



## **ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

### **Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

“Evaluación y Planteamiento de Mejoras del Proceso de  
Manufactura de Jeans de una Empresa Local Dedicada a la  
Confección de Ropa Sport Mediante un Modelo de Simulación en  
WITNESS”

### **TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del título de:

### **INGENIERO INDUSTRIAL**

Presentado por:

**Oscar Luis Arias Muñoz**

Guayaquil – Ecuador

Año: 2009

# AGRADECIMIENTO

A Dios por sus bendiciones a lo largo de mi vida, a mis padres y a mi hermana por su ejemplo y su constante e incondicional apoyo, a todos los profesores de la carrera por su paciencia y su intelecto, y así mismo a todos mis verdaderos amigos, en especial a Carito y Julio, por estar siempre conmigo.

# DEDICATORIA

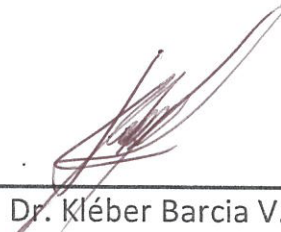
A mis padres,  
Oscar y Alina, y  
a mi hermana,  
Lourdes.

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



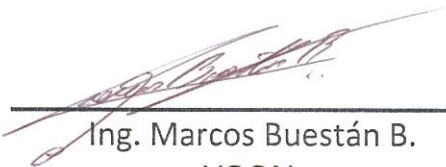
---

Ing. Francisco Andrade S.  
DECANO FIMCP  
VOCAL-PRESIDENTE



---

Dr. Kléber Barcia V.  
DIRECTOR DE TESIS



---

Ing. Marcos Buestán B.  
VOCAL



---

Ing. Denise Rodríguez Z.  
VOCAL



CIB -ESPOL

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



**CIB - ESPOL**

A handwritten signature in black ink, reading "Oscar Luis Arias Muñoz", is written over a horizontal line.

**Oscar Luis Arias Muñoz**

## RESUMEN

El presente trabajo de tesis está basado en el estudio del proceso de manufactura de Jeans de hombre y mujer con bolsillos falsos o con forro de una importante empresa textil nacional, X&Y Jeans, que cuenta con su planta en nuestra ciudad de Guayaquil. Actualmente esta línea de producción tiene un tiempo de ciclo de aproximadamente 15 minutos por prenda. En este estudio se persiguió la mejora de la productividad de la línea, con el fin de lograr una mayor producción y un mejor flujo de la línea de confección, para últimamente obtener una mayor participación del mercado.

Se aplicaron diversas herramientas en este estudio, utilizando como objeto principal la Simulación por computadora. Los modelos de simulación fueron complementados con estudios estadísticos utilizando como Estadístico de Prueba principal al Estadístico T de "Student".

El levantamiento de la información, el proceso y la recolección de los datos iniciales se realizó mediante observaciones presenciales del proceso, utilizando toma de tiempo manual y mediante grabación de la producción en video. Los datos iniciales recolectados fueron validados estadísticamente, realizando ajustes y tomas adicionales en los datos que fueron necesarios. Con estos datos complementarios se realizó el compendio de información del proceso integral y se procedió a la realización del modelo de simulación inicial.

Posterior a las pruebas pertinentes del modelo inicial se visualizaron oportunidades de mejora para el proceso. Con esto se propusieron dos alternativas para incrementar la productividad de la línea, las mismas que fueron implementadas en modelos de simulación diferentes llamados por la rotulación de las mejoras, Mejora A y Mejora B. Una vez que los modelos fueron realizados se continuó con la experimentación final, obteniendo datos positivos, corroborando la hipótesis inicial del proyecto, logrando conseguir el objetivo principal del estudio.

El trabajo de tesis se complementó con un estudio Costo-Beneficio, con el cual fue posible apreciar en cifras lo significativo de las mejoras, en no solo haber aumentado la producción al doble, sino en generando así un retorno de la inversión de más del 200% en el primer mes.


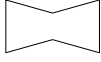





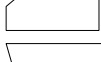
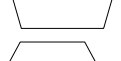













Con el compendio de los estudios realizados en este trabajo, y con los resultados obtenidos, positivos y muy satisfactorios, se logró cumplir con el objetivo de la tesis, incrementar la productividad de la línea de manufactura de jeans de hombre y de mujer a través de propuestas de mejora obtenidas mediante el estudio del proceso utilizando como herramienta fundamental la simulación por computadora.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	IX
SIMBOLOGÍA .....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS .....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1 .....	3
1.1 Antecedentes de la Empresa .....	3
1.2 Antecedentes del Proyecto.....	5
1.3 El Problema.....	6
1.4 Objetivos.....	8
1.4.1 Objetivo General.....	8
1.4.2 Objetivos Específicos .....	9
1.5 Metodología de la Tesis .....	10
CAPÍTULO 2 .....	13
2.1 Herramientas Aplicadas al Estudio .....	13
2.1.1 Técnicas de Muestreo.....	13
2.1.2 Pruebas de Hipótesis .....	16
2.1.3 Pruebas de Normalidad .....	18
2.2 Sistema de Simulación WITNESS.....	19
CAPÍTULO 3 .....	23
3.1 Levantamiento del Proceso .....	23
3.1.1 Actividades Individuales .....	23
3.1.2 Subprocesos.....	26
3.1.3 Mano de Obra.....	32
3.2 Levantamiento de Datos.....	38
3.2.1 Recolección de Datos Primarios .....	38
3.2.2 Análisis Estadístico.....	41
3.2.2.1 Pruebas de Normalidad .....	41

3.2.2.2 Cálculo del Tamaño de Muestra .....	41
3.2.3 Recolección de Datos Complementarios .....	46
3.2.3.1 Determinación de Tiempos Medios de Proceso .....	46
3.2.3.2 Pruebas de Hipótesis .....	46
3.3 Realización del Modelo de Simulación .....	51
3.3.1 Experimentación Inicial .....	51
3.3.2 Pruebas de Hipótesis .....	77
CAPÍTULO 4 .....	83
4.1 Presentación de Oportunidades de Mejora.....	83
4.1.1 Resultados de la Simulación Inicial .....	83
4.1.2 Enfoque específico de la Mejora .....	87
4.2 Ajuste del Modelo de Simulación .....	94
4.2.1 Experimentación Final .....	101
CAPÍTULO 5 .....	109
5.1 Presentación de Resultados.....	109
5.2 Estudio Costo/Beneficio.....	121
CAPÍTULO 6 .....	125
6.1 Conclusiones del Estudio .....	125
6.2 Recomendaciones.....	126
APÉNDICES .....	128
BIBLIOGRAFÍA .....	149

# SIMBOLOGÍA

	Cartera
	Pretina
	Bocado
	Piernas Delanteras
	Cierre
	Bolsillo con Forro
	Relojero
	Presillas
	Pierna Delantera Izquierda
	Bolsillos Traseros
	Jean de Hombre
	Atracado
	Pierna Delantera Derecha
	Bolsillo Falso
	Jean de Mujer
	Puntas
	Mandil
	Ventaja y Piernas Traseras
	Ojal
	Etiquetado de Pretina
	Etiquetado de Ventaja
	Entrepierna
	Corte de Hilos

Minutos	Tiempo Acumulado
<b>Minutos</b>	Tiempo Acumulado de Jeans con Bolsillos Falsos
<u>Minutos</u>	Tiempo Acumulado de Jeans con Bolsillos con Forro
<b>Minutos</b>	Tiempo Acumulado de Jeans con Bolsillos Falsos con Cerrado de Entrepierna con Overlock
<u>Minutos</u>	Tiempo Acumulado de Jeans con Bolsillos Falsos con Cerrado de Entrepierna con Cerradora Tipo Caballo
<u>Minutos</u>	Tiempo Acumulado de Jeans con Bolsillos con Forro con Cerrado de Entrepierna con Overlock
<u>Minutos</u>	Tiempo Acumulado de Jeans con Bolsillos con Forro con Cerrado de Entrepierna con Cerradora Tipo Caballo
<b>Minutos</b>	Jean de Hombre
<b>Minutos</b>	Jean de Mujer

— · — · — · →	Camino que toman los Jeans con Bolsillos Falsos
····· →	Camino que toman los Jeans con Bolsillos con Forro
————→	Camino común de los Jeans

MP	Materia Prima
PR	Proceso
PP	Producto en Proceso
TB	Trabajador
BU	Buffer
AT	Atributo
VA	Variable
MQ	Máquinas
DI	Delantera Izquierda
DD	Delantera Derecha

Min	Minutos
C	Porcentaje de Tiempo Ocupado
I	Porcentaje de Tiempo Inactivo
B	Porcentaje de Tiempo Bloqueado
W	Porcentaje de Tiempo en Espera
O	Cantidad de Operaciones Realizadas
C.A.	Cantidad de Unidades Acumulada
U.P.	Unidades Producidas
T.T.	Tiempo Trabajando
T.C.	Tiempo de Ciclo por cada 100 unidades
T.E.	Tiempo Efectivo Diario
PD	Producción Diaria
PA	Producción Acumulada
MD	Porcentaje de Mejora Diaria
PT	Producción Total

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1: ACUMULACIÓN DEL PRODUCTO EN PROCESO .....	7
FIGURA 1.2: TRANSPORTE DE MATERIAL .....	7
FIGURA 1.3: METODOLOGÍA DE LA TESIS .....	10
FIGURA 1.4: METODOLOGÍA DE LA TESIS (CONTINUACIÓN).....	11
FIGURA 2.1: CAPTURA DE PANTALLA DEL PROGRAMA DE BONDAD DE AJUSTE STAT::FIT .....	19
FIGURA 2.2: CAPTURA DE PANTALLA DEL PROGRAMA DE SIMULACIÓN WITNESS 2008. ....	20
FIGURA 3.1: CAPTURA DE IMAGEN DE UN VIDEO DE TOMA GENERAL DEL ÁREA DE MANUFACTURA.....	23
FIGURA 3.2: CAPTURA DE IMAGEN DE UN VIDEO DE TOMA GENERAL DEL ÁREA DE MANUFACTURA.....	25
FIGURA 3.3: DIAGRAMA DE PROCESO DE LA SECCIÓN # 1 DE LA MANUFACTURA DE JEANS.....	28
FIGURA 3.4: DIAGRAMA DE PROCESO DE LA SECCIÓN # 2 DE LA MANUFACTURA DE JEANS.....	29
FIGURA 3.5: DIAGRAMA DE PROCESO DE LA SECCIÓN # 3 DE LA MANUFACTURA DE JEANS.....	32
FIGURA 3.6: ATRACADORA.....	35
FIGURA 3.7: OJALADORA.....	35
FIGURA 3.8: RECTA .....	37
FIGURA 3.9: OVERLOCK .....	37
FIGURA 3.10: GRÁFICO DE BARRAS DE LOS DATOS RECOLECTADOS DEL PROCESO # 1 CON CURVA NORMAL.....	48
FIGURA 3.11: CAPTURA DE PANTALLA DE LA SIMULACIÓN REALIZADA	56
FIGURA 3.12: CAPTURA DE PANTALLA DEL ARTIFICIO DENOMINADO "ALIMENTADOR" .....	61
FIGURA 3.13: EL "ALIMENTADOR" SIN LA EL RECUADRO COBERTOR. ...	62

FIGURA 3.14: CAPTURA DEL RECUADRO DE DETALLES DE MÁQUINA ...	63
FIGURA 3.15: CAPTURA DE PANTALLA DE LA ESTACIÓN DE TRABAJO DEL OPERARIO 27 .....	67
FIGURA 3.16: GRAFICO DE ANÁLISIS DE PORCENTAJE DE OPERACIÓN ..	73
FIGURA 3.17: GRÁFICO DE LAS MEDIAS ACUMULADAS .....	76
FIGURA 4.1: DIAGRAMA DE PROCESO DE LA SECCIÓN # 2 CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LA MEJORA A .....	89
FIGURA 4.2: DIAGRAMA DE PROCESO DE LA SECCIÓN # 3 CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LA MEJORA A .....	90
FIGURA 4.3: DIAGRAMA DE PROCESO DE LA SECCIÓN # 2 CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LA MEJORA B .....	92
FIGURA 4.4: DIAGRAMA DE PROCESO DE LA SECCIÓN # 3 CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LA MEJORA B .....	93
FIGURA 4.5: CAPTURA DE IMAGEN DE LA MEJORA A – 1.....	94
FIGURA 4.6: CAPTURA DE IMAGEN DE LA MEJORA A – 2.....	95
FIGURA 4.7: CAPTURA DE IMAGEN DE LA MEJORA A – 3.....	95
FIGURA 4.8: CAPTURA DE IMAGEN DE LA MEJORA A – 4.....	96
FIGURA 4.9: CAPTURA DE IMAGEN DE LA MEJORA A – 5.....	96
FIGURA 4.10: CAPTURA DE IMAGEN DE LA MEJORA A – 6.....	97
FIGURA 4.11: LAYOUT COMPLETO DE LA MEJORA A .....	97
FIGURA 4.12: CAPTURA DE IMAGEN DE LA MEJORA B – 1.....	98
FIGURA 4.13: CAPTURA DE IMAGEN DE LA MEJORA B – 2.....	98
FIGURA 4.14: CAPTURA DE IMAGEN DE LA MEJORA B – 3.....	99
FIGURA 4.15: CAPTURA DE IMAGEN DE LA MEJORA B – 4.....	99
FIGURA 4.16: CAPTURA DE IMAGEN DE LA MEJORA B – 5.....	100
FIGURA 4.17: LAYOUT COMPLETO DE LA MEJORA B.....	100
FIGURA 5.1: ANÁLISIS DE UNIDADES PRODUCIDAS - PRODUCCIÓN ACUMULADA.....	115
FIGURA 5.2: INTERVALO DE CONFIANZA DE LA MEDIA DE PRODUCCIÓN DIARIA DEL MODELO INICIAL .....	117

FIGURA 5.3: INTERVALO DE CONFIANZA DE LA MEDIA DE PRODUCCIÓN DIARIA DEL MODELO MEJORADO .....	117
FIGURA 5.4: INTERVALO DE CONFIANZA DE LA MEDIA DE PRODUCCIÓN DIARIA DEL MODELO MEJORADO 2 .....	117

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Procesos que intervienen en la manufactura de jeans.....	27
Tabla 2: Distribución de trabajadores por PRoceso .....	33
Tabla 3: Tiempos obtenidos en la recolección inicial de datos .....	40
Tabla 4: Cálculo del tamaño de muestra por PRoceso .....	44
Tabla 5: Tiempos de PRocesos incluyendo datos complementarios.....	45
Tabla 6: Tiempos recolectados del PRoceso # 1.....	47
Tabla 7: Resultados de las PRuebas de bondad de ajuste (normalidad)	50
Tabla 8: Tiempo de set-up.....	51
Tabla 9: Demoras .....	54
Tabla 10: Elementos de la simulación: partes .....	55
Tabla 11: Elementos de la simulación: atributos.....	56
Tabla 12: Elementos de la simulación: variables.....	57
Tabla 13: Elementos de la simulación: buffers.....	58
Tabla 14: Elementos de la simulación: horario .....	59
Tabla 15: Análisis de Porcentaje de ocupación .....	73
Tabla 16: Resultados de las corridas iniciales.....	75
Tabla 17: Resultados de 20 días de simulación de PR11 y PR24 .....	78
Tabla 18: Análisis de 28 días de simulación de PR24 en MQ23.....	78
Tabla 19: Tabla de comparación de número de réplicas.....	82
Tabla 20: Porcentaje de ocupación diario de maquinas.....	83
Tabla 21: Análisis de los Porcentajes de ocupación .....	84
Tabla 22: Porcentaje de ocupación diario de trabajadores.....	85
Tabla 23: Análisis de los Porcentajes de ocupación de los trabajadores	85
Tabla 24: Resultados de 20 días de simulación de PR22 .....	86
Tabla 25: Porcentaje de ocupación diario de maquinas - Mejora A.....	101
Tabla 26: Análisis del Porcentaje de ocupación diario de maquinas - Mejora A.....	102
Tabla 27: Porcentaje de ocupación diario de trabajadores - Mejora A	103

Tabla 28: Análisis del Porcentaje de ocupación diario de trabajadores - Mejora A.....	104
Tabla 29: Porcentaje de ocupación diario de maquinas - Mejora B.....	105
Tabla 30: Análisis del Porcentaje de ocupación diario de maquinas - Mejora B.....	106
Tabla 31: Porcentaje de ocupación diario de trabajadores - Mejora B	107
Tabla 32: Análisis de Porcentaje de ocupación diario de trabajadores - Mejora B.....	107
Tabla 33: Mejora A - seguimiento de PR11 y PR24.....	110
Tabla 34: Mejora B - seguimiento de PR11 y PR24.....	111
Tabla 35: Resumen de Resultados Mejora A y Mejora B.....	111
Tabla 36: Número de replicas a realizar .....	112
Tabla 37: Resultados de PROducción diarios de los tres modelos de simulación .....	113
Tabla 38: Resumen de Resultados.....	116
Tabla 40: Análisis del resumen de Resultados.....	120
Tabla 41: Análisis de utilidad del PRimer mes de PROducción con la Mejora A.....	122
Tabla 42: Análisis de utilidad del PRimer mes de PROducción con la Mejora B.....	123

# INTRODUCCIÓN

En el 2004, los Jeans en la industria textil representaron casi 50 millones de dólares en el mercado de ropa, con una producción mensual de más de 200 mil pares de jeans.

En el presente X&Y Jeans produce aproximadamente 10 mil unidades al mes, que representa apenas un 5% del mercado de confección de este producto específicamente.

Este trabajo de tesis está claramente enfocado en mejorar el presente proceso productivo de X&Y Jeans<sup>1</sup> con el fin de aumentar su capacidad productiva, que en consecuencia le permitiría competir por una mayor participación del mercado.

La empresa ha demostrado un crecimiento anual del 5%, según sus datos históricos, apuntando siempre a la mejora continua.

X&Y Jeans confecciona ropa utilizando la tela jean y es tema de este trabajo de tesis exclusivamente el proceso productivo de los pantalones

---

<sup>1</sup> X&Y Jeans: Se decidió cambiar el nombre de la empresa por efectos del trabajo de tesis.

para hombre y mujer, con bolsillos falsos o con forro, que representan la línea principal y más popular entre sus productos. A continuación se detallará el proceso unificado<sup>2</sup> de la confección de esta línea de productos, en el que se realizará el estudio pertinente y se obtendrán las propuestas de mejora que llevarán a la empresa a competir con mayor fuerza en un mercado siempre creciente.

---

<sup>2</sup> Proceso Unificado: Se agruparon actividades para centrarse en un estudio dedicado a los puestos de trabajos, y no de actividades individuales realizadas.

# CAPÍTULO 1

## 1.1 Antecedentes de la Empresa

X&Y Jeans es una empresa que inició sus actividades comerciales hace quince años, conformada por una pareja de esposos con muchas expectativas futuras, desarrollándose netamente como una empresa dedicada a la maquila de ropa. En 1998 hizo el lanzamiento de su primera marca propia: X&Y Jeans.

Después de este lanzamiento se incorporó a la empresa la segunda generación conformada por hijos y familiares cercanos a esta pareja de esposos, aportando así un crecimiento del 70% de la empresa en comparación con sus inicios. En la actualidad la empresa cuenta con un personal de 100 personas altamente calificadas para el desarrollo de la misma, contando con una amplia red de distribución a nivel local y nacional, por medio de locales propios y distribuidores autorizados.

**Identidad**

Es una empresa dedicada a la confección de ropa sport acorde a la moda actual y también manejando una línea industrial y escolar, aportando al crecimiento de la industria textil ecuatoriana.

**Misión**

Dar servicio integral desde la concepción de las ideas hasta su producción estando de acuerdo con las exigencias propias de un mercado cambiante.

**Valores**

La empresa consta con los siguientes valores desde su fundación hasta la actualidad y perduran hasta que exista la empresa: Honestidad en sus precios, calidad y calidez en el trato con el cliente y puntualidad en las entregas.

## 1.2 Antecedentes del Proyecto

El proyecto del análisis del sistema de manufactura de esta empresa comenzó en enero de 2008. La empresa solicitó una consultoría a la Ing. Lourdes Arias<sup>3</sup>, quien realizó las tomas de datos y el levantamiento del proceso en estado actual.

El proyecto no se llevó a cabo por decisión de la administración, que en ese entonces no mostró interés por las mejoras que se podrían realizar. Decidieron no invertir en el proyecto y mantener el estado productivo actual.

El proyecto se retomó como oportunidad para presentar las mejoras en este trabajo de tesis, que de hecho se está realizando actualmente sin participación de la empresa, por lo que este trabajo se está elaborando estrictamente por fines didácticos.

---

<sup>3</sup> Ing. María de Lourdes Arias Muñoz: Ingeniera Industrial graduada de la ESPOL en el año 2007.

### 1.3 El Problema

Al visitar la planta, el Ingeniero Industrial pudo elaborar algunas observaciones en el área de manufactura.

#### **Observaciones:**

- Distribución estrecha de los centros de trabajo: Entorpece el avance del producto en proceso a lo largo de la línea de manufactura, y proporciona un espacio de trabajo poco cómodo. Ver FIGURA 1.1.
- Acumulación de Producto en proceso en centros de trabajo: Es una guía clave que denota un problema en el proceso de manufactura, demostrando tener un desbalance en la línea. Ver FIGURA 1.1.
- Operarios deben pararse y movilizarse para retirar material del centro de trabajo anterior, FIGURA 1.2: Es claro indicio que el área de manufactura no cuenta con un diseño adecuado o con una distribución efectiva de los centros de

trabajo para permitir el flujo espontáneo y directo de los materiales.



**FIGURA 1.1: ACUMULACIÓN DEL PRODUCTO EN PROCESO**



**FIGURA 1.2: TRANSPORTE DE MATERIAL**

Estos tres problemas básicos, de ergonomía, proceso, y distribución, conllevan a que la manufactura de los jeans sea

desordenada e ineficiente, que a su vez implica un tiempo de ciclo alto y un throughput<sup>4</sup> bajo e inadecuado para satisfacer la creciente demanda del mercado.

Este trabajo de tesis se enfoca específicamente en el proceso productivo, en su análisis y propuestas de mejora, para lo cual se ensaya demostrar la siguiente hipótesis:

**Ho:** Una mejora en el proceso de manufactura incrementará la razón de producto terminado por unidad de tiempo y aumentará la eficiencia productiva.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Incrementar la productividad de la línea de manufactura de jeans de hombre y de mujer a través de propuestas de mejora obtenidas mediante el estudio del proceso utilizando

---

<sup>4</sup> Throughput: Cantidad de productos elaborados en un periodo específico de tiempo.

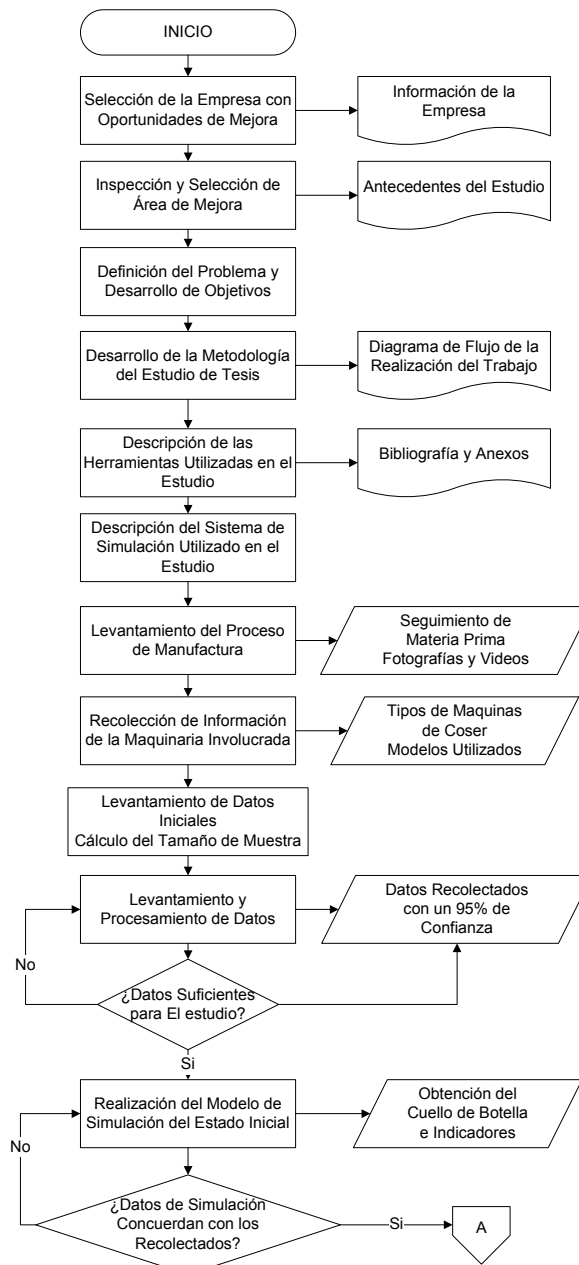
como herramienta fundamental la simulación por computadora.

#### **1.4.2 Objetivos Específicos**

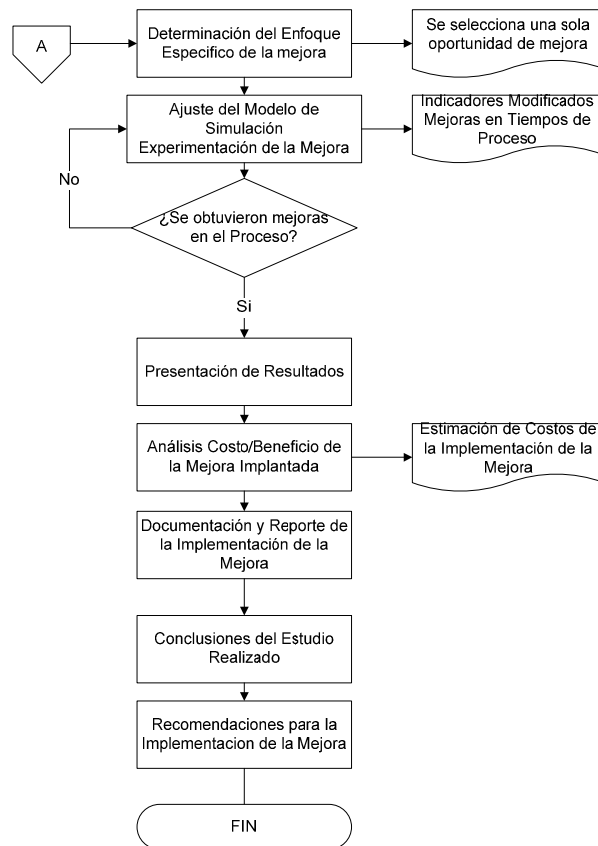
- Realizar un modelo de simulación que asemeje el estado inicial de la planta para utilizarlo como base de mejora en el proyecto.
- Realizar propuestas de mejora en el proceso que permitan el incremento de la producción de la línea de manufactura.
- Comprobar los cambios mediante la modificación del modelo de simulación inicial, de manera de lograr obtener datos científicamente aceptables.
- Realizar una evaluación económica de las propuestas expuestas en este trabajo de tesis.

## 1.5 Metodología de la Tesis

Se seguirá el siguiente proceso para la realización de este trabajo:



**FIGURA 1.3: METODOLOGÍA DE LA TESIS**



**FIGURA 1.4: METODOLOGÍA DE LA TESIS (CONTINUACIÓN)**

Este trabajo se realizó utilizando la siguiente estructura:

En la etapa inicial se procedió al reconocimiento visual del área de trabajo, para determinar los puntos de enfoque específicos de este estudio.

A continuación se detallaron las herramientas del Ingeniero Industrial seleccionadas para realizar el análisis y los ensayos para lograr alcanzar los objetivos expuestos anteriormente.

A seguir se procedió a reconocer en detalle todos los elementos que intervienen en el estudio de la línea seleccionada. Realizando el levantamiento de la información pertinente y el análisis de la misma, con el fin de realizar un estudio a profundidad del problema. Para propósitos de este estudio se utilizarán márgenes estrictos de confianza para asegurar una variabilidad adecuada sea reflejada en el proceso de simulación, acercándolo lo más posible a la realidad.

El estudio se realizó utilizando el Sistema de Simulación WITNESS, cuyos detalles se exponen en el siguiente capítulo.

Por último, habiendo experimentado con el estado inicial y el estado mejorado, se efectuó el análisis de los resultados para determinar el impacto simulado de las mejoras propuestas, para culminar con la evaluación financiera pertinente, y un breve razonamiento concluyente del trabajo realizado.

# CAPÍTULO 2

## 2.1 Herramientas Aplicadas al Estudio

### 2.1.1 Técnicas de Muestreo

En este estudio se realizan los cálculos del tamaño de muestra asumiendo que se cumple el requisito que los datos se distribuyen de manera normal. Para determinar entonces el tamaño de muestra se utilizó la Prueba T de “Student”.

El estadístico T fue introducido en 1908 por William Sealy Gosset, un químico trabajando para la cervecería Guinness en Dublín, Irlanda. ("Student" era su “nombre de pluma”<sup>5</sup>). Gosset había sido contratado debido a la política innovadora de Claude Guinness de contratar a los mejores graduados de Oxford y Cambridge para aplicar bioquímica y estadística al proceso industrial de su cerveza. Gosset ideó

---

<sup>5</sup> Nombre de Pluma: Del francés “nom de plume”, es un sobrenombre utilizado por los escritores para ocultar su verdadera identidad.

la Prueba T como una manera barata de monitorear la calidad de la cerveza. La prueba apareció en su publicación “Biometrika” en 1908, pero fue obligado por su empleador a utilizar su “nombre de pluma”, porque veía el hecho de utilizar estadística como un “trade secret”<sup>6</sup>. De hecho, la identidad de Gosset era desconocida para sus colegas estadísticos [1].

Es la facilidad de la aplicación de la Prueba T por la cual se la ha utilizado para los cálculos estadísticos en este trabajo [2].

### Prueba T

$$t_{\alpha, n-1} = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s / \sqrt{n}}$$

$t_{\alpha, n-1}$ : Es el valor del estadístico de prueba, con  $\alpha$  de confianza y  $n-1$  grados de libertad.

---

<sup>6</sup> Trade Secret: Secreto industrial, una fórmula o técnica que es utilizada para hacer un producto, conocido única y exclusivamente por la empresa que lo manufactura.

$\bar{x}$ : Es la media de los datos obtenidos en el muestreo.

$\mu_o$ : Es la media que se espera obtener.

$s$ : Es la desviación estándar de los datos.

$n$ : Es la cantidad de datos que forman parte del muestreo.

Para la aplicación en este trabajo se despeja “n”, de manera de lograr utilizar la Prueba T para obtener la cantidad de datos que se deben muestrear.

$$n = \left( \frac{s \times t_{\alpha/2, n-1}}{k \times \bar{x}} \right)^2$$

$k$ : Representa el porcentaje de la media con el que se está de acuerdo que varíen los valores de las muestras tomadas.

En lo que  $k = \left| 1 - \frac{\mu_o}{\bar{x}} \right|$ , se utilizan valores absolutos por el hecho de estar trabajando con tiempos, a este dato se lo establece como el error permitido de la media [3].

$t_{\alpha/2, n-1}$ : Es el estadístico de prueba que se obtiene de las tablas de la Distribución T. En este caso se trabajó con  $\alpha/2$  por tratarse de valores exclusivamente positivos, en lo que interesa únicamente la parte positiva de la curva.

### **2.1.2 Pruebas de Hipótesis**

Las pruebas de hipótesis que se utilizan en este trabajo de tesis están enfocadas a la comprobación de los datos obtenidos, realizando pruebas de hipótesis para medias de se busca asegurar la confiabilidad de los datos obtenidos.

Se continuará utilizando el estadístico de prueba T, de manera de poder tener consistencia en el estudio realizado.

Así mismo se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los datos se distribuyen normalmente
- La cantidad de datos de la muestra es mayor o igual a 30

- El nivel de confianza aplicado para esta prueba es del 95%

Las hipótesis de prueba para cada una de las medias obtenidas en los procesos son las siguientes:

**Hipótesis Nula:** La media de la muestra es igual a la media de la población ( $\mu = \bar{x}$ ).

**Hipótesis Alternativa:** La media de la muestra no es igual a la media de la población ( $\mu \neq \bar{x}$ ).

Este ensayo sirve para conocer si los datos que se obtuvieron del muestreo son congruentes. Esta prueba se la realizará a los tiempos obtenidos en la simulación, específicamente de los centros de trabajo a los cuales se le van a realizar las mejoras.

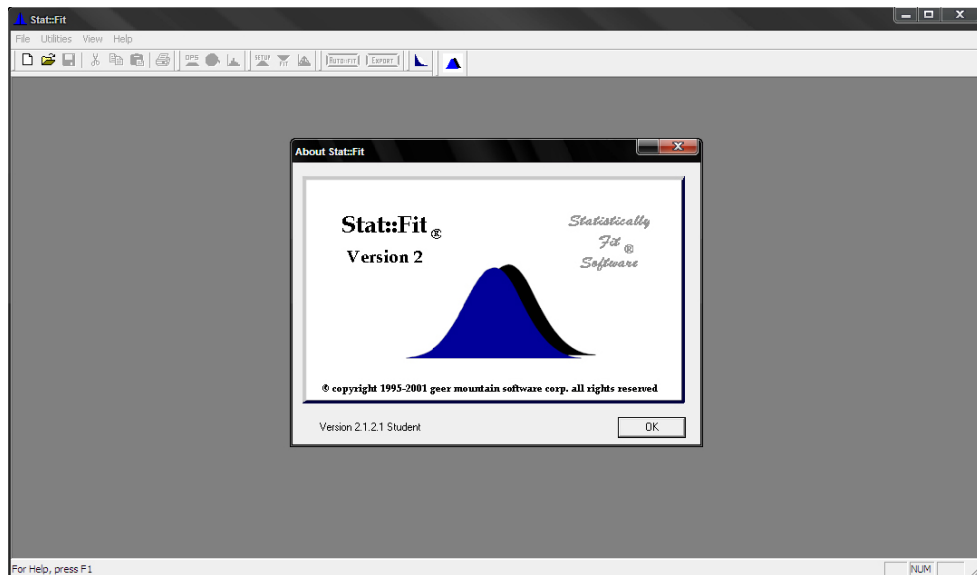
### 2.1.3 Pruebas de Normalidad

Por la naturaleza de las pruebas realizadas, y por el hecho que el trabajo realizado por los operadores es manual, se han asumido los datos como normales. Es por este motivo que todos los datos recolectados deben ser sometidos a pruebas de normalidad, que nos sirve para tener una idea clara de la confiabilidad de los datos y para disminuir en lo posible los errores y el sesgo propio de las operaciones del proceso de manufactura.

Para realizar estas pruebas se utilizó el programa Stat::Fit Versión 2.1.2.1 Estudiante. En el programa se realizaron los ajustes pertinentes para comprobar el ajuste a la Distribución Normal utilizando la prueba de Kolmogorov-Smirnov [4].

El estadístico Kolmogorov–Smirnov cuantifica la distancia entre la distribución empírica de la muestra y la distribución acumulada de la función de referencia. La distribución nula

de este estadístico es calculado bajo la hipótesis nula que menciona que la muestra ha sido tomada de la distribución de referencia. La distribución bajo la hipótesis nula se considera que es una distribución continua y no restringida [5].

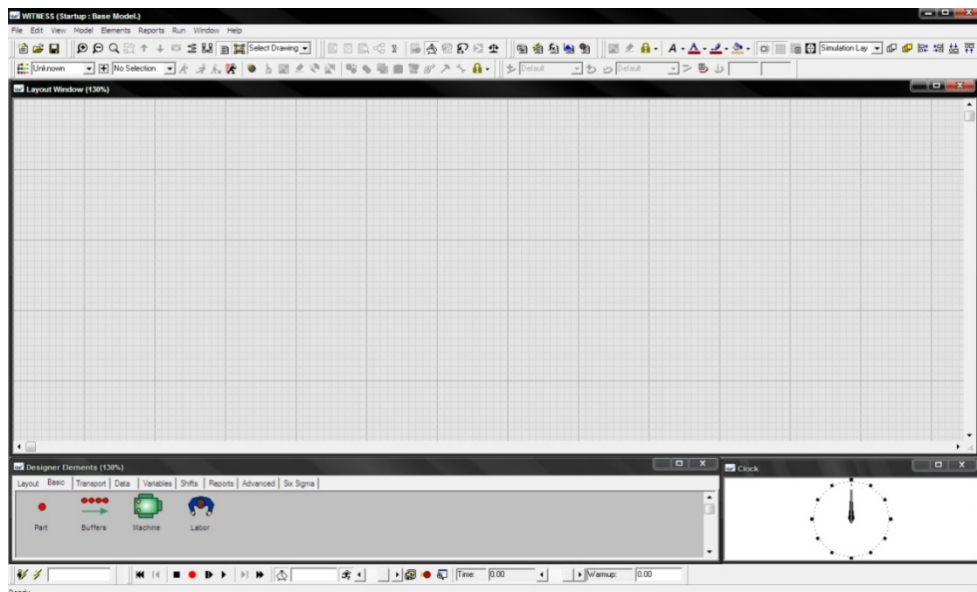


**FIGURA 2.1: CAPTURA DE PANTALLA DEL PROGRAMA DE BONDAD DE AJUSTE STAT::FIT**

## 2.2 Sistema de Simulación WITNESS

Manufacturing Performance Edition of WITNESS 2008 Release 1

WITNESS 2008 es un paquete de Simulación del Grupo Lanner. Es la culminación de más de dos décadas de experiencia con simulación por computadora.



**FIGURA 2.2: CAPTURA DE PANTALLA DEL PROGRAMA DE SIMULACIÓN WITNESS 2008.**

El Grupo Lanner se especializa en brindar a las organizaciones una visión más clara del futuro. Hasta la fecha el Grupo ha ayudado a más de 4000 organizaciones alrededor del mundo a manejar y entender el proceso del cambio y como resultado, a mejorar significativamente el desempeño del negocio. Para poder cubrir las diversas necesidades de sus clientes, ofrecen un amplio

rango de soluciones, incluyendo software genérico como WITNESS, el desarrollo de Sistemas de Planificación Personalizados, y un rango comprensible de servicios de consultoría.

Las soluciones ofrecidas por el Software del grupo son las siguientes:

- Programación de Recursos
- Planificación de Inversión de Capital
- Racionalización de Redes de Ramas Empresariales
- Mejora de Servicio al Cliente
- Mejora del Proceso del Negocio
- Planificación de Centros de Llamadas
- Distribución de Plantas

El Grupo Lanner es una compañía internacional con base en Redditch, Worcestershire, Reino Unido. Son apoyados a nivel mundial por una red de distribuidores y oficinas en Francia,

Alemania, y en los Estados Unidos. El Grupo Lanner también es un proveedor de Soluciones Microsoft certificado.

WITNESS es el líder mundial en software de simulación visual interactiva. Más de 6500 licencias han sido vendidas alrededor del mundo en diversos sectores de la industria. El sistema también es ampliamente utilizado para la educación. Un rango completo de mantenimiento, consultoría, y servicios de entrenamiento son provistos para el soporte de este software [6].

# CAPÍTULO 3

## 3.1 Levantamiento del Proceso

### 3.1.1 Actividades Individuales

El levantamiento del proceso se realizó mediante observaciones en sitio y consultas con el personal de planta. Se tomó una gran cantidad de fotografías y videos para comprobar y documentar las actividades que intervienen exclusivamente en el proceso de manufactura de los jeans.



**FIGURA 3.1: CAPTURA DE IMAGEN DE UN VIDEO DE TOMA GENERAL DEL ÁREA DE MANUFACTURA**

Con estas tareas realizadas se logró hacer un levantamiento acertado del proceso de manufactura de los jeans, el mismo que se lo ha diversificado en tres secciones diferentes, puesto que se denotan los grupos de procesos que se requieren para avanzar y clasificar el producto de acuerdo a los requerimientos.

En este estudio existen cuatro productos que son elaborados en la misma línea, de manera simultánea, y son los siguientes:

1. Jeans de Hombre con Bolsillos con Forro
2. Jeans de Mujer con Bolsillos con Forro
3. Jeans de Hombre con Bolsillos Falsos
4. Jeans de Mujer con Bolsillos Falsos



**FIGURA 3.2: CAPTURA DE IMAGEN DE UN VIDEO DE TOMA GENERAL DEL ÁREA DE MANUFACTURA**

La confección en secuencia de las siguientes partes se convierte en el proceso de manufactura de los jeans:

1. Cartera
2. Cierre
3. Pierna delantera derecha
4. Mandil
5. Relojero
6. Bolsillo Falso
7. Bolsillo con Forro
8. Piernas delanteras

9. Ventaja
10. Etiquetas
11. Bolsillos Traseros
12. Entrepierna
13. Bastas
14. Pretina
15. Puntas
16. Presillas

### **3.1.2 Subprocesos**

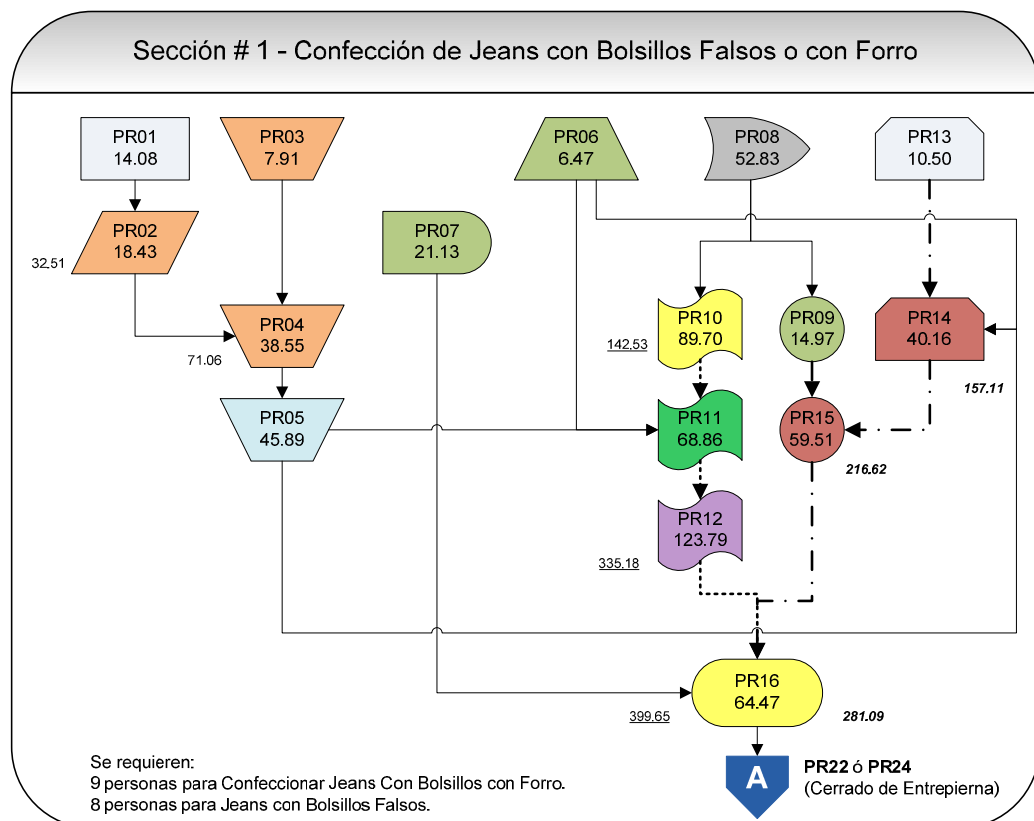
A continuación se exponen las figuras de los diagramas de proceso divididos en tres secciones de manufactura:

1. Confección de Jeans con Bolsillos Falsos o con Forro
2. Confección de Jeans de Hombre o Mujer
3. Acabados

**TABLA 1**  
**PROCESOS QUE INTERVIENEN EN LA MANUFACTURA DE JEANS**

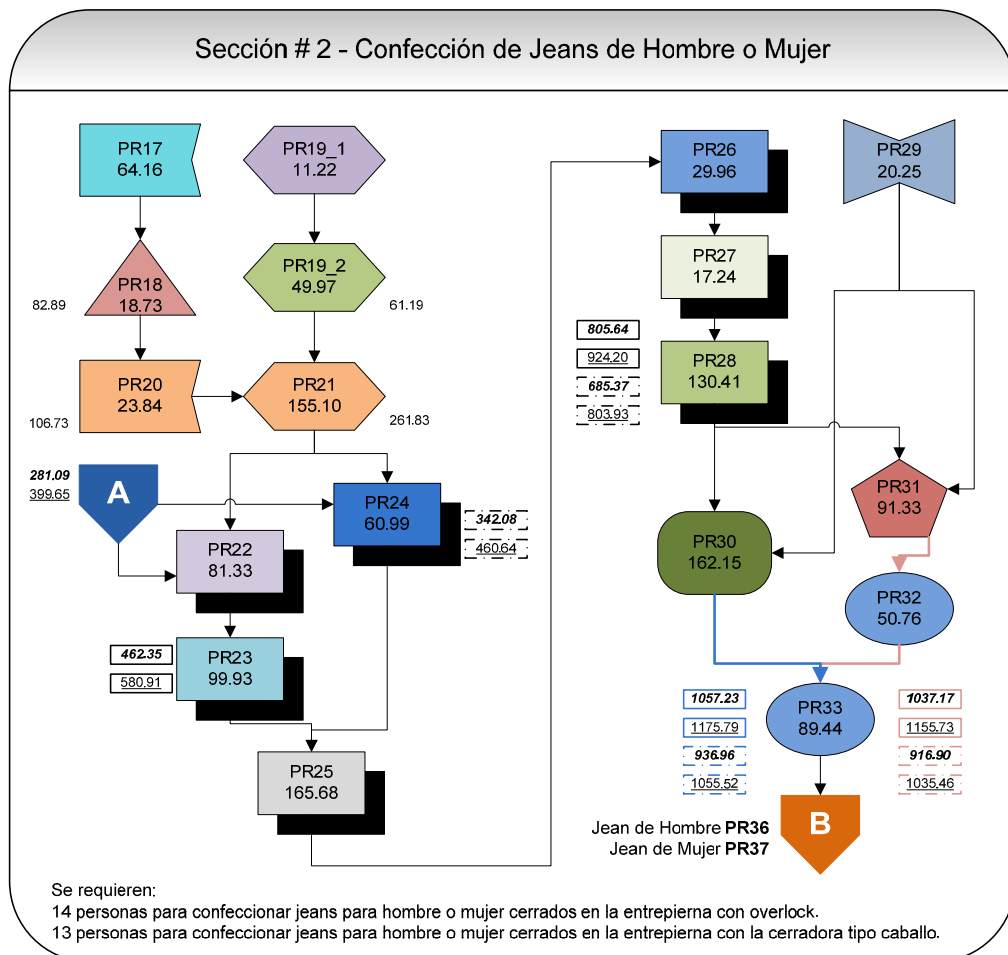
<b>Proceso</b>	<b>Parte del Jean</b>
PR01	Cartera
PR02	Cierre
PR03	Pierna DI
PR04	Cierre
PR05	Pierna DI
PR06	Pierna DD
PR07	Mandil
PR08	Relojero
PR09	Bolsillos Falsos
PR10	Forros
PR11	Bolsillos con Forro 1
PR12	Bolsillos con Forro 2
PR13	Bocado 1
PR14	Bocado 2
PR15	Bolsillos Falsos
PR16	Pienas D
PR17	Ventaja
PR18	Etiquetas
PR19_1	Bolsillos Traseros 1
PR19_2	Bolsillos Traseros 2
PR20	Piernas T
PR21	Bolsillos Traseros
PR22	Entrepierna 1
PR23	Entrepierna 2
PR24	Entrepierna 3
PR25	Laterales
PR26	Pespunte
PR27	Volteo de Pantalones
PR28	Bastas
PR29	Pretinas
PR30	Pretinado Jean de Hombre
PR31	Pretinado Jean de Mujer
PR32	Puntas 1
PR33	Puntas 2
PR34	Presillas 1
PR35	Presillas 2
PR36	Refuerzos Jean de Hombre
PR37	Refuerzos Jean de Mujer
PR38	Ojal
PR39	Etiquetado de Pretina
PR40	Corte de Hilos

En la FIGURA 3.3 se muestran los procesos unificados que se requieren para avanzar el producto y ya clasificándolo como Jeans con Bolsillos Falsos o con Forro, la simbología puede revisarse al inicio de este trabajo. Hasta el momento no se separan los Jeans de Hombre y de Mujer del proceso; los jeans para ambos sexos tienen todos estos procedimientos en común.



**FIGURA 3.3: DIAGRAMA DE PROCESO DE LA SECCIÓN # 1 DE LA MANUFACTURA DE JEANS**

En esta etapa inicial del proceso han intervenido un total de 9 operarios, realizando un total de 30 actividades individuales, equivalentes a 16 procesos documentados de manufactura, que son denotados por como PR a lo largo del estudio.



**FIGURA 3.4: DIAGRAMA DE PROCESO DE LA SECCIÓN # 2 DE LA MANUFACTURA DE JEANS**

Ya en esta parte del proceso, FIGURA 3.4, existe una diferenciación entre el Jean de Hombre y de Mujer, que tienen diferente tipo de cierre, que requiere actividades diferentes para continuar la confección.

En esta sección también se puede ver que existen dos caminos para tomar, del producto en proceso que viene de la Sección # 1. Justo en el PR22 y PR24 es donde se realiza la Entrepierna; en la planta existen dos maneras de realizarlo: utilizando una cerradora tipo caballo, o utilizando una overlock, más adelante se expondrán los distintos tipos de máquinas que intervienen en el proceso. Para la manufactura, los dos procesos realizan el mismo trabajo, la diferencia recae en el tiempo total de operación de estas actividades.

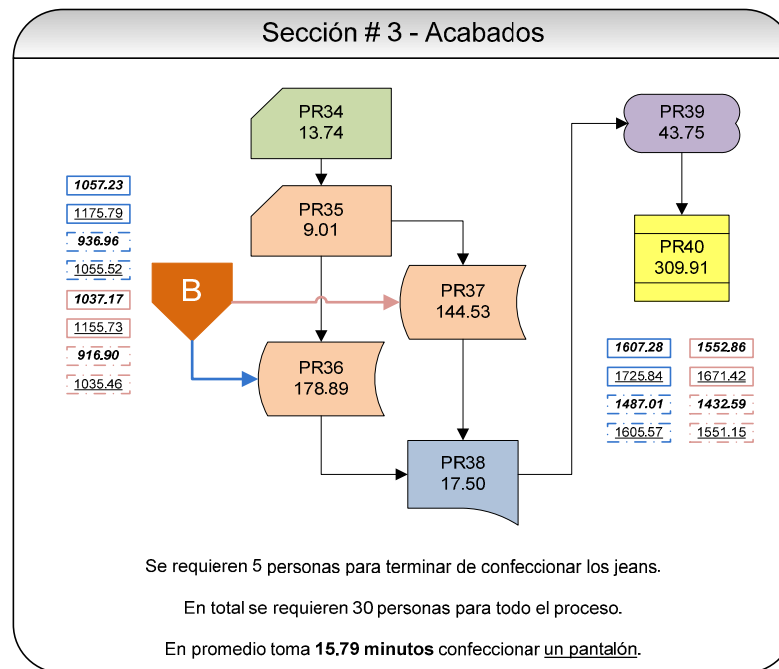
El punto anterior es crítico para el proceso, puesto que los dos caminos no están balanceados y crean un desequilibrio en el flujo del producto en proceso, esto se lo analizará en

el CAPÍTULO 4. Por este motivo se le prestará especial atención en el modelo de simulación.

En la FIGURA 3.5, se encuentran los procesos que conforman el acabado, donde, nuevamente, los jeans de hombre y de mujer tienen diferentes actividades.

Para todo el proceso de manufactura de los Jeans se requiere un total de 30 operadores, quienes realizan un total de 41 procesos de manufactura que representan un total de 71 actividades.

Desde inicio a fin, con una línea de producción vacía se requieren en promedio 1579 minutos para obtener el primer lote de 100 pantalones, que significa que en promedio toma 15.79 minutos confeccionar un pantalón. A lo largo del presente capítulo se explicará cómo se realizó la obtención de los tiempos de procesamiento expuestos en las figuras anteriores.



**FIGURA 3.5: DIAGRAMA DE PROCESO DE LA SECCIÓN # 3 DE LA MANUFACTURA DE JEANS**

En el APÉNDICE C de este texto se puede encontrar la tabla donde se observan las 71 actividades que conforman los 41 procesos que conforman la línea de manufactura.

### 3.1.3 Mano de Obra

El proceso es realizado completamente por personal de la empresa. Para realizar la manufactura se requieren 30 empleados principalmente.

A continuación se detalla la distribución de empleados por proceso que se utilizará en el modelo de simulación:

**TABLA 2**  
**DISTRIBUCIÓN DE TRABAJADORES POR PROCESO**

<b>Trabajador</b>	<b>Proceso</b>
TB01	PR01, PR13
TB02	PR02, PR03, PR04
TB03	PR05
TB04	PR06, PR07, PR09
TB05	PR08
TB06	PR10, PR16
TB07	PR11
TB08	PR12
TB09	PR14, PR15
TB10	PR17
TB11	PR18
TB12	PR19_1
TB13	PR20, PR21
TB14	PR22
TB15	PR23
TB16	PR24
TB17	PR25
TB18	PR26
TB19	PR19_2
TB20	PR27
TB21	PR28
TB22	PR29
TB23	PR30
TB24	PR31
TB25	PR32, PR33
TB26	PR34
TB27	PR35, PR36, PR37
TB28	PR38
TB29	PR39
TB30	PR40

Debido a la manera en que está concebido el proceso, y debido a la manera en que se ha diseñado inicialmente la línea de manufactura, por cuestión de tiempos y en un esfuerzo de mantener a los operarios ocupados con tareas que pueden realizar en sus centros de trabajo, muchos de los mismos deben realizar más de un proceso en la línea de confección.

## **MAQUINARIA**

En esta sección se realizará una descripción breve de las principales máquinas que intervienen en el proceso de confección de jeans.

### **ATRACADORA (FIGURA 3.6)**

- Realiza refuerzos en los bolsillos traseros y en las presillas, PR36.
- Velocidad máxima: 3.200 rpm
- Área máxima de costura: 40 mm x 30 mm
- Número máximo de puntadas: 210.000 puntadas



**FIGURA 3.6: ATRACADORA**



**FIGURA 3.7: OJALADORA**

**OJALADORA (FIGURA 3.7)**

- Realiza el Ojal de los Jeans, Apéndice Y, PR38.
- Velocidad máxima: 4.200 rpm
- Precisión de 0.05 mm
- Longitud máxima del ojal: 41 mm

**RECTA (FIGURA 3.8)**

- Es la máquina de coser normal, realiza puntadas simples, PR28.
- Velocidad máxima: 5000 rpm
- Longitud máxima de puntada: 4 mm
- Lubricación Automática

**OVERLOCK (FIGURA 3.9)**

- Utilizada para cerrar las partes de la prenda, PR25.
- Velocidad máxima: 7.200 rpm
- Longitud de puntada hasta: 3,5 mm
- Número de puntadas: 30 por pulgada



**FIGURA 3.8: RECTA**



**FIGURA 3.9: OVERLOCK**

## **3.2 Levantamiento de Datos**

### **3.2.1 Recolección de Datos Primarios**

Para fines de este estudio se efectuó una recolección de datos primarios, de manera de lograr posteriormente obtener un tamaño de muestra adecuado para cumplir con el error y la confianza que se han definido para este estudio.

Todos los datos de tiempo de proceso utilizados en este trabajo están dados en minutos. Los tiempos expuestos son por lotes de 100 pantalones.

Debido a que algunas operaciones tienen un tiempo de ciclo muy elevado, se decidió hacer el muestreo inicial del proyecto de la siguiente manera, para luego calcular el tamaño de muestra final con la fórmula del CAPITULO 2:

- Para las operaciones con un tiempo de ciclo aparente entre 0 y 20 minutos, se tomarán 30 observaciones.

- Para las operaciones con un tiempo de ciclo aparente entre 20 y 40 minutos, se tomarán 20 observaciones.
- Para las operaciones con un tiempo de ciclo aparente mayor de 40 minutos, se tomarán 10 observaciones.

Se arrancó el análisis siguiendo las consideraciones anteriores, obteniendo los datos mostrados en la TABLA 3:

Realmente se puede observar un patrón muy estable en el trabajo que realizan los operadores, puesto que se obtuvieron valores pequeños de varianza en el muestreo inicial efectuado. Esta estabilidad debe provenir de años de experiencia y de labor continua.

Cabe recalcar que para facilidad del estudio se eliminaron datos aberrantes y datos concernientes a demoras ajenas al proceso en sí. Estas demoras fueron tabuladas y procesadas para su uso posterior en el programa de simulación. Más adelante se presentarán los resultados del análisis de las demoras.

**TABLA 3**  
**TIEMPOS OBTENIDOS EN LA RECOLECCIÓN INICIAL DE DATOS**

Proceso	Media	Varianza	Desviación	Max	Min	Muestras
PR01	14.07	2.31	1.52	18.77	10.84	30
PR02	18.43	2.93	1.72	22.94	15.85	30
PR03	7.91	1.49	1.23	10.43	5.30	30
PR04	38.55	0.85	0.92	40.29	36.74	20
PR05	45.89	0.79	0.89	47.25	44.84	10
PR06	6.47	1.34	1.16	9.47	4.80	30
PR07	21.13	1.05	1.02	23.73	19.49	20
PR08	52.83	1.17	1.08	54.76	51.33	10
PR09	14.97	2.46	1.57	18.14	11.42	30
PR10	89.70	0.69	0.83	91.01	88.65	10
PR11	68.86	1.95	1.40	71.03	66.18	10
PR12	123.79	2.68	1.64	126.67	121.71	10
PR13	10.34	1.95	1.40	12.36	7.25	30
PR14	40.16	0.48	0.69	41.23	38.67	10
PR15	59.51	1.05	1.03	61.42	57.64	10
PR16	64.47	0.83	0.91	66.36	63.06	10
PR17	64.16	4.33	2.08	66.20	59.66	10
PR18	18.73	1.42	1.19	21.27	16.44	30
PR19_1	11.22	1.58	1.26	13.90	8.77	30
PR19_2	49.97	0.64	0.80	50.99	48.38	10
PR20	23.84	0.94	0.97	25.37	22.46	20
PR21	155.10	1.00	1.00	157.00	153.03	10
PR22	81.33	1.12	1.06	82.88	79.73	10
PR23	99.93	1.72	1.31	101.98	98.06	10
PR24	60.99	3.49	1.87	64.37	57.92	10
PR25	165.68	0.59	0.77	167.45	164.64	10
PR26	29.96	0.81	0.90	32.00	28.54	20
PR27	17.24	0.94	0.97	19.46	15.77	30
PR28	130.41	1.15	1.07	131.96	128.79	10
PR29	20.25	0.77	0.88	21.96	18.98	20
PR30	162.15	3.31	1.82	166.05	159.40	10
PR31	91.33	5.33	2.31	94.05	88.27	10
PR32	50.76	3.05	1.75	54.15	48.14	10
PR33	89.44	1.08	1.04	91.08	88.28	10
PR34	13.74	2.67	1.64	17.21	11.01	30
PR35	9.01	0.91	0.95	11.62	7.37	30
PR36	178.89	1.63	1.28	181.46	176.97	10
PR37	144.54	1.18	1.09	146.23	142.69	10
PR38	17.50	1.28	1.13	20.43	15.77	30
PR39	43.75	0.92	0.96	44.93	42.01	10
PR40	309.91	0.59	0.77	311.34	309.10	10

## **3.2.2 Análisis Estadístico**

### **3.2.2.1 Pruebas de Normalidad**

Siguiendo la metodología de este trabajo, los datos obtenidos fueron sometidos a pruebas de bondad de ajuste para lograr determinar su correcta distribución. En este caso se realizaron pruebas de normalidad, para esto se realizaron los ensayos necesarios que se encuentran en la sección 3.2.3.2 del presente Capítulo.

### **3.2.2.2 Cálculo del Tamaño de Muestra**

Se sometieron los datos obtenidos de la recolección inicial a pruebas de normalidad para corroborar la hipótesis que el trabajo manual se distribuye de manera normal. Esto contribuirá a continuar el presente estudio aplicando las herramientas mencionadas en el CAPÍTULO 2.

$$n = \left( \frac{s \times t_{\alpha/2, n-1}}{k \times \bar{x}} \right)^2$$

$k$ : En este caso se permite un 5% de error en la media.

$t_{\alpha/2, n-1}$  : Se está utilizando un nivel de confianza del 95%, y un tamaño de muestra de 30 observaciones:

$$n = \left( \frac{s \times t_{0.025, 29}}{k \times \bar{x}} \right)^2$$

Reemplazando valores generales:

$$n = \left( \frac{s \times 2.045}{0.05 \times \bar{x}} \right)^2$$

Para el tiempo de PR01 se obtiene la siguiente operación:

$$n = \left( \frac{1.52 \times 2.045}{0.05 \times 14.07} \right)^2 = \left( \frac{3.108}{0.704} \right)^2 = (4.415)^2 = 19.492 \approx 20$$

Para el PR01 se deberían realizar 20 observaciones. En este caso ya se realizaron 30, por lo que no se debe incurrir en observaciones adicionales. Este mismo procedimiento se siguió para determinar el tamaño de muestra de los demás procesos.

En la TABLA 4 se pueden observar los resultados del cálculo de tamaño de muestra para los procesos que requieren muestras adicionales.

En este caso fue necesario tomar tiempos adicionales de 3 procesos de la línea de confección: PR03, PR06, PR13. Para los demás procesos la cantidad de muestras tomadas en primera instancia fueron suficientes.

En algunos de los procesos se obtuvo un tamaño de muestra igual a 1 debido a la pequeña varianza obtenida.

Debido al tiempo que se requiere para realizar el muestreo completo, muchos de los tiempos fueron complementados con datos históricos.

Así mismo el uso de la cámara de video aportó significativamente al estudio.

**TABLA 4**  
**CALCULO DEL TAMAÑO DE MUESTRA POR PROCESO**

Proceso	Media	Desviación	Muestras	n	Faltan
PR01	14.07	1.52	30	20	
PR02	18.43	1.72	30	15	
<b>PR03</b>	<b>7.91</b>	<b>1.23</b>	<b>30</b>	<b>41</b>	<b>11</b>
PR04	38.55	0.92	20	1	
PR05	45.89	0.89	10	1	
<b>PR06</b>	<b>6.47</b>	<b>1.16</b>	<b>30</b>	<b>54</b>	<b>24</b>
PR07	21.13	1.02	20	5	
PR08	52.83	1.08	10	1	
PR09	14.97	1.57	30	19	
PR10	89.70	0.83	10	1	
PR11	68.86	1.40	10	1	
PR12	123.79	1.64	10	1	
<b>PR13</b>	<b>10.34</b>	<b>1.40</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>1</b>
PR14	40.16	0.69	10	1	

**TABLA 5**  
**TIEMPOS DE PROCESOS INCLUYENDO DATOS COMPLEMENTARIOS**

Proceso	Media	Varianza	Desviación	Max	Min
PR01	14.07	2.31	1.52	18.77	10.84
PR02	18.43	2.93	1.72	22.94	15.85
PR03	7.89	1.27	1.13	10.43	5.30
PR04	38.55	0.85	0.92	40.29	36.74
PR05	45.89	0.79	0.89	47.25	44.84
PR06	6.52	1.02	1.01	9.47	4.75
PR07	21.13	1.05	1.02	23.73	19.49
PR08	52.83	1.17	1.08	54.76	51.33
PR09	14.97	2.46	1.57	18.14	11.42
PR10	89.70	0.69	0.83	91.01	88.65
PR11	68.86	1.95	1.40	71.03	66.18
PR12	123.79	2.68	1.64	126.67	121.71
PR13	10.39	1.95	1.40	12.36	7.25
PR14	40.16	0.48	0.69	41.23	38.67
PR15	59.51	1.05	1.03	61.42	57.64
PR16	64.47	0.83	0.91	66.36	63.06
PR17	64.16	4.33	2.08	66.20	59.66
PR18	18.73	1.42	1.19	21.27	16.44
PR19_1	11.22	1.58	1.26	13.90	8.77
PR19_2	49.97	0.64	0.80	50.99	48.38
PR20	23.84	0.94	0.97	25.37	22.46
PR21	155.10	1.00	1.00	157.00	153.03
PR22	81.33	1.12	1.06	82.88	79.73
PR23	99.93	1.72	1.31	101.98	98.06
PR24	60.99	3.49	1.87	64.37	57.92
PR25	165.68	0.59	0.77	167.45	164.64
PR26	29.96	0.81	0.90	32.00	28.54
PR27	17.24	0.94	0.97	19.46	15.77
PR28	130.41	1.15	1.07	131.96	128.79
PR29	20.25	0.77	0.88	21.96	18.98
PR30	162.15	3.31	1.82	166.05	159.40
PR31	91.33	5.33	2.31	94.05	88.27
PR32	50.76	3.05	1.75	54.15	48.14
PR33	89.44	1.08	1.04	91.08	88.28
PR34	13.74	2.67	1.64	17.21	11.01
PR35	9.01	0.91	0.95	11.62	7.37
PR36	178.89	1.63	1.28	181.46	176.97
PR37	144.54	1.18	1.09	146.23	142.69
PR38	17.50	1.28	1.13	20.43	15.77
PR39	43.75	0.92	0.96	44.93	42.01
PR40	309.91	0.59	0.77	311.34	309.10

### **3.2.3 Recolección de Datos Complementarios**

#### **3.2.3.1 Determinación de Tiempos Medios de Proceso**

Una vez obtenidas las 36 observaciones adicionales, se elaboró la TABLA 5, que incluye los tiempos medios de ciclo de cada uno de los procesos.

#### **3.2.3.2 Pruebas de Hipótesis**

En este trabajo se emplearon las pruebas de normalidad para comprobar que la recolección de datos se hizo de acuerdo a las suposiciones que se hicieron desde un principio.

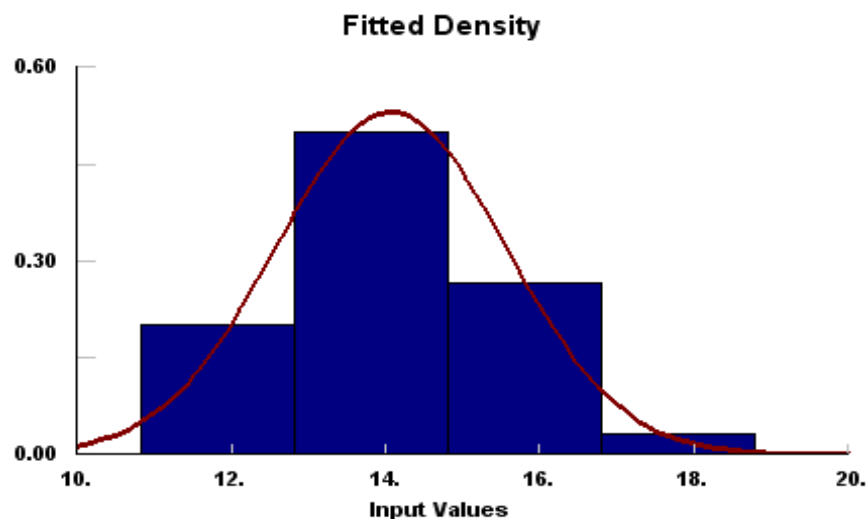
En la TABLA 6 se muestran los datos recolectados del primer proceso, PR01. La tabla incluye el análisis estadístico básico de los datos.

**TABLA 6**  
**TIEMPOS RECOLECTADOS DEL PROCESO # 1**

<b>PR01</b>	
Media	14.07
Varianza	2.31
Desviación	1.52
Max	18.77
Min	10.84
<b>Tiempos</b>	
1	18.77
2	14.74
3	13.26
4	15.35
5	14.40
6	14.91
7	14.24
8	10.84
9	13.01
10	15.06
11	13.52
12	13.62
13	12.07
14	12.34
15	14.24
16	14.95
17	14.72
18	15.47
19	15.32
20	16.22
21	13.84
22	12.44
23	13.70
24	14.56
25	13.24
26	13.62
27	12.07
28	12.34
29	14.24
30	14.95

Estos datos fueron ingresados en el programa

Stat::Fit donde se consiguió la FIGURA 3.10:



**FIGURA 3.10: GRÁFICO DE BARRAS DE LOS DATOS RECOLECTADOS DEL PROCESO # 1 CON CURVA NORMAL**

A simple vista se puede definir que los datos se acoplan satisfactoriamente a la forma de la curva normal. Ahora lo que se procede a realizar es la prueba Kolmogorov-Smirnov. La misma que arrojó los siguientes resultados:

### **Bondad de Ajuste**

Puntos: 30

Estimados: Máxima Similitud

Precisión del Ajuste: 0.0003

Nivel de Confianza: 0.05 (95%)

### Resumen

Ho: Los datos se distribuyen normalmente  
Kolmogorov-Smirnov: 0.107

### Detalles

Normal

Media = 14.0683

Sigma = 1.49283

Kolmogorov-Smirnov

Puntos: 30

Estadístico ks: 0.107

Alfa: 0.05

Estadístico ks(30,5.e-002): 0.242

P-value: 0.845

Resultado: NO RECHAZAR

Esto quiere decir que no existen datos suficientes para rechazar la hipótesis que los valores se distribuyen de manera normal.

Este mismo procedimiento se siguió para todos los procesos. A continuación se observa la TABLA 7 con el resumen de los resultados.

**TABLA 7****RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE (NORMALIDAD)**

Proceso	Media	Desviación	Muestras	P-value
PR01	14.07	1.52	30	0.845
PR02	18.43	1.72	30	0.469
PR03	7.91	1.23	41	0.908
PR04	38.55	0.92	20	0.865
PR05	45.89	0.89	10	0.926
PR06	6.47	1.16	54	0.644
PR07	21.13	1.02	20	0.942
PR08	52.83	1.08	10	0.738
PR09	14.97	1.57	30	0.73
PR10	89.70	0.83	10	0.749
PR11	68.86	1.40	10	0.888
PR12	123.79	1.64	10	0.882
PR13	10.34	1.40	31	0.689
PR14	40.16	0.69	10	0.888
PR15	59.51	1.03	10	0.751
PR16	64.47	0.91	10	0.613
PR17	64.16	2.08	10	0.928
PR18	18.73	1.19	30	0.997
PR19_1	11.22	1.26	30	0.981
PR19_2	49.97	0.80	10	0.852
PR20	23.84	0.97	20	0.739
PR21	155.10	1.00	10	0.767
PR22	81.33	1.06	10	0.493
PR23	99.93	1.31	10	0.657
PR24	60.99	1.87	10	0.934
PR25	165.68	0.77	10	0.697
PR26	29.96	0.90	20	0.94
PR27	17.24	0.97	30	0.914
PR28	130.41	1.07	10	0.924
PR29	20.25	0.88	20	0.804
PR30	162.15	1.82	10	0.859
PR31	91.33	2.31	10	0.495
PR32	50.76	1.75	10	0.892
PR33	89.44	1.04	10	0.4
PR34	13.74	1.64	30	0.988
PR35	9.01	0.95	30	0.845
PR36	178.89	1.28	10	0.96
PR37	144.54	1.09	10	0.975
PR38	17.50	1.13	30	0.511
PR39	43.75	0.96	10	0.607
PR40	309.91	0.77	10	0.558

Como se esperaba, según la TABLA 7, se puede considerar que los datos se distribuyen normalmente con una confianza del 95%.

### 3.3 Realización del Modelo de Simulación

#### 3.3.1 Experimentación Inicial

El presente modelo de simulación incluye los siguientes aspectos:

- **Tiempos de Set Up:** Simulando la realidad, puesto que los carretes de hilo se gastan con la producción. Así mismo se considera un tiempo de ordenamiento del centro de trabajo, que incluye su limpieza.

**TABLA 8**

**TIEMPO DE SET-UP**

<b>Tiempo de Set Up</b>	
Media	16.97
Desviación	2.2

Este tiempo fue obtenido analizando los tiempos de preparación de las máquinas y del centro de trabajo previos

a las operaciones propias de la manufactura. Los tiempos obtenidos fueron esporádicos y de distintos centros de trabajo, por lo que se utilizará un valor medio para aplicarlo en la simulación a cada uno de los centros de trabajo en el diseño. En los modelos de simulación, cada centro de trabajo cuenta con un tiempo se Set-Up en su primera máquina.

- **Variabilidad:** Teniendo los valores promedios de los tiempos de proceso, el modelo de simulación permite ingresar el tiempo de procesamiento acorde con una distribución estadística, que en este caso es la Normal.

En el tiempo de proceso de las máquinas se ingresa la distribución con los valores obtenidos del análisis estadístico, disponibles en la Tabla 5. La distribución se la ingresó de la siguiente manera:

*ABS(NORMAL(Media, Desviación Estándar))*

Se la ingresa en valor absoluto puesto que la distribución es de dos colas, y los valores pueden salir negativos. Como se trata de tiempos es ilógico utilizar un tiempo negativo, por lo que se corrige esta peculiaridad usando valores absolutos.

- **Demoras:** Como en los datos recolectados se eliminaron los datos aberrantes, se añadieron breakdowns<sup>7</sup> al modelo de simulación, que ensayan simular los distintos problemas con los que se encuentran los operadores en la planta y las distintas fallas que ocurren en el lugar de trabajo. Pueden observarse los datos en la TABLA 9.

Las demoras se determinaron de manera probabilística. Se tomaba en cuenta la cantidad de repeticiones en un determinado número de observaciones, y así se determinaba la probabilidad de ocurrencia.

---

<sup>7</sup> Breakdowns: Fallas de las máquinas, que causan que se pare su producción para corregirla y poder continuar.

Estas probabilidades fueron pasadas al modelo de simulación como una distribución discreta. Esta misma fue aplicada para todos los centros de trabajo. Su inclusión en el modelo de simulación apunta a que el modelo sea lo más real posible.

**TABLA 9  
DEMORAS**

<b>Demoras</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Estándar</b>	<b>Probabilidad</b>
Acomodar Materiales	5.26	2.97	9.09%
Cambio de Carrete	40.80	1.00	2.00%
Cambio de Talla	5.45	1.50	7.69%
Desprendimiento del Hilo	21.47	11.15	18.18%
Ir a dejar material	10.85	5.32	11.76%
Ir a ver material	13.61	9.27	60.00%
Preparar Material	13.10	4.54	6.67%
Probabilidad de Demoras	15.79	12.33	9.58%

### **EL MODELO DE SIMULACIÓN**

La realización del modelo de simulación a aplicar fue un esfuerzo constante de programación que comenzó en el mes de febrero de este año. Como todo modelo de simulación, el mismo es tan bueno como el programador, por eso no se escatimaron esfuerzos al momento de realizarlo.

Como se mostró en los diagramas de proceso el modelo de simulación fue concebido en tres partes, las secciones expuestas al inicio de este capítulo, que llevaron experimentación individual para comprobar la programación.

### **ELEMENTOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN**

En la realización del modelo intervinieron muchos elementos propios de la programación de WITNESS. Se utilizaron los siguientes elementos:

**TABLA 10**

#### **ELEMENTOS DE LA SIMULACIÓN: PARTES**

PARTES	
MP01	Materia Prima para PR01
MP03	Materia Prima para PR03
MP06	Materia Prima para PR06
MP07	Materia Prima para PR07
MP08	Materia Prima para PR08
MP26	Materia Prima para PR26
MP17	Materia Prima para PR17
MP19	Materia Prima para PR19
MP29	Materia Prima para PR29

Las partes son lo equivalente a la materia prima para el proceso de manufactura.

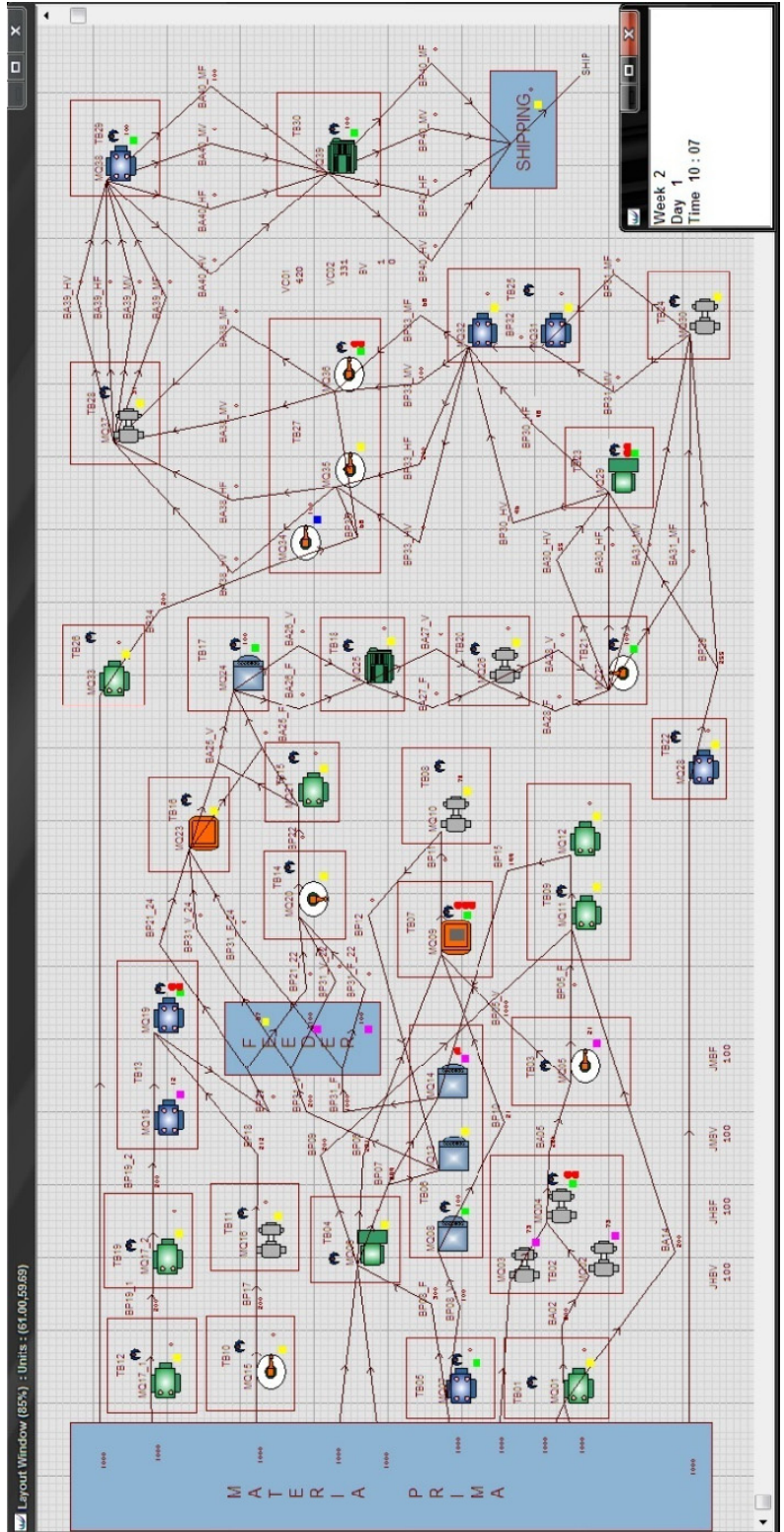


FIGURA 3.11: CAPTURA DE PANTALLA DE LA SIMULACIÓN REALIZADA

**TABLA 11****ELEMENTOS DE LA SIMULACIÓN: ATRIBUTOS**

ATRIBUTOS	
AT01	Determina si Parte pertenece a PR01 o PR26
AT02	Determina si Parte es bolsillo verdadero falso
AT03	Determina si Parte pertenece a PR06, PR07, o PR09
AT04	Determina Tipo de Jean con Bolsillo Verdadero
AT05	Determina Tipo de Jean con Bolsillo Falso

Estos atributos sirven para asignarle diferentes características a las partes a lo largo de la simulación.

**TABLA 12****ELEMENTOS DE LA SIMULACIÓN: VARIABLES**

VARIABLES	
VA01	Contador para MQ01
VA02	Determina si se Procesa MP01 o MP26
VA03	Contador para MQ05
VA04	Determina bolsillos verdaderos o falsos
VA05	Contador para MQ07
VA06	Determina bolsillos verdaderos o falsos
VA07	Contador para MQ07
VA08	Determina Parte en Procesamiento
VA09	Contador Múltiple para MQ's
VA10	Determinador Múltiple para PR's
TP01	Determina tiempo de Proceso en MQ01
TP06	Determina tiempo de Proceso en MQ06
CB	Contador Múltiple de Buffers

Las variables son de gran importancia en la simulación, son las encargadas de llevar el control del proceso. Se utilizaron

variables a manera de contadores para determinar lotes, cambio de partes, y para controlar la producción.

**TABLA 13**

**ELEMENTOS DE LA SIMULACIÓN: BUFFERS**

BUFFERS			
BA01	Anterior a PR01	BP19_2	Posterior a PR19_2
BA26	Anterior a PR26	BA29	Anterior a PR29
BA03	Anterior a PR03	BP29	Posterior a PR29
BA05	Anterior a PR05	BA25_V	Anterior a PR25
BA06	Anterior a PR06	BA25_F	Posterior a PR25
BP05_V	Posterior a PR05	BA26_V	Anterior a PR26
BP05_F	Posterior a PR05	BA26_F	Posterior a PR26
BA08	Anterior a PR08	BA27_V	Anterior a PR27
BP08_V	Posterior a PR08	BA27_F	Posterior a PR27
BP08_F	Posterior a PR08	BA28_V	Anterior a PR28
BP09	Posterior a PR09	BA28_F	Posterior a PR28
BP06	Posterior a PR06	BA30_HV	Anterior a PR30
BP07	Posterior a PR07	BA30_HF	Anterior a PR30
BA02	Anterior a PR02	BA30_MV	Anterior a PR30
BA07	Anterior a PR07	BA30_MF	Anterior a PR30
BP10	Posterior a PR10	BP33_HV	Posterior a PR33
BP15	Posterior a PR15	BP33_HF	Posterior a PR33
BP12	Posterior a PR24	BP33_MV	Posterior a PR33
BP31_V_24	Posterior a PR31 Anterior a PR24	BP33_MF	Posterior a PR33
BP31_F_24	Posterior a PR31 Anterior a PR24	BP32	Posterior a PR32
BA14	Anterior a PR14	BA38_HV	Anterior a PR38
BA17	Anterior a PR17	BA38_HF	Anterior a PR38
BP17	Posterior a PR17	BA38_MV	Anterior a PR38
BP18	Posterior a PR18	BA38_MF	Anterior a PR38
BP19_1	Posterior a PR19_1	BA39_HV	Anterior a PR39
BA17	Anterior a PR17	BA39_HF	Anterior a PR39
BA19	Anterior a PR19	BA39_MV	Anterior a PR39
BP21_24	Posterior a PR21 Anterior a PR24	BA39_MF	Anterior a PR39
BP22	Posterior a PR22		

Estos fueron utilizados a lo largo del modelo de simulación, después de los centros de trabajo, para crear agilidad en la manufactura y evitar molestos, excesivos, e innecesarios tiempos de espera.

**TABLA 14**  
**ELEMENTOS DE LA SIMULACIÓN: HORARIO**

<b>Horario</b>		
<b>Hora</b>	<b>Min</b>	<b>Tipo</b>
<b>Lunes a Viernes</b>		
0:00 a 8:00	480	Descanso
8:01 a 12:00	240	Trabajo
12:01 a 12:30	30	Descanso
12:31 a 18:31	360	Trabajo
18:31 a 23:59	330	Descanso
<b>Sábado</b>		
0:00 a 8:00	480	Descanso
8:01 a 12:00	240	Trabajo
12:01 a 12:30	30	Descanso
12:31 a 14:31	120	Trabajo
14:31 a 23:59	570	Descanso

Se habilitaron los turnos en el programa de simulación para poder visualizar de una manera más real como fluye la producción a lo largo del tiempo. Para este problema se trabaja un total de 3360 minutos a la semana, lo que significa un total de 13440 minutos (224 horas) al mes,

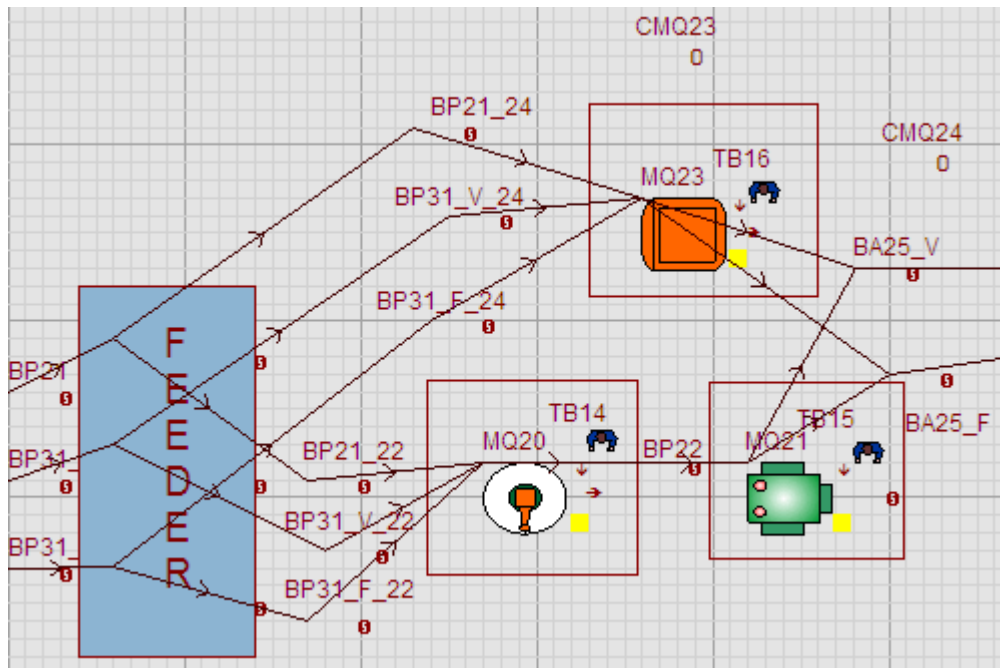
habiendo determinado una jornada distinta para el sábado y el domingo como día libre.

### **ARTIFICIOS APLICADOS EN LA SIMULACIÓN**

Para lograr conseguir un comportamiento más adecuado y cercano a la realidad se desarrollaron diversos artificios basados en programación y utilización de entidades adicionales.

Uno de estos artificios se puede ver claramente en la parte del proceso que conlleva al cerrado de la entrepierna, son dos caminos que elegir con los mismos materiales y las mismas restricciones, pero que se diferencian en el tiempo de proceso.

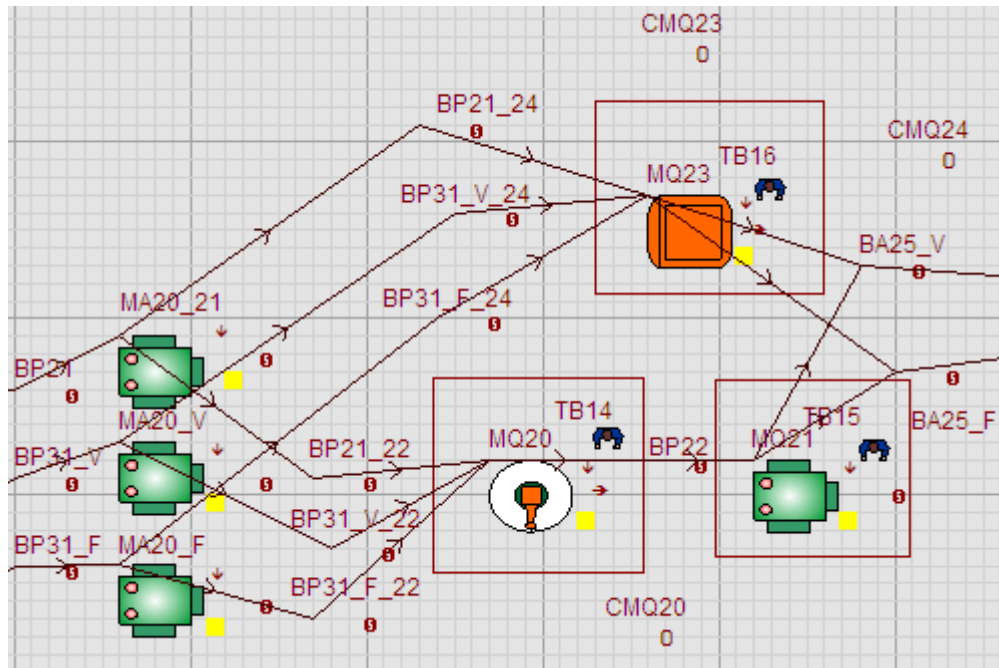
Se definió desde un principio que los jeans no pueden avanzar hasta que el lote esté completo, y esto es lo que se ha simulado con el diseño de estas entidades adicionales, cumpliendo los requisitos detallados a continuación.



**FIGURA 3.12: CAPTURA DE PANTALLA DEL ARTIFICIO DENOMINADO "ALIMENTADOR"**

- Se entregarán a los buffers siguientes, que alimentan las máquinas MQ23 y MQ20, lotes completos de 100 unidades.
- Se entregarán los lotes completos si y solo si las máquinas tienen disponibilidad inmediata.
- Independiente de las unidades entregadas en ciclos anteriores, el "alimentador" entregará a los buffers siguientes las parejas de materiales que estén completas. Es decir, 100 Piernas con Bolsillos traseros

con 100 Piernas con Bolsillos Falsos, o 100 Piernas con Bolsillos traseros con 100 Piernas con Bolsillos con Forro.



**FIGURA 3.13: EL "ALIMENTADOR" SIN LA EL RECUADRO COBERTOR.**

Cada una de las máquinas adicionales en el modelo de simulación controlan cada una de las partes que intervienen en el siguiente paso de la manufactura:

- Piernas Traseras con Bolsillos Traseros
- Piernas Delanteras con Bolsillos Falsos
- Piernas Delanteras con Bolsillos con Forro.

Para lograr este control del proceso se utilizó una gran cantidad de contadores a lo largo de todo el modelo de simulación, para este caso la programación utilizada siguió la lógica siguiente:

**FIGURA 3.14: CAPTURA DEL RECUADRO DE DETALLES DE MÁQUINA**

En la programación dedicada a establecer las reglas de salida se encuentran las siguientes condiciones, ver FIGURA

3.14:

```

IF VA10 (10) = 0
PUSH to BP21_24
ELSEIF VA10 (13) = 0
PUSH to BP21_22
ELSE
Wait
ENDIF

```

Éstas cumplen con la función de enviar a los buffers siguientes material si es que las máquinas se encuentran inmediatamente disponibles, caso contrario espera. Esto ocurre en el caso de las Piernas Traseras con Bolsillos Traseros, que es un material en común para los jeans con bolsillos falsos o con forro.

En el caso del material que determina si son jeans con bolsillos falsos o con forro ocurre lo siguiente:

```
IF VA10 (10) = 1 AND VA10 (11) = 0 AND VA10 (12) = 0
PUSH to BP31_V_24
ELSEIF VA10 (13) = 1 AND VA10 (15) = 0 AND VA10 (16) = 0
PUSH to BP31_V_22
ELSE
Wait
ENDIF
```

Estas condiciones cumplen la función de revisar nuevamente la disponibilidad de las máquinas, y de asegurarse de no mezclar los tipos de jeans en el proceso, algo muy importante para asegurar la continuidad adecuada del flujo de material. Básicamente controlan que tipo de jean se realizará en el siguiente paso del proceso.

Ahora, la máquina siguiente se encarga de establecer el atributo necesario, de manera de lograr intercalar el tipo de jean que se realiza dada la disponibilidad de los materiales.

En la programación de las reglas de entrada se tiene lo siguiente:

```
IF VA10 (10) = 1 AND VA10 (12) = 1
  SEQUENCE /Wait BP21_24#(1),
  BP31_F_24#(1)
ELSEIF VA10 (10) = 1 AND VA10 (11) = 1
  SEQUENCE /Wait BP21_24#(1),
  BP31_V_24#(1)
ELSE
  Wait
ENDIF
```

Y en la programación de las acciones a la entrada:

```
IF VA10 (10) = 1 AND VA10 (12) = 1
  VA10 (19) = 2
  IF CB (24) = 0 AND CB (26) = 0
    VA10 (10) = 0
    VA10 (12) = 0
  ENDIF
ELSEIF VA10 (10) = 1 AND VA10 (11) = 1
  VA10 (19) = 1
  IF CB (24) = 0 AND CB (25) = 0
    VA10 (10) = 0
    VA10 (11) = 0
  ENDIF
ENDIF
ENDIF
```

Estas condiciones trabajando en conjunto con los contadores de los buffers permiten mantener un control estricto sobre la producción en este paso del proceso de

manufactura, corrigiendo el problema de desorden y mezcla de los materiales que ocurre si no se crea una entidad reguladora del material.

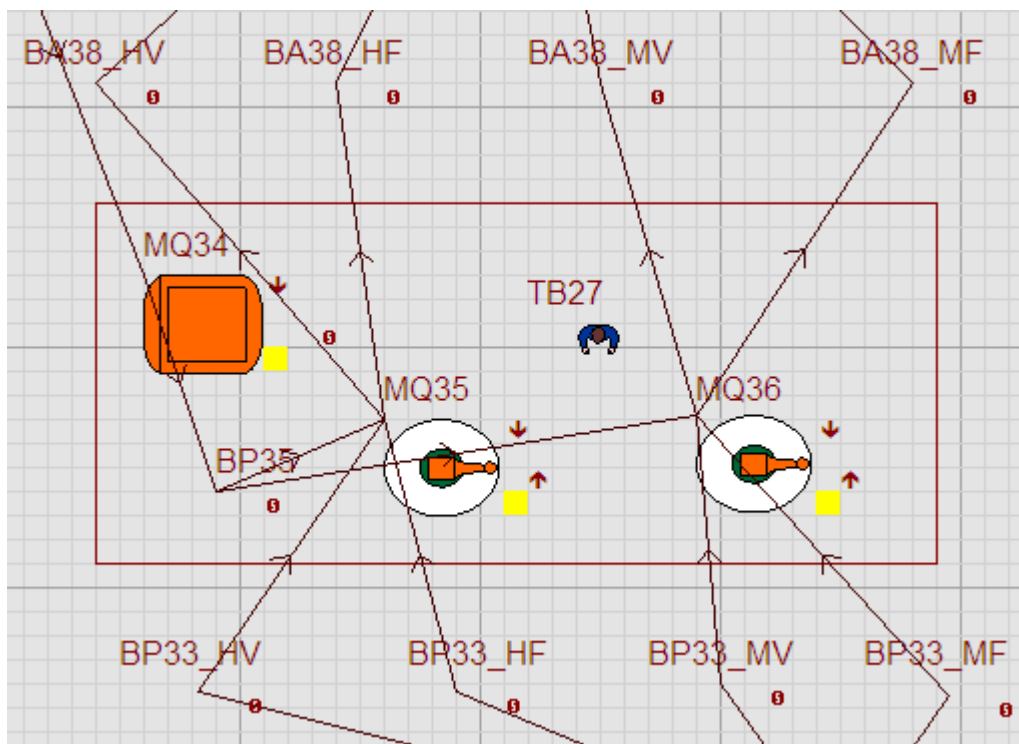
Este problema es recurrente a lo largo del diseño del modelo de simulación, que para lograr que exista un flujo adecuado del producto en proceso hay que implementar programación dedicada a controlarlo.

Esto básicamente se da por el hecho de tener en el programa distintos tipos de procesamiento, ya que algunos son de armar (ASSEMBLY) y otros son el lote (BATCH).

Otro problema encontrado al momento de diseñar el proceso en WITNESS, es el que en el momento que se realiza un ASSEMBLY se pierde el atributo con el que entró la pieza. Este es otro de los usos de la programación anterior, que nos permite, aparte de controlar las cantidades, controlar el atributo que define de hecho que

tipo de jean se va a producir en ese momento en esta estación de trabajo.

Para los Procesos 35, 36 y 37, que lo realiza el mismo operador, fue necesario crear condiciones que mantengan al operario trabajando en un mismo lote independiente de cuantas unidades entren en los otros buffers.



**FIGURA 3.15: CAPTURA DE PANTALLA DE LA ESTACIÓN DE TRABAJO DEL OPERARIO 27**

Se debe simular la producción por lotes, teniendo en cuenta que se trata de un ASSEMBLY, es decir que la máquina se alimenta unidad por unidad. Este caso es diferente que el “Alimentador” puesto que no es necesario alternar entre los materiales disponibles, sino que simplemente se comienza el trabajo con cualquiera de las partes que se encuentren listas.

Para lograr esto, en las reglas de alimentación de las máquinas se cuenta con la siguiente programación:

```

IF CB (35) > CB (37) OR CB (35) > CB (38) OR CB (36) > CB (37) OR CB
(36) > CB (38)
IF BV (1) = 0
IF CB (35) >= 100
IF CB (35) > CB (36)
SEQUENCE /Wait BP35#(1),
BP33_HV#(1)
ELSE
SEQUENCE /Wait BP35#(1),
BP33_HF#(1)
ENDIF
ELSEIF CB (36) >= 100
IF CB (36) > CB (35)
SEQUENCE /Wait BP35#(1),
BP33_HF#(1)
ELSE
SEQUENCE /Wait BP35#(1),
BP33_HV#(1)
ENDIF
ENDIF
ENDIF
ELSE
Wait
ENDIF

```

Estas simples reglas ayudan a la máquina a monitorear los buffers y tomar los materiales de cualquiera que esté listo. Ahora, solamente esas reglas no son suficientes para mantener la concentración del operador en un solo buffer, para lograrlo se incluye la programación siguiente en el recuadro de acciones al ingreso de la máquina:

```

IF CB (35) > CB (37) OR CB (35) > CB (38) OR CB (36) > CB (37) OR CB
(36) > CB (38)
IF BV (1) = 0
IF CB (35) >= 100
IF CB (35) > CB (36)
BV (2) = 1
VA10 (21) = 1
CB (35) = CB (35) + 5
ELSE
BV (2) = 1
VA10 (21) = 2
CB (36) = CB (36) + 5
ENDIF
ELSEIF CB (36) >= 100
IF CB (36) > CB (35)
BV (2) = 1
VA10 (21) = 2
CB (36) = CB (36) + 5
ELSE
BV (2) = 1
VA10 (21) = 1
CB (35) = CB (35) + 5
ENDIF
ENDIF
ENDIF
ENDIF

```

Esta programación adicional aumenta el contador a propósito, de una manera más rápida que la máquina

anterior puede aumentar cualquiera de los buffers, de esta manera lograrlos mantener la atención del proceso en ese buffer exclusivamente.

Adicionalmente, se requiere que el contador regrese al estado actual, es decir que se deben eliminar los valores aumentados con la programación anterior.

Esto se logró controlando el ingreso de material en los buffers posteriores, utilizando la programación siguiente:

```
CB (40) = CB (40) + 1
IF MOD (CB (40),100) = 0
CB (36) = CB (36) - 1100
BV (2) = 0
ENDIF
```

Esta programación se la encuentra en cada uno de los buffers posteriores, y ayudan a regresar el conteo a la cantidad de unidades actualmente en el buffer anterior.

Puesto que cuando se alimenta la máquina con dos partes, el contador aumenta en 5 unidades por cada parte, es decir 10 unidades por cada jean procesado. Con lo que al final se

debe restarle al contador no sólo las 1000 unidades aumentadas, sino las 100 originales que se procesaron.

En este caso, y para todos los modelos de simulación que conforman parte del estudio, la materia prima se encuentra siempre disponible, reforzando el enfoque al proceso de manufactura.

### **WARMUP TIME**

Para la determinación del Warmup Time<sup>8</sup> del modelo de simulación se realizó un estudio detallado de cuatro procesos<sup>9</sup>, dos con tiempos medios de procesamiento y dos con tiempos altos, los procesos: PR11, PR24, PR25, y PR28. Uno de la sección inicial del proceso, dos de la sección intermedia, y uno nuevamente de la sección final, de manera que se logró monitorear lo que sucede en cada sección del proceso manufactura. El estudio se basa en observar cómo se comporta la máquina en el tiempo que se corre la

---

<sup>8</sup> Warmup Time: Tiempo que requiere la simulación para llegar a un estado estable.

<sup>9</sup> Las tablas de los Procesos Individuales se Encuentran en la Sección de Apéndices

simulación. Siguiendo día a día la manufactura, se realiza un seguimiento diario al porcentaje de ocupación de las máquinas de los procesos mencionados para lograr determinar el punto en el que se logra estabilizar la confección.

En la TABLA 15 se muestran los resultados de la recolección de datos de la simulación de 30 días de confección de jeans. Para el análisis no se tomó en cuenta el sábado o el domingo, solamente los días entre semana que es cuando se trabajan 600 minutos diarios.

Se comenzó realizando un estudio del Porcentaje de Ocupación de las máquinas a lo largo del tiempo, con el fin de lograr observar en qué punto de la simulación se logra obtener una ocupación pareja, denotando que el modelo de simulación se estabilizó. Procesando estos datos se obtuvo la FIGURA 3.16.

TABLA 15

## ANÁLISIS DE PORCENTAJE DE OCUPACIÓN

Día	Min	PR11	PR24	PR25	PR28	
1	L	1440	14.35%	10.16%	25.56%	0.00%
2	M	2880	9.55%	37.62%	77.25%	55.68%
3	M	4320	9.57%	33.55%	100.00%	75.36%
4	J	5760	4.78%	30.48%	97.57%	83.81%
5	V	7200	9.81%	34.18%	95.57%	72.69%
8	L	11520	13.14%	32.40%	96.83%	83.61%
9	M	12960	19.11%	34.42%	90.93%	67.45%
10	M	14400	14.35%	30.40%	90.79%	73.11%
11	J	15840	15.12%	30.42%	88.76%	72.63%
12	V	17280	13.57%	40.53%	88.42%	68.46%
15	L	21600	16.37%	32.62%	88.76%	65.64%
16	M	23040	21.88%	30.45%	88.02%	64.71%
17	M	24480	16.55%	33.68%	94.35%	81.83%
18	J	25920	20.47%	37.46%	89.22%	69.80%
19	V	27360	20.33%	30.38%	90.44%	65.33%
22	L	31680	17.29%	30.47%	95.83%	76.49%
23	M	33120	21.84%	36.09%	92.90%	71.88%
24	M	34560	16.93%	34.94%	88.32%	69.62%
25	J	36000	9.12%	30.59%	93.07%	72.28%
26	V	37440	9.12%	30.44%	88.25%	72.55%
29	L	41760	5.61%	40.29%	91.96%	83.81%
30	M	43200	9.55%	30.86%	93.65%	68.86%

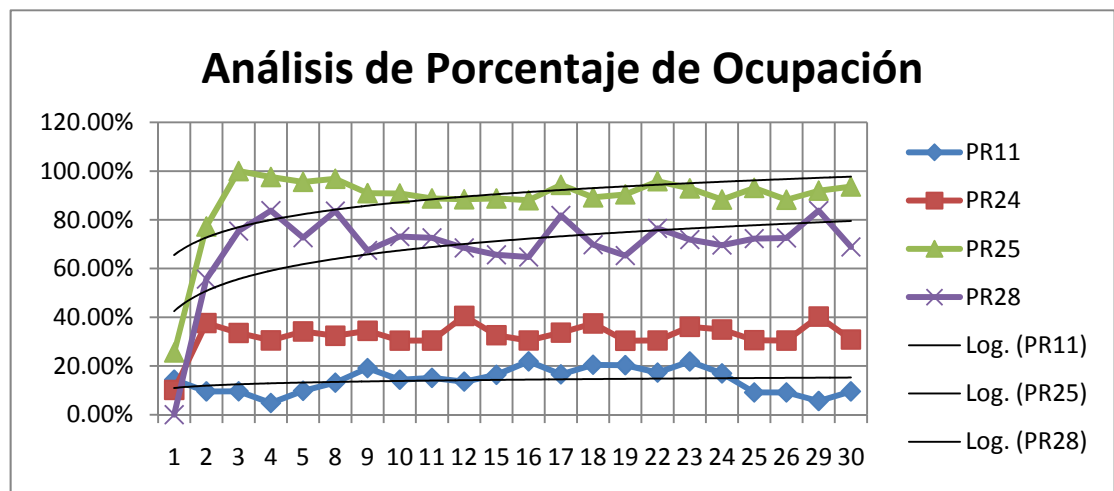


FIGURA 3.16: GRAFICO DE ANÁLISIS DE PORCENTAJE DE OPERACIÓN

Como se observa en la FIGURA 3.16, después de añadir la línea de tendencia logarítmica, los procesos comienzan a mostrar una ocupación estable, a partir del quinto día de simulación. Para este tiempo de simulación ya se cuentan con 500 unidades terminadas.

Esta misma tarea de monitorear el estado de las máquinas será aplicada en los procesos que tomen más tiempo, como son PR40, PR36, PR25, PR30, PR21, PR37, PR28, PR12, para determinar dónde se debe actuar para reducir el tiempo de ciclo. El análisis de estos procesos se encuentra en el capítulo siguiente.

Para complementar el estudio del tiempo de WARMUP se aplicó el Método de las Medias Acumuladas [7] a la producción diaria, como principal variable de salida.

Se realizaron tres corridas del Modelo de Simulación Actual, todas desde  $T = 0$  hasta  $T = 30,240.00$ , es decir tres semanas

completas. Con estos datos, excluyendo sábado y domingo, se realizó el análisis expuesto en la TABLA 16.

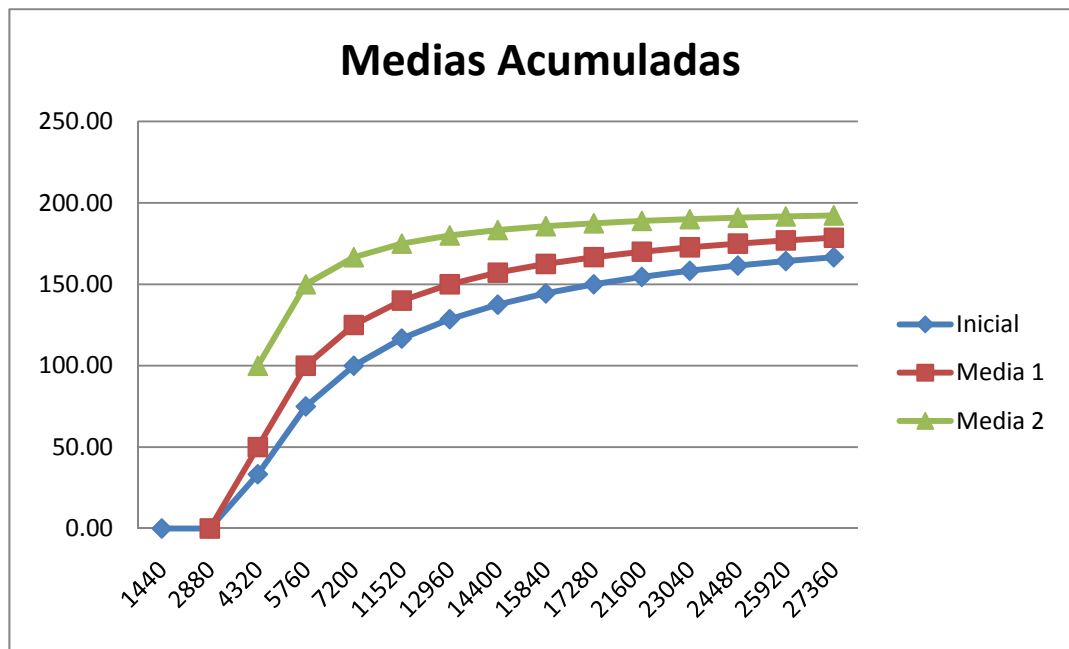
**TABLA 16**

**RESULTADOS DE LAS CORRIDAS INICIALES**

Min	Día	Réplicas				Medias Acumuladas		
		A	B	C	Media	Inicial	Media 1	Media 2
1440	L	0	0	0	0.00	0.00		
2880	M	0	0	0	0.00	0.00	0.00	
4320	M	100	100	100	100.00	33.33	50.00	100.00
5760	J	200	200	200	200.00	75.00	100.00	150.00
7200	V	200	200	200	200.00	100.00	125.00	166.67
11520	L	200	200	200	200.00	116.67	140.00	175.00
12960	M	200	200	200	200.00	128.57	150.00	180.00
14400	M	200	200	200	200.00	137.50	157.14	183.33
15840	J	200	200	200	200.00	144.44	162.50	185.71
17280	V	200	200	200	200.00	150.00	166.67	187.50
21600	L	200	200	200	200.00	154.55	170.00	188.89
23040	M	200	200	200	200.00	158.33	172.73	190.00
24480	M	200	200	200	200.00	161.54	175.00	190.91
25920	J	200	200	200	200.00	164.29	176.92	191.67
27360	V	200	200	200	200.00	166.67	178.57	192.31

Lo que se obtuvo de las corridas de la simulación denominadas A, B, y C, fue que las tres arrojaron exactamente el mismo valor en la variable de salida analizada, que fue producción diaria de Jeans. Claramente se puede observar que a partir del cuarto día de simulación se obtiene la producción sostenida de 200 Jeans al día.

Aplicando el método de las Medias Acumuladas procedió a realizar la FIGURA 3.17.



**FIGURA 3.17: GRÁFICO DE LAS MEDIAS ACUMULADAS**

En la Figura 3.17 se puede observar la tendencia de las medias en el gráfico, que después de un  $T=7200$  continúan muy parejas y se equilibran. En este caso y según este método se definiría al tiempo de Warmup como los primeros 7200 minutos de simulación.

Por este motivo, ya que inmediatamente pasados los 7200 minutos viene el fin de semana, se procederá a definir al Warmup time como los primeros siete días de simulación, una semana completa, es decir un Warmup time de 10,080.00 minutos. Dejando un amplio margen para la estabilización del modelo de simulación.

### **3.3.2 Pruebas de Hipótesis**

Ahora, para el cálculo del número de réplicas se tomará en cuenta el tiempo de procesamiento del PR11 y del PR24, utilizando un contador exclusivo para cada uno. Se seleccionaron estos dos procesos por facilidades de análisis, además de tratarse de procesos alimentados por múltiples estaciones de trabajo, que los hacen muy sensibles a la producción anterior a ellos. Para realizar el análisis se tomaron datos de 20 días de producción, después del tiempo de calentamiento.

TABLA 17

## RESULTADOS DE 20 DÍAS DE SIMULACIÓN DE PR11 Y PR24

Día	Min	PR11				PR24				
		C	T.T.	U.P.	T.C.	C	T.T.	U.P.	T.C.	
8	L	11520	13.14%	189.22	276	68.56	32.40%	194.40	317	61.32
9	M	12960	19.11%	275.18	400	68.80	34.42%	206.52	340	60.74
10	M	14400	14.35%	206.64	300	68.88	30.40%	182.40	300	60.80
11	J	15840	15.12%	217.73	316	68.90	30.42%	182.52	300	60.84
12	V	17280	13.57%	195.41	284	68.81	40.53%	243.18	399	60.95
13	S	18720	9.59%	138.10	200	69.05	30.48%	109.73	180	60.96
15	L	21600	16.37%	235.73	342	68.93	32.62%	195.72	321	60.97
16	M	23040	21.88%	315.07	458	68.79	30.45%	182.70	300	60.90
17	M	24480	16.55%	238.32	345	69.08	33.68%	202.08	331	61.05
18	J	25920	20.47%	294.77	429	68.71	37.46%	224.76	369	60.91
19	V	27360	20.33%	292.75	426	68.72	30.38%	182.28	300	60.76
20	S	28800	11.40%	164.16	238	68.97	33.91%	122.08	200	61.04
22	L	31680	17.29%	248.98	362	68.78	30.47%	182.82	300	60.94
23	M	33120	21.84%	314.50	456	68.97	36.09%	216.54	355	61.00
24	M	34560	16.93%	243.79	354	68.87	34.94%	209.64	345	60.77
25	J	36000	9.12%	131.33	190	69.12	30.59%	183.54	300	61.18
26	V	37440	9.12%	131.33	191	68.76	30.44%	182.64	300	60.88
27	S	38880	4.40%	63.36	92	68.87	33.93%	122.15	200	61.07
29	L	41760	5.61%	80.78	117	69.05	40.29%	241.74	396	61.05
30	M	43200	9.55%	137.52	200	68.76	30.86%	185.16	304	60.91

TABLA 18

## ANÁLISIS DE 28 DÍAS DE SIMULACIÓN DE PR24 EN MQ23

	PR11	PR24
<b>Media</b>	68.87	60.95
<b>Varianza</b>	0.02	0.02
<b>Desviación Estándar</b>	0.14	0.14
<b>Máximo</b>	69.12	61.32
<b>Mínimo</b>	68.56	60.74
<b>Diferencia Mínima</b>	0.25	0.21

Se puede observar en la TABLA 18 que se obtuvo una variación muy ligera en los tiempos de ciclo en la simulación, mostrando manufactura sostenida a lo largo de más de 40 mil minutos de prueba. En los datos recolectados del muestreo original se obtuvo que las medias fueron de 68.86 minutos para PR11 y 60.98 minutos para PR24, que ayudan a corroborar el diseño del sistema de simulación.

Con estos resultados obtenidos se prosiguió a realizar pruebas para comprobar la igualdad de las medias, entre los resultados de la simulación y las muestras originales.

Para esto se la Prueba T Pareada que tiene como hipótesis nula que no existe diferencia entre las medias, la misma que se realizó en el programa de estadística MINITAB 14.

#### **Paired T-Test and CI: PR11-2, PR11-1**

Paired T for PR11-2 - PR11-1

	N	Mean	StDev	SE Mean
PR11-2	10	68.8510	0.1542	0.0488
PR11-1	10	68.8580	1.3950	0.4411
Difference	10	-0.007000	1.476317	0.466852

95% CI for mean difference: (-1.063094, 1.049094)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -0.01

P-Value = 0.988

**Paired T-Test and CI: PR24-2, PR24-1**

Paired T for PR24-2 - PR24-1

	N	Mean	StDev	SE Mean
PR24-2	10	60.9440	0.1598	0.0505
PR24-1	10	60.9850	1.8664	0.5902
Difference	10	-0.041000	1.864996	0.589764

95% CI for mean difference: (-1.375138, 1.293138)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -0.07

P-Value = 0.946

Es sencillo reconocer los datos, en lo que se demuestra, mediante el elevado valor del P-Value, de ambas pruebas, que se puede asegurar con un 95% de confianza que las medias son iguales.

**CÁLCULO DE NÚMERO DE RÉPLICAS**

Para obtener la cantidad de réplicas que se necesitan realizar al modelo de simulación se utilizó el análisis de un Intervalo de Confianza con Error Definido [7]. Para esto se utilizaron las 20 réplicas iniciales de los procesos anteriores, de manera que se define un número de réplicas mínimo, tal como dicta la siguiente ecuación:

$$R_{min} = \left( \frac{Z_{\alpha/2} \times S_0}{\varepsilon} \right)^2$$

Donde el estadístico  $Z_{\alpha/2}$  proviene de la Distribución Normal Estándar, y  $\varepsilon$  representa al error definido. En este caso se utilizó un error de 0.1 y un nivel de confianza del 95%.

De las réplicas realizadas se obtiene la estimación de la desviación estándar de la población  $S_0$  para aplicarla directamente en la fórmula.

Reemplazando los valores para los dos procesos estudiados se obtiene:

$$R_{min} = \left( \frac{1.96 \times 0.14}{0.1} \right)^2 = 7.53 \approx 8$$

Este número de réplicas mínimo sirve para calcular el número de réplicas final, y dado que el Intervalo de Confianza utiliza el Estadístico T como estadístico de prueba se mantiene la consistencia en los análisis realizados en este trabajo.

Con la siguiente fórmula se realizó el cálculo del R final:

$$R \geq \left( \frac{t_{\alpha/2, R-1} \times S_0}{\varepsilon} \right)^2$$

Una vez realizado el cálculo se obtuvo la TABLA 19.

**TABLA 19**

**TABLA DE COMPARACIÓN DE NÚMERO DE RÉPLICAS**

<i>R</i>	8	9	10	<b>11</b>	12
R, t	10.96	10.42	10.03	<b>9.73</b>	9.49

Se puede apreciar que el R final obtenido es mayor al R mínimo obtenido inicialmente, por lo que se ensaya en continuar el análisis incluyendo los valores inmediatos superiores al R mínimo. En este caso se obtuvo que para cumplir con las características de la prueba se deben realizar no menos de 11 (once) réplicas; valor que se obtuvo al comparar el R final con el R mínimo, que en este caso resultó ya ser menor. De igual manera, al haber realizado desde un principio 20 réplicas de la simulación, no fue necesario realizar réplicas adicionales.

# CAPÍTULO 4

## 4.1 Presentación de Oportunidades de Mejora

### 4.1.1 Resultados de la Simulación Inicial

Después de efectuar el análisis de la simulación de la segunda semana de producción se ha obtenido la TABLA 20.

**TABLA 20**

#### **PORCENTAJE DE OCUPACIÓN DIARIO DE MAQUINAS**

Porcentaje de Ocupación Diario de Maquinas								
Días de Simulación			8	9	10	11	12	13
Proceso	Maquina	Media	L	M	M	J	V	S
PR12	MQ10	123.79	61.04%	76.53%	50.35%	54.93%	79.60%	65.10%
PR21	MQ19	155.10	81.93%	86.03%	86.45%	81.46%	83.67%	78.98%
PR25	MQ24	165.68	96.83%	90.93%	90.79%	88.76%	88.42%	91.82%
PR28	MQ27	130.41	83.61%	67.45%	73.21%	72.63%	68.46%	73.38%
PR30	MQ29	162.15	54.09%	27.21%	44.98%	35.22%	54.01%	50.05%
PR36	MQ35	178.89	36.72%	34.81%	36.76%	23.86%	23.86%	29.84%
PR37	MQ36	144.54	24.07%	24.10%	24.08%	48.18%	48.18%	40.15%
PR40	MQ39	309.91	100.00%	96.88%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Como se mencionó anteriormente se prestó especial atención a los procesos que tienen tiempos de ciclo mayores a 100 minutos, en los cuales, al ver la tabla de

porcentaje de ocupación, se consigue distinguir algunos procesos críticos, por su elevado valor de ocupación.

**TABLA 21**

**ANÁLISIS DE LOS PORCENTAJES DE OCUPACIÓN**

Proceso	Maquina	Media	Min	Promedio	Max
PR12	MQ10	123.79	50.35%	64.59%	79.60%
PR21	MQ19	155.10	78.98%	83.09%	86.45%
PR25	MQ24	165.68	88.42%	91.26%	96.83%
PR28	MQ27	130.41	67.45%	73.12%	83.61%
PR30	MQ29	162.15	27.21%	44.26%	54.09%
PR36	MQ35	178.89	23.86%	30.98%	36.76%
PR37	MQ36	144.54	24.07%	34.79%	48.18%
PR40	MQ39	309.91	96.88%	99.48%	100.00%

A primera vista se puede observar que existen dos procesos muy importantes que presentan una ocupación muy elevada, pero debida a la complejidad del proceso, y del hecho que muchos operadores manejan más de una máquina en el proceso, se realizó el análisis de ocupación de los trabajadores, dando la TABLA 22 como resultado.

En la TABLA 22 se puede observar la realidad del sistema, en que no necesariamente la ocupación de los equipos dicta el tiempo de producción. El analizar a los operadores

permite conocer de una mejor manera los procesos que conforman el cuello de botella.

**TABLA 22**

**PORCENTAJE DE OCUPACIÓN DIARIO DE TRABAJADORES**

Porcentaje de Ocupación Diario de Trabajadores								
Días de Simulación			8	9	10	11	12	13
Proceso	Maquina	TB	L	M	M	J	V	S
PR12	MQ10	TB08	61.04%	76.53%	50.35%	54.93%	79.60%	65.10%
PR21	MQ19	TB13	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
PR25	MQ24	TB17	96.83%	94.01%	90.79%	90.95%	91.33%	91.82%
PR28	MQ27	TB21	83.61%	70.62%	73.11%	72.63%	71.13%	73.38%
PR30	MQ29	TB23	54.09%	27.71%	44.98%	35.22%	54.01%	50.05%
PR36	MQ35	TB27	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
PR37	MQ36	TB27	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
PR40	MQ39	TB30	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

En la TABLA 23 se observa el análisis de la ocupación de los trabajadores:

**TABLA 23**

**ANÁLISIS DE LOS PORCENTAJES DE OCUPACIÓN DE LOS TRABAJADORES**

Proceso	Maquina	TB	Min	Promedio	Max
PR12	MQ10	TB08	50.35%	64.59%	79.60%
PR21	MQ19	TB13	100.00%	100.00%	100.00%
PR25	MQ24	TB17	90.79%	92.62%	96.83%
PR28	MQ27	TB21	70.62%	74.08%	83.61%
PR30	MQ29	TB23	27.71%	44.34%	54.09%
PR36	MQ35	TB27	100.00%	100.00%	100.00%
PR37	MQ36	TB27	100.00%	100.00%	100.00%
PR40	MQ39	TB30	100.00%	100.00%	100.00%

Con esta tabla se hace más sencillo ver en qué lugares del proceso se deben prestar mayor atención.

La simulación del estado inicial además sirvió para ver que el utilizar la cerradora tipo caballo (PR11) como alternativa de confección de la entropierna resulta ser más rápido y eficiente que utilizar la Overlock. La simulación demuestra que es suficiente para el proceso utilizar la primera alternativa, y fácilmente se lo puede ver en la TABLA 24, al tener un porcentaje de ocupación nulo.

**TABLA 24**

**RESULTADOS DE 20 DÍAS DE SIMULACIÓN DE PR22**

Día		Min	PR22			
			C	T.T.	U.P.	T.C.
8	L	11520	0.00%	0.00	0	0.00
9	M	12960	0.00%	0.00	0	0.00
10	M	14400	0.00%	0.00	0	0.00
11	J	15840	0.00%	0.00	0	0.00
12	V	17280	0.00%	0.00	0	0.00
13	S	18720	0.00%	0.00	0	0.00
15	L	21600	0.00%	0.00	0	0.00
16	M	23040	0.00%	0.00	0	0.00
17	M	24480	0.00%	0.00	0	0.00
18	J	25920	0.00%	0.00	0	0.00
19	V	27360	0.00%	0.00	0	0.00
20	S	28800	0.00%	0.00	0	0.00

La Tabla 24 representa los datos recolectados de la simulación concernientes a las operaciones realizadas en la MQ20 del PR22, que muestra que realmente esa operación es innecesaria.

A continuación se presentarán las mejoras propuestas para esta línea de manufactura, ensayando mantener los costos lo más bajo posible.

#### **4.1.2 Enfoque específico de la Mejora**

Como resultado del análisis de la simulación, se enfocarán las tareas de mejora a cambiar algunos centros de trabajo para manejar mejor la línea de producción.

Se tienen para este trabajo dos opciones principales:

- A.** Adquisición de una Máquina Adicional, Contratación de un Operador Adicional, y Movimiento de Operadores.

**B. Adquisición de una Máquina Adicional y Movimiento de Operadores.**

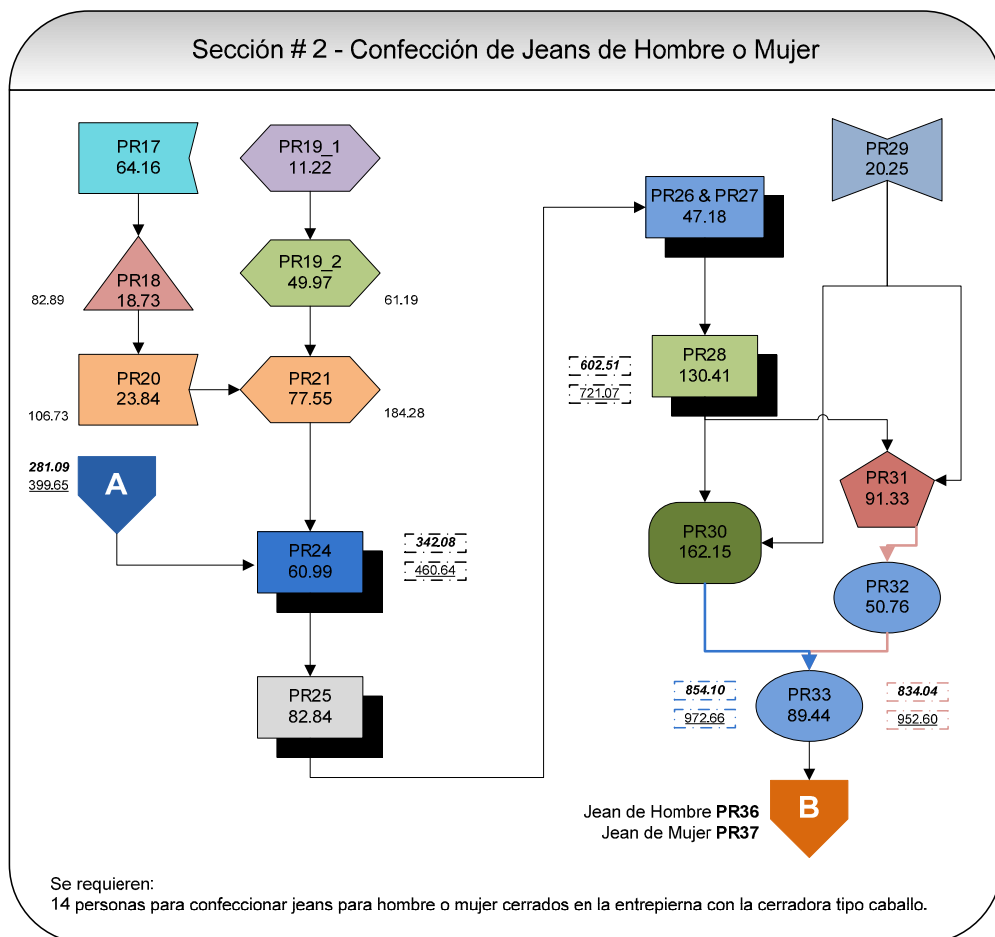
Los detalles de las mejoras son los siguientes:

**MEJORA A**

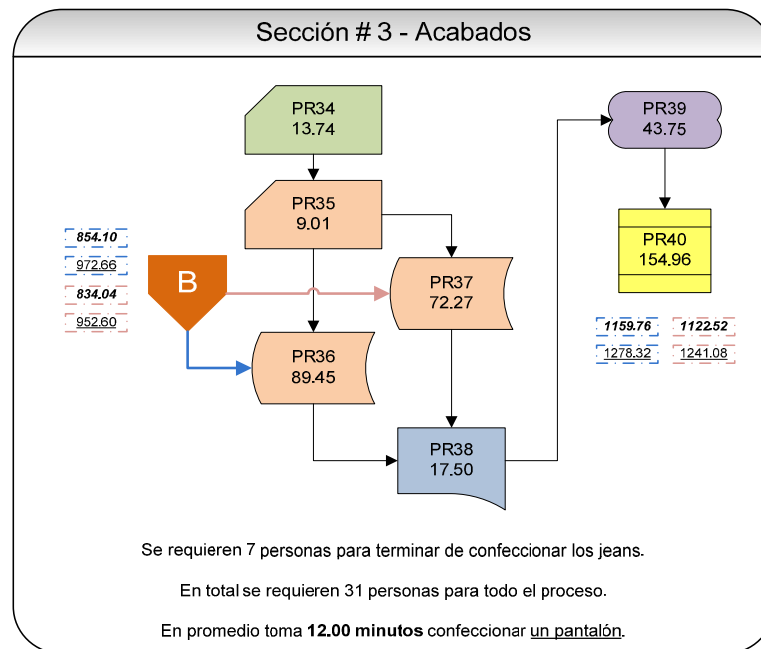
1. Eliminar el Cerrado de Entrepierna con Overlock
2. Añadir una máquina y un operador al Proceso 21. Mover al Trabajador 15 y la Máquina 21 que terminaban la tarea de cerrar la entrepierna a trabajar en conjunto con el Operador 13 en el Proceso 21.
3. Unificar el Proceso 26 con el Proceso 27, que lo realice enteramente el Operador 18.
4. Mover al Operador 20, del Proceso 27 al Proceso 40, para que asista al Trabajador 30 en las tareas de acabado.
5. Adquirir una atracadora adicional y Contratar un Operador Adicional para Trabajar en Conjunto con el Operador 27 en las tareas de Atracado.

6. Mover al Operador 14 con la Overlock, Máquina 20, para que asista en el Proceso 25.

Al implementar esta propuesta de mejora se obtiene un Diagrama de Proceso modificado desde la Sección # 2, exponiendo los cambios en las siguientes figuras:



**FIGURA 4.1: DIAGRAMA DE PROCESO DE LA SECCIÓN # 2 CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LA MEJORA A**



**FIGURA 4.2: DIAGRAMA DE PROCESO DE LA SECCIÓN # 3 CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LA MEJORA A**

A simple vista se puede notar una mejora en el tiempo de procesamiento del primer lote de pantalones, habiendo un decremento del 24% en el tiempo de ciclo (3.79 minutos) en promedio.

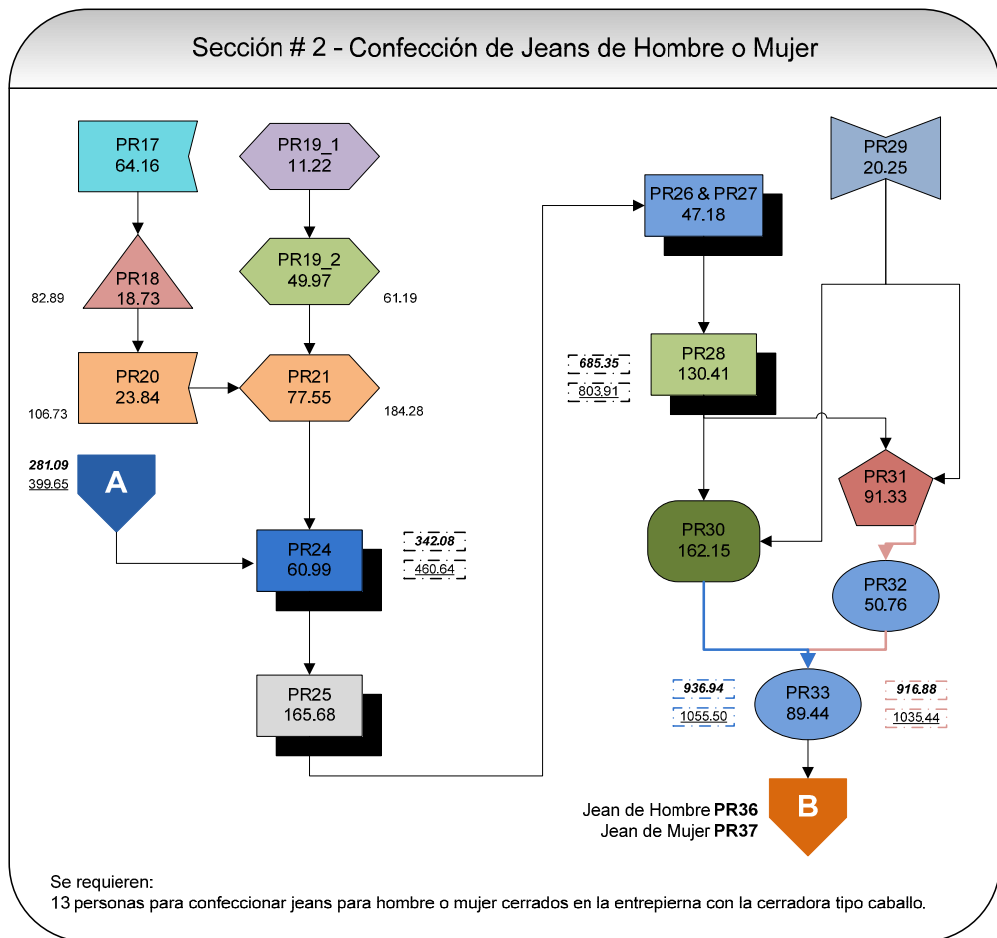
Al implementar esta mejora también se agiliza el flujo de los materiales y de hecho una mejor utilización de los equipos y del personal. Más adelante se expone el estudio costo/beneficio de la implementación de la propuesta.

## **MEJORA B**

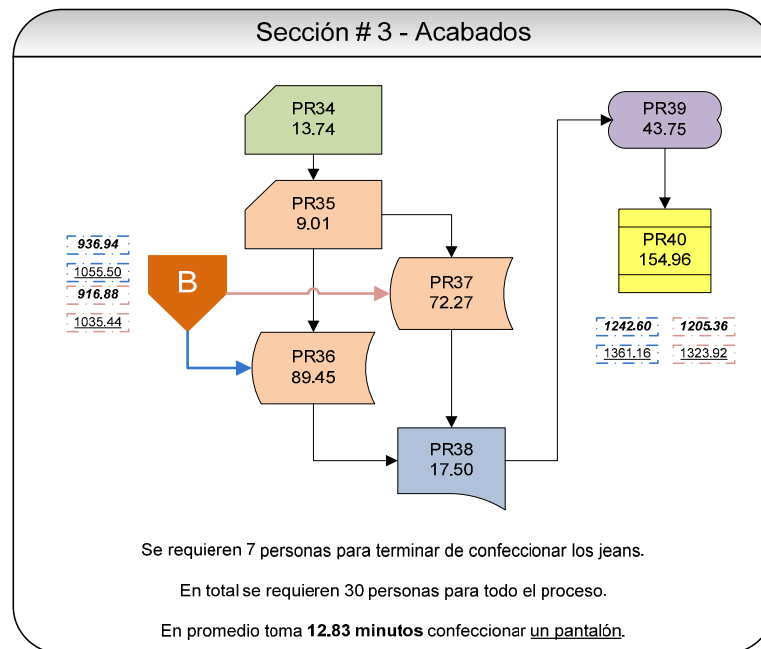
1. Eliminar el Cerrado de Entrepierna con Overlock
2. Añadir una máquina y un operador al Proceso 21.  
Mover al Trabajador 15 y la Máquina 21 que terminaban la tarea de cerrar la entrepierna a trabajar en conjunto con el Operador 13 en el Proceso 21.
3. Unificar el Proceso 26 con el Proceso 27, que lo realice enteramente el Operador 18.
4. Mover al Operador 20, del Proceso 27 al Proceso 40, para que asista al Trabajador 30 en las tareas de acabado.
5. Adquirir una atracadora adicional y capacitar al Operador 14 para que trabaje en conjunto con el Operador 27 en las tareas de Atracado.

Aplicando estos cinco cambios propuestos se logra combatir contra la exagerada ocupación en los centros de trabajo especificados anteriormente. Además que se logra aumentar la producción significativamente.

Esta mejora requiere la adquisición de una máquina más, más no la contratación de personal adicional. Su diagrama de proceso es que se observa en las FIGURAS 4.3 y 4.4.



**FIGURA 4.3: DIAGRAMA DE PROCESO DE LA SECCIÓN # 2 CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LA MEJORA B**



**FIGURA 4.4: DIAGRAMA DE PROCESO DE LA SECCIÓN # 3 CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LA MEJORA B**

Aún así, con un operador menos, se obtiene una mejora considerable, un ahorro del 19% en el tiempo de producción del primer lote (2.96 minutos).

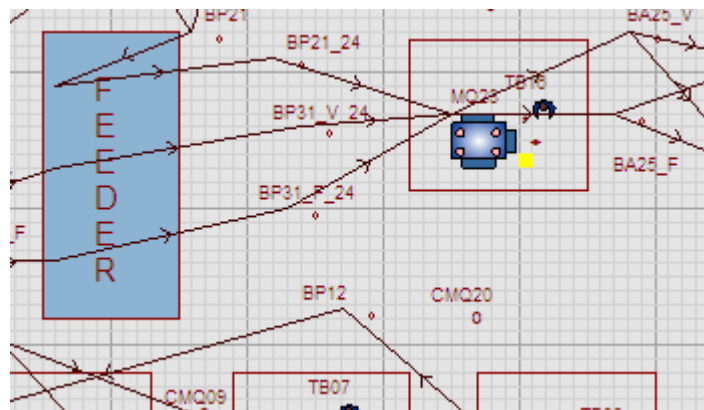
Esta mejora fue lograda en su totalidad simplemente reubicando a los operadores, de manera que se pueda lograr un mejor balance de la línea, sin incurrir en costos de honorarios mensuales adicionales.

## 4.2 Ajuste del Modelo de Simulación

Gracias a la versatilidad del sistema de simulación de WITNESS el realizar los cambios no contrajo mayor contratiempo, y el Layout se modificó según lo especificado en las mejoras:

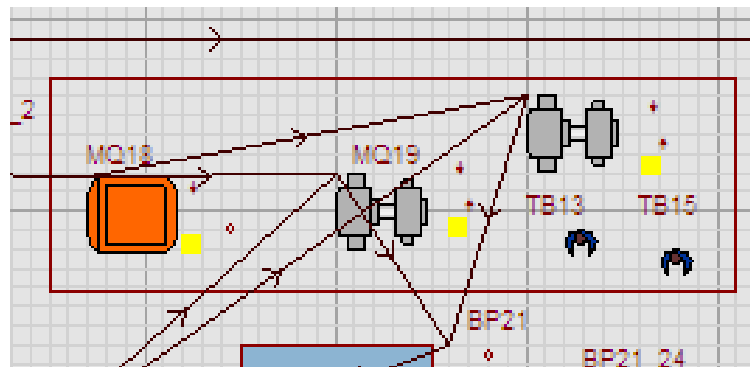
### MEJORA A

1. Eliminar el Cerrado de Entrepiera con Overlock, FIGURA 4.5.



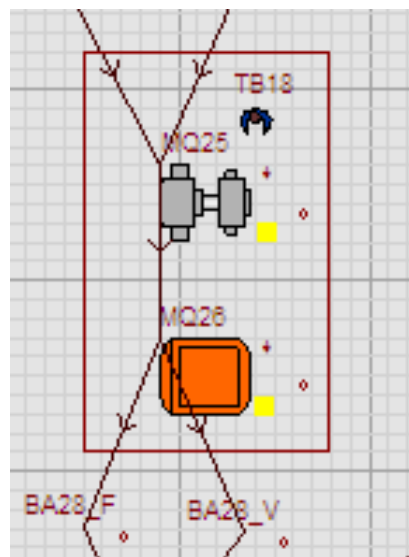
**FIGURA 4.5: CAPTURA DE IMAGEN DE LA MEJORA A – 1**

2. Añadir una máquina y un operador al Proceso 21. Mover al Trabajador 15 y la Máquina 21 que terminaban la tarea de cerrar la entrepierna a trabajar en conjunto con el Operador 13 en el Proceso 21. Ver FIGURA 4.6.



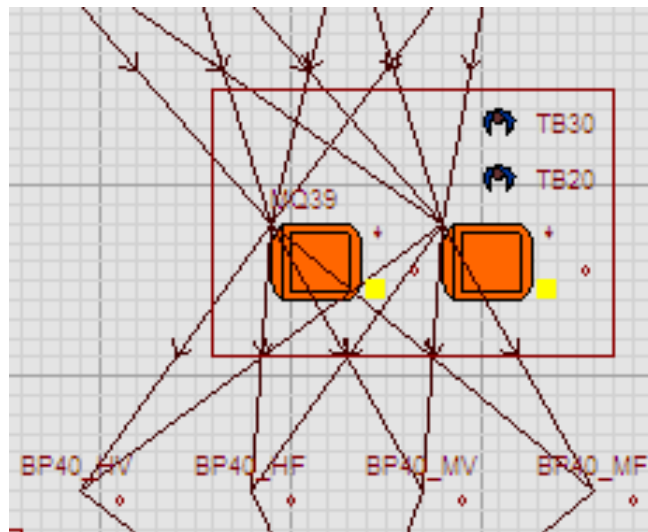
**FIGURA 4.6: CAPTURA DE IMAGEN DE LA MEJORA A – 2**

3. Unificar el Proceso 26 con el Proceso 27, que lo realice enteramente el Operador 18, FIGURA 4.7.



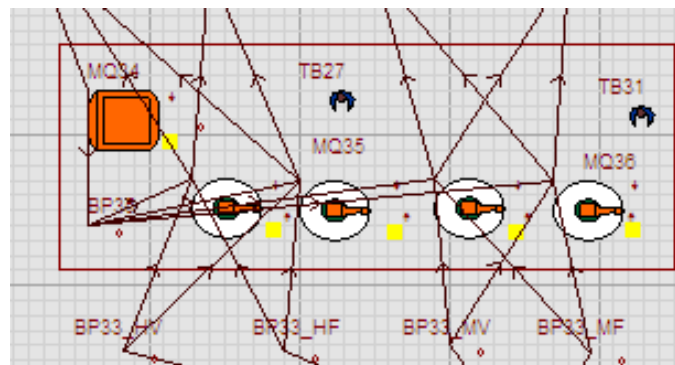
**FIGURA 4.7: CAPTURA DE IMAGEN DE LA MEJORA A – 3**

4. Mover al Operador 20, del Proceso 27 al Proceso 40, para que asista al Trabajador 30 en las tareas de acabado. Ver FIGURA 4.8.



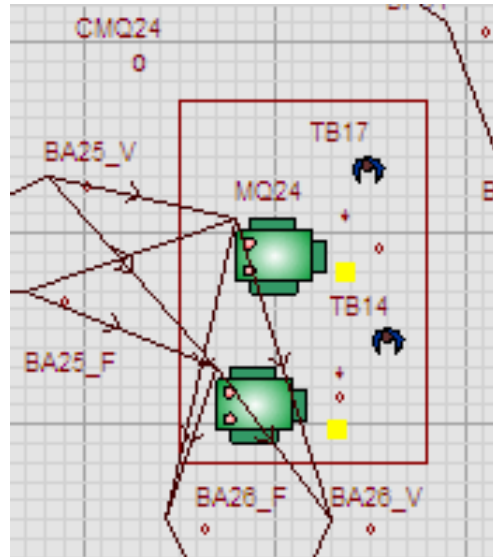
**FIGURA 4.8: CAPTURA DE IMAGEN DE LA MEJORA A – 4**

5. Adquirir una atracadora adicional y Contratar un Operador Adicional para Trabajar en Conjunto con el Operador 27 en las tareas de Atracado, FIGURA 4.9.

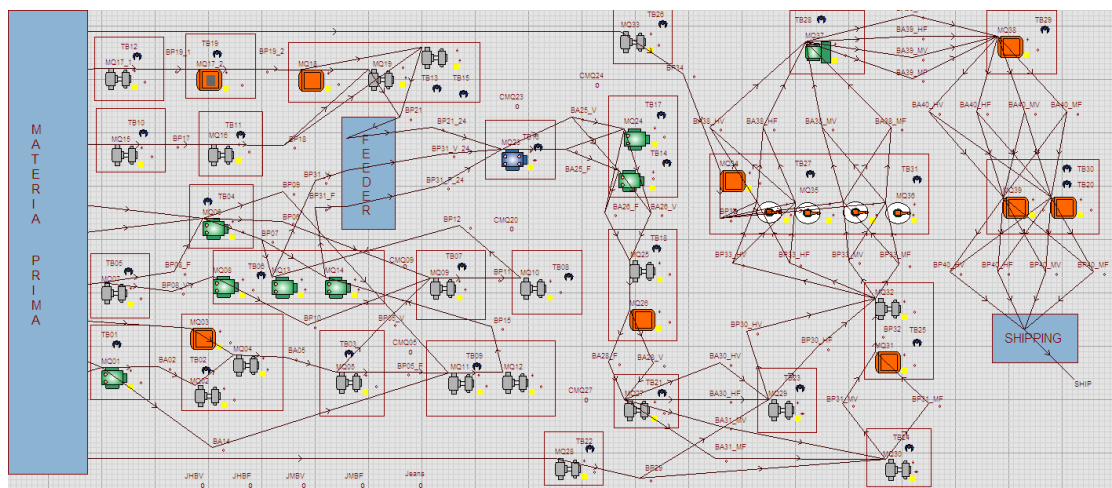


**FIGURA 4.9: CAPTURA DE IMAGEN DE LA MEJORA A – 5**

6. Mover al Operador 14 con la Overlock, Máquina 20, para que asista en el Proceso 25, FIGURA 4.10.



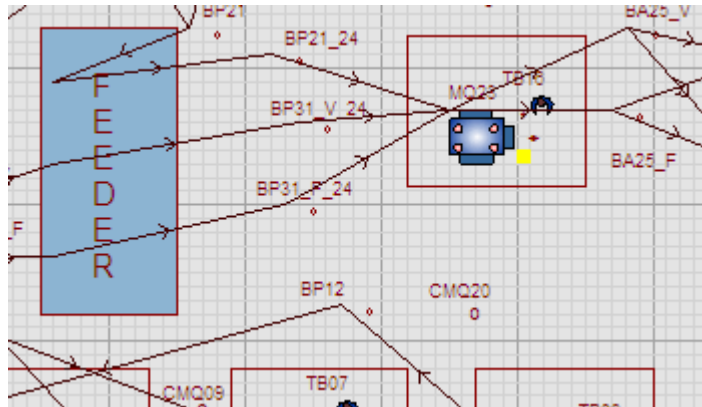
**FIGURA 4.10: CAPTURA DE IMAGEN DE LA MEJORA A – 6**



**FIGURA 4.11: LAYOUT COMPLETO DE LA MEJORA A**

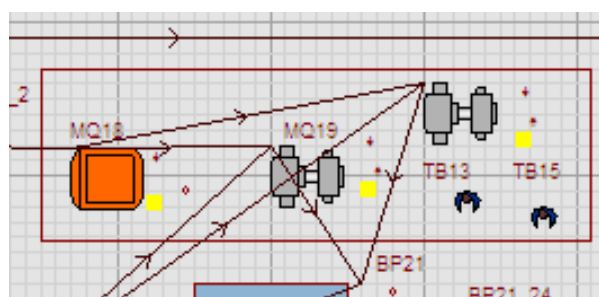
## MEJORA B

1. Eliminar el Cerrado de Entrepiera con Overlock, FIGURA 4.12.



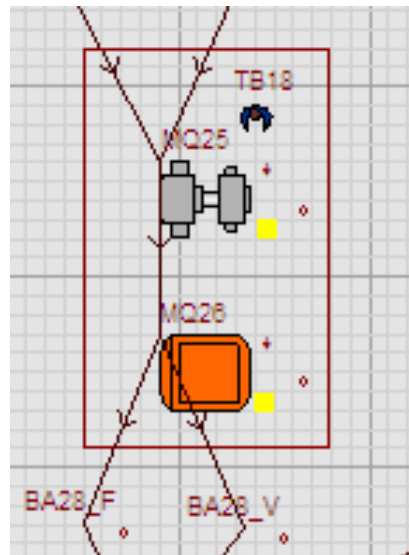
**FIGURA 4.12: CAPTURA DE IMAGEN DE LA MEJORA B – 1**

2. Añadir una máquina y un operador al Proceso 21. Mover al Trabajador 15 y la Máquina 21 que terminaban la tarea de cerrar la entrepierna a trabajar en conjunto con el Operador 13 en el Proceso 21, FIGURA 4.13.



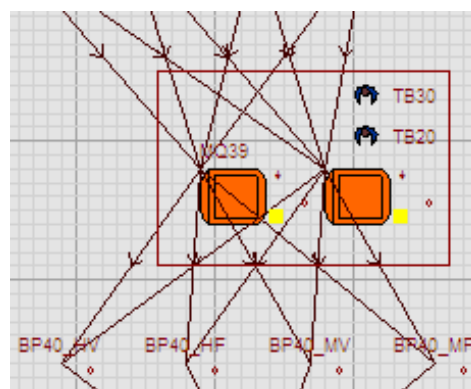
**FIGURA 4.13: CAPTURA DE IMAGEN DE LA MEJORA B – 2**

3. Unificar el Proceso 26 con el Proceso 27, que lo realice enteramente el Operador 18, FIGURA 4.14.



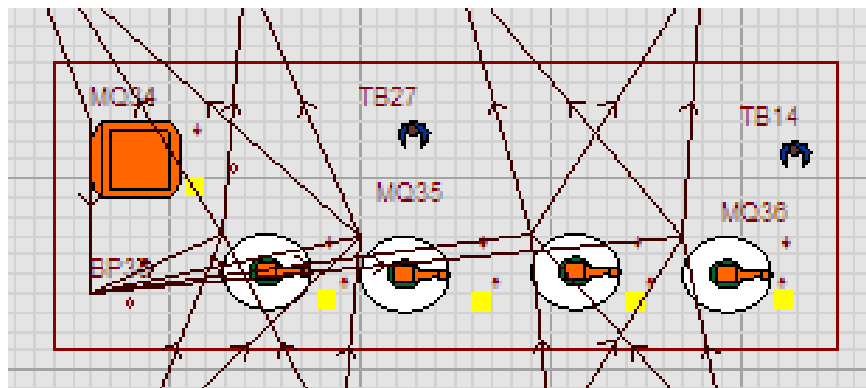
**FIGURA 4.14: CAPTURA DE IMAGEN DE LA MEJORA B – 3**

4. Mover al Operador 20, del Proceso 27 al Proceso 40, para que asista al Trabajador 30 en las tareas de acabado, FIGURA 4.15.

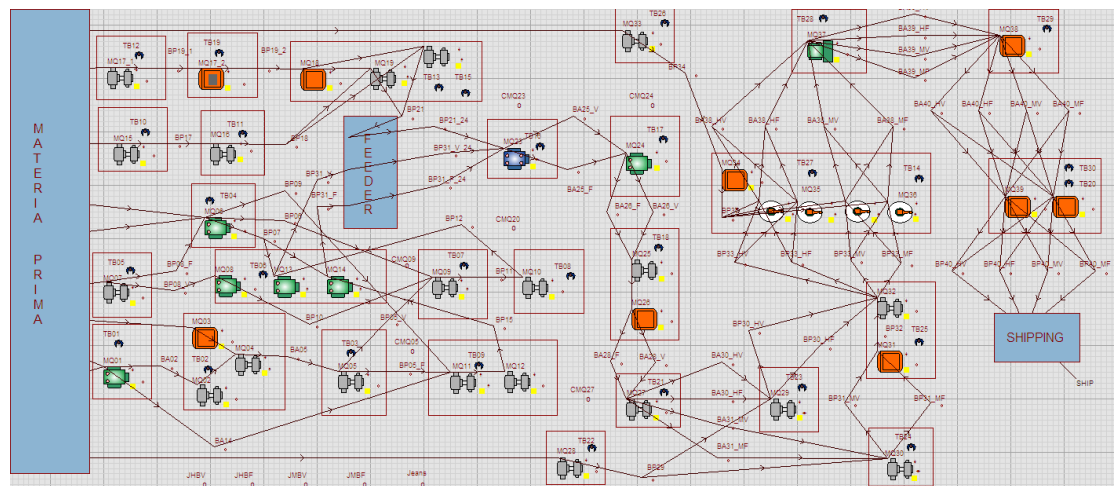


**FIGURA 4.15: CAPTURA DE IMAGEN DE LA MEJORA B – 4**

5. Adquirir una atracadora adicional y capacitar al Operador 14 para que trabaje en conjunto con el Operador 27 en las tareas de Atracado, FIGURA 4.16.



**FIGURA 4.16: CAPTURA DE IMAGEN DE LA MEJORA B – 5**



**FIGURA 4.17: LAYOUT COMPLETO DE LA MEJORA B**

#### 4.2.1 Experimentación Final

Después de efectuar el análisis de la simulación de la segunda semana de producción se ha obtenido la TABLA 25.

**TABLA 25**

#### **PORCENTAJE DE OCUPACIÓN DIARIO DE MAQUINAS - MEJORA A**

Porcentaje de Ocupación Diario de Maquinas - Mejora A								
Días de Simulación			8	9	10	11	12	13
Proceso	Maquina	Media	L	M	M	J	V	S
PR12	MQ10	123.79	21.63%	28.12%	17.74%	36.27%	19.43%	67.49%
PR21	MQ19 (1)	155.10	73.61%	73.95%	71.73%	74.69%	76.29%	70.72%
PR21	MQ19 (2)	155.10	73.08%	73.83%	74.32%	74.89%	76.55%	69.89%
PR25	MQ24 (1)	165.68	74.32%	77.01%	81.88%	72.90%	83.69%	87.22%
PR25	MQ24 (2)	165.68	77.46%	73.77%	81.70%	80.64%	76.53%	80.27%
PR28	MQ27	130.41	100.00%	100.00%	97.32%	100.00%	94.16%	100.00%
PR30	MQ29	162.15	55.44%	67.02%	64.12%	56.61%	74.17%	56.65%
PR36	MQ35 (1)	178.89	28.61%	35.78%	35.80%	32.81%	31.99%	42.07%
PR36	MQ35 (2)	178.89	32.66%	37.94%	31.71%	33.09%	32.65%	48.96%
PR37	MQ36 (1)	144.54	30.47%	24.07%	24.07%	33.74%	26.70%	5.59%
PR37	MQ36 (2)	144.54	30.61%	24.07%	24.09%	33.17%	26.83%	6.44%
PR40	MQ39 (1)	309.91	98.67%	97.73%	99.96%	100.00%	95.78%	100.00%
PR40	MQ39 (2)	309.91	100.00%	93.57%	100.00%	100.00%	94.99%	100.00%

Viendo la Tabla 25 se aprecia enseguida que los cuellos de botella seleccionados, PR25 y PR40, han reducido su porcentaje de ocupación debido a las mejoras. Y de hecho, el PR40 ahora muestra una utilización más productiva, trabajando en muchas instancias a su máxima capacidad,

procesando más unidades. En la TABLA 26 se muestra análisis de las máquinas.

**TABLA 26**  
**ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE OCUPACIÓN DIARIO DE MAQUINAS - MEJORA A**

Mejora A					
Proceso	Maquina	Media	Min	Promedio	Max
PR12	MQ10	123.79	17.74%	31.78%	67.49%
PR21	MQ19 (1)	155.10	70.72%	73.50%	76.29%
PR21	MQ19 (2)	155.10	69.89%	73.76%	76.55%
PR25	MQ24 (1)	165.68	72.90%	79.50%	87.22%
PR25	MQ24 (2)	165.68	73.77%	78.40%	81.70%
PR28	MQ27	130.41	94.16%	98.58%	100.00%
PR30	MQ29	162.15	55.44%	62.34%	74.17%
PR36	MQ35 (1)	178.89	28.61%	34.51%	42.07%
PR36	MQ35 (2)	178.89	31.71%	36.17%	48.96%
PR37	MQ36 (1)	144.54	5.59%	24.11%	33.74%
PR37	MQ36 (2)	144.54	6.44%	24.20%	33.17%
PR40	MQ39 (1)	309.91	95.78%	98.69%	100.00%
PR40	MQ39 (2)	309.91	93.57%	98.09%	100.00%

Se puede observar que han cambiando los cuellos de botella de la línea, haciendo trabajar más a procesos que anteriormente no se aprovechaban en su totalidad. Este es un resultado que se esperaba.

Ahora, no basta revisar solamente la ocupación de las máquinas, se debe prestar mucha atención a la ocupación de los operadores:

**TABLA 27**

**PORCENTAJE DE OCUPACIÓN DIARIO DE TRABAJADORES - MEJORA A**

Porcentaje de Ocupación Diario de Trabajadores - Mejora A								
Días de Simulación			8	9	10	11	12	13
Proceso	Maquina	TB	L	M	M	J	V	S
PR12	MQ10	TB08	21.63%	28.12%	17.74%	36.27%	19.43%	67.49%
PR21	MQ19 (1)	TB13	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
PR21	MQ19 (2)	TB15	73.35%	73.87%	73.80%	74.66%	76.30%	70.70%
PR25	MQ24 (1)	TB17	78.30%	79.81%	86.46%	77.73%	84.00%	92.09%
PR25	MQ24 (2)	TB14	80.44%	76.64%	81.91%	83.57%	76.69%	85.21%
PR28	MQ27	TB21	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
PR30	MQ29	TB23	55.44%	67.02%	64.12%	56.61%	74.17%	56.65%
PR36	MQ35 (1)	TB27	97.31%	100.00%	98.96%	99.72%	96.97%	96.85%
PR36	MQ35 (2)	TB31	93.91%	98.59%	94.94%	100.00%	93.19%	100.00%
PR37	MQ36 (1)	TB27	97.31%	100.00%	98.96%	99.72%	96.97%	96.85%
PR37	MQ36 (2)	TB31	93.91%	98.59%	94.94%	100.00%	93.19%	100.00%
PR40	MQ39 (1)	TB30	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
PR40	MQ39 (2)	TB20	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Estos resultados son muy bienvenidos en este trabajo, puesto que con los cambios realizados se esperaba aprovechar más a la línea. En la tabla de resumen se pueden corroborar los datos arrojados por la simulación. Puede observarse el análisis en la TABLA 28.

**TABLA 28**  
**ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE OCUPACIÓN DIARIO DE TRABAJADORES**  
**- MEJORA A**

Mejora A					
Proceso	Maquina	TB	Min	Promedio	Max
PR12	MQ10	TB08	17.74%	31.78%	67.49%
PR21	MQ19 (1)	TB13	100.00%	100.00%	100.00%
PR22	MQ19 (2)	TB15	70.70%	73.78%	76.30%
PR25	MQ24 (1)	TB17	77.73%	83.07%	92.09%
PR25	MQ24 (2)	TB14	76.64%	80.74%	85.21%
PR28	MQ27	TB21	100.00%	100.00%	100.00%
PR30	MQ29	TB23	55.44%	62.34%	74.17%
PR36	MQ35 (1)	TB27	96.85%	98.30%	100.00%
PR36	MQ35 (2)	TB31	93.19%	96.77%	100.00%
PR37	MQ36 (1)	TB27	96.85%	98.30%	100.00%
PR37	MQ36 (2)	TB31	93.19%	96.77%	100.00%
PR40	MQ39 (1)	TB30	100.00%	100.00%	100.00%
PR40	MQ39 (2)	TB20	100.00%	100.00%	100.00%

Estos datos permiten reconocer que el modelo funciona a su total capacidad, y que los puntos que causaban demoras por falta de material han sido revisados. Sin embargo muestran una ocupación exagerada de los operarios.

Los resultados arrojados por la simulación de la Mejora B expuestos en la TABLA 29 son muy interesantes. Denotan una ocupación muy acertada de los puestos de trabajo donde se han realizado las mejoras, obligando al cuello de botella mayor trabajar a total capacidad. Ya que no se

modificó en este caso el PR25, arroja los porcentajes de ocupación más altos de las máquinas.

**TABLA 29**

**PORCENTAJE DE OCUPACIÓN DIARIO DE MAQUINAS - MEJORA B**

Porcentaje de Ocupación Diario de Maquinas - Mejora B								
Días de Simulación			8	9	10	11	12	13
Proceso	Maquina	Media	L	M	M	J	V	S
PR12	MQ10	123.79	21.63%	28.12%	72.83%	61.57%	62.22%	41.16%
PR21	MQ19 (1)	155.10	73.61%	57.15%	51.61%	39.30%	48.61%	43.07%
PR21	MQ19 (2)	155.10	73.08%	57.85%	51.82%	41.12%	49.58%	43.07%
PR25	MQ24	165.68	96.93%	100.00%	99.58%	95.33%	100.00%	100.00%
PR28	MQ27	130.41	82.46%	70.56%	81.72%	69.19%	87.23%	73.05%
PR30	MQ29	162.15	50.77%	54.12%	53.41%	27.65%	54.02%	53.01%
PR36	MQ35 (1)	178.89	30.77%	10.96%	34.05%	31.56%	12.53%	28.32%
PR36	MQ35 (2)	178.89	30.74%	11.00%	35.93%	32.95%	17.59%	20.91%
PR37	MQ36 (1)	144.54	23.84%	24.07%	24.07%	13.74%	22.13%	40.16%
PR37	MQ36 (2)	144.54	24.32%	24.10%	24.08%	14.21%	22.16%	40.19%
PR40	MQ39 (1)	309.91	99.11%	98.67%	66.96%	100.00%	98.76%	60.37%
PR40	MQ39 (2)	309.91	100.00%	100.00%	66.98%	99.96%	96.44%	61.13%

Al mantener el PR25 en las condiciones originales es posible aprovecharla aún más. Esto obviamente se lo logró mediante el análisis de la simulación, y atacando un cuello de botella no fácilmente reconocible, como es el PR21. Este análisis se lo puede observar en la TABLA 30.

**TABLA 30**  
**ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE OCUPACIÓN DIARIO DE MAQUINAS -**  
**MEJORA B**

Mejora B					
Proceso	Maquina	Media	Min	Promedio	Max
PR12	MQ10	123.79	21.63%	47.92%	72.83%
PR21	MQ19 (1)	155.10	39.30%	52.23%	73.61%
PR21	MQ19 (2)	155.10	41.12%	52.75%	73.08%
PR25	MQ24	165.68	95.33%	98.64%	100.00%
PR28	MQ27	130.41	69.19%	77.37%	87.23%
PR30	MQ29	162.15	27.65%	48.83%	54.12%
PR36	MQ35 (1)	178.89	10.96%	24.70%	34.05%
PR36	MQ35 (2)	178.89	11.00%	24.85%	35.93%
PR37	MQ36 (1)	144.54	13.74%	24.67%	40.16%
PR37	MQ36 (2)	144.54	14.21%	24.84%	40.19%
PR40	MQ39 (1)	309.91	60.37%	87.31%	100.00%
PR40	MQ39 (2)	309.91	61.13%	87.42%	100.00%

Así mismo, para reconocer bien las oportunidades de mejora es vital revisar en paralelo las máquinas y los operadores, ya que en este proceso existen operadores que manejan más de una máquina.

Como se observa ahora en la TABLA 32, y era de esperarse, el operado que tiene el mayor porcentaje de ocupación es el TB17 del Proceso # 25. Cabe recalcar que anteriormente, en el estado original, no se aprovechaba en su totalidad la capacidad productiva de este puesto de trabajo.

TABLA 31

## PORCENTAJE DE OCUPACIÓN DIARIO DE TRABAJADORES - MEJORA B

Porcentaje de Ocupación Diario de Trabajadores - Mejora B								
Días de Simulación			8	9	10	11	12	13
Proceso	Maquina	TB	L	M	M	J	V	S
PR12	MQ10	TB08	21.63%	28.12%	72.83%	61.57%	62.22%	41.16%
PR21	MQ19 (1)	TB13	100.00%	79.55%	69.42%	53.15%	70.54%	56.64%
PR21	MQ19 (2)	TB15	73.35%	57.37%	52.08%	41.12%	48.82%	42.66%
PR25	MQ24	TB17	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
PR28	MQ27	TB21	82.46%	73.73%	81.72%	69.19%	87.23%	73.05%
PR30	MQ29	TB23	50.77%	54.12%	53.41%	27.65%	54.02%	53.01%
PR36	MQ35 (1)	TB27	88.80%	44.32%	100.00%	78.67%	54.20%	100.00%
PR36	MQ35 (2)	TB14	89.60%	48.79%	96.92%	78.15%	55.39%	91.92%
PR37	MQ36 (1)	TB27	88.80%	44.32%	100.00%	78.67%	54.20%	100.00%
PR37	MQ36 (2)	TB14	89.60%	48.79%	96.92%	78.15%	55.39%	91.92%
PR40	MQ39 (1)	TB30	100.00%	100.00%	72.62%	100.00%	98.76%	65.94%
PR40	MQ39 (2)	TB20	100.00%	100.00%	70.01%	100.00%	96.44%	69.48%

TABLA 32

## ANÁLISIS DE PORCENTAJE DE OCUPACIÓN DIARIO DE TRABAJADORES - MEJORA B

Mejora B					
Proceso	Maquina	TB	Min	Promedio	Max
PR12	MQ10	TB08	21.63%	47.92%	72.83%
PR21	MQ19 (1)	TB13	53.15%	71.55%	100.00%
PR22	MQ19 (2)	TB15	41.12%	52.57%	73.35%
PR25	MQ24	TB17	100.00%	100.00%	100.00%
PR28	MQ27	TB21	69.19%	77.90%	87.23%
PR30	MQ29	TB23	27.65%	48.83%	54.12%
PR36	MQ35 (1)	TB27	44.32%	77.67%	100.00%
PR36	MQ35 (2)	TB14	48.79%	76.80%	96.92%
PR37	MQ36 (1)	TB27	44.32%	77.67%	100.00%
PR37	MQ36 (2)	TB14	48.79%	76.80%	96.92%
PR40	MQ39 (1)	TB30	65.94%	89.55%	100.00%
PR40	MQ39 (2)	TB20	69.48%	89.32%	100.00%

Estos datos permiten observar que hubieron cambios muy favorables con ambas mejoras, el modelo de simulación ayudó a reconocer aquellos procesos que entorpecían el flujo de materiales, por las restricciones originales y por el hecho que los operadores realizan múltiples tareas.

# CAPÍTULO 5

## 5.1 Presentación de Resultados

Los modelos de simulación con las propuestas de mejora implementadas, así mismo como el modelo actual en el Capítulo 3, se sometieron a un análisis estadístico de modo de lograr obtener un número de réplicas adecuado para el estudio de nuestra variable de salida.

Al igual que en el Capítulo 3, se realizó un seguimiento a PR11 y PR24, en este caso se establecieron 43,200.00 minutos de simulación para cada modelo, este tiempo es la simulación de 20 días de trabajo.

Se hizo una recopilación de datos de los 20 reportes de cada uno de los días de simulación y se prestó atención a las unidades producidas por cada uno de los centros de trabajo que representan a los procesos mencionados, así como al porcentaje de tiempo activo, es decir el porcentaje de tiempo que el centro de trabajo procesó el

material. En las siguientes tablas, TABLA 33 y TABLA 34, se exponen los resultados de la recopilación de esta información.

**TABLA 33**

**MEJORA A - SEGUIMIENTO DE PR11 Y PR24**

Día	Min	PR11				PR24				
		C	T.T.	U.P.	T.C.	C	T.T.	U.P.	T.C.	
8	L	11520	22.92%	137.52	200	68.76	58.69%	352.14	578	60.92
9	M	12960	11.42%	68.52	100	68.52	59.95%	359.70	590	60.97
10	M	14400	11.50%	69.00	100	69.00	56.01%	336.06	551	60.99
11	J	15840	22.91%	137.46	200	68.73	56.67%	340.02	559	60.83
12	V	17280	11.46%	68.76	100	68.76	60.97%	365.82	600	60.97
13	S	18720	19.14%	68.90	100	68.90	55.42%	199.51	328	60.83
15	L	21600	22.98%	137.88	200	68.94	58.20%	349.20	572	61.05
16	M	23040	34.37%	206.22	300	68.74	60.69%	364.14	597	60.99
17	M	24480	25.01%	150.06	217	69.15	59.60%	357.60	586	61.02
18	J	25920	20.91%	125.46	183	68.56	57.49%	344.94	567	60.84
19	V	27360	24.82%	148.92	215	69.27	55.96%	335.76	550	61.05
20	S	28800	35.19%	126.68	185	68.48	63.31%	227.92	372	61.27
22	L	31680	34.47%	206.82	300	68.94	53.52%	321.12	528	60.82
23	M	33120	33.27%	199.62	290	68.83	62.16%	372.96	609	61.24
24	M	34560	15.54%	93.24	135	69.07	59.98%	359.88	591	60.89
25	J	36000	20.07%	120.42	175	68.81	59.90%	359.40	589	61.02
26	V	37440	34.36%	206.16	300	68.72	56.64%	339.84	557	61.01
27	S	38880	28.52%	102.67	149	68.91	58.95%	212.22	348	60.98
29	L	41760	26.20%	157.20	228	68.95	55.76%	334.56	548	61.05
30	M	43200	25.47%	152.82	223	68.53	59.47%	356.82	585	60.99

Con estos datos, TABLA 33 y TABLA 34 se continuó el estudio realizando un análisis de los tiempos de producción, de manera que

se pueda aplicar el método de los Intervalos de Confianza con Error definido [7].

**TABLA 34**

**MEJORA B - SEGUIMIENTO DE PR11 Y PR24**

Día	Min	PR11				PR24				
		C	T.T.	U.P.	T.C.	C	T.T.	U.P.	T.C.	
8	L	11520	22.92%	137.52	200	68.76	33.14%	198.84	327	60.81
9	M	12960	16.93%	101.58	147	69.10	41.61%	249.66	409	61.04
10	M	14400	28.90%	173.40	253	68.54	39.68%	238.08	391	60.89
11	J	15840	34.46%	206.76	300	68.92	32.81%	196.86	323	60.95
12	V	17280	34.39%	206.34	300	68.78	30.56%	183.36	301	60.92
13	S	18720	38.23%	137.63	200	68.81	42.40%	152.64	248	61.55
15	L	21600	34.44%	206.64	300	68.88	33.11%	198.66	328	60.57
16	M	23040	34.48%	206.88	300	68.96	40.66%	243.96	400	60.99
17	M	24480	34.99%	209.94	304	69.06	40.64%	243.84	400	60.96
18	J	25920	36.06%	216.36	314	68.90	31.10%	186.60	307	60.78
19	V	27360	43.76%	262.56	382	68.73	30.26%	181.56	297	61.13
20	S	28800	39.20%	141.12	205	68.84	42.02%	151.27	248	61.00
22	L	31680	45.25%	271.50	395	68.73	35.36%	212.16	348	60.97
23	M	33120	57.33%	343.98	500	68.80	40.70%	244.20	400	61.05
24	M	34560	43.49%	260.94	379	68.85	40.55%	243.30	400	60.83
25	J	36000	39.77%	238.62	346	68.97	30.09%	180.54	295	61.20
26	V	37440	42.94%	257.64	375	68.70	30.90%	185.40	305	60.79
27	S	38880	46.11%	166.00	240	69.17	41.12%	148.03	242	61.17
29	L	41760	42.62%	255.72	371	68.93	36.34%	218.04	358	60.91
30	M	43200	51.33%	307.98	448	68.75	40.78%	244.68	400	61.17

En la TABLA 35, se muestra el resumen de los resultados obtenidos.

Como es necesario realizar una comparación entre los tres modelos estudiados en este trabajo, se prosigue por seleccionar el mayor valor de R mínimo, que en este caso debe ser redondeado a 18. Sin

embargo es necesario continuar con el método, para obtener la cantidad de réplicas que se requieren efectuar.

**TABLA 35**  
**RESUMEN DE RESULTADOS MEJORA A Y MEJORA B**

	Mejora 1		Mejora 2	
	PR11	PR24	PR11	PR24
<b>Media</b>	68.83	60.99	68.86	60.98
<b>Varianza</b>	0.04	0.01	0.02	0.04
<b>Desviación Estándar</b>	0.21	0.12	0.15	0.20
<b>Máximo</b>	69.27	61.27	69.17	61.55
<b>Mínimo</b>	68.48	60.82	68.54	60.57
<b>R mínimo</b>	<b>17.24</b>	<b>5.55</b>	<b>8.48</b>	<b>16.09</b>

Se continúa con las mismas características que en el Capítulo 3, se mantiene un error de 0.1 y un nivel de confianza del 95%.

**TABLA 36**  
**NUMERO DE REPLICAS A REALIZAR**

<b>R</b>	18	19	<b>20</b>	21	22
<b>R, t</b>	19.98	19.81	<b>19.66</b>	19.53	19.41

Para estos modelos mejorados se obtuvo una cantidad de réplicas necesarias de 20, que habiendo comenzado con dicho valor no se requiere realizar réplicas adicionales.

Una vez que se realizó el análisis de la simulación y que se presentaron las oportunidades de mejora, se procede a revisar los resultados: la producción total. Esto se efectúa con el fin de cuantificar la mejora en términos de unidades producidas durante los experimentos. Aquí se prestó atención únicamente a la Variable de Salida: Cantidad Total de Jeans Producidos.

**TABLA 37**  
**RESULTADOS DE PRODUCCIÓN DIARIOS DE LOS TRES MODELOS DE SIMULACIÓN**

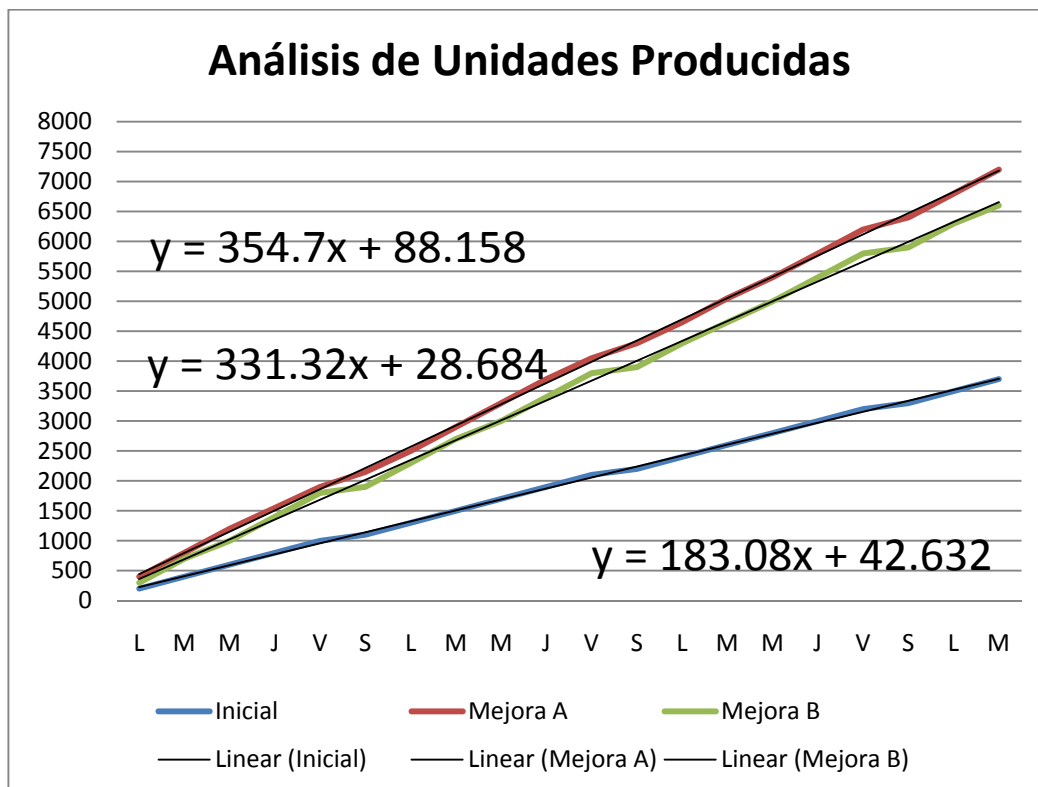
Producción		L	M	M	J	V	S	
Día 8 a 13	Inicial	PD	200	200	200	200	100	
		PA	200	400	600	800	1000	1100
	Mejora A	PD	400	400	400	350	350	250
		PA	400	800	1200	1550	1900	2150
		%MD	100.00%	100.00%	100.00%	75.00%	75.00%	150.00%
	Mejora B	PD	300	400	300	400	400	100
		PA	300	700	1000	1400	1800	1900
		%MD	50.00%	100.00%	50.00%	100.00%	100.00%	0.00%
	Día 15 a 20	Inicial	PD	200	200	200	200	200
PA			1300	1500	1700	1900	2100	2200
Mejora A		PD	350	400	400	400	350	250
		PA	2500	2900	3300	3700	4050	4300
		%MD	75.00%	100.00%	100.00%	100.00%	75.00%	150.00%
Mejora B		PD	400	400	300	400	400	100
		PA	2300	2700	3000	3400	3800	3900
		%MD	100.00%	100.00%	50.00%	100.00%	100.00%	0.00%

**TABLA 37**  
**RESULTADOS DE PRODUCCIÓN DIARIOS DE LOS TRES MODELOS DE SIMULACIÓN (CONTINUACION)**

<b>Día 22 a 27</b>	<b>Inicial</b>	<b>PD</b>	200	200	200	200	200	100
		<b>PA</b>	2400	2600	2800	3000	3200	3300
	<b>Mejora A</b>	<b>PD</b>	350	400	350	400	400	200
		<b>PA</b>	4650	5050	5400	5800	6200	6400
		<b>%MD</b>	75.00%	100.00%	75.00%	100.00%	100.00%	100.00%
	<b>Mejora B</b>	<b>PD</b>	400	350	350	400	400	100
		<b>PA</b>	4300	4650	5000	5400	5800	5900
		<b>%MD</b>	100.00%	75.00%	75.00%	100.00%	100.00%	0.00%
	<b>Día 29 a 30</b>	<b>Inicial</b>	<b>PD</b>	200	200			
<b>PA</b>			3500	3700				
<b>Mejora A</b>		<b>PD</b>	400	400				
		<b>PA</b>	6800	7200				
		<b>%MD</b>	100.00%	100.00%				
<b>Mejora B</b>		<b>PD</b>	400	300				
		<b>PA</b>	6300	6600				
		<b>%MD</b>	100.00%	50.00%				

Comparando los tres modelos es posible observar que hay mejoras sustanciales en las unidades diarias producidas. Como parte de la experimentación, se desecharon los datos de la primera semana, que representa el tiempo de Warmup y se analizan los datos de la semana siguiente desde cero.

Las mejoras se las perciben con mayor facilidad en un gráfico de producción acumulada, FIGURA 5.1.



**FIGURA 5.1: ANÁLISIS DE UNIDADES PRODUCIDAS - PRODUCCIÓN ACUMULADA**

Es posible observar que la producción de cualquiera de las dos mejoras es superior en comparación con la situación inicial, que de hecho es lo que se estaba buscando en este trabajo de tesis.

Para cuantificar la mejora se utilizarán las pendientes de las funciones de tendencia de cada una de los tres modelos. Se utiliza la pendiente puesto que es la que rige el crecimiento de la producción a lo largo del tiempo, y está dada en unidades/días de producción.

TABLA 38

## RESUMEN DE RESULTADOS

Resultados			
Modelo	Promedio PD	PT Día 30	Pendiente
Inicial	185	3700	183.08
Mejora A	360	7200	354.70
Mejora B	330	6600	331.32

Para asegurar los datos obtenidos con un nivel de confianza adecuado, se realizó una prueba de hipótesis sobre la media de producción, comprobando que la producción diaria media para la Mejora A es de 360 unidades y para la Mejora B de 330 unidades. Cabe recalcar que se incluye en sábado, que es un poco más de media jornada de producción, en el cálculo de producción diaria media.

**One-Sample T: Inicial**

Test of mu = 185 vs not = 185

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P
Inicial	20	185.000	36.635	8.192	(167.854, 202.146)	0.00	1.000

**One-Sample T: PD Mejora A**

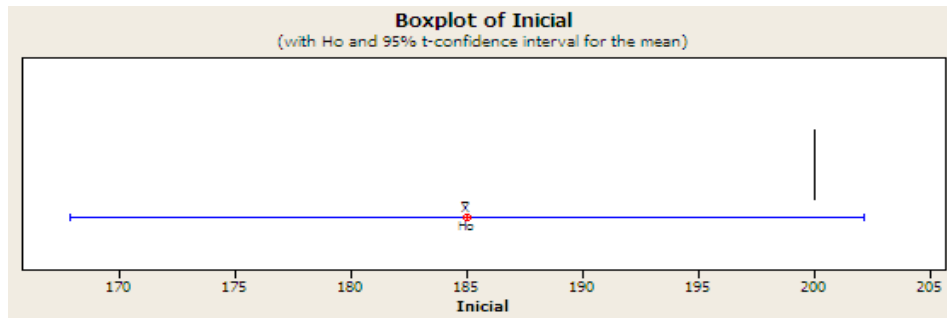
Test of mu = 360 vs not = 360

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P
PD Mejora A	20	360.000	59.824	13.377	(332.001, 387.999)	0.00	1.000

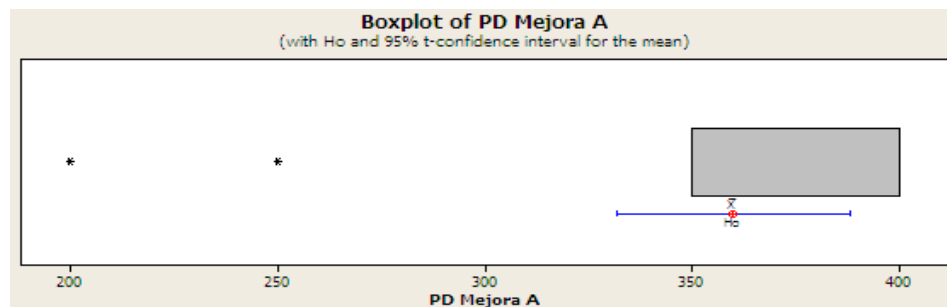
### One-Sample T: PD Mejora B

Test of  $\mu = 330$  vs not = 330

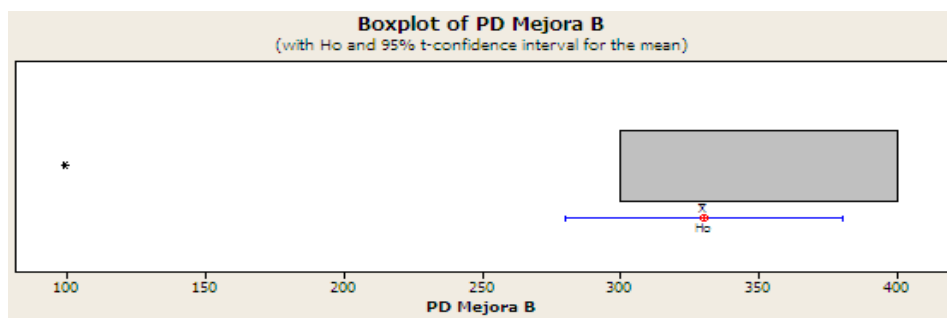
Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P
PD Mejora B	20	330.000	106.869	23.897	(279.984, 380.016)	0.00	1.000



**FIGURA 5.2: INTERVALO DE CONFIANZA DE LA MEDIA DE PRODUCCIÓN DIARIA DEL MODELO INICIAL**



**FIGURA 5.3: INTERVALO DE CONFIANZA DE LA MEDIA DE PRODUCCIÓN DIARIA DEL MODELO MEJORADO**



**FIGURA 5.4: INTERVALO DE CONFIANZA DE LA MEDIA DE PRODUCCIÓN DIARIA DEL MODELO MEJORADO 2**

Con este análisis se logra asegurar con un 95% de confianza que la media de producción diaria es la que se encuentra en la tabla anterior, que dicta la pendiente de las líneas de tendencia.

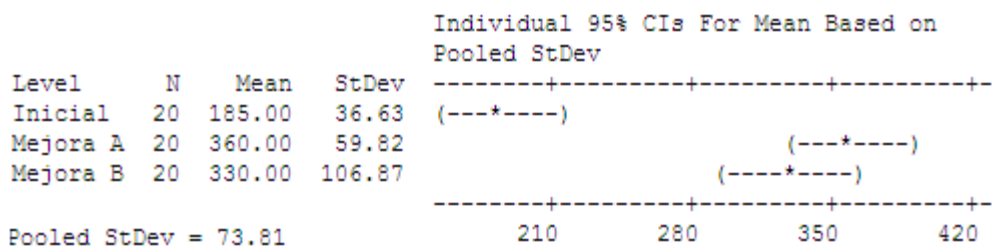
Con la aseveración de que los datos obtenidos cumplen con los requisitos predispuestos se procedió a realizar un Análisis de Varianzas para asegurar con validez estadística que existe mejora significativa en los modelos propuestos.

Se realizó una comparación de los tres modelos, ensayando obtener que exista una diferencia significativa entre el modelo inicial y los modelos mejorados. Nuevamente, este estudio se lo realizó en el Programa de Análisis Estadístico MINITAB.

#### One-way ANOVA: Producción Diaria versus Modelo de Simulación

Source	DF	SS	MS	F	P
Modelo de Simula	2	350333	175167	32.16	0.000
Error	57	310500	5447		
Total	59	660833			

S = 73.81 R-Sq = 53.01% R-Sq(adj) = 51.37%



Con los datos arrojados por el programa es sencillo observar que existe suficiente evidencia estadística para asegurar que las medias de los datos arrojados por los tres modelos de simulación con diferentes. Esto, junto con conocer que las medias de los dos modelos de simulación que cuentan con las modificaciones de las mejoras, sirve para determinar que de hecho existe una mejora significativa en comparación al modelo inicial.

De igual manera se efectuó una comparación entre los datos obtenidos de los dos modelos mejorados. Al realizar un Análisis de Varianzas se obtuvo que los modelos son parecidos, al haber obtenido un P-Value mayor al nivel de confianza que se utilizó en las pruebas, que fue de un 95%, es decir un  $\alpha$  de 0.05.

#### One-way ANOVA: Producción Diaria versus Modelo de Simulación

Source	DF	SS	MS	F	P
Modelo de Simula	1	9000	9000	1.20	0.280
Error	38	285000	7500		
Total	39	294000			

S = 86.60 R-Sq = 3.06% R-Sq(adj) = 0.51%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Mejora A	20	360.00	59.82	(-----*-----)
Mejora B	20	330.00	106.87	(-----*-----)

Pooled StDev = 86.60

300      330      360      390

Aún así, al ser un P-Value no tan elevado se puede decir que es poco probable que los dos modelos arrojen la misma cantidad de Jeans diariamente.

Habiendo corroborado los datos de la simulación, se deja en claro que con cualquiera de los dos modelos se obtiene una mejora significativa.

**TABLA 39**

**ANÁLISIS DEL RESUMEN DE RESULTADOS**

Porcentaje de Mejora contra Modelo Inicial		
Modelo	Producción Total	Pendiente
Mejora A	94.59%	93.74%
Mejora B	78.38%	80.97%

Según los datos obtenidos de la simulación, se obtendría un 93.74% más de unidades producidas al día si se implementa la Mejora A. Y así mismo se lograría un 80.97% más de unidades producidas al día si se implementa la Mejora B.

A continuación se realizará un estudio breve de costo beneficio para cuantificar en dólares lo que significa aplicar o no estas mejoras.

## 5.2 Estudio Costo/Beneficio

El análisis Costo/Beneficio se realizó mediante la estimación de costos basado en los siguientes puntos:

- Un jean tiene un costo aproximado de \$20.00, con una utilidad del 10%.
- Una Máquina de Coser Atracadora tiene un costo aproximado de \$2,000.00 nueva (es posible conseguir remates de máquinas hasta por \$400.00 pero en este estudio se consideró en el costo de la máquina nueva).
- Se asume un costo de \$300 por adecuaciones en instalaciones eléctricas.
- Un trabajador de costura, operador de máquina, gana \$350.00 mensuales, \$14.58 diarios.
- Se asume la venta total de los jeans.
- Los costos se los prorratarán diariamente.
- Se cubrirán los costos con la producción diaria adicional.

## MEJORA A

La producción mensual obtenida por el modelo inicial, fue de 4400 unidades. El Costo Total de Inversión para la Mejora A es de: **\$2,650.00**. Mientras que el beneficio total es de: 4200 unidades adicionales producidas al mes, que traerían una utilidad adicional de **\$8,400.00** al mes.

Con estas cifras es fácil ver que la mejora planteada es muy atractiva económicamente, con un retorno del **217%** de la inversión al primer mes. Cabe recalcar que el costo en el que se está incurriendo no incluye un análisis basado en simulación como el de este trabajo.

**TABLA 40**

### **ANÁLISIS DE UTILIDAD DEL PRIMER MES DE PRODUCCIÓN CON LA MEJORA A**

<b>Mejora A</b>	
Producción Mensual	8600
<b>Producción Adicional</b>	<b>4200</b>
Ingreso Adicional	\$ 8,400.00
Costo Operador Adicional	\$ 350.00
Costo de Máquina	\$ 2,300.00
Total Gastos Mensual	\$ 2,650.00
<b>Utilidad Adicional</b>	<b>\$ 5,750.00</b>

## MEJORA B

El Costo Total de Inversión para la Mejora A es de: **\$2,300.00**, ya que se decidió no contratar a un operador adicional. El beneficio total de esta mejora es de: 3500 unidades adicionales producidas al mes, que traerían una utilidad adicional de **\$7,000.00** al mes, 17% menos que la Mejora A.

Con estas cifras es fácil ver que la mejora planteada es muy atractiva económicamente, con un retorno del **204%** de la inversión al primer mes. Cabe recalcar que el costo en el que se está incurriendo no incluye un análisis basado en simulación como el de este trabajo.

**TABLA 41**

### **ANÁLISIS DE UTILIDAD DEL PRIMER MES DE PRODUCCIÓN CON LA MEJORA B**

<b>Mejora B</b>	
Producción Mensual	7900
<b>Producción Adicional</b>	<b>3500</b>
Ingreso Adicional	\$ 7,000.00
Costo Operador Adicional	\$ -
Costo de Máquina	\$ 2,300.00
Total Gastos Mensual	\$ 2,300.00
<b>Utilidad Adicional</b>	<b>\$ 4,700.00</b>

Para ambos casos el retorno de la inversión ocurre en el primer mes, lo que hace que estas opciones de mejoras sean muy beneficiosas. Son sencillas de realizar y muy baratas. En todo caso la Mejora B se diferencia de la A al no tener que crear una relación de dependencia adicional con el operador que se requiere en la Mejora A, sin embargo se sacrifica costo.

Sin embargo, regresando al estudio de ocupación realizado en el capítulo anterior, implementando la Mejora A se obtiene una ocupación excesiva de varios operadores, caso contrario con la implementación de la Mejora B, en el que se aprovecha al máximo un operador; motivo por el cual se considera a la Mejora B como una opción muy viable.

# CAPÍTULO 6

## 6.1 Conclusiones del Estudio

- Se obtuvo satisfactoriamente un incremento significativo en la productividad de la línea con las mejoras propuestas, logrando alcanzar el objetivo de este trabajo.
- Se desarrolló un modelo de simulación en WITNESS del proceso completo de confección de Jeans para hombre y mujer con bolsillos falsos o con forro, mediante la recolección de datos dentro de la empresa. El mismo que fue validado al corresponder los datos arrojados por la simulación con los recogidos, otorgando un alto nivel de confianza.
- Con la implementación de las mejoras se logró obtener una reducción del tiempo de ciclo con ambas propuestas de mejora.
- La mejora del proceso contribuyó a tener una línea de producción con un flujo más estable de material, que se reflejó en el aumento de producción. Sin embargo este aumento en la producción aún no permite que la línea funcione con total eficiencia.

- La mejoras permitirán a la empresa gozar de un ingreso adicional significativo.
- La implementación de las mejoras en el modelo de simulación fue un éxito completo, muy útil debido a la complejidad del proceso de manufactura, en el que los operadores realizaban más de una operación. Es esta peculiaridad de la línea, combinada con la cantidad de actividades que se realizan en la manufactura de los jeans, que dificulta el análisis e hizo que realizar la simulación sea un reto.
- En un proceso de manufactura donde los operadores realizan actividades combinadas es muy importante prestar atención a la ocupación de cada una de esas actividades así como del trabajador, para de esa manera encontrar las verdaderas deficiencias en la línea de producción.

## **6.2 Recomendaciones**

- Muy aparte de la aplicación de las propuestas de mejora, se recomienda que se realice dentro de la empresa una mejor

ubicación de las máquinas a fin de lograr obtener un flujo de material eficiente. De esta manera se reducirán las demoras por transporte de un puesto de trabajo a otro.

- Es necesario realizar un análisis más profundo de aquellas actividades que no representan un cuello de botella. En estas existen trabajadores que realizan más de dos operaciones que no son necesariamente en línea, que podría causar confusión y demoras en el proceso.
- Conjuntamente con el análisis recomendado en el punto anterior, sería de mucha utilidad implementar un plan de producción para cada centro de trabajo de actividades múltiples, para que el operador, con acertada capacitación, logre un flujo de trabajo idóneo para alcanzar una línea de confección más eficiente.

## **APÉNDICES**

## APÉNDICE A

### Partes que Intervienen en la Manufactura de Jeans:

Cartera



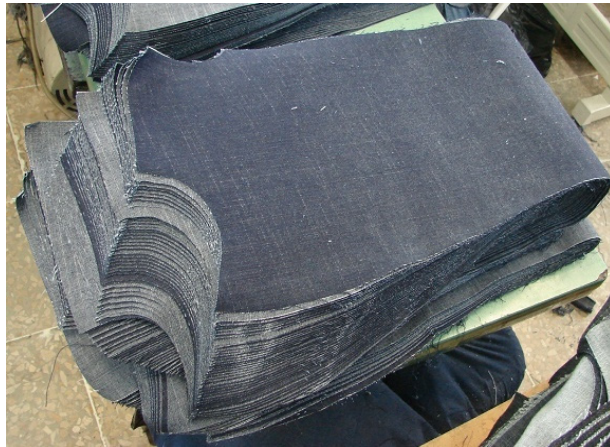
Cierre



Figurado



Pierna delantera derecha



Mandil



Relojero



Bolsillo Falso



Bolsillo con Forro



Bolsillo delantero con Forro



Bocado



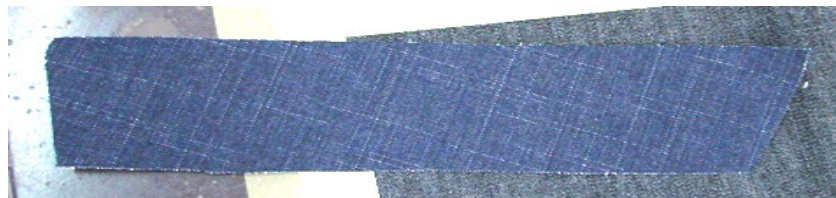
Bolsillos delanteros Falsos



Piernas delanteras



Ventaja



Cabado Trasero



Etiquetas



Bolsillos Traseros



Entrepiera



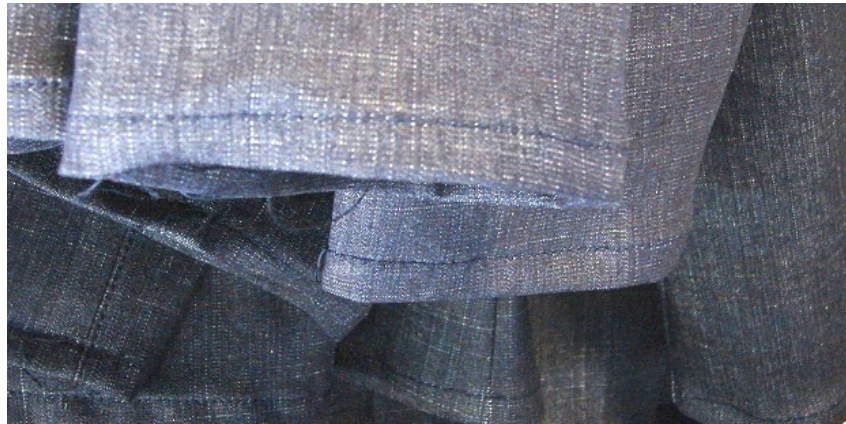
Despunte largo



Despunte Corto



Bastas



Pretina



Puntas



Presillas



Atracado



Ojal



Etiqueta en Pretina



## APÉNDICE B

### Reporte del Primer día de Simulación del Modelo Actual

Proceso Report Time: 1440.00, Week 1 Day 2 Time 00 : 00  
 =====

Name	PART STATISTICS					REPORTED BY ON-SHIFT TIME				Sigma Rating
	Number Entered	Number Shipped	Number Scrapped	Number Assembled	Number Rejected	W.I.P	Av. W.I.P	Av. Time		
MP01	2000	0	0	0	10100	2000	1579.2	473.75	0.00	
MP08	2100	0	0	0	10000	2100	1542.5	440.71	0.00	
MP03	1800	0	0	0	10300	1800	1374.2	458.06	0.00	
MP26	1600	0	0	0	10500	1600	1270.8	476.56	0.00	
MP29	1200	0	0	0	4900	1200	1090.0	545.00	0.00	
MP07	1500	0	0	0	10600	1500	1183.3	473.33	0.00	
MP06	1600	0	0	0	10500	1600	1194.2	447.81	0.00	
MP17	1700	0	0	0	10400	1700	1416.7	500.00	0.00	
MP19	1700	0	0	0	10400	1700	1485.8	524.41	0.00	
MP34	1600	0	0	0	10500	1600	1500.0	562.50	0.00	

Name	Qty	%Idle	%Busy	<-----Number of jobs----->			<----Job Time---->	
				Start	End	Now	Pre-empted	Average Job Time
TB01	1	62.14	37.86	34	34	0	0	6.68
TB02	1	1.54	98.46	781	781	0	0	0.76
TB05	1	0.00	100.00	24	24	0	2	25.00
TB03	1	47.68	52.32	14	14	0	0	22.42
TB04	1	60.70	39.30	33	33	0	0	7.15
TB10	1	26.39	73.61	15	15	0	0	29.44
TB06	1	23.84	76.16	279	279	0	1	1.64
TB19	1	56.50	43.50	10	10	0	0	26.10
TB11	1	81.83	18.17	10	10	0	0	10.90
TB07	1	65.56	34.44	304	304	0	0	0.68
TB08	1	49.91	50.09	3	3	0	0	100.18
TB09	1	54.63	45.37	310	310	0	1	0.88
TB17	1	74.44	25.56	2	2	0	0	76.67
TB12	1	87.40	12.60	14	14	0	0	5.40
TB18	1	100.00	0.00	0	0	0	0	0.00
TB13	1	10.62	89.38	299	299	0	0	1.79
TB25	1	100.00	0.00	0	0	0	0	0.00
TB23	1	100.00	0.00	0	0	0	0	0.00
TB14	1	92.32	7.68	58	58	0	0	0.79
TB20	1	100.00	0.00	0	0	0	0	0.00
TB15	1	100.00	0.00	0	0	0	0	0.00
TB21	1	100.00	0.00	0	0	0	0	0.00
TB16	1	89.84	10.16	101	101	0	0	0.60
TB22	1	93.23	6.77	4	4	0	0	10.15
TB24	1	100.00	0.00	0	0	0	0	0.00
TB26	1	85.69	14.31	12	12	0	0	7.16
TB27	1	94.35	5.65	8	8	0	0	4.24
TB28	1	100.00	0.00	0	0	0	0	0.00
TB29	1	100.00	0.00	0	0	0	0	0.00
TB30	1	100.00	0.00	0	0	0	0	0.00

Name	BUFFER STATISTICS				REPORTED BY ON-SHIFT TIME				
	Total in	Total out	Now in	Max	Min	Average Size	Average Time	Av. after Delay No.	Time
BA01	2000	1000	1000	1000	0	676.80	487.29		
BA02	1000	800	200	400	0	132.91	191.39		
BA03	1800	800	1000	1000	0	680.35	544.28		
BA08	2100	1100	1000	1000	0	645.78	442.82		
BA26	1600	600	1000	1000	0	680.55	612.50		
BA05	740	700	40	48	0	10.02	19.50		
BA14	600	300	300	400	0	156.71	376.10		
BP08_V	500	400	100	100	0	29.68	85.47		
BA30_HV	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BP08_F	500	500	0	100	0	4.08	11.75		
BP05_V	300	300	0	100	0	16.95	81.36		
BP05_F	300	300	0	100	0	5.55	26.64		
BA26_V	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BA30_HF	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BA26_F	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BA07	1500	500	1000	1000	0	683.27	655.94		
BA06	1600	600	1000	1000	0	683.24	614.91		
BP09	500	300	200	243	0	108.59	312.75		
BP06	600	300	300	300	0	117.15	281.16		
BA17	1700	700	1000	1000	0	679.61	575.67		
BP07	500	273	227	299	0	117.54	338.52		
BA29	1200	200	1000	1000	0	655.65	786.78		
BP10	300	300	0	100	0	8.23	39.49		
BP11	300	300	0	100	0	4.77	22.88		
BP19_1	700	500	200	200	0	126.34	259.89		
BA19	1700	700	1000	1000	0	674.87	571.66		
BP12	200	172	28	147	0	18.37	132.25		
BP15	200	101	99	100	0	34.11	245.59		
BP31_V_24	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BP31_F_24	100	100	0	100	0	2.10	30.19		
BA27_V	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BP18	500	289	211	287	0	125.17	360.48		
BP17	700	500	200	200	0	79.03	162.57		
BA27_F	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BP19_2	500	300	200	200	0	105.46	303.73		
BP21_24	100	100	0	100	0	10.85	156.21		
BP29	200	0	200	200	0	129.03	929.05		
BA28_F	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BA28_V	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BP22	56	56	0	1	0	0.00	0.00		
BA25_V	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BP33_HV	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BA25_F	100	100	0	100	0	2.09	30.16		
BP33_HF	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BP33_MV	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BA31_MV	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BP33_MF	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BA31_MF	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BP30_HV	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BP30_HF	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BP31_MV	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BP32	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BP31_MF	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BA39_HV	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BA39_HF	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BA39_MV	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BA34	1600	600	1000	1000	0	640.80	576.72		
BP21	288	288	0	1	0	0.00	0.00		
BP31_V	171	171	0	1	0	0.00	0.00		
BA39_MF	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BP31_F	100	100	0	1	0	0.00	0.00		
BP34	600	400	200	200	0	122.28	293.47		
BP21_22	100	57	43	100	0	20.22	291.23		
BP31_V_22	100	57	43	100	0	12.13	174.65		
BP31_F_22	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BA40_HV	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BA40_HF	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BP35	400	0	400	400	0	253.60	912.97		
BA40_MV	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BA38_HV	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BA38_HF	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BA40_MF	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BA38_MV	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BA38_MF	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BP40_HV	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BP40_MV	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BP40_HF	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
BP40_MF	0	0	0	0	0	0.00	0.00		

MACHINE STATISTICS				REPORTED BY ON-SHIFT TIME		
Name	Number of Ops.	%Idle	%Cycle	%Stopped	%Waiting	
MQ02	8	2.72	Busy : 25.97	Blocked : 49.27	Setup : 0.00	Cycle : 0.00
				Setup : 0.00	Cycle : 8.92	
				Down : 2.26	Repair : 10.86	
MQ01	16	62.14	Busy : 34.76	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Cycle : 0.00
				Setup : 3.08	Cycle : 0.00	
				Down : 0.02	Repair : 0.00	
MQ03	8	0.00	Busy : 9.65	Blocked : 76.78	Setup : 0.00	Cycle : 0.00
				Setup : 0.00	Cycle : 2.71	
				Down : 10.86	Repair : 0.00	
MQ07	10	0.00	Busy : 39.54	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Cycle : 0.00
				Setup : 1.19	Cycle : 58.33	
				Down : 0.93	Repair : 0.00	
MQ04	740	50.28	Busy : 47.53	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Cycle : 0.00
				Setup : 0.00	Cycle : 0.00	
				Down : 2.19	Repair : 0.00	
MQ06	16	60.70	Busy : 36.30	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Cycle : 0.00
				Setup : 3.00	Cycle : 0.00	
				Down : 0.00	Repair : 0.00	
MQ25	0	100.00	Busy : 0.00	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Cycle : 0.00
				Setup : 0.00	Cycle : 0.00	
				Down : 0.00	Repair : 0.00	
MQ05	6	47.68	Busy : 52.17	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Cycle : 0.00
				Setup : 0.00	Cycle : 0.00	
				Down : 0.15	Repair : 0.00	
MQ15	7	26.39	Busy : 73.61	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Cycle : 0.00
				Setup : 0.00	Cycle : 0.00	
				Down : 0.00	Repair : 0.00	
MQ31	0	100.00	Busy : 0.00	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Cycle : 0.00
				Setup : 0.00	Cycle : 0.00	
				Down : 0.00	Repair : 0.00	
MQ17_2	5	81.88	Busy : 17.20	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Cycle : 0.00
				Setup : 0.00	Cycle : 0.00	
				Down : 0.93	Repair : 0.00	
MQ08	3	25.37	Busy : 44.74	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Cycle : 0.00
				Setup : 0.00	Cycle : 29.89	
				Down : 0.00	Repair : 0.00	
MQ16	5	81.83	Busy : 15.93	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Cycle : 0.00
				Setup : 0.00	Cycle : 0.00	
				Down : 2.25	Repair : 0.00	
MQ09	300	65.56	Busy : 34.44	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Cycle : 0.00
				Setup : 0.00	Cycle : 0.00	
				Down : 0.00	Repair : 0.00	
MQ10	2	49.91	Busy : 50.09	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Cycle : 0.00
				Setup : 0.00	Cycle : 0.00	
				Down : 0.00	Repair : 0.00	
MQ11	300	78.03	Busy : 20.11	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Cycle : 0.00
				Setup : 0.00	Cycle : 0.00	
				Down : 1.86	Repair : 0.00	
MQ17_1	7	87.40	Busy : 12.60	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Cycle : 0.00
				Setup : 0.00	Cycle : 0.00	
				Down : 0.00	Repair : 0.00	
MQ37	0	100.00	Busy : 0.00	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Cycle : 0.00
				Setup : 0.00	Cycle : 0.00	
				Down : 0.00	Repair : 0.00	
MQ12	2	67.33	Busy : 9.75	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Cycle : 0.00
				Setup : 0.00	Cycle : 22.92	
				Down : 0.00	Repair : 0.00	
MQ18	3	37.76	Busy : 5.01	Blocked : 56.08	Setup : 0.00	Cycle : 0.00
				Setup : 0.00	Cycle : 0.22	
				Down : 0.94	Repair : 0.00	
MQ13	171	63.33	Busy : 7.69	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Cycle : 0.00
				Setup : 0.00	Cycle : 28.05	
				Down : 0.93	Repair : 0.00	
MQ29	0	100.00	Busy : 0.00	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Cycle : 0.00
				Setup : 0.00	Cycle : 0.00	
				Down : 0.00	Repair : 0.00	
MQ14	100	63.31	Busy : 4.48	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Cycle : 0.00
				Setup : 0.00	Cycle : 32.22	
				Down : 0.00	Repair : 0.00	

MQ19	288	24.88	Busy : 74.43	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Down : 0.69	Cycle : 0.00	Repair : 0.00
MQ26	0	100.00	Busy : 0.00	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Down : 0.00	Cycle : 0.00	Repair : 0.00
MQ20	56	92.32	Busy : 7.68	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Down : 0.00	Cycle : 0.00	Repair : 0.00
MQ32	0	100.00	Busy : 0.00	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Down : 0.00	Cycle : 0.00	Repair : 0.00
MQ21	0	100.00	Busy : 0.00	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Down : 0.00	Cycle : 0.00	Repair : 0.00
MQ38	0	100.00	Busy : 0.00	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Down : 0.00	Cycle : 0.00	Repair : 0.00
MQ24	0	74.44	Busy : 25.56	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Down : 0.00	Cycle : 0.00	Repair : 0.00
MQ27	0	100.00	Busy : 0.00	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Down : 0.00	Cycle : 0.00	Repair : 0.00
MQ23	100	89.84	Busy : 10.16	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Down : 0.00	Cycle : 0.00	Repair : 0.00
MQ39	0	100.00	Busy : 0.00	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Down : 0.00	Cycle : 0.00	Repair : 0.00
MQ30	0	100.00	Busy : 0.00	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Down : 0.00	Cycle : 0.00	Repair : 0.00
MQ28	2	93.23	Busy : 6.77	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Down : 0.00	Cycle : 0.00	Repair : 0.00
MQ40	0	100.00	Busy : 0.00	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Down : 0.00	Cycle : 0.00	Repair : 0.00
MQ33	6	60.70	Busy : 5.96	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Down : 0.00	Cycle : 33.33	Repair : 0.00
MA20_21	2	100.00	Busy : 0.00	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Down : 0.00	Cycle : 0.00	Repair : 0.00
MA20_V	1	100.00	Busy : 0.00	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Down : 0.00	Cycle : 0.00	Repair : 0.00
MA20_F	1	100.00	Busy : 0.00	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Down : 0.00	Cycle : 0.00	Repair : 0.00
MQ34	4	94.35	Busy : 5.65	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Down : 0.00	Cycle : 0.00	Repair : 0.00
MQ35	0	100.00	Busy : 0.00	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Down : 0.00	Cycle : 0.00	Repair : 0.00
MQ36	0	100.00	Busy : 0.00	Blocked : 0.00	Setup : 0.00	Down : 0.00	Cycle : 0.00	Repair : 0.00

VARIABLE STATISTICS		REPORTED BY ON-SHIFT TIME				
Name	Indices	<----- Value(s) ----->				
TP06	(1) .. (3)	14.2182	8.5509	21.3066		
CB	(1) .. (5)	200	300	100	0	300
	(6) .. (10)	227	200	200	211	200
	(11) .. (15)	200	0	100	0	0
	(16) .. (20)	0	0	200	0	0
	(21) .. (25)	0	0	0	0	0
	(26) .. (30)	0	288	0	0	43
	(31) .. (35)	43	0	200	400	0
	(36) .. (40)	0	0	0	0	0
	(41) .. (45)	0	0	0	0	0
	(46) .. (46)	0				
TP01	(1) .. (2)	15.7126	11.4959			
VA01		1600.0000				
VA02		1				
VA03		600.0000				
VA04		1				
VA07		1600.0000				
VA05		1000.0000				
VA08		3				
VA06		2				
VC01		0				
VA09	(1) .. (4)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	(5) .. (8)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	(9) .. (10)	0.0000	0.0000			
VA10	(1) .. (5)	1	2	2	2	2
	(6) .. (10)	2	2	0	0	0
	(11) .. (15)	0	0	1	1	0
	(16) .. (20)	0	0	0	2	1
	(21) .. (22)	0	0			
CBP05	(1) .. (2)	0	0			
VC02		0				
CMQ05		600				
BV	(1) .. (2)	0	0			
CMQ23		100				
JHBF		0				
Jeans		0				
JHBV		0				
CMQ24		0				
JMBF		0				
CMQ27		0				
JMBV		0				
CMQ20		56				
CMQ09		300				

SHIFT STATISTICS		REPORTED BY ON-SHIFT TIME		
Name	On-Shift	Off-Shift	Completed Shifts	
Semana	41.67	58.33	0	

**APÉNDICE C**  
**TABLA DE PROCESOS Y ACTIVIDADES**

<b>Procesos</b>	<b>Actividades</b>
PR01	Cartera: Pasar overlock
	Cartera: Cortar uniones
PR02	Cierre: Pegar en cartera
	Cierre: Cortar uniones entre cierres con carteras
	Cierre: Cerrar cierre pegado en cartera
PR03	Pierna DI: Realizar cortes previo a pegar cierre
PR04	Cierre: Pegar en pierna delantera izquierda
PR05	Pierna DI: Figurado del cierre
PR06	Pierna DD: Overlock
PR07	Mandil: Coser en overlock
	Mandil: Cortar uniones entre mandiles
PR08	Relojero: Coser borde
	Relojero: Pegar relojero al falso
PR09	Bolsillos Falsos: Pasar overlock
	Bolsillos Falsos: Cortar entre uniones
PR10	Forros: Pegar a falsos
	Bolsillos D con Forro: Cerrar con overlock
	Bolsillos D con Forro: Voltear bolsillo después de pasar overlock
PR11	Bolsillos D con Forros: Pegar bolsillos a las piernas D
	Bolsillos D con Forros: Cortar uniones entre bolsillos pegados a las piernas D
PR12	Bolsillos D con Forros: Voltear bolsillos después de pegarlos a las piernas D
	Bolsillos D con Forros: Pasar cadenete
	Bolsillos D con Forros: Voltear bolsillos
	Bolsillos D con Forros: Plantar bolsillos al pantalón
PR13	Bocado: Pasar overlock
	Bocado: Cortar uniones entre bocados después de overlock
PR14	Bocado: Pegar en piernas D
PR15	Bolsillos Falsos: Pegar al bocado
	Bolsillos Falsos: Cortar uniones entre bolsillos al coserlos al bocado
PR16	Piernas D: Unir con mandil y hacer el cabado delantero
PR17	Ventaja: Pegado en piernas T
	Ventaja: Corte de uniones después de pegar en Piernas T
	Piernas T: Cabado trasero
	Piernas T: Cortar uniones después de cabado trasero

## APÉNDICE C

### TABLA DE PROCESOS Y ACTIVIDADES (CONTINUACION)

PR18	Etiquetas: Pegar etiquetas en ventaja
PR19_1	Bolsillos Traseros: Coser borde
	Bolsillos Traseros: Cortar uniones después de coser el borde
PR19_2	Bolsillos Traseros: Planchar
PR20	Piernas T: Marcar posición de bolsillos
PR21	Bolsillos Traseros: Pegar bolsillos en pierna
PR22	Entrepierna: Cerrado con overlock
PR23	Entrepierna: Pespunte largo por Entrepierna
	Entrepierna: Corte de uniones después de pespunte
PR24	Entrepierna: Corte cabado antes de cerrar con cerrado de caballo
	Entrepierna: Cerrado con cerradora tipo caballo
	Entrepierna: Corte de uniones después de pasar cerradora tipo caballo
PR25	Cerrar laterales con overlock
PR26	Pespunte corto
PR27	Voltear pantalones
PR28	Bastas
PR29	Pretinas: Unión de tiras de pretinas
PR30	Pretinado Jean H: Corte de exceso de cierre
	Pretinado Jean H: Alistar pretina
	Pretinado Jean H: Marcar y sacar dientes del cierre
	Pretinado Jean H: Pegar pretina
PR31	Pretinado Jean M: Corte de exceso de cierre
	Pretinado Jean M: Marcar y sacar dientes del cierre
	Pretinado Jean M: Pegar pretina
PR32	Puntas: Corte exceso de pretina
	Puntas: Descoser pretina
PR33	Puntas: Coser punta
PR34	Presillas: Coser material
	Presillas: Coser presillas
PR35	Presillas: Cortar
PR36	Atracado1: Refuerzos en bolsillos traseros
	Atracado1: Reforzar bolsillos con forro
	Atracado1: 8 atraques y 5 presillas
PR37	Atracado2: 8 atraques y 5 presillas, jean de mujer.
PR38	Ojal
PR39	Etiquetado de pretina
PR40	Corte de hilos

## APÉNDICE D

### ANÁLISIS DE 30 DÍAS DE SIMULACIÓN DE LA MÁQUINA MQ05

Análisis de 30 días de Simulación de la máquina MQ05												
Día	Min	O	I	C	B	W	T.E.	T.T.	C.A.	U.P.	T.C.	
1	1	1440	6	47.68%	52.17%	0.00%	0.00%	600	313.02	0	600	52.17
2	2	2880	9	32.36%	64.40%	2.57%	0.00%	600	386.4	1500	900	42.93
3	3	4320	8	33.86%	61.11%	2.80%	0.00%	600	366.66	2300	800	45.83
4	4	5760	8	27.91%	67.01%	2.84%	0.00%	600	402.06	3100	800	50.26
5	5	7200	9	37.30%	60.44%	0.00%	0.00%	600	362.64	4000	900	40.29
6	6	8640	5	27.65%	67.88%	4.47%	0.00%	360	244.368	4500	500	48.87
7	7	10080	0	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0	0	4500	0	NA
8	1	11520	9	27.47%	66.89%	5.64%	0.00%	600	401.34	5400	900	44.59
9	2	12960	8	31.51%	60.84%	7.65%	0.00%	600	365.04	6200	800	45.63
10	3	14400	8	30.96%	63.88%	5.16%	0.00%	600	383.28	7000	800	47.91
11	4	15840	9	33.64%	66.36%	0.00%	0.00%	600	398.16	7900	900	44.24
12	5	17280	4	6.88%	30.62%	62.50%	0.00%	600	183.72	8273	373	49.25
13	6	18720	2	0.00%	25.18%	74.82%	0.00%	360	90.648	8434	161	56.30
14	7	20160	0	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0	0	8434	0	NA
15	1	21600	6	0.00%	46.03%	53.97%	0.00%	600	276.18	9001	567	48.71
16	2	23040	6	0.00%	45.88%	54.12%	0.00%	600	275.28	9601	600	45.88
17	3	24480	5	0.00%	44.13%	55.87%	0.00%	600	264.78	10200	599	44.20
18	4	25920	7	0.00%	47.07%	52.93%	0.00%	600	282.42	10801	601	46.99
19	5	27360	5	0.00%	38.60%	61.40%	0.00%	600	231.6	11400	599	38.66
20	6	28800	5	0.00%	62.73%	37.27%	0.00%	360	225.828	11801	401	56.32
21	7	30240	0	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0	0	11801	0	NA
22	1	31680	5	0.00%	37.48%	62.52%	0.00%	600	224.88	12400	599	37.54
23	2	33120	6	0.00%	45.57%	54.43%	0.00%	600	273.42	13000	600	45.57
24	3	34560	5	0.00%	42.88%	57.12%	0.00%	600	257.28	13500	500	51.46
25	4	36000	5	0.00%	25.91%	74.09%	0.00%	600	155.46	13900	400	38.87
26	5	37440	4	0.00%	29.91%	70.09%	0.00%	600	179.46	14201	301	59.62
27	6	38880	2	0.00%	25.28%	74.72%	0.00%	360	91.008	14401	200	45.50
28	7	40320	0	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0	0	14401	0	NA
29	1	41760	4	0.00%	30.99%	69.01%	0.00%	600	185.94	14801	400	46.49
30	2	43200	2	0.00%	15.35%	84.65%	0.00%	600	92.1	15001	200	46.05

## APÉNDICE E

### ANÁLISIS DE 30 DÍAS DE SIMULACIÓN DE LA MÁQUINA MQ09

Análisis de 30 días de Simulación de la máquina MQ09												
Día		Min	O	I	C	B	W	T.E.	T.T.	C.A.	U.P.	T.C.
1	1	1440	300	83.57%	14.35%	0.00%	2.08%	600	206.64	0	300	68.88
2	2	2880	200	90.45%	9.55%	0.00%	0.00%	600	137.52	500	200	68.76
3	3	4320	200	90.43%	9.57%	0.00%	0.00%	600	137.81	700	200	68.90
4	4	5760	100	94.57%	4.78%	0.00%	0.00%	600	68.83	800	100	68.83
5	5	7200	205	67.27%	9.81%	0.00%	22.92%	600	141.26	1005	205	68.91
6	6	8640	119	21.38%	5.70%	0.00%	72.92%	360	82.08	1124	119	68.97
7	7	10080	0	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0	0.00	1124	0	NA
8	1	11520	276	51.45%	13.14%	0.00%	35.42%	600	189.22	1400	276	68.56
9	2	12960	400	80.89%	19.11%	0.00%	0.00%	600	275.18	1800	400	68.80
10	3	14400	300	85.65%	14.35%	0.00%	0.00%	600	206.64	2100	300	68.88
11	4	15840	316	60.52%	15.12%	1.45%	22.92%	600	217.73	2416	316	68.90
12	5	17280	284	53.10%	13.57%	0.00%	33.33%	600	195.41	2700	284	68.81
13	6	18720	200	88.33%	9.59%	0.00%	2.08%	360	138.10	2900	200	69.05
14	7	20160	0	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0	0.00	2900	0	NA
15	1	21600	342	60.71%	16.37%	0.00%	22.92%	600	235.73	3242	342	68.93
16	2	23040	458	44.79%	21.88%	0.00%	33.33%	600	315.07	3700	458	68.79
17	3	24480	345	59.61%	16.55%	0.92%	22.92%	600	238.32	4045	345	69.08
18	4	25920	429	21.20%	20.47%	0.00%	58.33%	600	294.77	4474	429	68.71
19	5	27360	426	43.33%	20.33%	93.00%	35.42%	600	292.75	4900	426	68.72
20	6	28800	238	49.02%	11.40%	0.00%	39.58%	360	164.16	5138	238	68.97
21	7	30240	0	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0	0.00	5138	0	NA
22	1	31680	362	49.38%	17.29%	0.00%	33.33%	600	248.98	5500	362	68.78
23	2	33120	456	53.40%	21.84%	0.94%	23.83%	600	314.50	5956	456	68.97
24	3	34560	354	20.39%	16.93%	4.35%	58.33%	600	243.79	6310	354	68.87
25	4	36000	191	1.51%	9.12%	56.03%	33.33%	600	131.33	6500	190	69.12
26	5	37440	190	0.00%	9.12%	65.88%	25.00%	600	131.33	6691	191	68.76
27	6	38880	92	0.00%	4.40%	22.69%	72.92%	360	63.36	6783	92	68.87
28	7	40320	0	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0	0.00	6783	0	NA
29	1	41760	118	0.00%	5.61%	61.06%	33.33%	600	80.78	6900	117	69.05
30	2	43200	200	0.00%	9.55%	89.16%	1.29%	600	137.52	7100	200	68.76

## APÉNDICE F

### ANÁLISIS DE 30 DÍAS DE SIMULACIÓN DE LA MÁQUINA MQ23

Análisis de 30 días de Simulación de la máquina MQ23												
Día		Min	O	I	C	B	W	T.E.	T.T.	C.A.	U.P.	T.C.
1	1	1440	100	89.84%	10.16%	0.00%	0.00%	600	60.96	0	100	60.96
2	2	2880	369	61.50%	37.62%	0.00%	0.00%	600	225.72	469	369	61.17
3	3	4320	331	66.45%	33.55%	0.00%	0.00%	600	201.30	800	331	60.82
4	4	5760	300	69.52%	30.48%	0.00%	0.00%	600	182.88	1100	300	60.96
5	5	7200	337	65.82%	34.18%	0.00%	0.00%	600	205.08	1437	337	60.85
6	6	8640	206	65.15%	34.85%	0.00%	0.00%	360	125.46	1643	206	60.90
7	7	10080	0	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0	0.00	1643	0	NA
8	1	11520	317	65.36%	32.40%	2.24%	0.00%	600	194.40	1960	317	61.32
9	2	12960	340	64.69%	34.42%	0.89%	0.00%	600	206.52	2300	340	60.74
10	3	14400	300	69.60%	30.40%	0.00%	0.00%	600	182.40	2600	300	60.80
11	4	15840	300	67.36%	30.42%	2.22%	0.00%	600	182.52	2900	300	60.84
12	5	17280	399	59.47%	40.53%	0.00%	0.00%	600	243.18	3299	399	60.95
13	6	18720	180	69.52%	30.48%	0.00%	0.00%	360	109.73	3479	180	60.96
14	7	20160	0	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0	0.00	3479	0	NA
15	1	21600	321	67.38%	32.62%	0.00%	0.00%	600	195.72	3800	321	60.97
16	2	23040	300	69.55%	30.45%	0.00%	0.00%	600	182.70	4100	300	60.90
17	3	24480	331	66.32%	33.68%	0.00%	0.00%	600	202.08	4431	331	61.05
18	4	25920	369	62.54%	37.46%	0.00%	0.00%	600	224.76	4800	369	60.91
19	5	27360	300	69.62%	30.38%	0.00%	0.00%	600	182.28	5100	300	60.76
20	6	28800	200	62.34%	33.91%	3.74%	0.00%	360	122.08	5300	200	61.04
21	7	30240	0	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0	0.00	5300	0	NA
22	1	31680	300	69.53%	30.47%	0.00%	0.00%	600	182.82	5600	300	60.94
23	2	33120	355	60.81%	36.09%	3.11%	0.00%	600	216.54	5955	355	61.00
24	3	34560	345	65.06%	34.94%	0.00%	0.00%	600	209.64	6300	345	60.77
25	4	36000	300	69.41%	30.59%	0.00%	0.00%	600	183.54	6600	300	61.18
26	5	37440	300	69.56%	30.44%	0.00%	0.00%	600	182.64	6900	300	60.88
27	6	38880	200	66.07%	33.93%	0.00%	0.00%	360	122.15	7100	200	61.07
28	7	40320	0	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0	0.00	7100	0	NA
29	1	41760	396	59.71%	40.29%	0.00%	0.00%	600	241.74	7496	396	61.05
30	2	43200	304	66.96%	30.86%	2.19%	0.00%	600	185.16	7800	304	60.91

## APÉNDICE G

### ANÁLISIS DE 30 DÍAS DE SIMULACIÓN DE LA MÁQUINA MQ24

Análisis de 30 días de Simulación de la máquina MQ24												
Día		Min	O	I	C	B	W	T.E.	T.T.	C.A.	U.P.	T.C.
1	1	1440	0	74.44%	25.56%	0.00%	0.00%	600	153.36	0	0	ND
2	2	2880	3	22.75%	77.25%	0.00%	0.00%	600	463.50	300	300	154.50
3	3	4320	4	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	600	600.00	700	400	150.00
4	4	5760	3	0.00%	97.57%	2.38%	0.00%	600	585.42	1000	300	195.14
5	5	7200	4	0.00%	95.57%	0.00%	0.00%	600	573.42	1400	400	143.36
6	6	8640	2	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	360	360.00	1600	200	180.00
7	7	10080	0	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0	0.00	1600	0	NA
8	1	11520	4	3.17%	96.83%	0.00%	0.00%	600	580.98	2000	400	145.25
9	2	12960	3	5.99%	90.93%	3.07%	0.00%	600	545.58	2300	300	181.86
10	3	14400	3	9.21%	90.79%	0.00%	0.00%	600	544.74	2600	300	181.58
11	4	15840	3	9.05%	88.76%	2.19%	0.00%	600	532.56	2900	300	177.52
12	5	17280	4	8.67%	88.42%	2.90%	0.00%	600	530.52	3300	400	132.63
13	6	18720	2	8.18%	91.82%	0.00%	0.00%	360	330.55	3500	200	165.28
14	7	20160	0	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0	0.00	3500	0	NA
15	1	21600	3	11.24%	88.76%	0.00%	0.00%	600	532.56	3800	300	177.52
16	2	23040	3	6.99%	88.02%	4.98%	0.00%	600	528.12	4100	300	176.04
17	3	24480	3	5.65%	94.35%	0.00%	0.00%	600	566.10	4400	300	188.70
18	4	25920	4	8.55%	89.22%	2.23%	0.00%	600	535.32	4800	400	133.83
19	5	27360	3	6.95%	90.44%	2.61%	0.00%	600	542.64	5100	300	180.88
20	6	28800	2	14.82%	85.18%	0.00%	0.00%	360	306.65	5300	200	153.32
21	7	30240	0	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0	0.00	5300	0	NA
22	1	31680	3	4.17%	95.83%	0.00%	0.00%	600	574.98	5600	300	191.66
23	2	33120	4	5.38%	92.90%	1.72%	0.00%	600	557.40	6000	400	139.35
24	3	34560	3	8.01%	88.32%	3.67%	0.00%	600	529.92	6300	300	176.64
25	4	36000	3	6.93%	93.07%	0.00%	0.00%	600	558.42	6600	300	186.14
26	5	37440	3	11.75%	88.25%	0.00%	0.00%	600	529.50	6900	300	176.50
27	6	38880	2	7.81%	86.75%	5.44%	0.00%	360	312.30	7100	200	156.15
28	7	40320	0	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0	0.00	7100	0	NA
29	1	41760	4	8.04%	91.96%	0.00%	0.00%	600	551.76	7500	400	137.94
30	2	43200	3	6.35%	93.65%	0.00%	0.00%	600	561.90	7800	300	187.30

## APÉNDICE H

### ANÁLISIS DE 30 DÍAS DE SIMULACIÓN DE LA MÁQUINA MQ27

Análisis de 30 días de Simulación de la máquina MQ27												
Día	Min	O	I	C	B	W	T.E.	T.T.	C.A.	U.P.	T.C.	
1	1	1440	0	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	600	0.00	0	0	ND
2	2	2880	2	44.32%	55.68%	0.00%	0.00%	600	334.08	200	200	167.04
3	3	4320	4	24.64%	75.36%	0.00%	0.00%	600	452.16	600	400	113.04
4	4	5760	3	16.19%	83.81%	0.00%	0.00%	600	502.86	900	300	167.62
5	5	7200	4	24.91%	72.69%	2.40%	0.00%	600	436.14	1300	400	109.04
6	6	8640	2	22.66%	73.58%	3.76%	0.00%	360	264.89	1500	200	132.44
7	7	10080	0	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0	0.00	1500	0	NA
8	1	11520	4	16.39%	83.61%	0.00%	0.00%	600	501.66	1900	400	125.42
9	2	12960	3	29.38%	67.45%	3.17%	0.00%	600	404.70	2200	300	134.90
10	3	14400	3	26.89%	73.11%	0.00%	0.00%	600	438.66	2500	300	146.22
11	4	15840	3	27.37%	72.63%	0.00%	0.00%	600	435.78	2800	300	145.26
12	5	17280	3	28.87%	68.46%	2.68%	0.00%	600	410.76	3100	300	136.92
13	6	18720	3	26.62%	73.38%	0.00%	0.00%	360	264.17	3400	300	88.06
14	7	20160	0	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0	0.00	3400	0	NA
15	1	21600	3	34.36%	65.64%	0.00%	0.00%	600	393.84	3700	300	131.28
16	2	23040	3	35.29%	64.71%	0.00%	0.00%	600	388.26	4000	300	129.42
17	3	24480	3	12.34%	81.83%	5.84%	0.00%	600	490.98	4300	300	163.66
18	4	25920	4	30.20%	69.80%	0.00%	0.00%	600	418.80	4700	400	104.70
19	5	27360	3	32.40%	65.33%	2.27%	0.00%	600	391.98	5000	300	130.66
20	6	28800	2	20.30%	75.00%	4.70%	0.00%	360	270.00	5200	200	135.00
21	7	30240	0	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0	0.00	5200	0	NA
22	1	31680	3	23.51%	76.49%	0.00%	0.00%	600	458.94	5500	300	152.98
23	2	33120	3	23.69%	71.88%	4.43%	0.00%	600	431.28	5800	300	143.76
24	3	34560	4	28.06%	69.62%	2.32%	0.00%	600	417.72	6200	400	104.43
25	4	36000	3	25.46%	72.28%	2.26%	0.00%	600	433.68	6500	300	144.56
26	5	37440	3	24.64%	72.55%	2.81%	0.00%	600	435.30	6800	300	145.10
27	6	38880	2	44.46%	49.79%	5.74%	0.00%	360	179.24	7000	200	89.62
28	7	40320	0	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0	0.00	7000	0	NA
29	1	41760	3	16.19%	83.81%	0.00%	0.00%	600	502.86	7300	300	167.62
30	2	43200	4	28.88%	68.86%	2.26%	0.00%	600	413.16	7700	400	103.29

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] WIKIPEDIA, “Student’s T-Distribution”, [www.answers.com/topic/student-s-t-distribution](http://www.answers.com/topic/student-s-t-distribution), Abril 2009.
- [2] WIKIPEDIA, “Student’s T-Test”, [www.answers.com/topic/student-s-t-test](http://www.answers.com/topic/student-s-t-test), Abril 2009.
- [3] NIEBEL, B., “*Ingeniería Industrial Estudio de Tiempos y Movimientos*”, México, Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A. pp. 295-296.
- [4] GEER MOUNTAIN SOFTWARE CORPORATION, “Stat::Fit”, [www.geerms.com/index.htm](http://www.geerms.com/index.htm), Diciembre 2008.
- [5] GARSON, D., “One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test: Statnotes”, Del Programa de Administración Pública de la Universidad de Carolina del Norte, EEUU, <http://faculty.chass.ncsu.edu/garson/PA765/kolmo.htm>, Enero 2009.
- [6] LANNER GROUP, “Sistema de Ayuda en Línea de WITNESS 2008”.
- [7] BANKS, J., CARSON, J., “*Discrete-Event Simulation*”, Prentice Hall International, Series in Industrial and Systems Engineering.
- [8] ARIAS, L. “Evaluación y Planteamiento de Mejoras en el Área de Armado de Cajas de una Empacadora de Mangos de Exportación Mediante un Modelo de Simulación”, Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2007.
- [9] CRUZ, C., DE LA CRUZ, C., ARIAS, O., “Costuras S.A.”, Proyecto Final de la Asignatura de Diseño de Plantas dirigido por la Ing. Ana María Galindo, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2008.

- [10] EL UNIVERSO, “Industria de confección busca otros mercados”, <http://archivo.eluniverso.com/2004/11/14/0001/9/11123EDAE21049719951BE07CEE03510.aspx>, Diciembre de 2008.
- [11] G&G JEANS, “G&G Jeans”, Página comercial de la Empresa, <http://gygjeans.com>, Febrero 2009.
- [12] IVO D. DINOV, P., “T-Distribution Table”, Departamento de Estadísticas y Neurología, UCLA Escuela de Medicina, [www.socr.ucla.edu/Applets.dir/T-table.html](http://www.socr.ucla.edu/Applets.dir/T-table.html), Febrero 2009.
- [13] WIKIPEDIA, “Kolmogorov–Smirnov Test”, [http://en.wikipedia.org/wiki/Kolmogorov-Smirnov\\_test](http://en.wikipedia.org/wiki/Kolmogorov-Smirnov_test), Enero 2009.
- [14] WIKIPEDIA, “Statistical Hypothesis Testing”, [http://en.wikipedia.org/wiki/Hypothesis\\_testing](http://en.wikipedia.org/wiki/Hypothesis_testing), Abril 2009.