación que la define, está involucrado el WIP de una forma directa.

$$TH = WIP / \text{Tiempo de Ciclo}$$

De acuerdo a la fórmula anterior, las unidades del thruput son (cantidad de piezas por unidad de tiempo), es decir cuantas piezas son procesadas en un tiempo específico. El thruput viene definido como la cantidad de piezas que se procesan en base al tiempo de ciclo del piso de la celda de manufactura.

Impactos Indirectos

Los Impactos Indirectos que serán analizados son la Calidad (Yield) del material que está siendo procesado y el dinero visto como días de abastecimiento (DOS) en vueltas de Inventario.

- *Calidad (Yield):*

Para el caso particular de los productos que corren en la celda de manufactura de Fab1, se considera que la calidad viene relacionada con la administración del WIP, debido a parámetros y defectos como la corrosión, que se ve afectado por el tiempo que dura la pieza dentro de la línea de producción. La formula utilizada para calcular el Yield, es:

$$\text{Yield} = \text{WipI} - \text{Scrap},$$

Donde WipI refiere a las Wip ingresado y Scrap refiere al Wip disfuncional o desperdicio.

- *Días de abastecimiento \$ (DOS del inglés Days of Supply):*

Para el caso particular de los productos que corren en la celda de manufactura de Fab1, los días de abastecimiento son críticos debido a que la evolución de los nuevos productos es cada vez más rápida y por lo tanto los productos actuales se tornan obsoletos más rápidamente. La formula utilizada para determinar los días de abastecimiento es:

$$(\$)\text{DOS} = \text{Costo de (WipI)} - \text{Costo de (WipS)}$$

Donde el WipI es el wip ingresado y el WipS es el wip que ya salio del sistema de producción, sin importar si salio como Scrap o como Wip producido

CAPÍTULO 3 Herramienta de Simulación

Promodel

Promodel es un simulador de eventos continuos y discretos, con animación que permite simular cualquier tipo de sistema de manufactura, logística, manejo de materiales, bandas de transporte, grúas viajeras, ensamble, corte, talleres, etc.

ProModel es un paquete de simulación que no requiere programación, aunque sí lo permite.

Combina facilidad de uso y flexibilidad para aplicaciones complejas.

Se puede simular Justo a Tiempo, Teoría de Restricciones, Sistemas de Empujar, Jalar, etc., prácticamente, cualquier sistema puede ser modelado.

Una vez que se tiene el modelo, puede ser optimizado para encontrar los valores óptimos de los parámetros claves del modelo.

La razón principal por la que se evaluará el modelo de simulación antes que llevarlo a la práctica es debido a que se busca obtener resultados que se apeguen a la realidad, pero sin impactar de ninguna manera a la línea de manufactura. Las razones de utilizar al simulador Promodel giran en torno a los parámetros de simulación que tiene, que nos permite modelar mucho detalle del comportamiento de la línea de manufactura, y con esto obtener resultados no muy lejos de la realidad, por otro lado el modulo de programación que tiene Promodel nos permitirá llevar la medición de todos los indicadores (directos e indirectos), permitiendo con esto el análisis del comportamiento de estos indicadores. Teniendo todo esto podremos emitir un juicio válido y recomendar con fundamentos una u otra tecnología de administración de inventarios.

Stat::Fit

Los tiempos estándar se determinarán utilizando el programa STAT::FIT, que es un programa adicional de soporte al Promodel. Tiene como datos de entrada las mediciones resultantes de

cronometrar el tiempo de proceso de todos y cada uno de los equipos, y con estos datos nos permite analizar las mediciones (muestras de cada uno de los equipos en lo individual), y ajustarlas a distribuciones de datos ya conocidas como lo son la distribución beta, la binomial, la erlang, la exponencial, Log-Logistic, etc... (solo por mencionar algunas). El StatFit tiene tres pruebas de bondad de ajuste que son la Ji-Cuadrada, prueba Kolmogorov-Smirnov y la Anderson-Darling; dentro de los parámetros configurables a estas pruebas de bondad de ajuste están el de Tipo de Intervalo, Precisión de Ajuste, Definición de la cota inferior, el nivel de significancia y el tipo de Estimación (Momentos ó “MLE” del inglés Maximum Likelihood Estimation), para esta investigación los parámetros fueron tomados acorde a los valores que vienen configurados por omisión en el programa. En las páginas siguientes se documentan los resultados que arrojó el StatFit según las muestras de los tiempos de proceso de cada uno de los equipos, y finalmente en el simulador PROMODEL, se ingresó la ecuación que arroja como resultado el Stat::Fit. Esta ecuación representa la distribución de probabilidad a la que se ajustaron los datos al 100% o a la que mejor se ajustaran, de acuerdo al ranking y a la aceptación que son los criterios con los que califica el StatFit, el ajuste de los datos con cada una de las distribuciones de probabilidad.

El Simulador PROMODEL será alimentado con los siguientes datos:

- Ruta del Proceso de Manufactura de la celda Fab1
- Tiempos Estándares, duración del Turno, Lote por estación, Cantidad de equipos
- Cantidad de WIP que alimentará la Celda de Mfra.

Ruta del Proceso

La ruta del proceso es aquella que sigue la pieza o wip, a ser procesada/transformada. Para el caso particular de la celda de manufactura de Fab1, la pieza que entra es un Quad (agrupación de rows), y al finalizar el proceso el Quad se verá transformado como una serie de rows pulidos y cortados de acuerdo a las características y especificaciones del cliente, para posteriormente enviarlos a la siguiente celda de manufactura para continuar con su procesamiento.

Viendo a detalle la celda de manufactura de Fab1, consta de 6 etapas, la primera se encarga de cargar o de colocar el Quad (wip) en un dispositivo o carrier que nos permita su manejo en y a través de los equipos. En seguida pasa por un equipo que le da un pulido especial a la pieza, pasando inmediatamente después a una estación de lavado y de inspección del pulido que se le hizo. Una vez pulida e inspeccionada la pieza, se procede a descargar la pieza del carrier y se lava para entonces ser llevarla a otro equipo que cortará el quad en 2 partes, quedando entonces el quad y el row (elemento que se cortó), por lo que el quad se regresa a la estación de carga, para seguir su proceso iterativo (hasta que ya no contenga rows) , y el row se pone en un contenedor, donde una vez reunidos en él 24 rows, se procede a sacarlo de la celda de manufactura Fab1 para continuar con su procesamiento. Ver la figura 1 para el detalle del flujo

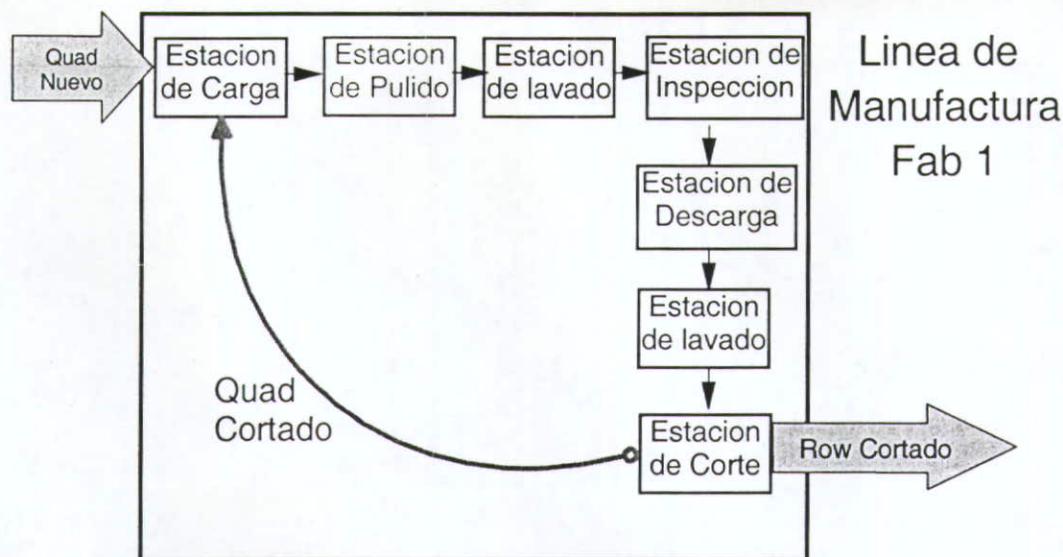


Figura 1: Diagrama a Bloques de la celda de Manufactura Fab 1

Parámetros Varios (Tiempos Estándares, duración del Turno, Lote por estación, Cantidad de equipo)

CAPACIDADES Para el Producto 1 por Turno de 8 hrs.

	Lote x Equipo	Tiempo Proceso Lote (mins)	Tiempo x turno Minutos	85% Tiempo Efectivo Disponble (min)	Equipos x Leg	Capacidad Pzas x Turno
Estacion de Carga	1	0.58	480	408	2	1407
Estacion de Pulido	4	23.00	480	408	10	710 Cuello de Botella
Estacion de Lavado	1	0.88	480	408	2	928
Estacion de Inspeccion	1	0.56	480	408	2	1457
Estacion de Descarga	1	0.59	480	408	2	1390
Estacion de Lavado	1	0.90	480	408	2	907
Estacion de Corte	1	2.46	480	408	6	995

Tabla 1. Tabla de capacidad de la Celda de manufactura

Nota: Aquí los parámetros van relacionadas directamente con el equipo, por lo que el tipo de producto o la familia de productos no afecta en nada a los parámetros aquí expuestos.

Tiempos Estándar

El tiempo estándar es una cuantificación del tiempo que le lleva a un operador y/o maquina desarrollar a satisfacción una operación. Estos tiempos nos sirven para determinar capacidades del equipo y/o del operador, el tiempo estándar considera condiciones de esfuerzo, condición, medio ambiente y fatiga, así como las tolerancias del equipo. El tiempo estándar es importante para las consideraciones de capacidad, cantidad de equipos, operadores y material en proceso que se necesitaría en una nueva celda de manufactura o en un nuevo proceso.

De acuerdo al Stat::Fit, los tiempos que se utilizarán son los siguientes:

ESTACIÓN	TIEMPO A UTILIZAR
CARGA ¹	LOG- LOGISTIC (0,4.86,0.62)
PULIDO ²	GAMMA (20,1.25,3.38)
LAVADO ³	LOGISTIC (0.173, 0.0259)
INSPECCIÓN ⁴	LOG-LOGISTIC (0, 4.99, 0.212)
DESCARGA ⁵	PEARSON 5 (0, 18.1, 3.33)
LAVADO ⁶	LOGISTIC (0.173, 0.259)
CORTE ⁷	LOG- LOGISTIC (1, 6.86, 1.11)

¹ Ver anexo en pag. 43

² Ver anexo en pag. 44

³ Ver anexo en pag. 45

⁴ Ver anexo en pag. 46

⁵ Ver anexo en pag. 47

⁶ Ver anexo en pag. 48

⁷ Ver anexo en pag. 49

CAPÍTULO 4 Resultados

Modelo de Simulación

En la figura 2 tenemos la imagen de la pantalla del promodel donde se muestra el lay out correspondiente a la celda de manufactura FAB1. Aquí se puede apreciar los indicadores como cantidad de wip (Materia Prima), la cantidad de dinero que representa (DOS), la tasa de salida (Thruput), el tiempo de ciclo puesto en minutos (Tiempo de Ciclo).

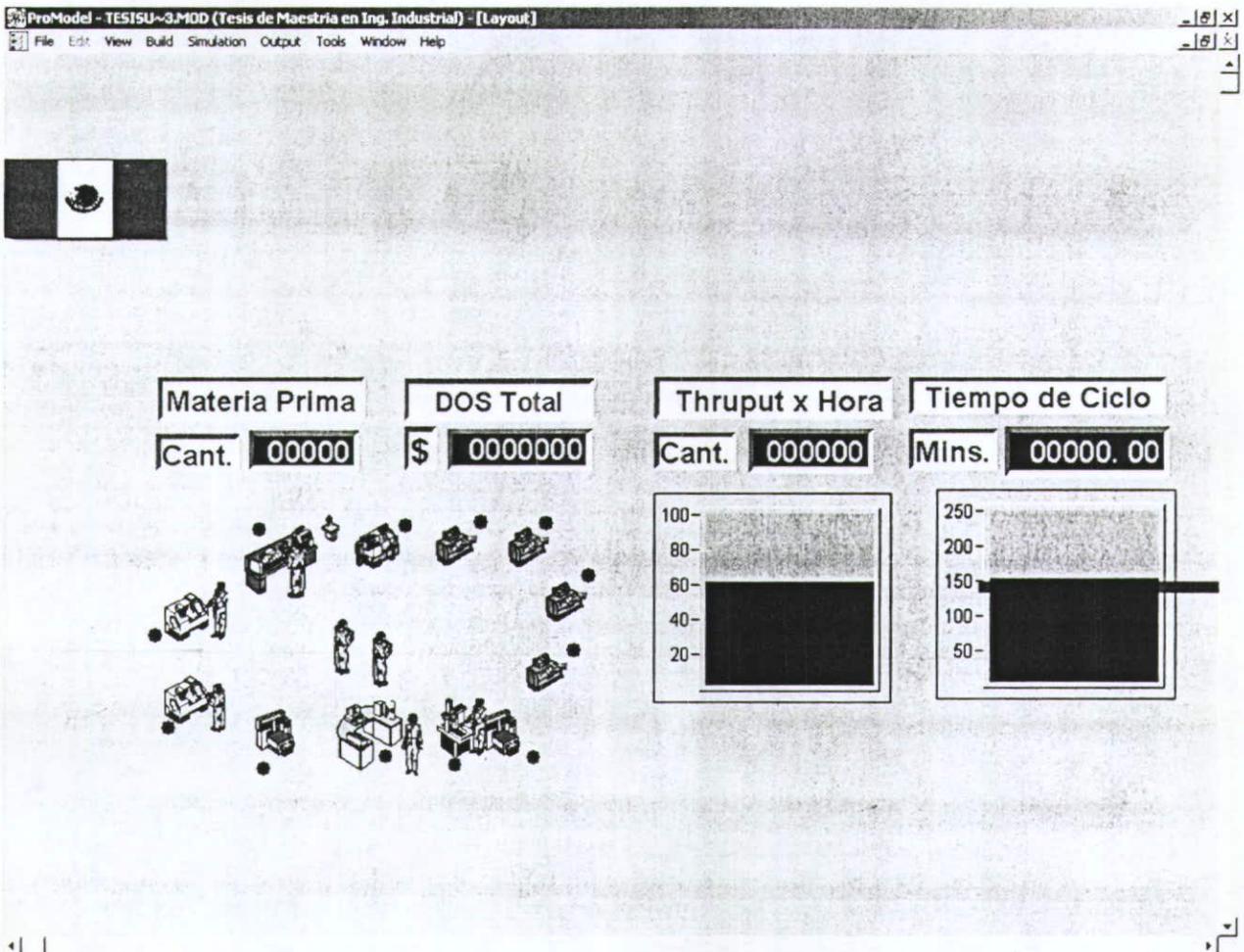


Figura 2: Pantalla del Promodel y de la celda de Manufactura

Medición de los Impactos directos e Indirectos, dentro del Modelo de Simulación

Promodel tiene la facilidad del manejo de variables, así como macros con las que se puede programar lógica específica, definida por el usuario. Dentro del modelo de simulación elaborado en Promodel, en la sección de VARIABLES, declaramos las siguientes:

Integer: Thruput	(Tasa de salida del material producido en la línea de manufactura)
Real: Cycle_Time	(Tiempo de ciclo promedio del wip en la línea de manufactura)
Real: DOS	(Días de abastecimiento)
Integer: Scrap	(Cantidad de wip que no está en especificaciones de tiempo de ciclo)

Dentro del modelo de simulación elaborado en Promodel, en la sección de MACROS, declaramos las siguientes:

Real: Costo_por_WIP	(Costo de cada pieza del wip en proceso)
Integer: Total_Inputs	(Wip Ingresado a la línea de manufactura)

Impactos Directos:

Thruput: Viene definido en Promodel como el TOTAL EXITS, en la pantalla de “General Report”, del programa Promodel Output.

CycleTime: Mediante el uso de LOGS en Promodel, se obtiene este resultado. En general el LOG lo que hace es tomar el “timestamp” del inicio de la línea de producción de cada una de las piezas en proceso, y lo compara con el “timestamp” de ese momento en un punto determinado. Para el modelo, nosotros colocamos el LOG al final de la línea de producción es decir en la locación “Sink de Slice”.

Impactos Indirectos:

Yield: Existe una cota superior de tiempo de ciclo de la línea de manufactura, definido por ingeniería de procesos, donde si se sobrepasa dicha cota, el material se corroe, causando con esto que la pieza sea scrap o sea el Wip que no se suma al TOTAL EXITS de Promodel. En Promodel lo que se hace es con una sentencia condicional, comparar el tiempo de ciclo de cada pieza que sale del sistema si ha rebasado la cota superior de tiempo de ciclo y si es afirmativo entonces se incrementa la variable Scrap.

Dado que la formula para calcular el yield se definió anteriormente como $Yield = WipI - Scrap$, entonces WipI viene a ser la macro "Total Inputs", a la que le restamos la variable Scrap.

DOS: Dado que fue definido anteriormente por la formula $(\$)DOS = Costo\ de\ (WipI) - Costo\ de\ (WipS)$, solo basta entonces multiplicar la variable Thruput por el macro Costo_Por_Wip, así como multiplicar a las macros Costo_Por_Wip por Total_Inputs.

Línea de Manufactura:

La figura 3 muestra la celda de manufactura donde se aprecian todos los equipos y el personal requerido para trabajarla. Son 5 maquinas pulidoras, las 2 maquinas cortadoras, la estación de carga y descarga, los lavabos y la estación de inspección. En cuanto personal tenemos una persona en la estación de carga y descarga, 2 personas que atienden las maquinas pulidoras, 1 persona por maquina cortadora y una persona que atiende la estación de pulido.

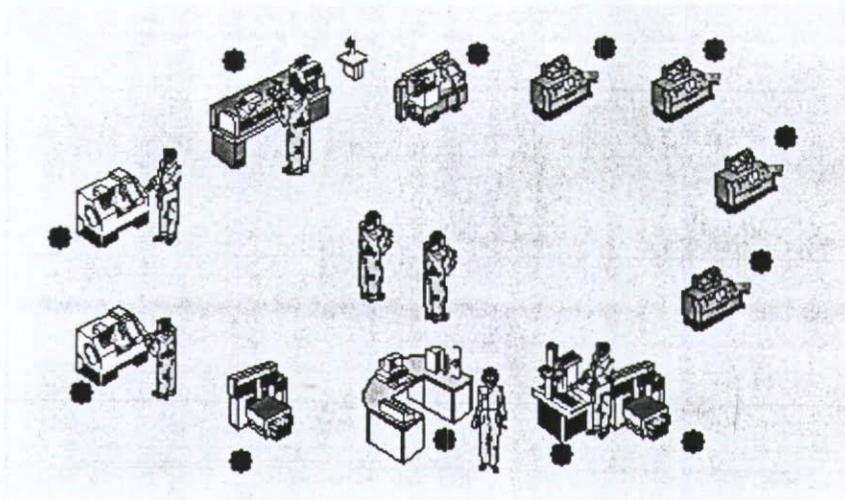


Figura 3: Celda de manufactura de Fab1.

Simulando JIT

Resultados de la Simulación basado en JIT

Simulación													
		Turnos 14 12 horas (1 week)											
		Setup time 2 hrs											
		Replicas 5											
	WIP	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	65	
Fmlo	Yield	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	98%	89%	76%	T Ciclo < 70.3 mins
min	Dos Final	\$12,514	\$19,120	\$23,639	\$30,244	\$36,849	\$44,845	\$53,536	\$62,227	\$70,918	\$79,609	\$96,991	
Acg	Cycle Time	40.14	41.11	37.55	39.52	43.65	50.53	57.45	64.88	71.78	78.82	93.08	Minutos
Avg	Thruput	16.00	24.00	32.00	38.00	43.00	44.00	43.00	43.00	43.00	44.00	43.00	Pzas x Hora
	Total Out	174.00	261.00	396.00	462.00	542.00	557.00	566.00	554.00	555.00	563.00	566.00	

Tabla 2: Parámetros de simulación y corrida de experimento de JIT en la Leg de Fab1

En la tabla 2 tenemos los parámetros de simulación así como los resultados de cada uno de los impactos directos e indirectos surgidos de los experimentos efectuados variando el nivel de WIP.

Parámetros de simulación: Duración del turno fue de 12 hrs. c/u, turnos simulados fueron 14 (equivalente a 1 semana), 5 réplicas por cada corrida experimental, tiempos de preparación (setup) de 2hrs.

La región coloreada de amarillo es la “región factible”, donde el criterio que lo define es que todos los valores de los impactos directos e indirectos sean óptimos (Wip de entrada mínimo, Yield es máximo, DOS_final es mínimo, el Cycle Time es mínimo y el Thruput es máximo). En la tabla se muestra el número **40** en negritas, esto nos indica que 40 (40 piezas de wip) es el número óptimo de quads con el que los impactos directos e indirectos toman su valor óptimo para JIT.

Simulando TOC

Resultados de la Simulación basado en TOC

Simulación													
		Turnos		14 12 horas		(1 week)							
		Replicas		5									
	WIP	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
	Yield	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	97%	88%	75%	T Ciclo < 70.3 mins
	Dos Final	\$12,514	\$18,841	\$23,778	\$30,244	\$36,710	\$44,845	\$53,536	\$62,366	\$70,916	\$78,609	\$86,891	
Fmle	Cycle Time	39.98	39.93	38.08	39.97	43.48	50.84	57.55	65.97	72.18	78.45	83.77	Minutos
Acg	Thruput	13.00	19.15	28.20	34.52	40.42	41.83	41.70	41.48	41.50	41.75	41.80	Pzas x Hora
Avg	Total Out	152.00	224.00	324.00	400.00	470.00	472.00	475.00	475.00	475.00	475.00	475.00	

Tabla 3: Parámetros de simulación y corrida de experimento de TOC en la Leg de FabI

En la tabla 3, tenemos los parámetros de simulación así como los resultados de cada uno de los impactos directos e indirectos surgidos de los experimentos efectuados variando el nivel de WIP para el modelo de simulación del TOC.

Parámetros de simulación: Duración del turno fue de 12 hrs. c/u, turnos simulados fueron 14 (equivalente a 1 semana), 5 réplicas por cada corrida experimental, tiempos de preparación (setup) de 2hrs. En la tabla se muestra el número **35** en negritas, esto nos indica que 35 (35 piezas de wip) es el número óptimo de quads con el que los impactos directos e indirectos toman su valor óptimo para TOC. La región coloreada de rojo es la "región no factible", donde todos los valores de los impactos directos e indirectos resultan inadecuados (Yield es Mínimo) y no deben ser tomados en cuenta para TOC.

Resultados de c/experimento (Matriz de Metodología V.S. Indicadores)

Tabla 4: Tabla comparativa y de calificaciones de JIT vs TOC aplicadas en la Leg de Fab1

Comparativo

WIP	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	65		
JIT Yield	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	98%	89%	76%	Ciclo < 70.3 mins
TOC Yield	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	97%	88%	75%	
JIT Dos Final	\$12,514	\$19,120	\$23,639	\$30,244	\$36,849	\$44,845	\$53,536	\$62,227	\$70,918	\$79,609	\$96,991		
TOC Dos Final	\$12,514	\$18,841	\$23,778	\$30,244	\$36,710	\$44,845	\$53,536	\$62,227	\$70,918	\$79,609	\$96,991		
JIT Cycle Time	40.14	41.11	37.55	39.52	43.65	50.53	57.45	64.86	71.78	78.82	93.08	Minutos	
TOC Cycle Time	39.98	39.93	38.08	39.97	43.48	50.84	57.55	64.86	71.78	78.82	93.08		
JIT Thruput	16.00	24.00	32.00	38.00	43.00	44.00	43.00	43.00	43.00	44.00	43.00	Pzas x Hora	
TOC Thruput	13.00	19.15	28.20	34.52	40.42	41.83	41.70	41.48	41.50	41.73	41.80		
JIT Total Out	174.00	261.00	396.00	462.00	542.00	557.00	566.00	554.00	555.00	563.00	566.00		
TOC Total Out	152.00	224.00	324.00	400.00	470.00	472.00	475.00	475.00	474.00	475.00	474.00		

Region OPTIMA

	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	65
Yield	---	---	---	---	---	---	---	---	JIT	JIT	JIT
DOS	---	TOC	JIT	---	TOC	---	---	JIT	---	---	---
Cycle	TOC	TOC	JIT	JIT	TOC	JIT	JIT	JIT	JIT	JIT	JIT
Thruput	JIT										
OUTPUT	JIT										
	TOC		JIT		TOC		JIT			JIT	

Recomendacion

JIT se adecua de mejor manera a la Linea en cuestion

En la tabla 4 tenemos en primer plano (de arriba hacia abajo) una matriz comparando los resultados obtenidos de los experimentos efectuados tanto con el modelo de simulación TOC como el de JIT, para tener un plano común y poderlos comparar de una manera justa y válida basándonos en la resultante de los impactos directos e indirectos.

De igual manera en la tabla 4 tenemos en segundo plano un "score card" (tarjeta de calificaciones) donde se pone la calificación para cada uno de los impactos (yield, dos, cycle time, throughput, total output) así como para cada una de las corridas experimentales donde se cambia el wip (10, 15, ..., 65) cuál de las metodologías es mejor de acuerdo a los resultados de los impactos directos e indirectos.

CONCLUSIONES

El uso de un simulador de eventos discretos como promodel fue de mucha utilidad para modelar la celda de manufactura y dentro de esta visualizar su comportamiento con la administración de wip usando tanto el JIT como el TOC, además el promodel nos permitió visualizar el valor de los impactos directos e indirectos ayudando con esto a tomar la decisión de decidir que metodología le acomoda mejor a la celda de manufactura.

Las lecciones aprendidas que nos deja la investigación son el hecho de haber modelado metodologías de control de inventario en Promodel, también el visualizar los impactos indirectos que no es muy común que se visualicen utilizando las herramientas de simulación; por lo general tenemos la tendencia de apreciar lo más obvio y que salta a la vista como lo son los impactos directos. El utilizar la matriz comparativa (tabla 4) entre los resultados obtenidos con TOC y JIT fue una herramienta excelente para tener visualmente las bondades de una y otra metodología y así entonces poder decidir cuál es mejor usando la misma base de comparación.

Modelar las metodologías de control de wip (JIT y TOC) fue un buen reto, y mejor aún el promodel contuvo todos los elementos para poderlo realizar de una manera que se apegara estrictamente a la definición tanto de uno como del otro. El comportamiento de los impactos directos e indirectos fue parejo y fue notable el encontrar un desempeño mejor en el JIT, por lo que la Recomendación Final es que se implemente la metodología JIT en la celda de manufactura de IBM conocida como Fab1, basándonos en los resultados mostrados en el score card de la

Tabla

4.

BIBLIOGRAFÍA

Libros:

Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management.
Wallace J. Hopp and Mark L. Spearman

Ligas de Internet:

<http://www.promodel.com.mx/Promodel.htm>

<http://www.ciras.iastate.edu/toc/index.html>

<http://www.eas.asu.edu/~cse566/toc1.htm>

<http://www.ciras.iastate.edu/toc/ChainAnalogy.htm>

<http://www.rogo.com/cac/index.html>

<http://www.ciras.iastate.edu/toc/ProcessOfOngoingImprovement.htm>

<http://www.ciras.iastate.edu/toc/ChainAnalogy.htm>

<http://www.ciras.iastate.edu/toc/WhatIsTOC.htm>

<http://www.lcsc.edu/mt380/sessions/slides/ChapterFifteen/sld003.htm>

http://www.soce.org/papers/dma-agile/agile_prod_dev.htm

http://www.sme.org/cgi-bin/get-file.pl?/leanmanufacturing/lean_gateway_page.htm

<http://www.ashland.edu/~rjacobs/m503jit.html>

http://www.tpfeurope.com/EN_JITinfo.html

http://www.strategosinc.com/just_in_time.htm

<http://www.peopletalkonline.com/en/new/peopletalk/jun2000/news/DeadCapital.html>

http://www.syn-dyn.com/cycle_time_reduction.htm

<http://www.lionhrtpub.com/ee/ee-fall98/qanda.html>

<http://www.goldratt.com/toctquarterly/august2002.htm>

<http://www.goldratt.com/toctquarterly/june2001.htm>

GLOSARIO

WIP: Se define como el material con el que se trabaja en la línea de Manufactura

TOC: Viene del Inglés Theory Of Constraints, que significa Teoría de Restricciones

JIT: Viene del Inglés Just In Time, que significa Justo a Tiempo

PROMODEL: El nombre del Simulador utilizado para determinar los resultados expuestas en este Tesis; el simulador es una herramienta que se utiliza para modelar procesos de manufactura ya sean estos continuos o discretos. La palabra es un acrónimo que viene del Inglés PROcess MODEling, que significa Modelado de Procesos.

StatFit: Es un elemento del programa Promodel que se utiliza para ajustar a curvas de probabilidad los datos de tiempos estándar de los equipos

Throughput: Se le llama así a la tasa de salida de una máquina o celda de manufactura.

ANEXOS

ANEXO1

Estación de Carga: Se tomaron 120 muestras de tiempos, y con el software de ajuste de curvas probabilísticas se obtuvieron los siguientes estadísticos descriptivos, y el siguiente ajuste de curva que es a una función Log-Logística.

Figura 4: Ajuste de curva de los tiempos estándar de la estación de carga.

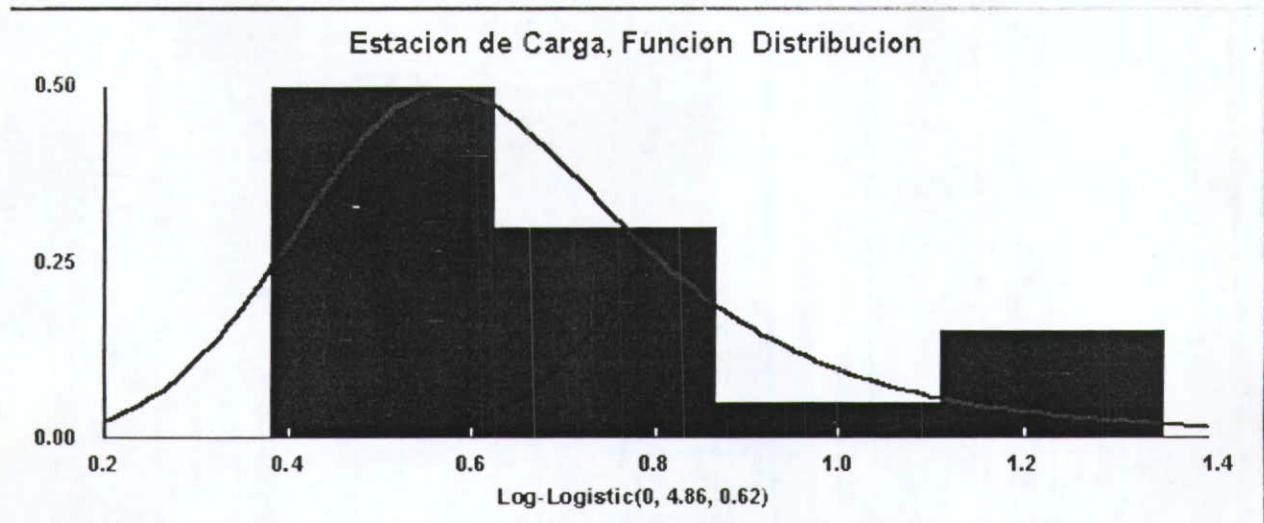


Figura 5: Estadísticos descriptivos de los tiempos estándar de la Estación de Carga

descriptive statistics

minimum	0.38
maximum	1.35
mean	0.6935
median	0.6
mode	0.5
standard deviation	0.294391
variance	0.0866661
coefficient of variation	42.45
skewness	1.16757
kurtosis	0.0518895

ANEXO2

Estación de Pulido: Se tomaron 120 muestras de tiempos, y con el software de ajuste de curvas probabilísticas se obtuvieron los siguientes estadísticos descriptivos, y el siguiente ajuste de curva que es a una función Gamma.

Figura 6: Ajuste de curva de los tiempos estándar de la estación de pulido.

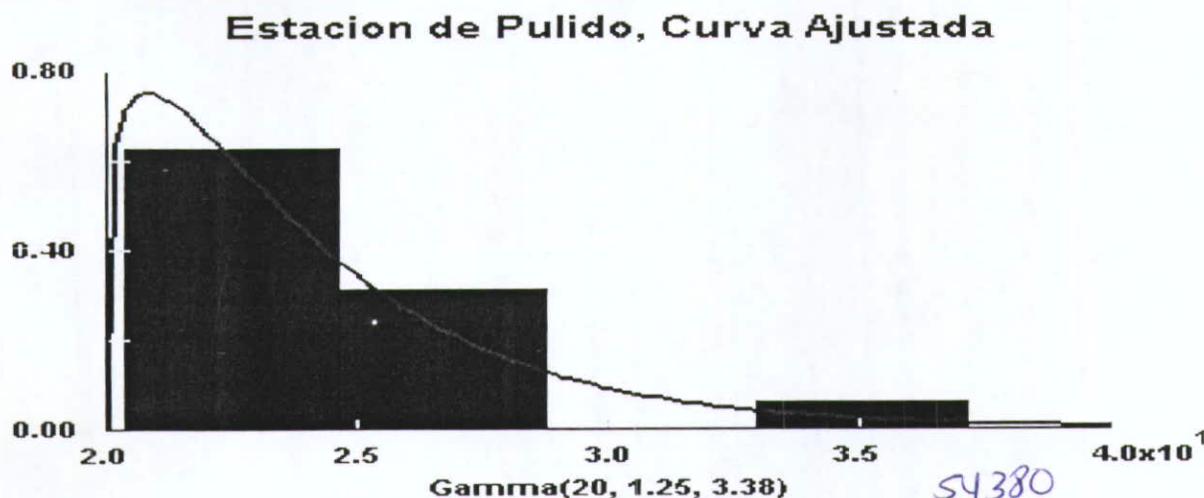


Figura 7: Estadísticos descriptivos de los tiempos estándar de la Estación de Pulido

descriptive statistics

minimum	20.3833
maximum	37.133
mean	24.2207
median	22.815
mode	20.3833
standard deviation	4.26586
variance	18.1975
coefficient of variation	17.6125
skewness	1.65428
kurtosis	2.45752

ANEXO3

Estación de Lavado: Se tomaron 120 muestras de tiempos, y con el software de ajuste de curvas probabilísticas se obtuvieron los siguientes estadísticos descriptivos, y el siguiente ajuste de curva que es a una función Logística.

Figura 8: Ajuste de curva de los tiempos estándar de la estación de Lavado.

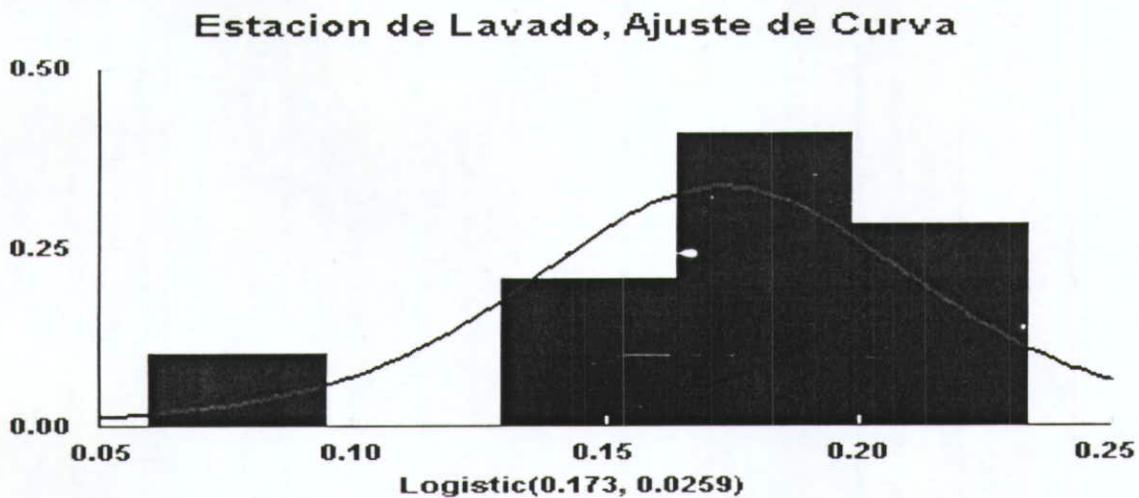


Figura 9: Estadísticos descriptivos de los tiempos estándar de la Estación de Lavado

descriptive statistics

minimum	0.06
maximum	0.233
mean	0.170805
median	0.166
mode	0.166
standard deviation	0.0483714
variance	0.00233979
coefficient of variation	28.3196
skewness	-0.779264
kurtosis	0.404539

ANEXO 4

Estación de Inspección: Se tomaron 120 muestras de tiempos, y con el software de ajuste de curvas probabilísticas se obtuvieron los siguientes estadísticos descriptivos, y el siguiente ajuste de curva que es a una función Log-Logística.

Figura 10: Ajuste de curva de los tiempos estándar de la estación de Inspección.

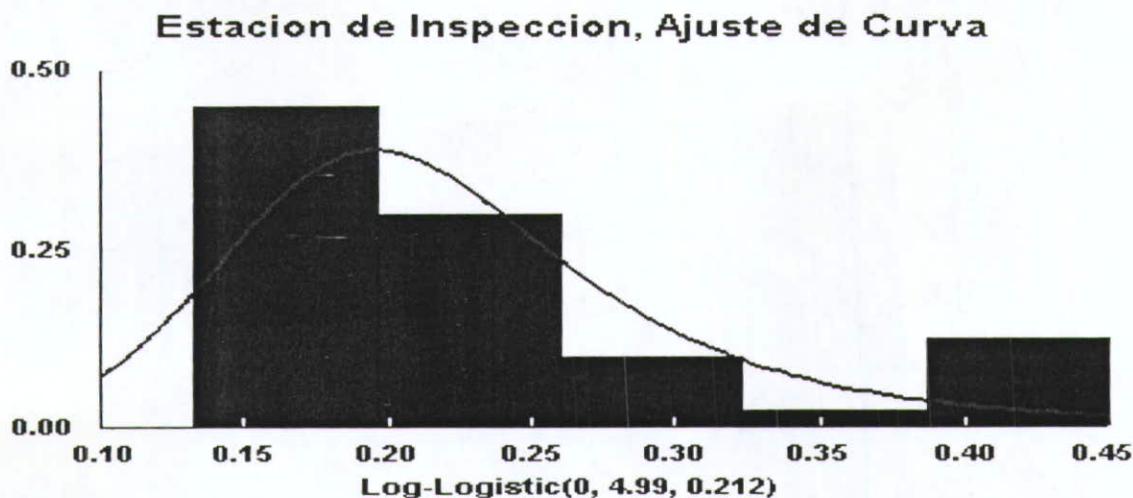


Figura 11: Estadísticos descriptivos de los tiempos estándar de la Estación de Inspección

descriptive statistics

minimum	0.133
maximum	0.45
mean	0.235175
median	0.2
mode	0.1745
standard deviation	0.0959348
variance	0.00920348
coefficient of variation	40.7929
skewness	1.2538
kurtosis	0.435065

ANEXO 5

Estación de Descarga: Se tomaron 120 muestras de tiempos, y con el software de ajuste de curvas probabilísticas se obtuvieron los siguientes estadísticos descriptivos, y el siguiente ajuste de curva que es a una función Pearson 5 .

Figura 12: Ajuste de curva de los tiempos estándar de la estación de Descarga.

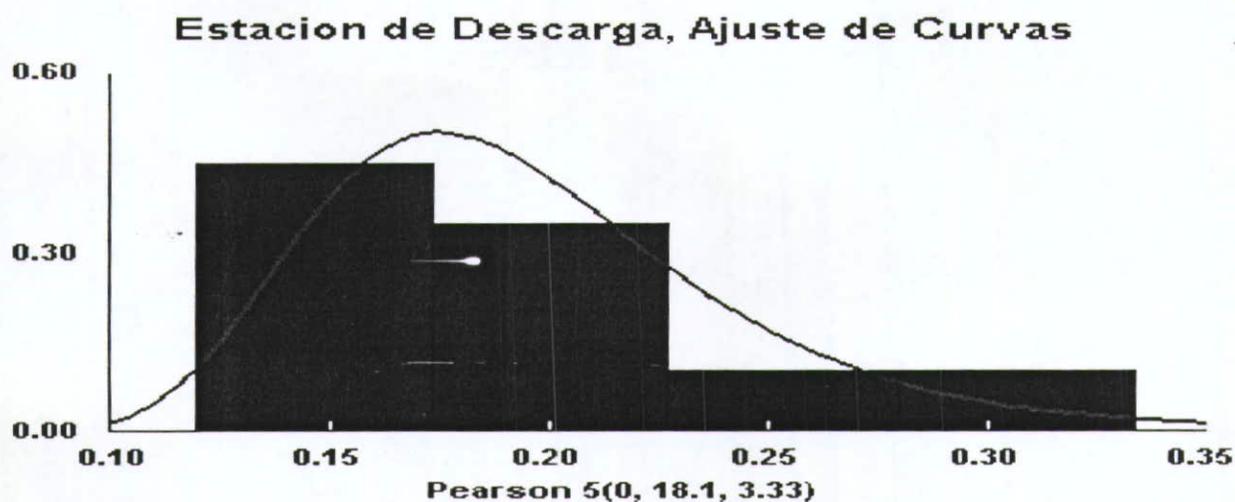


Figura 13: Estadísticos descriptivos de los tiempos estándar de la Estación de Descarga

descriptive statistics

minimum	0.12
maximum	0.333
mean	0.19575
median	0.183
mode	0.158
standard deviation	0.0527366
variance	0.00278114
coefficient of variation	26.9408
skewness	1.08703
kurtosis	0.493957

ANEXO 6

Estación de Lavado: Se tomaron 120 muestras de tiempos, y con el software de ajuste de curvas probabilísticas se obtuvieron los siguientes estadísticos descriptivos, y el siguiente ajuste de curva que es a una función Logística.

Figura 14: Ajuste de curva de los tiempos estándar de la estación de Lavado.

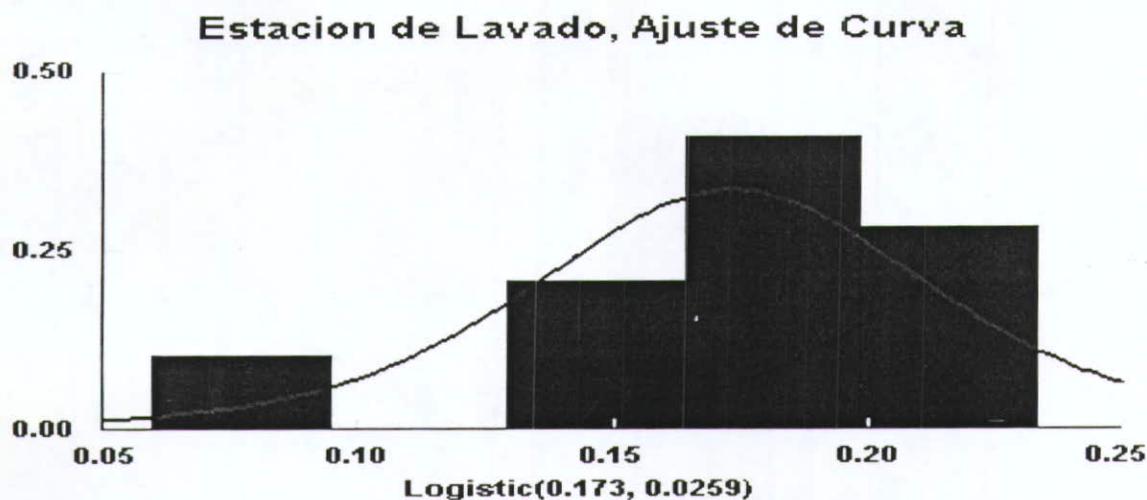


Figura 15: Estadísticos descriptivos de los tiempos estándar de la Estación de Lavado

descriptive statistics

minimum	0.06
maximum	0.233
mean	0.170805
median	0.166
mode	0.166
standard deviation	0.0483714
variance	0.00233979
coefficient of variation	28.3196
skewness	-0.779264
kurtosis	0.404539

ANEXO 7

Estación de Corte: Se tomaron 120 muestras de tiempos, y con el software de ajuste de curvas probabilísticas se obtuvieron los siguientes estadísticos descriptivos, y el siguiente ajuste de curva que es a una función Log-Logística.

Figura 16: Ajuste de curva de los tiempos estándar de la estación de Corte.

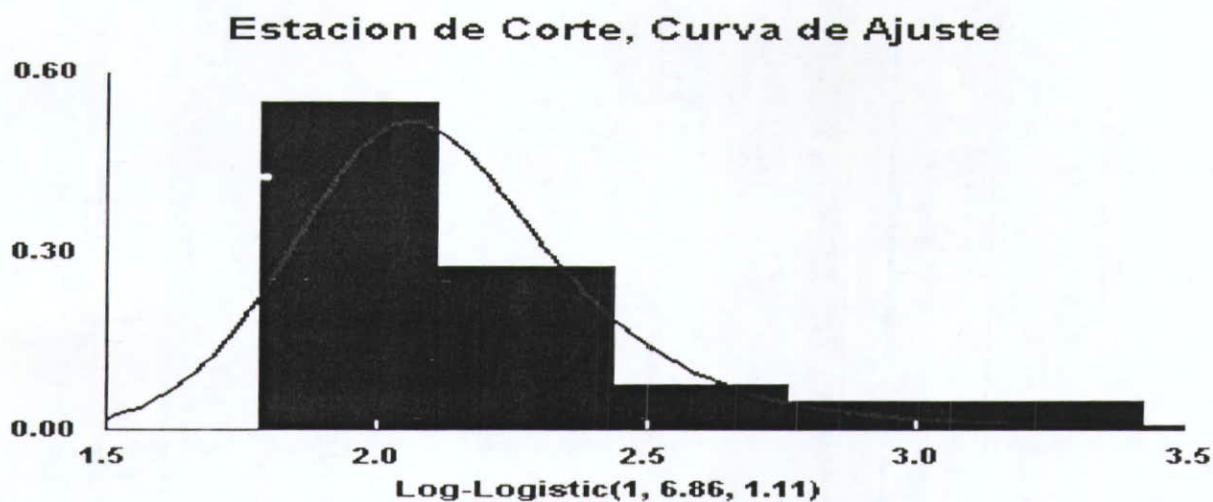


Figura 17: Estadísticos descriptivos de los tiempos estándar de la Estación de Corte

descriptive statistics

minimum	1.78333
maximum	3.41667
mean	2.19
median	2.09167
mode	1.98333
standard deviation	0.387828
variance	0.15041
coefficient of variation	17.709
skewness	1.71587
kurtosis	2.47852

