

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

“Desarrollo de un Modelo de Simulación de un Proceso de
Elaboración de Polvos de Frutas y Vegetales con el fin de
Identificar Operaciones Restrictivas”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Presentada por:

Francisco Xavier Chávez Madinyá

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2007

AGRADECIMIENTO

A Jehová por permitirme terminar con éxito mi carrera universitaria, a mis padres por ser mi sustento moral y económico, a mi familia por su sabios consejos, a mi enamorada Natalia por su apoyo incondicional en estos últimos años, a todos los profesores de la carrera que dejaron sus conocimientos en mi, especialmente al Ing. Marcos Buestán Director de Tesis por su invaluable ayuda.

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

ENRIQUE Y MARIA ELENA

A MI FUTURA ESPOSA:

NATHALIA

A MI SOBRINO:

EDU



TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



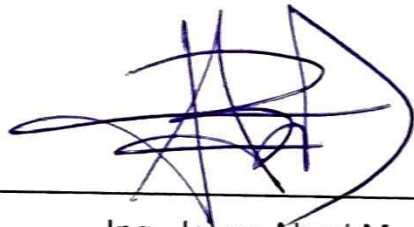
Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Marcos Buestán B.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Denise Rodriguez Z.
VOCAL



Ing. Jorge Abad M.
VOCAL

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).



Francisco Xavier Chávez Madinyá

RESUMEN

FRUIT CORPORATION (nombre ficticio) es una empresa que se dedica a la elaboración de productos derivados de frutas y vegetales para consumo humano y animal, de los cuales un porcentaje pequeño es para la distribución y consumo en el mercado local y el resto de su producción es exportada a países de Europa y Asia.

Su principal línea de producción es la de polvos de frutas y vegetales, esta abarca casi un 80 % de sus ingresos. La línea de polvos tiene gran acogida en el mercado Europeo y Asiático, especialmente por su excelente calidad y alto valor nutricional. Lamentablemente varias negociaciones se han perdido o retrasado debido al precio de estos polvos. El inadecuado precio de los productos, no se debe a un exagerado margen de utilidad si no al elevado costo de producción, es por esta razón que la compañía quiere averiguar en que parte de su línea de producción se están produciendo derroches o el proceso no se

esta manejando eficientemente, para así poder realizar las correcciones necesarias y reducir este costo para poder ingresar con mayor facilidad al mercado y competir no solo con buena calidad, sino también con buenos precios.

Por este motivo el objetivo de este estudio es: Desarrollar y Validar un modelo de simulación que permita la identificación de las operaciones restrictivas actualmente presentes en la línea de producción de polvos de frutas y vegetales de la compañía FRUIT CORPORATION.

Al encontrar las operaciones restrictivas, se podrán plantear soluciones que permitirán una reducción en los costos en los niveles esperados, logrando introducir al mercado productos competitivos, los cuales generarán altos ingresos a la compañía, lo que a futuro significaría una expansión de sus instalaciones creando plazas de trabajo para los habitantes de esa región, y generando ingreso de divisas al país.

Para cumplir el objetivo planteado este estudio se lo desarrollará en cuatro etapas o fases las cuales son: Levantamiento de información, la cual consiste en todos los datos e información de la planta (el proceso, tiempos, secuencia de operaciones). Modelado de la Línea que consiste en transformar la información obtenida en lenguaje de programación y así crear el modelo de nuestra línea de

producción. Validación y verificación del modelo, en donde se comparará los resultados históricos de la línea con los resultados de la simulación, con el fin de constatar que el modelo represente la realidad, todo esto a través de métodos y herramientas estadísticas. Por último se realizará un análisis detenido de la línea de Producción con el fin de determinar las oportunidades de mejora, a través de la identificación de sus operaciones restrictivas.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL	III
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
ÍNDICE DE TABLAS	V
INTRODUCCIÓN.....	1
 CAPÍTULO 1	
1. MARCO TEÓRICO.....	10
1.1. Operaciones Restrictivas.....	10
1.1.1. Conceptos Básicos.....	10
1.1.2. Como Manejar las Operaciones Restrictivas.....	14
1.2. La Simulación.....	30
1.2.1. Conceptos Básicos.....	30
1.2.2. El Modelo de Simulación.....	35
1.2.3. Proceso de Desarrollo de un Modelo de Simulación.....	38
1.2.4. Ventajas y Desventajas.....	40

CAPÍTULO 2

2. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	43
2.1. Descripción de Áreas y Esquema de la Línea de Producción.....	43
2.1.1. Área de Preparación de la Materia Prima.....	44
2.1.2. Área de Transformación de la Materia Prima.....	45
2.1.3. Área de Preparación de Producto Terminado.....	46
2.1.4. Área de Sellado, Embalaje y Paletizado.....	47
2.1.5. Esquema de la Línea de Producción.....	48
2.2. Secuencia lógica de la Línea de Producción.....	49
2.2.1. Análisis del Flujo de la línea.....	51
2.3. Estudio de Tiempos.....	53

CAPÍTULO 3

3. MODELO DE SIMULACIÓN.....	72
3.1. Objetivo del Modelo.....	72
3.2. Fuentes de Información.....	73
3.3. Asunciones del Modelo.....	73
3.4. Procedimiento de la Modelación.....	75
3.4.1. Creación de Entidades.....	75
3.4.2. Creación de Locaciones.....	76

3.4.3. Creación de Recursos.....	77
3.4.4. Creación de Variables.....	79
3.4.5. Líneas de Programación.....	80
3.4.6. Aspectos Relevantes del Proceso de Modelación.....	82
3.5. Layout del Modelo.....	90

CAPÍTULO 4

4. VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO E IDENTIFICACIÓN DE LAS OPERACIONES RESTRICTIVAS.....	91
4.1. Establecimientos de Parámetros de Comparación.....	93
4.2. Determinación del Número de Réplicas.....	93
4.3. Análisis de Resultados de la Simulación y Comparación con los Parámetros Reales.....	96
4.4. Identificación de Operaciones Restrictivas.....	112

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	141
--	-----

BIBLIOGRAFÍA.

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ejemplo para cálculo de To.....	22
Figura 2. Mejor Caso (CT).....	24
Figura 3. Mejor Caso (TH).....	25
Figura 4. Peor Caso (CT).....	26
Figura 5. Peor Caso (TH).....	26
Figura 6. Peor Caso Práctico (CT).....	27
Figura 7. Peor Caso Práctico (TH).....	28
Figura 8. Método Gráfico de Evaluación.....	29
Figura 9. Clasificación de la Simulación.....	31
Figura 10. Proceso de Desarrollo de un Modelo de Simulación.....	39
Figura 11. Esquema de la Línea de producción.....	48
Figura 12. Porcentaje de Actividades.....	51
Figura 13. Operaciones que Agregan Valor	52
Figura 14. Actividades que Agregan valor	53
Figura 15. Distribución de Probabilidad de la actividad 2.....	54
Figura 16. Distribución de Probabilidad de la actividad 3.....	55
Figura 17. Distribución de Probabilidad de la actividad 4.....	56
Figura 18. Distribución de Probabilidad de la actividad 6.....	57
Figura 19. Distribución de Probabilidad de la actividad 7.....	58

Figura 20. Distribución de Probabilidad de la actividad 8.....	59
Figura 21. Distribución de Probabilidad de la actividad 9 y 10.....	60
Figura 22. Distribución de Probabilidad de la actividad 11.....	61
Figura 23. Distribución de Probabilidad de la actividad 12.....	62
Figura 24. Distribución de Probabilidad de la actividad 14 a la 17.....	63
Figura 25. Distribución de Probabilidad de la actividad 18.....	64
Figura 26. Distribución de Probabilidad de la actividad 20.....	65
Figura 27. Distribución de Probabilidad de la actividad 21 a la 23	66
Figura 28. Distribución de Probabilidad de la actividad 24.....	67
Figura 29. Distribución de Probabilidad de la actividad 25 y 26.....	68
Figura 30. Distribución de Probabilidad de la actividad 28.....	69
Figura 31. Distribución de Probabilidad de la actividad 31 y 32	70
Figura 32. Distribución de Probabilidad de la actividad 33	71
Figura 33. Layout del modelo.....	90
Figura 34. Utilización de la Estación A2.....	98
Figura 35. Utilización de la Estación A3.....	99
Figura 36. Utilización de la Estación B1.....	101
Figura 37. Utilización de la Estación B2A.....	102
Figura 38. Utilización de la Estación B2B.....	104
Figura 39. Utilización de la Estación C2.....	105

Figura 40. Utilización de la Estación C3.....	107
Figura 41. Utilización de la Estación D1.....	108
Figura 42. Esquema 1era Sección y Parámetros Teóricos Situación Actual....	113
Figura 43. Curvas 1era Sección Situación Actual.....	113
Figura 44. Evaluación 1era Sección Situación Actual.....	114
Figura 45. Esquema 1era Sección y Parámetros Teóricos Cambio 1.....	117
Figura 46. Curvas 1era Sección Cambio 1.....	118
Figura 47. Evaluación 1era Sección Cambio 1.....	119
Figura 48. Esquema 1era Sección y Parámetros Teóricos Cambio 2.....	122
Figura 49. Curvas 1era Sección Cambio 2.....	123
Figura 50. Evaluación 1era Sección Cambio 2.....	124
Figura 51. Esquema 1era Sección y Parámetros Teóricos Cambio 3.....	126
Figura 52. Curvas 1era Sección Cambio 3.....	127
Figura 53. Evaluación 1era Sección Cambio 3.....	128
Figura 54. Esquema 2da Sección y Parámetros Teóricos Situación Inicial.....	131
Figura 55. Curvas 2da Sección Situación Inicial.....	132
Figura 56. Evaluación 2da Sección Situación Inicial.....	133
Figura 57. Esquema 2da Sección y Parámetros Teóricos Cambio 1.....	135
Figura 58. Curvas 2da Sección Cambio 1.....	136
Figura 59. Evaluación 2da Sección Cambio 1.....	137

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Datos de Ejemplo.	22
Tabla 2. Diagrama de Flujo de Proceso.....	49
Tabla 3. Resumen de Actividades.....	51
Tabla 4. Operaciones que Agregan Valor.....	52
Tabla 5. Actividades que Agregan Valor.....	52
Tabla 6. Entidades.....	76
Tabla 7. Locaciones.....	77
Tabla 8. Recursos.....	78
Tabla 9. Variables.....	79
Tabla 10. Líneas de Programación.....	80
Tabla 11. Desviación Estándar de Parámetros de Comparación.....	94
Tabla 12. Cálculo del Número de Réplicas (N).....	95
Tabla 13. Utilizaciones 1era Sección Situación Actual.....	115
Tabla 14. Utilizaciones 1era Sección Cambio 1.....	120
Tabla 15. Utilizaciones 1era Sección Cambio 2.....	125
Tabla 16. Utilizaciones 1era Sección Cambio 3.....	129
Tabla 17. Utilizaciones 2da Sección Situación Inicial.....	134
Tabla 18. Utilizaciones 2da Sección Cambio 1.....	138

INTRODUCCIÓN

Antecedentes.

FRUIT CORPORATION es una empresa que se dedica a la elaboración de productos derivados de frutas y vegetales para consumo humano y animal. Hace unos cinco años atrás un grupo de empresarios buscaban donde invertir su capital y luego de varios estudios realizados decidieron adquirir una planta ya instalada. De antemano sabían que esta fábrica no estaba lista aún para operar pero le veían un gran potencial.

Por este motivo la empresa se demoró cerca de ocho meses para iniciar su producción, durante este lapso de tiempo se realizaron varias instalaciones eléctricas, se comprendió el proceso, se buscó clientes y proveedores, y se realizaron pruebas para verificar la calidad de los productos. Las primeras negociaciones y pedidos no salieron del todo bien, ya que aún había muchas cosas que aprender tanto en trámites administrativos como productivos. Pero poco a poco se fue conociendo y dominando el giro del negocio, ya los problemas administrativos se habían resuelto, sin embargo producción seguía siendo un problema importante.

Este andar los llevó en el 2003 a cambiar rotundamente su proceso productivo. El primer cambio que se realizó fue el del flujo de la línea. Con el fin de reducir el tiempo de ciclo y el recorrido del producto se estableció un flujo directo, adicionalmente se crearon dos líneas de producción, el mayor efecto beneficioso producto de esto fue la reducción en casi un 40% de los desperdicios de producción. Estos beneficios se vieron traducidos inmediatamente en la utilidad de la empresa, debido a que los costos de producción disminuyeron notablemente.

A mediados del 2004 se produjeron otros notorios cambios que beneficiaron económicamente a la compañía. Ya se había analizado la línea como un todo, era la hora de analizar cada una de las estaciones que la conformaban. De esta manera se cambiaron ciertas máquinas y se establecieron parámetros de medida para algunas estaciones, lo que permitió una producción regular.

En el 2005 la empresa se dedicó a estructurarse como una organización, se levantaron procedimientos tanto administrativos como productivos, se llevó control de todas las transacciones (compra y venta) y se abrieron lazos a nuevos mercados especialmente en Europa y Asia. Es así como poco a poco FRUIT CORPORATION fue cambiando de una simple fábrica instalada a una verdadera organización.

Todos estos cambios trajeron grandes beneficios para la compañía, pero el mejoramiento continuo y la competitividad obligó a los directivos de la empresa ha analizar nuevamente de manera profunda, esquemática y mediante técnicas modernas cada una de las estaciones para poder lograr conformar una organización eficaz y eficiente. Los cambios que se han venido desarrollando fueron producto de la aplicación de herramientas empíricamente diseñadas sin la intervención de técnicas o metodologías formales, sin embargo a pesar de esto se obtuvieron cambios extraordinarios, es por este motivo que la administración se decidió por la realización del presente estudio esperando que a través del mismo pueda obtenerse información que les indique en que áreas de su proceso se están produciendo derroches para así solucionarlos y obtener un nivel de mejora aún más importante que el hasta ahora conseguido.

Planteamiento del Problema

FRUIT CORPORATION es una empresa que se dedica a la deshidratación de frutos y a la elaboración de varios derivados de los mismos, de los cuales un porcentaje pequeño es para la distribución y consumo en el mercado local en su mayoría de su producción es exportada a países de Europa y Asia.

La Fábrica principal inició su funcionamiento 5 años atrás con una de sus principales líneas de producción, la cual es, polvos de frutas y vegetales, esta

abarca casi un 80 % de sus ingresos. La línea de polvos tiene gran acogida en el mercado Europeo y Asiático, especialmente por su excelente calidad y alto valor nutricional. Lamentablemente varias negociaciones se han perdido o retrasado debido al precio de estos polvos. El inadecuado precio de los productos, no se debe a un exagerado margen de utilidad si no al elevado costo de producción, es por esta razón que la compañía quiere averiguar en que partes de su línea de producción se están produciendo derroches, para así poder realizar las correcciones necesarias y reducir este costo para poder ingresar con mayor facilidad al mercado y competir no solo con buena calidad, sino también con buenos precios.

Justificación del Estudio.

FRUIT CORPORATION entiende que para poder ser competitivos a nivel internacional necesita reducir sus costos, y considera que el área de producción es la que más los genera. Es por este motivo que la compañía desea realizar un profundo estudio de su línea de producción para así poder encontrar cuales son los puntos que generan mayores problemas y corregirlos o modificarlos. Estas mejoras podrían posiblemente incluir un rediseño del proceso, modificación de maquinaria, cambios en el tamaño del lote o en el sistema de manejo de materiales entre otras.

Con este estudio se pretende crear una herramienta que nos permita encontrar esa o esas operaciones restrictivas que están generando un alto costo de producción y plantear soluciones a las mismas sin afectar negativamente la calidad y rendimiento de los productos.

Al encontrar las operaciones restrictivas, se podrán plantear soluciones que permitirán una reducción en los costos en los niveles esperados, logrando introducir al mercado productos competitivos, los cuales generarán altos ingresos a la compañía, lo que a futuro significaría una expansión de sus instalaciones creando plazas de trabajo para los habitantes de esa región, y generando ingreso de divisas al país.

Objetivo General.

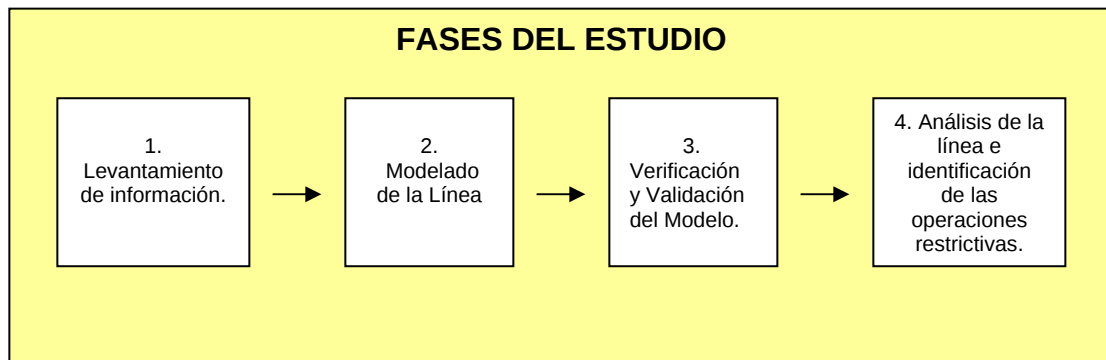
Desarrollar y Validar un modelo de simulación que permita la identificación de las operaciones restrictivas actualmente presentes la línea de producción de polvos de frutas y vegetales de la compañía FRUIT CORPORATION, con el fin de plantear soluciones de mejora que permitan reducir sus costos de operación.

Objetivos Específicos.

- ✚ Desarrollar un modelo de simulación aplicando un simulador de eventos discretos.
- ✚ Verificar y validar el modelo de simulación desarrollado con respecto al proceso real actualmente instalado.
- ✚ Desarrollar un análisis de la línea de producción basado en los resultados de la simulación e identificar a través de estos las operaciones restrictivas del proceso.
- ✚ Definir posibles oportunidades de mejora basados en las operaciones restrictivas identificadas y en los actuales niveles de costos de producción.

Metodología del Estudio.

Este estudio está destinado a hallar los puntos críticos de la línea de polvos, plantear soluciones de mejora y dejar una herramienta que permita evaluar estas soluciones sin tener que incurrir en grandes costos al realizar las pruebas. Para lograr cumplir los objetivos del estudio lo hemos dividido en cuatro fases según el siguiente esquema:



A continuación se describen cada una de las fases del estudio:

1. Levantamiento de Información.

Esta etapa consiste en obtener todos los datos e información de la planta. Esta información se va a dividir en tres partes: La primera consiste en obtener un esquema de la línea de producción, básicamente se refiere al layout de la planta. La segunda consiste en toda la información propia del proceso y que comprende razones de arribo (cada cuanto entra producto) y salida (cada cuanto sale producto) de cada una de las estaciones, tiempos de proceso, número de recursos, capacidad de equipos, entre otros. Y por último la secuencia o lógica de la línea (flujo de procesos) sea esta oficial o no oficial (fábrica oculta).

2. Modelado de la Línea.

En esta fase se utilizará toda la información obtenida anteriormente, con el fin de representar la línea de producción en lenguaje de programación. Para ello se utilizará la Simulación ya que es una técnica que permite representar de manera sintetizada un proceso real, en este caso la línea de polvos de FRUIT CORPORATION. No se simulará la línea con todos sus detalles mínimos, debido a que el modelo se volvería muy complejo, se tomarán en cuenta únicamente los aspectos indispensables para tener una representación adecuada de la realidad que contribuya con la toma de decisiones.

3. Verificación y validación del modelo de simulación.

Esta sección es la que nos indicará si el modelo de simulación representa de manera real lo que ocurre en la línea de producción. Para ello se realizarán comparaciones de los parámetros históricos de la línea con los resultados obtenidos del modelo de simulación.

4. Análisis de la línea e identificación de operaciones restrictivas.

En esta parte del estudio se analizará la línea de polvos completa, a la cual se le hallarán entre otros los tres parámetros básicos que son: Work in

Process (WIP), Tiempo de Ciclo (CT) y Throughput y con ello identificaremos las oportunidades de mejora que existen en la línea. Adicionalmente en esta etapa también se identificarán cuales son las operaciones restrictivas a través de la revisión de parámetros como la utilización o el porcentaje de bloqueo de cada una de las operaciones.

CAPÍTULO 1.

1. Marco Teórico.

Este capítulo consta de dos secciones las cuales describirán las herramientas más importantes que se utilizarán para el desarrollo del estudio. La primera de ellas analizará los principios de la teoría de las restricciones (TOC), la cual comprende el análisis y solución de operaciones restrictivas. La segunda sección analizará conceptos básicos de simulación, detalles sobre los modelos y ventajas de su uso.

1.1. Operaciones Restrictivas.

1.1.1. Conceptos Básicos.

La teoría de las restricciones (TOC) expuesta y sustentada por el doctor Eliyahu Goldratt, nace como una manera de administrar los ambientes industriales, con el objetivo de aumentar las ganancias

de las organizaciones en el corto y largo plazo. Este objetivo se alcanza aumentando el ingreso de dinero a través de las ventas al mismo tiempo que se reducen los inventarios y los gastos de operación. Así las empresas están adoptando la filosofía de la teoría de las restricciones como herramienta para la toma de decisiones estratégicas y como modelo de mejoramiento continuo.

La clave de la Teoría de las Restricciones es que la operación de cualquier sistema complejo (empresa) consiste en realidad en una gran cadena de recursos interdependientes (maquinas, equipos, centros de trabajo, instalaciones, materiales) pero solo unos pocos de ellos (cuellos de botella) restringen o condicionan la salida de toda la producción.

Reconocer esta interdependencia y el papel clave de los cuellos de botella es el punto de partida para las empresas que adoptan TOC como filosofía, y de allí ha de subordinarse todo el sistema para crear las soluciones simples y comprensibles por todos para sus problemas complejos.

Tipos de restricciones:

Restricción es cualquier elemento que limita al sistema en el logro de su meta de generar dinero. Todo sistema o empresa tiene restricciones.

Restricción de Mercado: La demanda máxima de un producto está limitada por el mercado. Satisfacerla depende de la capacidad del sistema para cubrir los factores de éxito establecidos (precio, rapidez de respuesta, etc.).

Restricción de Materiales: El Throughput se limita por la disponibilidad de materiales en cantidad y calidad adecuada. La falta de material en el corto plazo es resultado de mala programación, asignación o calidad.

Restricción de Capacidad: Es el resultado de tener equipo con capacidad que no satisface la demanda requerida de ellos.

Restricción Logística: Restricción inherente en el sistema de planeación y control de producción. Las reglas de decisión y parámetros establecidos en éste sistema pueden afectar desfavorablemente en el flujo suave de la producción.

Restricción Administrativa: Estrategias y políticas definidas por la empresa que limitan la generación de Throughput.

Restricción de Comportamiento: Actitudes y comportamientos del personal. La actitud de “ocuparse todo el tiempo” y la tendencia a trabajar lo fácil.

Enfoque sistemático del TOC:

A.- IDENTIFICAR LAS RESTRICCIONES DEL SISTEMA: una restricción es una variable que condiciona un curso de acción. Pueden haber distintos tipos de restricciones, siendo las más comunes, las de tipo físico: maquinarias, materia prima, mano de obra etc.

B.- EXPLOTAR LAS RESTRICCIONES DEL SISTEMA: implica buscar la forma de obtener la mayor producción posible de la restricción.

C.- SUBORDINAR TODO A LA RESTRICCION ANTERIOR: todo el esquema debe funcionar al ritmo que marca la restricción (tambor).

D.- ELEVAR LAS RESTRICCIONES DEL SISTEMA: implica encarar un programa de mejoramiento del nivel de actividad de la restricción. Ej. Tercerizar.

E.- SI EN LAS ETAPAS PREVIAS SE ELIMINA UNA RESTRICCIÓN, VOLVER AL PASO A): para trabajar en forma permanente con las nuevas restricciones que se manifiesten.

1.1.2. Como Manejar las Operaciones Restrictivas.

El sistema DBR (Drum, Buffer, Rope)

Es un proceso iterativo, que podríamos describir simplifícadamente de la siguiente manera:

- 1.- Programar las entregas de productos a los clientes utilizando las fechas de entrega.
- 2.- Programar las restricciones de capacidad considerando los programas de entrega y las ropes de despacho.
3. Optimizar los programas de las restricciones de capacidad.

4. Programar el lanzamiento de las materias primas y componentes teniendo en cuenta los programas de las restricciones y las ropes internas y de ensamblaje.

Bases del modelo DBR

En todas las plantas hay algunos recursos con capacidad restringida. El método DBR reconoce que dicha restricción dictará la velocidad de producción de toda la planta. El principal recurso con restricción de capacidad será tratado como “el tambor” que es el que marcará la velocidad de producción de toda la planta. También se necesitará establecer “un amortiguador” de inventario frente al factor limitativo. Este amortiguador protegerá el throughput de la planta de cualquier perturbación que se produzca en los factores no cuellos de botella. Y finalmente, para asegurarse que el inventario no crezca más allá del nivel dictado por el amortiguador, deberá limitarse la velocidad a la cual se liberan materiales a la planta. Debe amarrarse una “cuerda” desde el cuello de botella a la primera operación; en otras palabras la velocidad a la cual se liberaran materiales a la planta será gobernada por la velocidad a la cual esta produciendo el cuello de botella.

Etapas del modelo DBR

Supuesto: una parte del producto pasa por varias máquinas y solo una es cuello de botella. Y esta parte se ensambla con otra que se adquiere directamente a un tercero formando el producto final.

a.- El primer paso será programar la producción del recurso cuello de botella (C.B.) tomando en cuenta su capacidad limitada y la demanda de mercado que esta tratando de atender.

b.- El segundo paso será programar la producción de los restantes recursos que no son C.B.

c.- Programar las operaciones subsiguientes al C.B. es una tarea sencilla. Una vez que una parte se termina en un C.B. se programa la operación siguiente. Cada operación subsiguiente incluyendo la del ensamble, simplemente se inicia cuando termina la operación anterior.

d.- Lo complicado es programar las operaciones precedentes y proteger al C.B. de las perturbaciones que se puedan producir en los recursos anteriores.

e.- Sobre el supuesto de que la mayoría de las perturbaciones posibles no superan los dos días de trabajo, una protección de tres días en el amortiguador de tiempo será más que suficiente para proteger el throughput del cuello de botella.

f.- El paso siguiente es programar, remontándonos hacia atrás en el tiempo, partiendo del cuello de botella. Se programará la operación inmediatamente precedente al C.B. de manera que termine las partes necesarias tres días antes de que estén programadas para ser utilizadas en el C.B.

g.- Cada una de las operaciones precedentes se programará en retrospectiva de manera semejante para que todas las partes estén disponibles justo a tiempo para la siguiente operación.

h.- De esta manera, se puede generar un programa y un amortiguador de tiempo que satisfaga todos los requerimientos del esquema. Cualquier perturbación en las operaciones precedentes, que pueda superarse dentro del amortiguador de tiempo, no afecta el throughput de la planta.

i.- Resta definir como se compran (cantidad y periodicidad) la otra parte del producto que forma parte del producto final a través del ensamble.

j.- Lo importante es generar también un stock amortiguador de esta parte frente a la operación de ensamble que requieran de una parte del C.B. para conformar el producto final. El propósito de este amortiguador será proteger el programa de ensamble contra las perturbaciones que puedan ocurrir en abastecimientos de las partes que no pasan por el C.B.

Establecer el “DRUM BEAT”

La primera actividad sería la identificación de los Recursos con Capacidad Restringida (CCR's). La determinación del Programa Maestro de Producción (MPS) de la planta, de acuerdo al ritmo de producción establecido por las CCR's, se realiza de la manera siguiente.

Primero se define el programa para procesar los pedidos en las CCR's utilizando su capacidad al máximo. Este consistiría en definir la secuencia de producción, el tamaño del lote de producción, y el de transferencia.

Si la CCR no requiere de set-ups la secuencia de producción debe estar en función de la fecha de entrega. El tamaño del lote de producción debe ser igual al tamaño del pedido. La única variable a definir es el tamaño del lote de transferencia. Lotes pequeños de transferencia originan un flujo de material mejor, con niveles de inventario menores, pero mayor manejo.

Si la CCR requiere de set-ups, es necesario determinar los tamaños de lote de producción. Tiempos largos de set-up originan lotes grandes de producción, los cuáles impactarían fuertemente los tiempos de entrega al cliente y los niveles de inventario. La definición del tamaño de lote se relaciona con la secuencia de producción, en caso de buscar productos iguales para incrementar los lotes a procesar.

El resto del programa (para los recursos no CCR) se desarrolla en función del anterior.

Determinar el “Rope”

La función del Rope es la de comunicar efectivamente a través de la planta, las acciones requeridas para soportar el MPS. El desarrollo del Rope debe considerar solamente información

detallada relevante que se transmita a puntos específicos y críticos del sistema productivo, denominados Schedule release points (calendarios de puntos de liberación).

Además de los CCR's, éstos son:

Material Release Points (Puntos de liberación del material): Requiere conocer a detalle qué materiales se procesarán, en qué cantidad y cuándo. El control del flujo del material en el sistema se lleva a cabo en gran medida al momento de hacerlos disponibles.

Puntos de Divergencia: En estos puntos normalmente el material se transforma en productos diferentes. Por lo tanto, puede darse la sobre-activación de recursos y la asignación deficiente del material, en caso de no tenerse conocimiento a detalle qué y cuánto producir, y en qué secuencia.

Puntos de Convergencia: En estos puntos convergen muchos materiales y/o partes que se ensamblan en varios productos finales. La ausencia de algún material o parte puede originar sobre-utilización de recursos o "stealing" de materiales.

Parámetros teóricos de una línea de Producción.

Cuello de Botella (tasa de arribo r_b)

Se define como cuello de botella la estación que tiene mayor tiempo de utilización.

$$U = \frac{\text{tasadearribo}}{\text{tasadeprocesoefectivo}} = \frac{r_a}{r_e}$$

En caso de que todas las tasas de arribo sean iguales, será cuello de botella la estación con menor capacidad.

$$r_e = \frac{\#maquinas}{\text{tiempoefectivo}} = \frac{m}{t_e}$$

Por lo tanto podemos decir que **no necesariamente** es cuello de botella la estación que:

-  Tiene el tiempo de proceso más largo.
-  Tiene menor capacidad.
-  Tiene menor número de máquinas.

Ejemplo:

TABLA 1. DATOS DE EJEMPLO.

# Estación	# Maquinas	T. Arribo (p/h)	T. Proceso (h)	Capacidad (p/h)	Rb (p/h)
1	5	1	0.25	20	20
2	12	1	0.5	24	
3	1	1	0.04	25	

Tiempo de Proceso Crítico (To)

El tiempo de proceso crítico es el tiempo que le demora a una línea de producción procesar una pieza desde el principio hasta el final, estando libre de producción. Lo que quiere decir en las mejores condiciones.

Ejemplo:

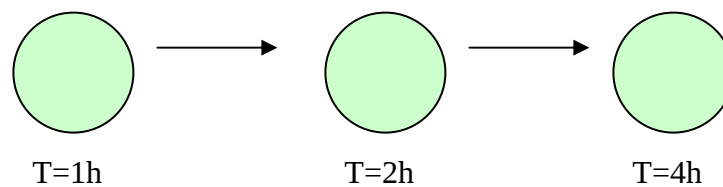


FIGURA 1. EJEMPLO PARA CÁLCULO DE TO.

$$To = t_1 + t_2 + t_3 = 1 + 2 + 4 = 7h.$$

Trabajo en Proceso Crítico (Wo).

Es el nivel de trabajo en proceso (WIP) el cual con un valor de rb y To dado, sin variabilidad, mi línea alcanza el máximo throughput (rb) con el mínimo tiempo de ciclo (To).

$$Wo = rb \times To$$

Ejemplo:

$$To = 7 \text{ h.} \quad rb = 20 \text{ p/h.}$$

$$Wo = rb \times To = 7 \times 20 = 140 \text{ piezas}$$

Evaluación de la Línea de Producción.

Para evaluar una línea de producción hay que comparar la realidad actual con modelos estándares ya establecidos, sólo así podremos observar el verdadero estado de la línea y su oportunidad de mejora.

Estos estándares son curvas características de cada línea de producción, halladas con los parámetros básicos estudiados anteriormente.

Mejor Caso, Peor Caso y Peor Caso Práctico.

Mejor Caso

Este caso describe una situación **ideal** en todo proceso, cada vez que una pieza va de una estación a otra, esta **no tiene** que esperar para ser procesada. Las curvas que representan esta situación son:

$$CT \begin{cases} T_o & w \leq W_o \\ W/rb & w > W_o \end{cases}$$

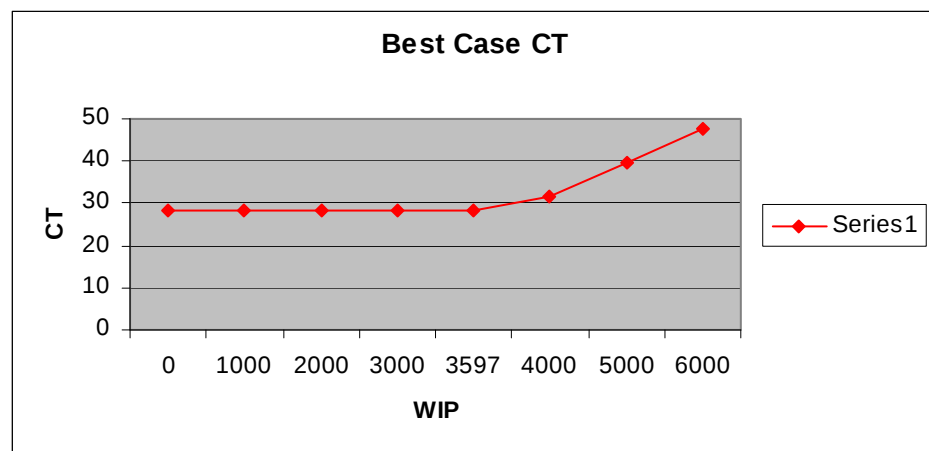


FIGURA 2. MEJOR CASO (CT)

$$TH \left\{ \begin{array}{ll} W/To & w \leq Wo \\ rb & w > Wo \end{array} \right.$$

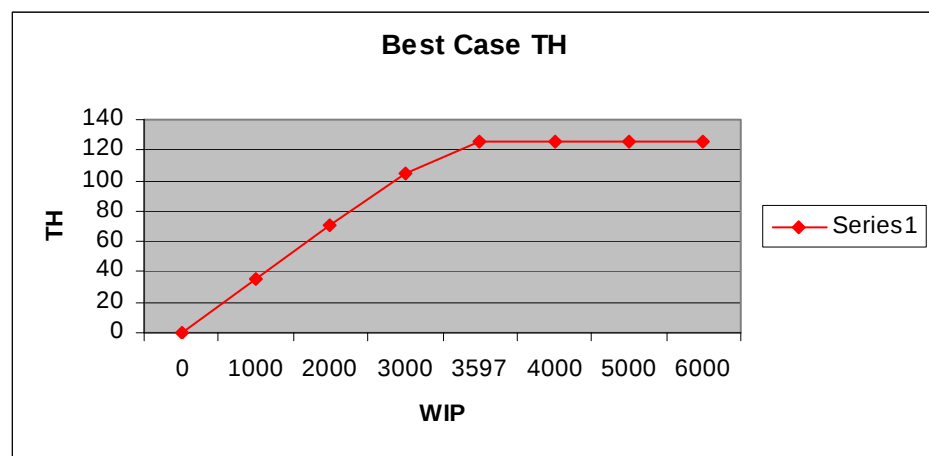


FIGURA 3. MEJOR CASO (TH)

Peor Caso

Este caso describe una situación **no ideal** en todo proceso, cada vez que una pieza va de una estación a otra, esta **tiene** que esperar para ser procesada. Las curvas que representan esta situación son:

$$CT \left\{ W \times To \right.$$

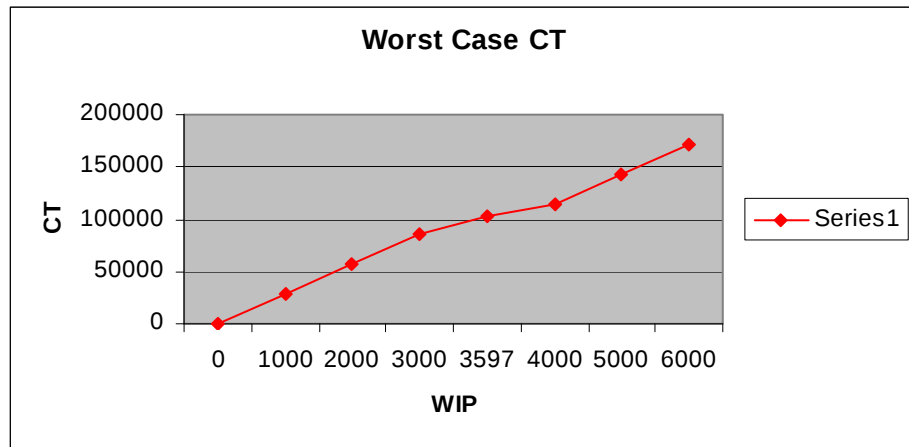


FIGURA 4. PEOR CASO (CT)

$$TH \left\{ \begin{array}{l} 1/to \end{array} \right.$$

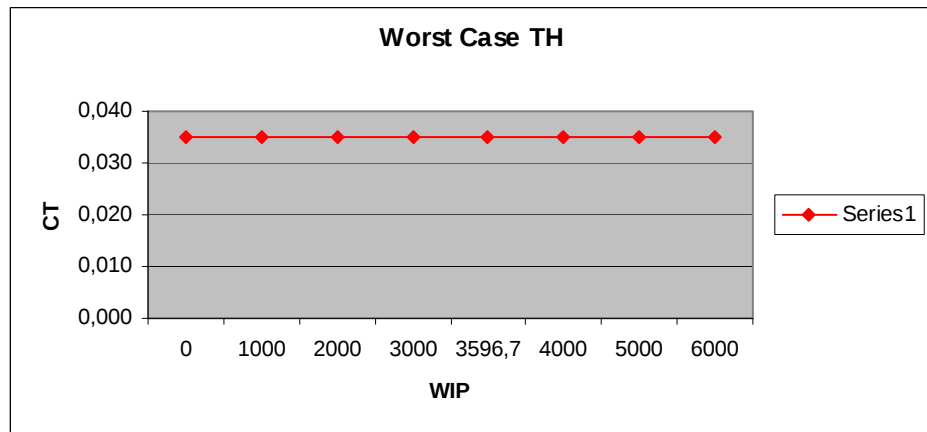


FIGURA 5. PEOR CASO (TH)

Peor Caso Práctico

Este caso describe una combinación de situaciones, es todo lo que puede pasar con la pieza que no describa ninguno de los casos anteriores cada vez que una pieza va de una estación a otra, esta debe o no esperar para ser procesada. Las curvas que representan esta situación son:

$$CT \left\{ \begin{array}{l} T_o + \frac{W-1}{rb} \end{array} \right.$$

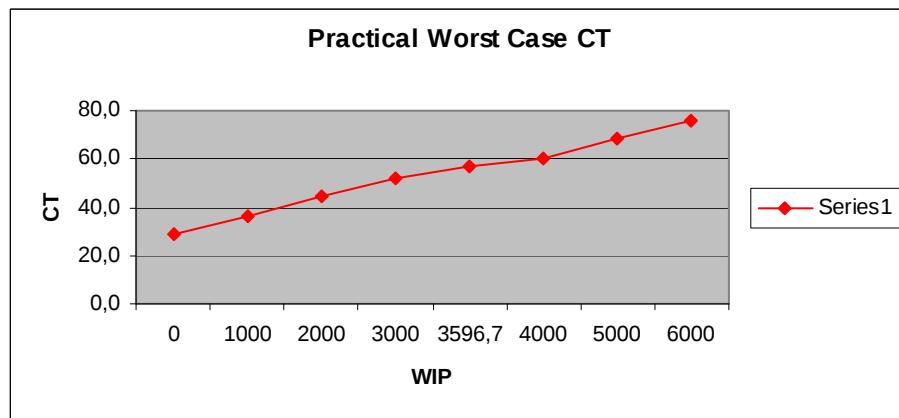


FIGURA 6. PEOR CASO PRÁCTICO (CT)

$$TH = \left\{ \left[\frac{W}{W_0 + (W - 1)} \right] \times rb \right.$$

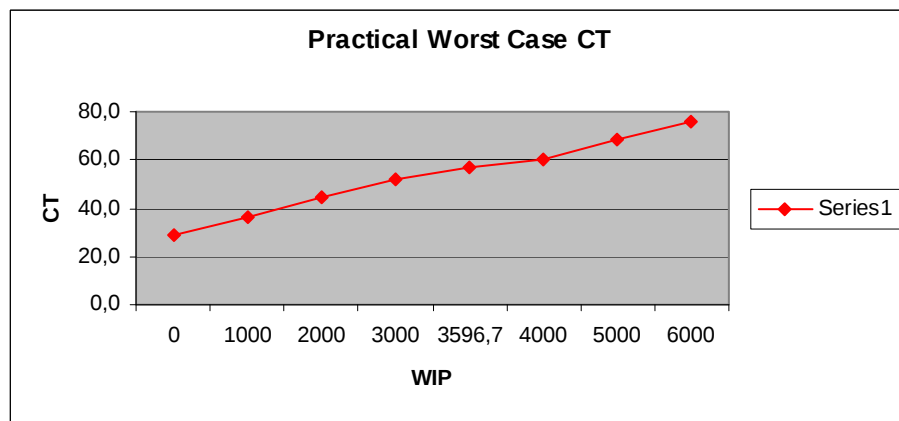


FIGURA 7. PEOR CASO PRÁCTICO (TH)

Métodos de Evaluación.

Existen varios métodos para evaluar si la línea de producción es Lean o Fat, de los cuales analizaremos los dos más comunes con un ejemplo.

Método Gráfico

Consiste en graficar las curvas de cada caso para la línea de producción a ser evaluada, y dentro del gráfico ubicar la situación

actual de la empresa. La región donde estemos ubicados nos indicará el estado de la línea.

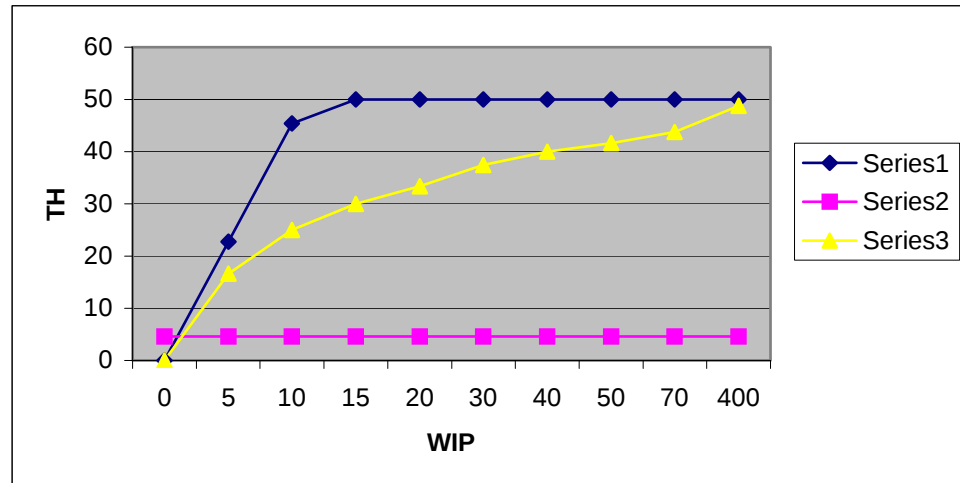


FIGURA 8. MÉTODO GRÁFICO DE EVALUACIÓN

Supongamos que el nivel de Wip actual de la línea estudiada es de 40 piezas y que el TH es 45 p/h, nos ubicaríamos en la zona Lean del gráfico y nuestra línea tendría estas características.

Método Analítico

Aquí se realiza el análisis de la línea utilizando la fórmula del peor caso práctico y se calcula el Th y se lo compara con el actual, si el Wip del peor caso práctico es menor al Wip actual se considera que la línea es fat, en caso contrario la línea es Wip.

Ejemplo:

Wip real 400 piezas; $r_b = 50$ p/h ; $W_o = 11$; $TH = 43.75$ p/h

$$43.75 = \frac{W}{10 + W} * 50 = 70 \text{ piezas}$$

Como el WIP del PWC es menor al WIP real el proceso es fat.

1.2. La Simulación

1.2.1. Conceptos Básicos.

La simulación es el diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentalmente con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema del mundo real o evaluar varias estrategias con los cuales puedan operar el sistema. "Robert Shannon".

La simulación de un sistema o de un organismo es la operación de un modelo lo cual se va a llamar simulador el cual es una representación del sistema. Este modelo o simulador estará sujeto a diversas manipulaciones, las cuales serían imposibles de realizar, demasiado costosas o imprácticas. La operación de un modelo puede estudiarse y con ello conocer las propiedades concernientes al comportamiento del sistema o subsistema real - costoso. "Shubik"

Clasificación de la simulación.

La simulación y en general los modelos de simulación se pueden clasificar de acuerdo a varios criterios, entre los cuales destacan:

<i>A.- En función del objetivo del estudio de simulación...</i>	
En el análisis de sistemas	Donde se busca imitar el comportamiento de la naturaleza para entender o mejorar el desempeño del sistema.
En la educación y la capacitación	Donde el primer objetivo es entender los conceptos y luego la aplicación de estos.
En la adquisición y recepción de sistemas	Donde el modelo de simulación intenta dar respuesta a preguntas tales como: ¿el sistema encuentra requerimientos? Un subsistema contribuye significativamente a la mejora del desempeño del sistema.
En la investigación	Este involucra la creación de un ambiente artificial, en el cual los sistemas que lo componen pueden ser probados o el comportamiento de un individuo o grupal puede ser comparado, contrastado o categorizado.
En el entrenamiento	Utiliza un modelo de simulación en tiempo real para generar diversión y placer.

<i>B.- En función del tiempo y el estado de un modelo de simulación...</i>	
Discretos	Un modelo en el cual las variables de estado cambian en un número entero de puntos en el tiempo.
Continuos	Las variables de estado cambian continuamente en el tiempo.
Eventos discretos y modelos continuos combinados	Permite a ambas técnicas ser aplicadas dentro del mismo estudio.
Modelos de simulación híbridos.	Generalmente incorpora un submodelo analítico sin considerar modelos de eventos discretos

<i>C.- En función del tiempo...</i>	
Estáticos	Representación de un sistema en un instante particular de tiempo.
Dinámica	Representación de un sistema que se desarrolla a lo largo del tiempo.

<i>D.- En función de los datos usados...</i>	
Determinísticos	Simulación que no usa variables aleatorias. Para cada conjunto de entrada, existirá solamente una respuesta.
Estocástica	Simulación que contiene una o mas variables aleatorias. Los resultados también serán aleatorios, por lo que solo se puede estimar la respuesta.

FIGURA 9. CLASIFICACIÓN DE LA SIMULACIÓN (8).

Para el desarrollo de esta tesis nos basaremos en el **análisis de sistemas** debido a que intenta imitar el comportamiento de la naturaleza para mejorar el desempeño del sistema, además se manejarán **eventos discretos y modelos continuos**. La simulación que se empleará será **dinámica** por representar al sistema a lo largo del tiempo y **estocástica** porque posee más de una variable aleatoria, y los resultados solo se los puede estimar.

¿Qué Intenta la simulación?

1. Descubrir el comportamiento de un sistema.
2. Postular teorías o hipótesis que expliquen el comportamiento observado.
3. Usar esas teorías para predecir el comportamiento futuro del sistema, es decir mirar los efectos que se producirían en el sistema mediante los cambios dentro de él o en su método de operación (tiempo en minutos).

El uso de simulación en computadoras para modelar los sistemas de producción se ha vuelto popular en los últimos años. La simulación nos permite experimentar con modelos de nuestro sistema, los mismos que pueden ser analizados en pocos minutos o en pocas horas, proporcionándonos la capacidad de tomar decisiones para resolver problemas que serían difícilmente observables bajo otras condiciones de análisis.

La simulación nos permite experimentar usando modelos de los sistemas de producción en computadora, en tiempo reducido y dándonos la capacidad de tomar decisiones para resolver problemas que en otros análisis no se hubiesen podido detectarse. De esta manera el modelador o diseñador del sistema usa el modelo para contestar la pregunta “¿qué pasa si?”, por ejemplo, ¿qué pasa si utilizo una máquina adicional en el sistema?, utilizando simulación se puede modificar el modelo fácilmente, aumentar una máquina, correr el sistema y analizar los resultados. Este método es menos costoso y más rápido que experimentar en el sistema real, por otro lado permite considerar un gran número de variables en un sistema complejo. Además, permite eliminar

ágilmente las opciones que no generan un mejoramiento del sistema.

La simulación procesa los datos del sistema y genera resultados que son comparados con las metas del sistema. Algunos de estos resultados son: tiempo de ciclo; razón de producción; utilización de recursos; tiempo de valor agregado; tiempo de espera; calidad; costo y flexibilidad.

Es importante seguir una metodología de simulación para lograr los objetivos propuestos en cualquier proyecto. En general, la metodología de simulación incluye 12 pasos: definición del problema; planeación del proyecto; definición del sistema; formulación del modelo conceptual; diseño del experimento preliminar; preparación de los datos de entrada; formulación del modelo; verificación y validación; diseño del experimento final; experimentación; interpretación y análisis; e, implementación y documentación.

1.2.2.- El Modelo de Simulación.

Propiedades De Los Modelos De Simulación

Definición De Modelo

Modelo es una representación de un objeto, sistema o idea de forma diferente a la de identidad misma. Por lo general el modelo nos ayuda a entender y mejorar un sistema.

El modelo de un objeto puede ser una réplica exacta de este. Con la diferencia del material que lo compone o de su escala, inclusive puede ser una abstracción de las propiedades dominantes del objeto.

Funciones Del Modelo

 Comparar

 Predecir

Estructura Del Modelo

El modelo se puede escribir de tal forma

$$E = F(X_i, Y_i)$$

Donde:

E: Es el efecto del comportamiento del sistema.

X_i : Son las variables y parámetros que nosotros podemos controlar.

Y_i : Las variables y los parámetros que nosotros no podemos controlar.

F : Es la función con la cual relacionamos X_i con Y_i con el fin de modificar o dar origen a E .

Propiedades De Los Modelos

1. COMPONENTES:

Son las partes de un conjunto que forman el sistema

2. VARIABLES:

Pueden ser de dos tipos (Exógenos, Endógenos)

 Exógenas: Entradas son originadas por causas externas al sistema

 Endógenas: Son producidas dentro del sistema que resultan de causas internas, las cuales pueden ser de Estado o de Salida

Estado: Muestran las condiciones iniciales del sistema

Salida: Son aquellas variables que resultan del sistema

Estadísticamente a las variables exógenas se las denomina como variables independientes.

3. *PARAMETROS:*

Son cantidades a las cuales el operador del modelo puede asignarle valores arbitrarios lo cual se diferencia de las variables.

Los parámetros una vez establecidos se convierten en constantes.

4. *RELACIONES FUNCIONALES:*

Describen a los parámetros de tal manera que muestran su comportamiento dentro de un componente o entre componentes de un sistema.

Las relaciones funcionales pueden ser de tipo determinísticos o estocásticos.

 Determinísticas: Sus definiciones que relacionan ciertas variables o parámetros donde una salida del proceso es singularmente determinada por una entrada dada.

 Estocásticas: Cuando el proceso tiene una salida indefinida, para una entrada determinada las relaciones funcionales se

representan por ecuaciones matemáticas y salen del análisis estadístico matemático.

5. RESTRICCIONES:

Estas son limitaciones impuestas a valores de las variables las cuales pueden ser de dos formas:

 Auto impuestas: O sea asignadas por el mismo operador.

 Impuestas: O sea cuando son asignadas manualmente por el mismo sistema.

6. FUNCIONES DE OBJETIVO:

Son las metas del sistema o el como evaluar al sistema, existen retentivas por ejemplo: la conservación de tiempo, energía y adquisitivas ejemplo: Ganancia en algo.

1.2.3. Proceso de Desarrollo de un Modelo de Simulación.

A continuación se presenta un proceso sencillo y adecuado que permitirá desarrollar y validar el modelo de simulación de manera eficiente.

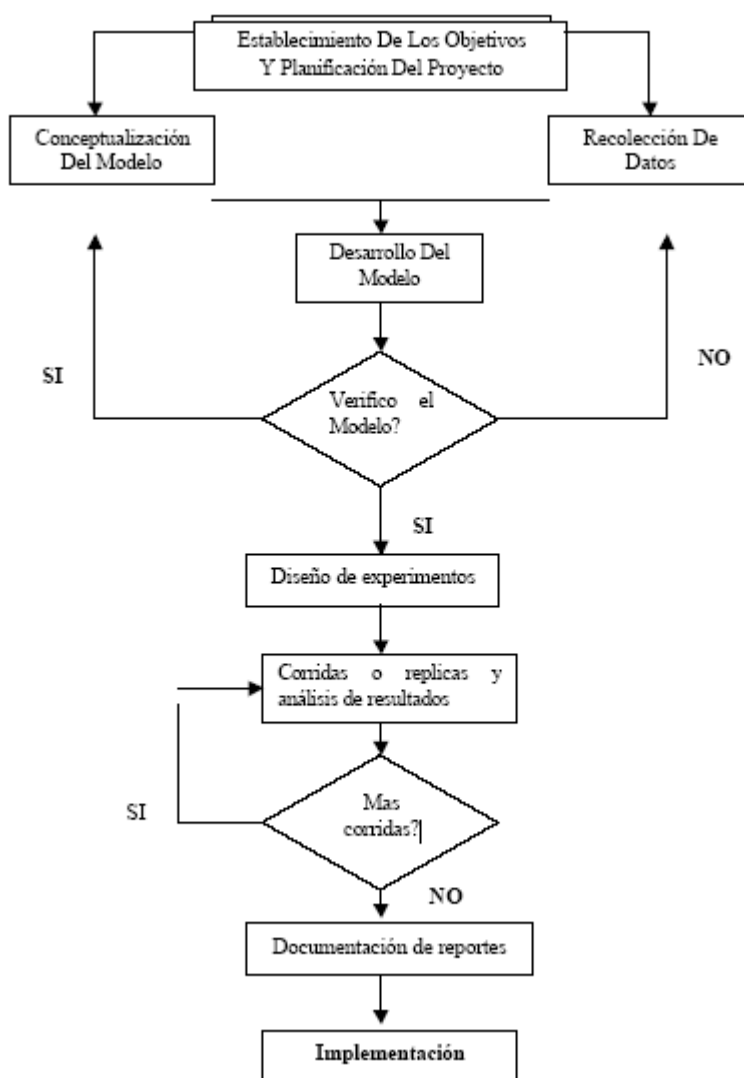


FIGURA 10. PROCESO DE DESARROLLO DE UN MODELO DE SIMULACIÓN (8).

1.2.4. Ventajas y Desventajas.

Ventajas

- 1.- Se puede estudiar el efecto de cambios internos y externos del sistema.
- 2.- Mejor entendimiento de las cosas.
- 3.- Puede ser utilizada como un instrumento pedagógico.
- 4.- El modelo se lo puede usar con tanta frecuencia se lo desee.
- 5.- Puede ser utilizada para experimentar con nuevas situaciones.
- 6.- Puede ser utilizada como entrenamiento de personal.
- 7.- El modelo de simulación es menos costoso que si se utiliza el mundo real.

Desventajas

1. Una de ellas es que al empezar a simular podemos interferir en las operaciones del sistema.
2. Sistemas entran a jugar las personas, cambiar el comportamiento natural de las personas que se relacionan con el sistema.
3. No todas las condiciones son continuas para el sistema.
4. Difícil obtener siempre el mismo tamaño de muestra, estos

sistemas toman muestras tan grandes que pueden ser mucho más costosos.

5. Explorar todas las alternativas o todas las variantes que pueden existir dentro del sistema.

6. Se requiere equipo computacional y recursos humanos costosos.

¿Cuándo Es Necesario Simular Y Cuando No Es Necesario Simular?

¿Cuándo se debe utilizar la simulación?

1. Cuando no se tiene el modelo matemático definido.

2. Formulación exacta del sistema.

3. Cuando se tienen las fórmulas analíticas y se necesita un modelo para ponerlas a funcionar.

4. El costo o la corrida de un modelo no es costosa.

5. Cuando al ver un proceso físico, el cual nosotros queremos conocer, la simulación es la única forma (posibilidad) que tenemos para conocer el comportamiento de un proceso real, ejemplo: fenómeno del niño (climático).

6. Cuando se requiere acelerar o retrasar el tiempo de los procesos dentro de un sistema.
7. Cuando se quiere por medio de la simulación encontrar o hacer estudios y/o experimentos.

Criterios Que Se Debe Tener En Cuenta Para Que Un Modelo De Simulación Sea Bueno

1. Fácil de entender por el usuario.
2. Tenga el modelo metas y objetivos.
3. Modelo no me de respuestas absurdas.
4. Que sea fácil de manipular, la comunicación entre el usuario y la computadora debe ser sencilla.
5. Que sea completa, tenga por lo menos las partes o funciones más importantes del sistema.
6. Sea adaptable que podamos modificar, adaptarlo, actualizarlo.
7. Que sea evolutiva que al principio sea simple y poco a poco empezamos a volverla compleja dependiendo de las necesidades de los usuarios.

CAPÍTULO 2.

2. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.

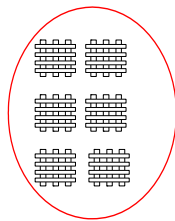
Este capítulo es la base para todo nuestro estudio, debido a que en el se mostrará toda la información recolectada de la línea de producción de Frutas y Vegetales de FRUIT CORPORATION. Primero, se esquematizará gráficamente la línea de producción y se describirán sus áreas. Luego se determinará la secuencia lógica de la línea y por último se realizará una toma de tiempos.

2.1. Descripción de Áreas y Esquema de la Línea de Producción.

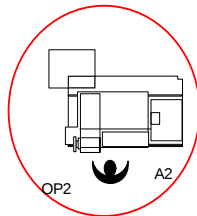
La línea de producción de frutas y vegetales de FRUIT CORP se la puede dividir en 4 áreas bien definidas las cuales detallamos a continuación:

2.1.1. Área de Preparación de la Materia Prima.

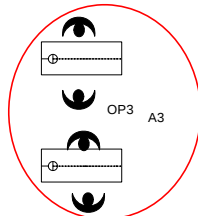
A esta sección la hemos denotado con la letra A, la cual está dividida en 3 sub-áreas: (A1, A2, A3) dadas por las 3 máquinas distintas que aquí se encuentran. Esta parte del proceso se encarga de dejar a punto la materia prima para que ésta pueda ser procesada en el área siguiente.



A1 En esta sub-área se receipta la materia prima, la cual llega bajo pedido, utilizando la filosofía JIT.



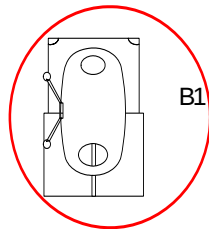
A2 Aquí se le realiza la primera operación a la materia prima (escaldado), se colocan 10 gavetas de 25 kg y se pone en marcha la máquina.



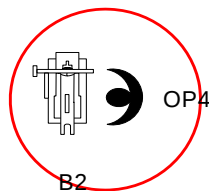
A3 Esta sección es la segunda operación que se le realiza a la materia prima (corte), toda la actividad es manual, laboran cerca de 20 personas.

2.1.2 Área de Transformación de la Materia Prima.

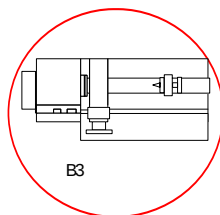
A esta sección la hemos denotado con la letra B, la cual también está dividida en 3 sub-áreas: (B1, B2, B3) dadas por las 3 máquinas distintas que aquí se encuentran. Esta parte del proceso se encarga de cambiar el estado de la materia prima.



B1 Esta es la primera actividad del área de transformación (presecado), aquí se agrupan de a 10 gavetas de 25 kg cada una, y luego se pone en marcha la máquina.



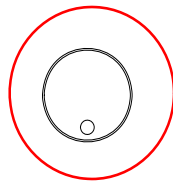
B2 En esta actividad se realiza el troceado, hay 2 máquinas en esta sección.



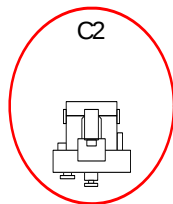
B3 Esta es la última operación de esta área (secado), se colocan grupos de 10 gavetas, hay 2 máquinas en esta sección.

2.1.3. Área de Preparación de Producto Terminado.

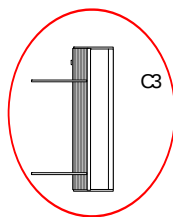
A esta sección la hemos denotado con la letra C, la cual está dividida en 3 sub-áreas: (C1, C2, C3) dadas por las 3 máquinas distintas que aquí se encuentran. Esta parte del proceso se encarga de darle al producto las características que desea el cliente.



C1 En esta sección se almacena temporalmente el producto hasta la mañana siguiente.



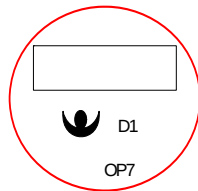
C2 En esta máquina (molino) se le empieza a dar al producto la característica requerida por el cliente. Al salir de esta estación el producto es acumulado en sacos de 50 kg.



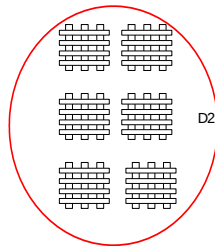
C3 En esta estación se le da la característica final al producto, antes de ser sellado, embalado y paletizado.

2.1.4. Área de Sellado, Embalaje y Paletizado.

A esta sección la hemos denotado con la letra D, la cual está dividida en 2 sub-áreas: (D1, D2) dadas por las 2 estaciones distintas que aquí se encuentran. Esta parte del proceso se encarga de asegurar que el producto sea sellado y almacenado correctamente, hasta el día de su despacho.



D1 Esta estación se encarga de sellar las fundas con el producto, luego embalarlas en cajas de cartón y por último colocar las cajas en pallets.



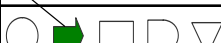
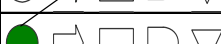
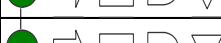
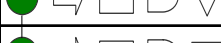
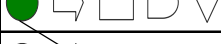
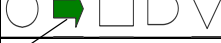
D2 Esta sección es la bodega de producto terminado, aquí el producto aguarda hasta que llegue el container el día de su despacho.

FIGURA 11. ESQUEMA DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN Y RECORRIDO DEL PRODUCTO

2.2. Secuencia lógica de la línea de producción.

Luego de describir las áreas y observar el esquema de la línea, analizaremos el flujo del producto a través de ella. Para ello utilizaremos el siguiente gráfico de procesos.

TABLA 2. DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO.

		<u>DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS DE PLANTA</u>				
Simbología		Empresa : FRUIT CORPORATION				
	Operación	Descripción del proceso: Para exportación				
	Transporte					
	Inspección	Fecha: Mayo/ 2006				
	Demora	Realizado por:		Revisado por:		
	Almacenamiento					
Paso	Símbolo	Descripción de la Actividad	Tiempo	Observación	Operario	
1		Se receipta la materia prima.	0	JIT	Op1	
2		Se coloca la materia prima en gavetas.	65,73	seg/gaveta(25kg)	Op1	
3		Se transporta las gavetas a la máquina A2.	49,78	seg/10gavetas(25kg)	Op1 y Op2	
4		Se colocan 10 gavetas dentro de la máquina A2.	171,19	seg/10gavetas(25kg)	Op2	
5		Se pone en marcha la máquina A2.	150	seg/10gavetas(25kg)	Op2	
6		El Producto en Proceso se colocan en tinas.	27,43	seg/10gavetas(25kg)	Op2	
7		La tinas son transportadas a la máquina A3.	27,31	seg/10gavetas(25kg)	Op1	
8		Se pone en marcha la máquina A3.	22029,89	seg/10gavetas(persona)	Op3	
9		Se espera a que el P.P este listo.	26,26	seg/gaveta(25kg)	Op3	
10		Se coloca el P.P en gavetas.			Op3	

11		Se transporta las gavetas a la máquina B1.	50,94	seg/gaveta(25kg)	Op1
12		Se pone en marcha la máquina B1.	624,35	seg/10gavetas(25kg)	Op5
13		Se enciende la máquina B3.	0	activada en paralelo	Op5
14		Las gavetas con el P.P. son llevados a la máquina B2.	2746,3	seg/10gavetas(25kg)	Op4
15		El P.P. se lo coloca en la máquina B2.			Op4
16		Se pone en marcha la máquina B2.			Op4
17		El P.P. cae por gravedad a la máquina B3.			---
18		Se pone en marcha la máquina B3.	7257,73	seg/10gavetas(25kg)	Op4
19		Se almacena el P.P en C1.	0	hasta la mañana siguiente	---
20		Se transporta el P.P. a C2	42,4	seg/silos (1/2 tn)	Op5,Op6
21		Se coloca el P.P. en C2	621,45	seg/sacos(50kg)	Op6
22		Se pone en marcha la máquina C2.			Op6
23		Se coloca el P.P. en sacos.			---
24		Estos sacos son llevados a la máquina C3.	29,39	seg/sacos(50kg)	Op6,Op7
25		Se coloca el P.P. en C3.	612,44	seg/sacos(50kg)	Op7
26		Se pone en marcha la máquina C3.			Op7
27		Se toman muestras para ser analizadas en un laboratorio químico.	0	activada en paralelo	Op5
28		Se transporta el P.P. a la máquina D1.	143,28	seg/sacos(50kg)	Op7
29		El P.P que necesita retrabajo se lo coloca en sacos.	0	activada en paralelo	Op7
30		Se almacenan los sacos con el P.P que necesita retrabajo para.	0	activada en paralelo	Op7
31		Se verifica que el Producto terminado pese lo estipulado.	1804,47	seg/sacos(50kg)	Op5
32		Se sella el P.T.			Op7
33		Se lleva el P.T. a la bodega.	1321,57	seg/palet	Op7
34		Se escribe la fecha de elaboracion y de expiracion.	0	activada en paralelo	Op5
35		Se almacena el P.T. hasta el día de su despacho.	0		Op7

2.2.1. Análisis del Flujo de la línea.

Actividades.

El cuadro que se muestra a continuación nos indica el resumen de las actividades que se realizan en la línea de producción de la empresa.

TABLA 3. RESUMEN DE ACTIVIDADES

Actividad	Cant.	Porcentaje
Operaciones	22	62,86
Transportes	8	22,86
Inspecciones	1	2,86
Demoras	2	5,71
Almacenajes	2	5,71
Total	35	100%

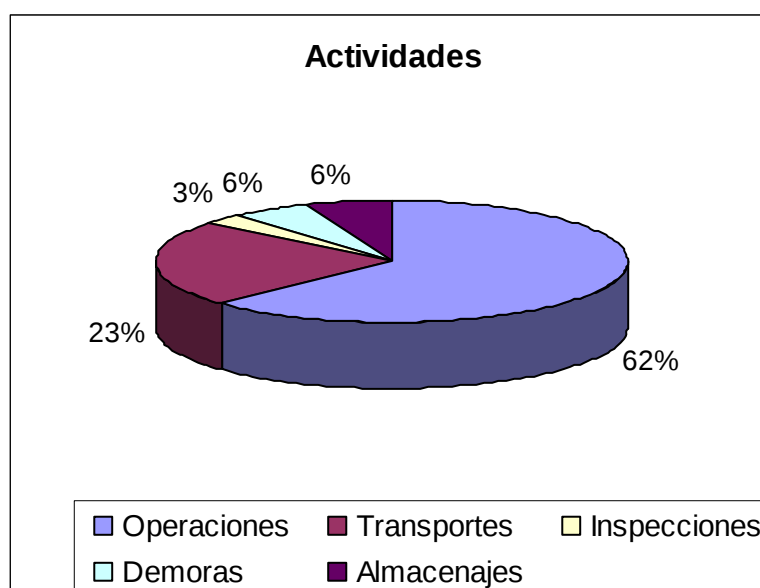


FIGURA 12. PORCENTAJE DE ACTIVIDADES

Valor Agregado.

TABLA 4. OPERACIONES QUE AGREGAN VALOR

Análisis de valor agregado		
Operaciones	22	100,00
Agregan Valor	20	90,91
No agregan valor	2	9,09

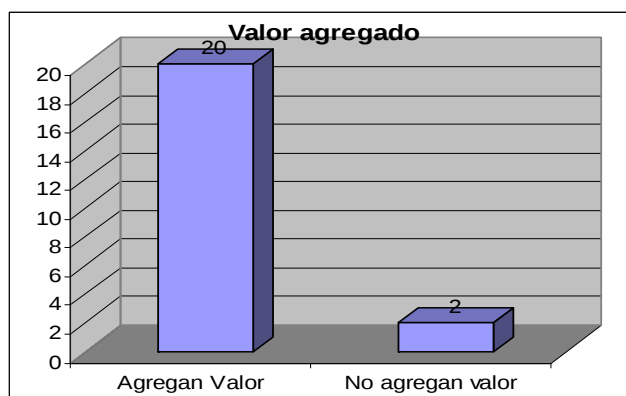


FIGURA 13. OPERACIONES QUE AGREGAN VALOR

TABLA 5. ACTIVIDADES QUE AGREGAN VALOR

Análisis de valor agregado		
Total de Actividades	35	100,00
Agregan Valor	20	57,14
No agregan valor	15	42,86



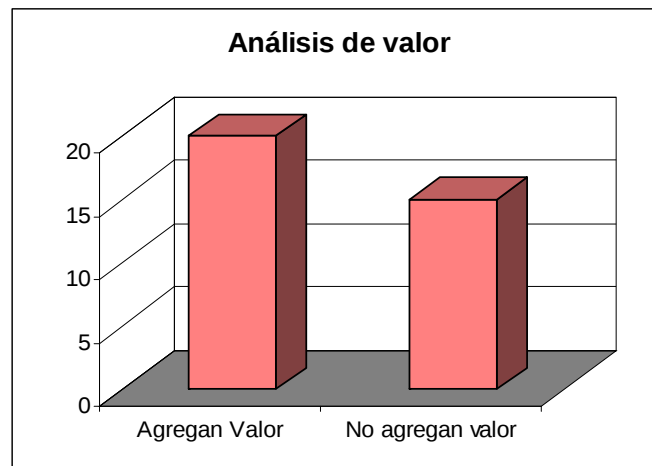


FIGURA 14. ACTIVIDADES QUE AGREGAN VALOR

Como conclusión del análisis del flujo tenemos que 22 de las actividades que se realizan en la línea, o sea un 63 % son operaciones, de las cuales el 91 % agregan valor al producto. Lo que nos da como resultado que el 57 % de las actividades en total agregan valor al producto final.

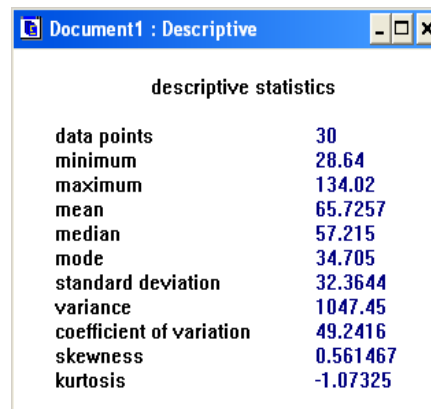
2.3. Toma de tiempos.

Para concluir con el levantamiento de información de línea realizamos una toma de tiempos de las actividades manuales, de transporte y de la maquinarias con el fin de determinar la distribución de probabilidad, la media y la desviación estándar de las mismas, a través de la aplicación de pruebas de Bondad de Ajuste empleando para ello el programa Stat Fit.

A continuación se presentan los resultados generales de la toma de tiempos por cada actividad, en el anexo 1 se podrá observarla con más detalle.

Actividad 2.- Colocar la materia prima en gavetas.

Estadísticos:



Distribución: Beta (28, 134, 0.706, 1.41)

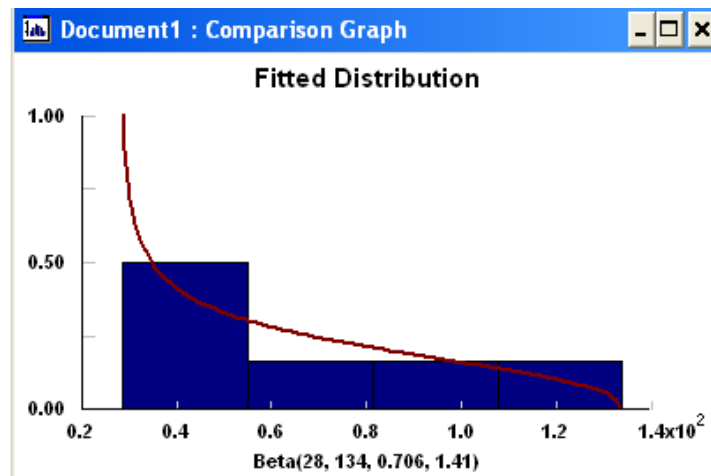
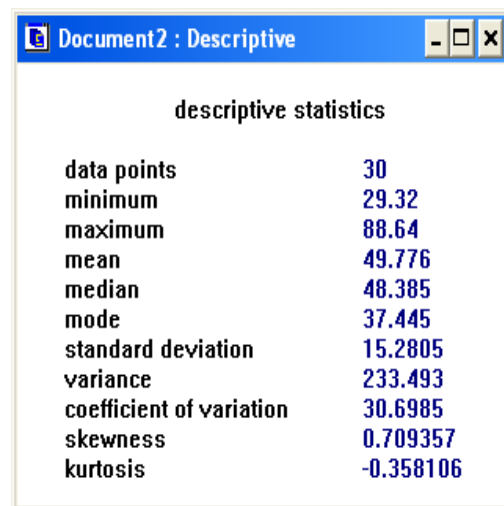


FIGURA 15. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 2

Actividad 3.- Transportar las gavetas a la máquina A2.

Estadísticos:



Distribución: Weibull (29, 1.2, 22.4)

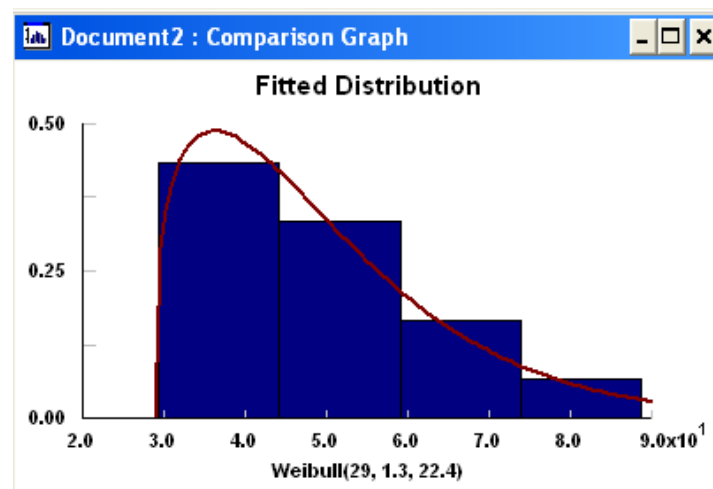
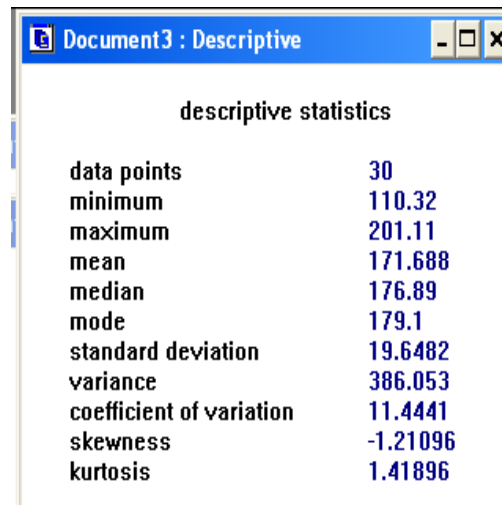


FIGURA 16. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 3

Actividad 4.- Colocar 10 gavetas en la máquina A2.

Estadísticos:



Distribución: Triangular (110, 203, 200)

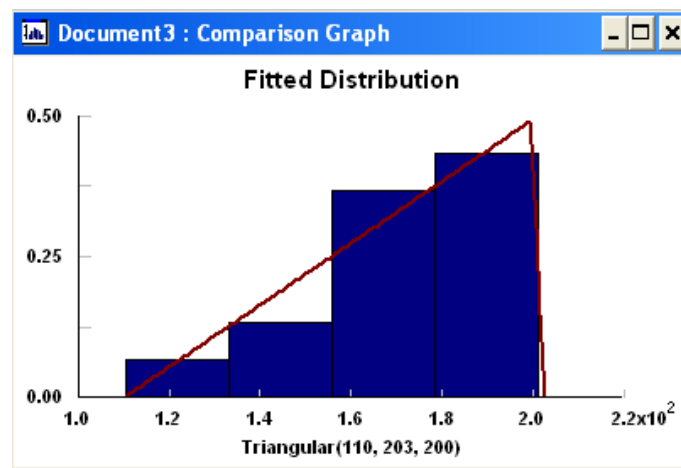
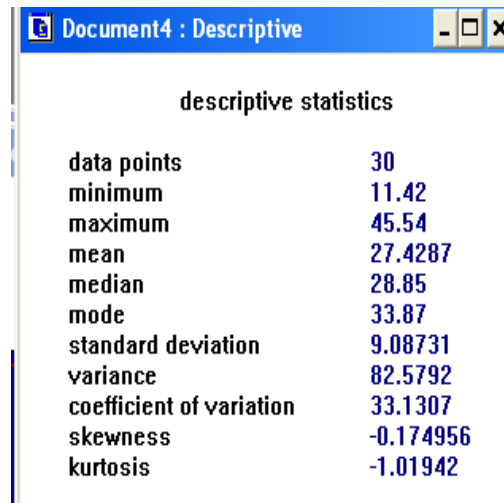


FIGURA 17. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 4

Actividad 6.- Colocar el P.P en tinas.

Estadísticos:



Distribución: Uniform (11, 45.5)

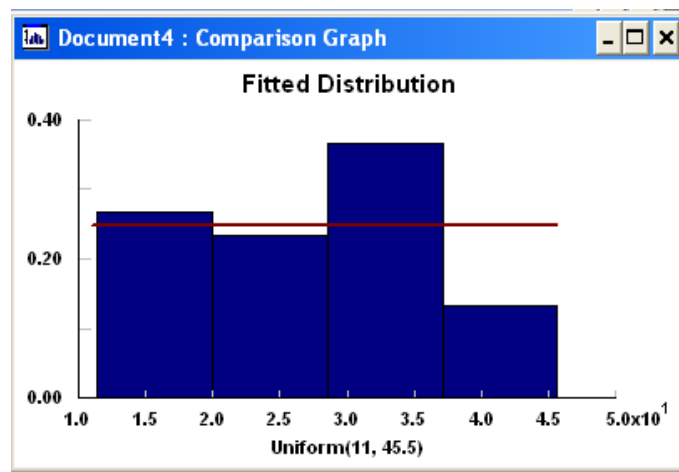
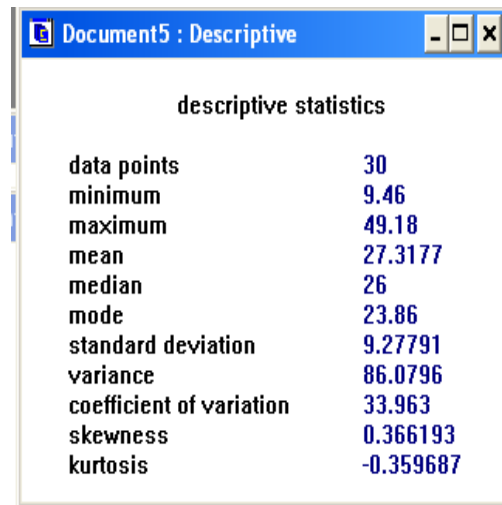


FIGURA 18. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 6

Actividad 7.- Transportar las tinas a la máquina A3.**Estadísticos:**

Distribución: Weibull (9, 1.99, 20.4)

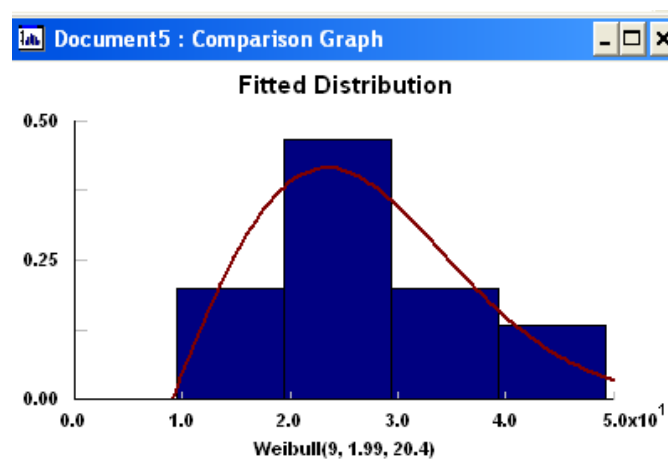
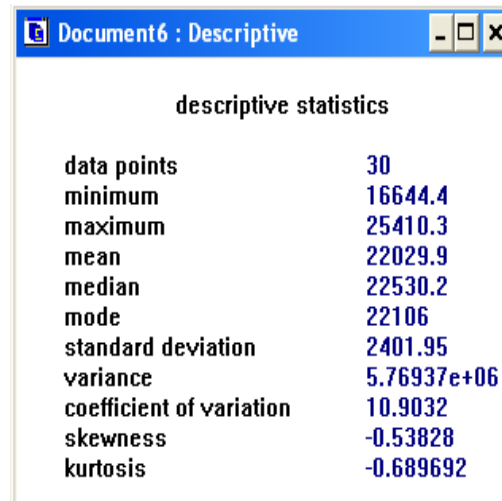


FIGURA 19. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 7

Actividad 8.- Poner en marcha la máquina A3.

Estadísticos:



Distribución: Triangular (1.66e+04, 2.56e+04, 2.53e+04)

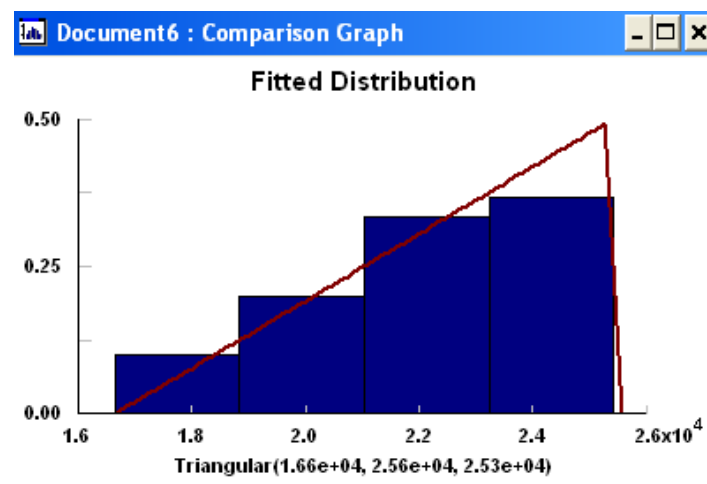
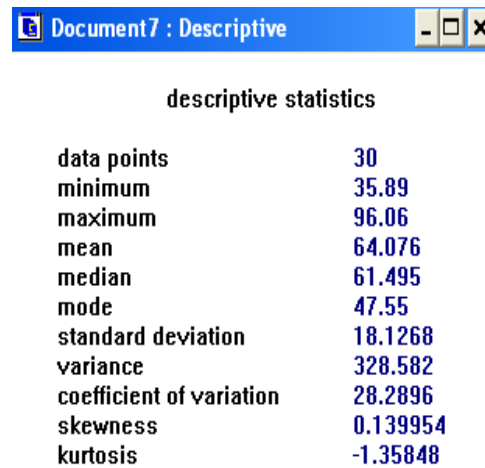


FIGURA 20. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 8

Actividad 9 y 10.- Colocar el P.P en gavetas.

Estadísticos:



Distribución: Beta (35, 96.1, 1.06, 1.26)

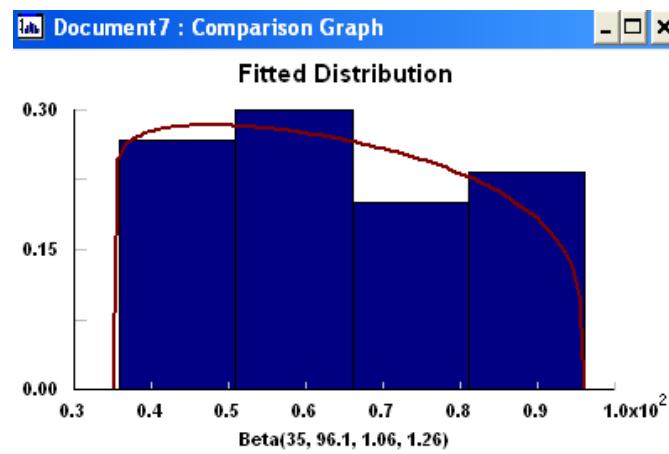
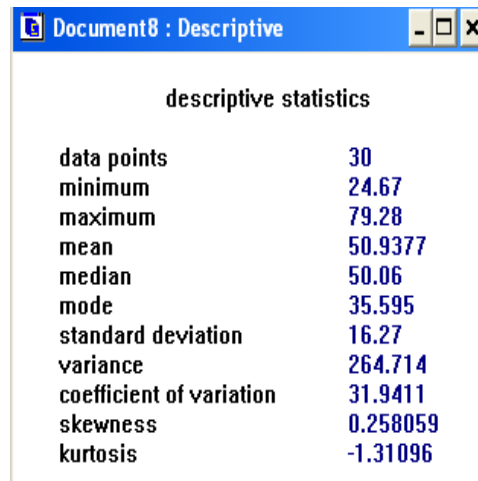


FIGURA 21. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 9 Y 10

Actividad 11.- Transportar las gavetas a la máquina B1

Estadístico:



Distribución: Beta (24, 79.3, 1.05, 1.11)

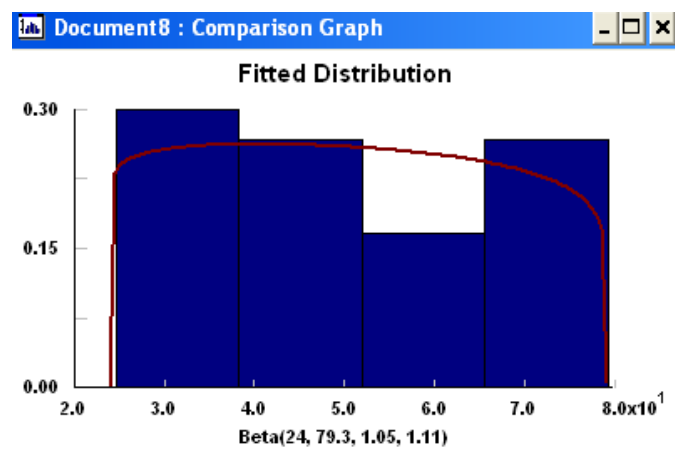
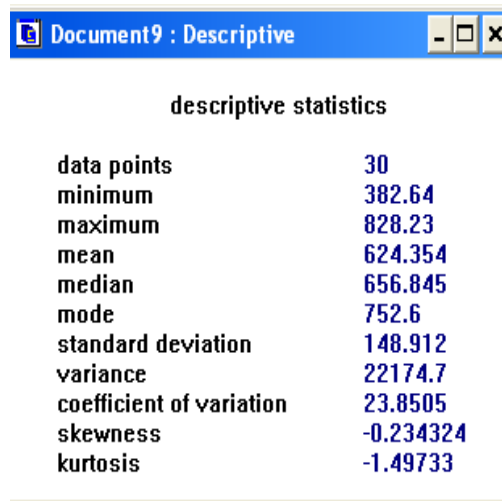


FIGURA 22. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 11

Actividad 12.- Poner en marcha la máquina B1.

Estadísticos:



Distribución: Beta (382, 828, 0.76, 0.749)

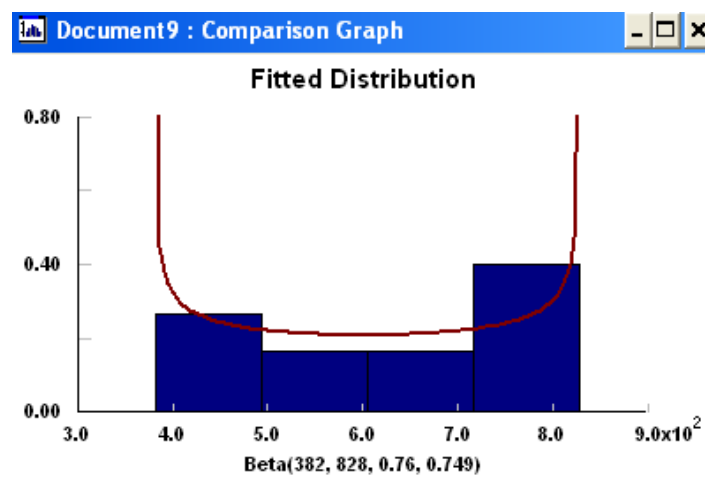
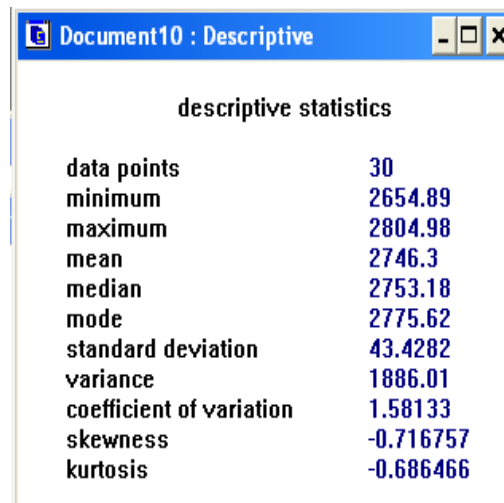


FIGURA 23. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 12

Actividad 14-17.- Transportar y poner en marcha máquina

B2.

Estadísticos:



Distribución: Triangular (2.65e+03, 2.81e+03, 2.8e+03)

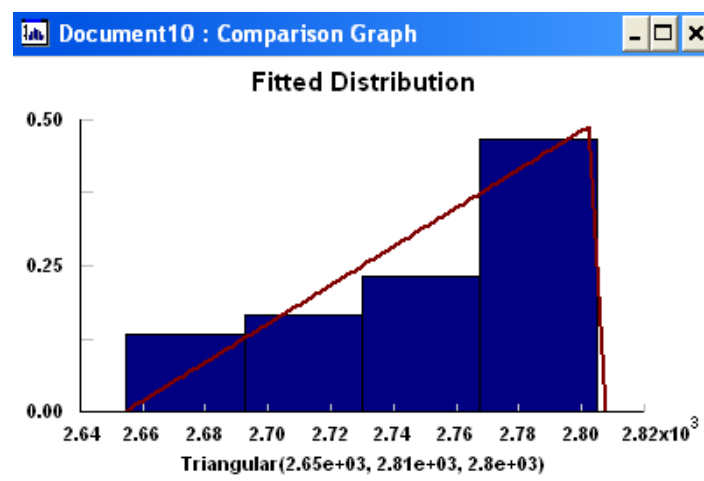
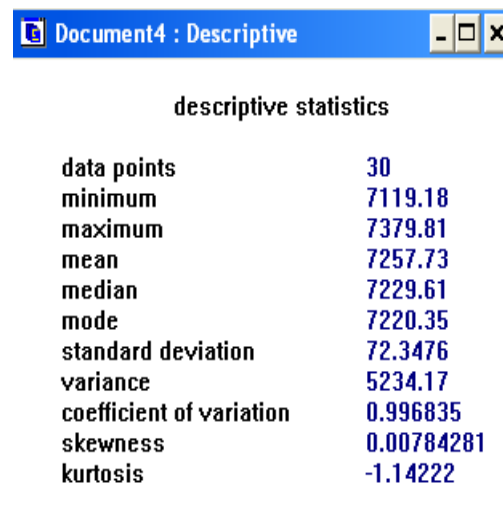


FIGURA 24. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 14 A LA 17

Actividad 18.- Poner en marcha la máquina B3.

Estadísticos:



Distribución: Uniforme (7.12e+03, 7.38e+03)

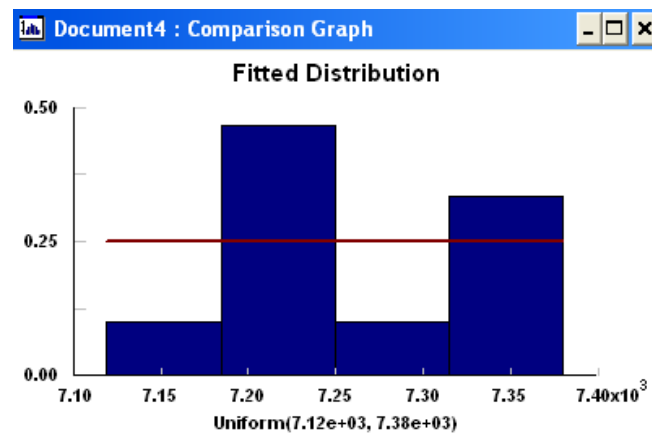
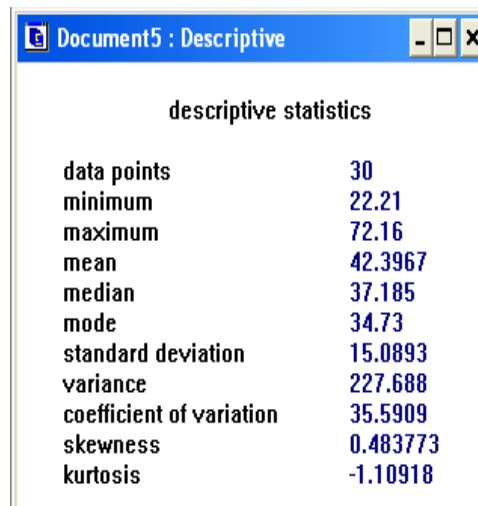


FIGURA 25. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 18

Actividad 20.- Transportar el P.P. a C2

Estadísticos:



Distribución: Triangular (22, 81, 22)

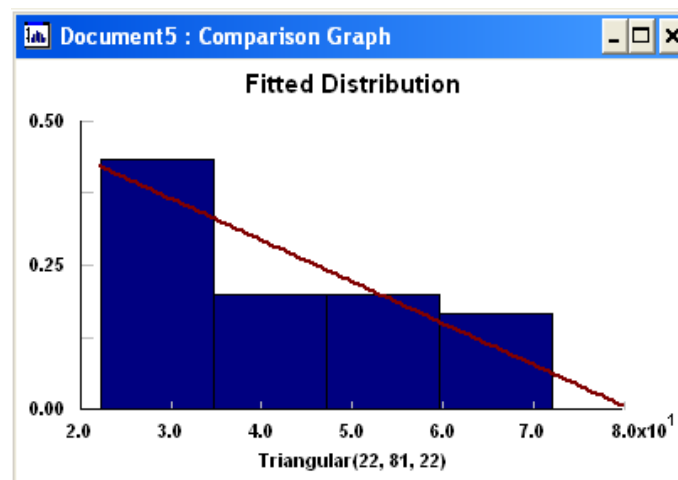
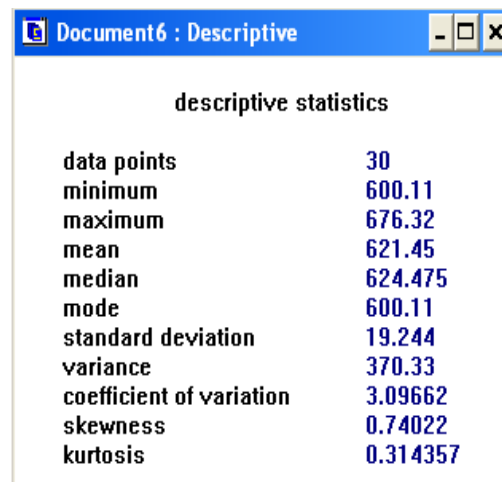


FIGURA 26. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 20

Actividad 21-23.- Poner en marcha la máquina C2.

Estadísticos:



Distribución: Erlang (600, 1, 21.5)

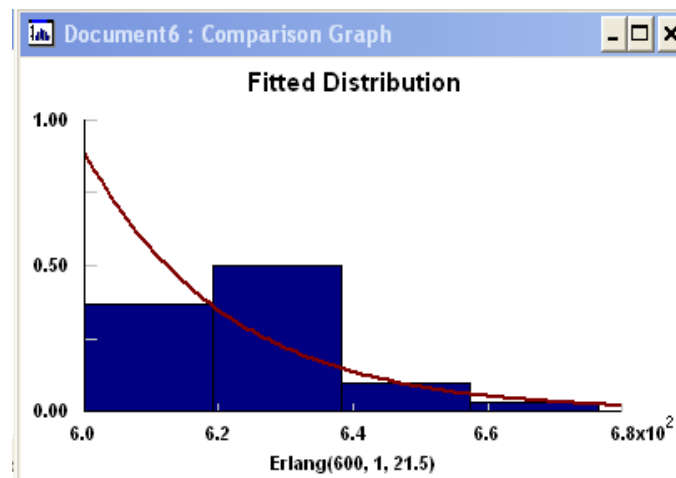
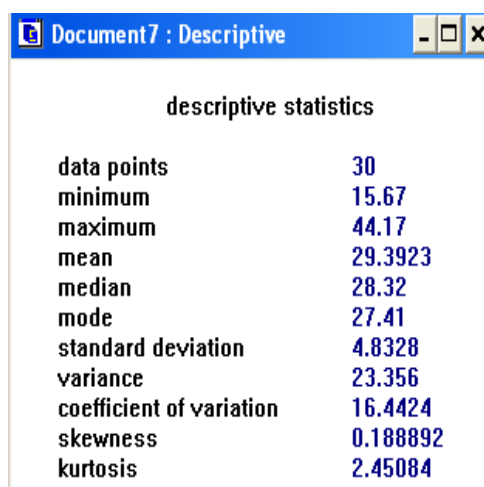


FIGURA 27. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 21 A LA 23

Actividad 24.- Transportar los sacos a la máquina C3.

Estadísticos:



Distribución: Log-Logistic (15, 4.65, 14.1)

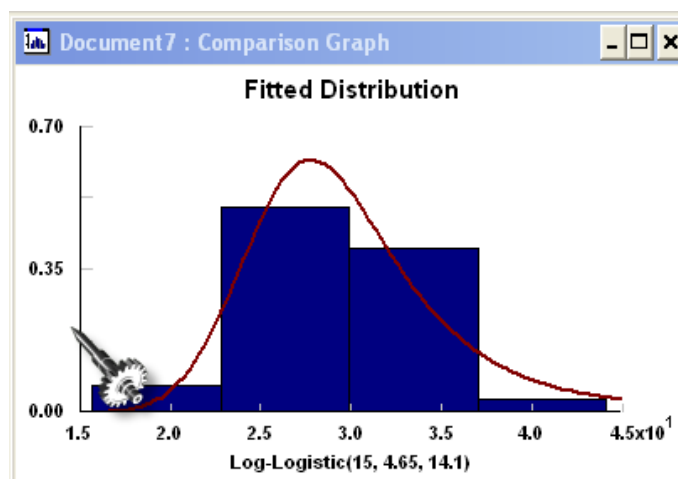
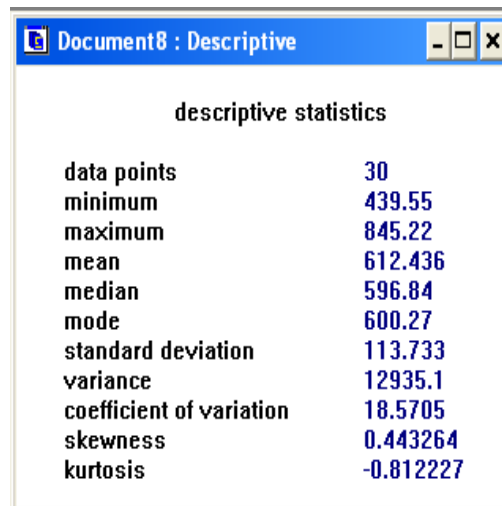


FIGURA 28. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 24

Actividad 25 y 26.- Poner en marcha la máquina C3.

Estadísticos:



Distribución: Weibull (439, 1.37, 1.87)

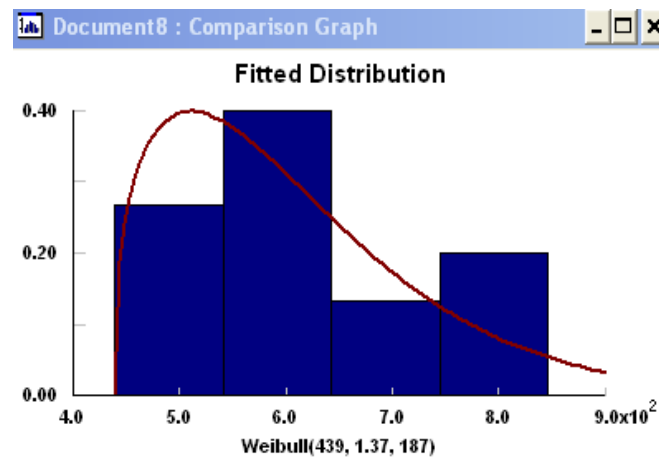
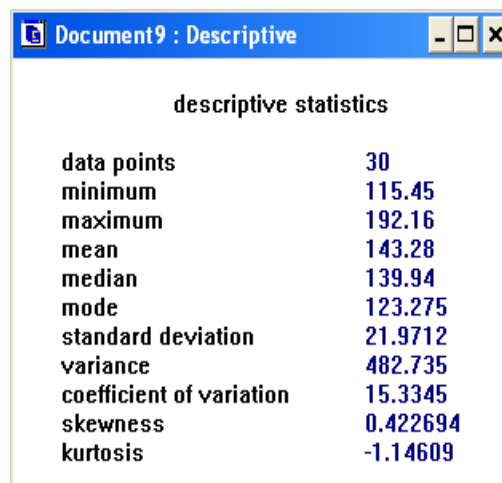


FIGURA 29. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 25 Y

Actividad 28.- Transportar el P.P. a la máquina D1.

Estadísticos:



Distribución: Triangular (115, 200, 115)

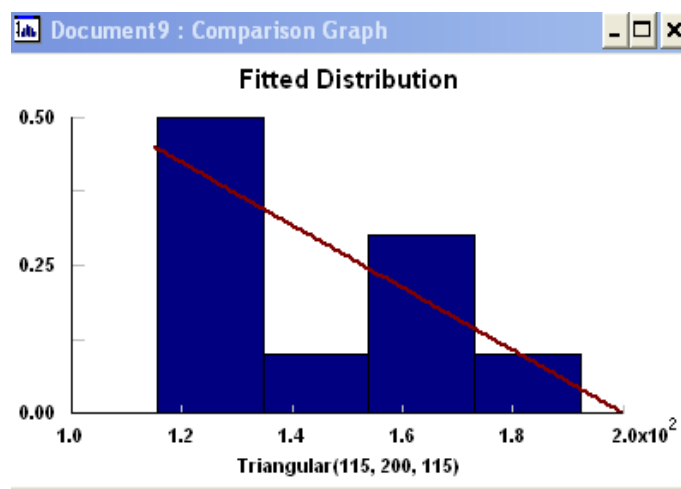
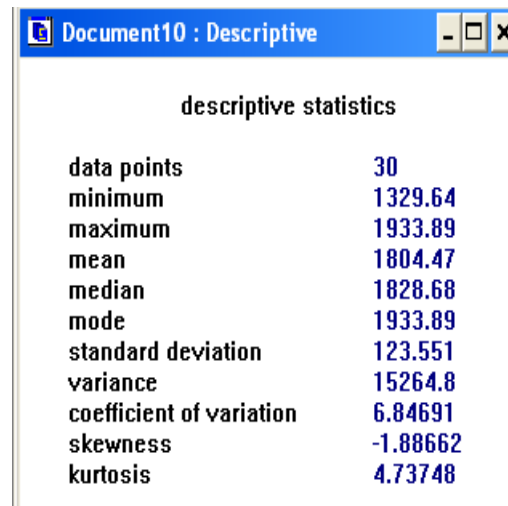


FIGURA 30. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 28

Actividad 31 y 32.- Verificar el peso y sellar el P.T.

Estadísticos:



Distribución: Weibull (1.33e+03, 3.26, 502)

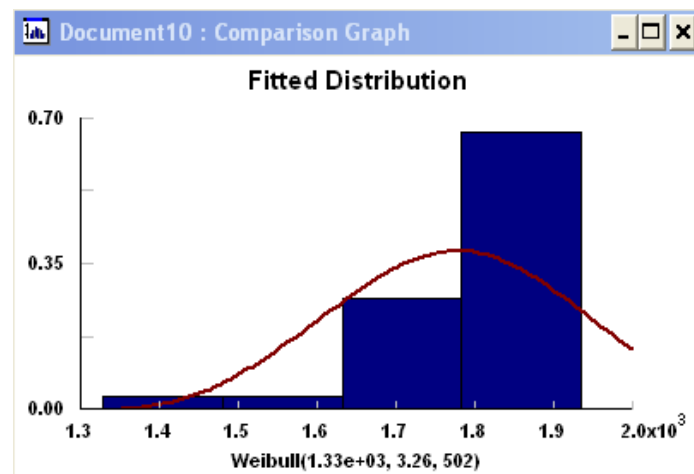
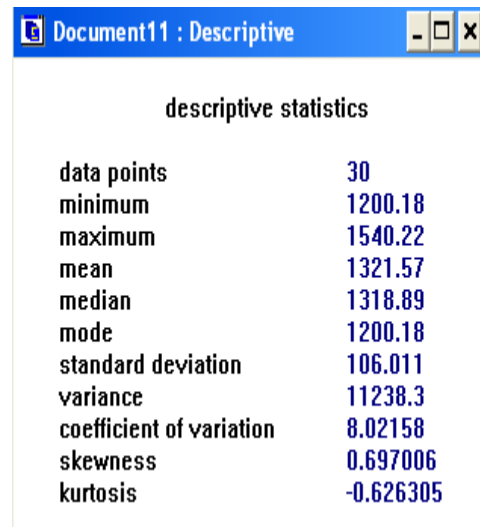


FIGURA 31. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 31 Y

Actividad 33.- Transportar el P.T. a la bodega.

Estadísticos:



Distribución: Beta (1.2e+03, 1.59e+03, 0.558, 1.36)

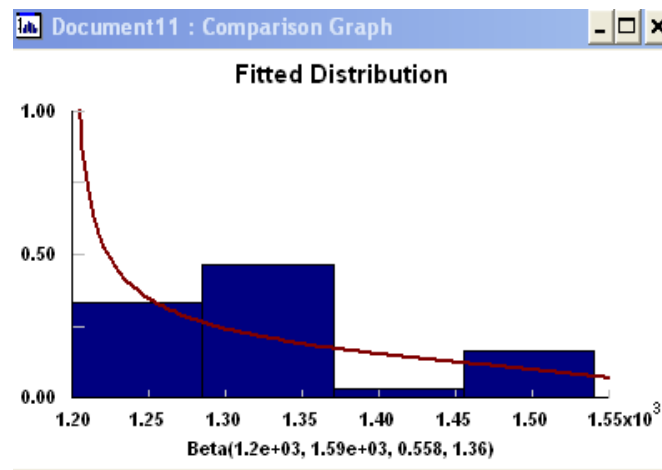


FIGURA 32. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 33

CAPÍTULO 3.

3. MODELO DE SIMULACIÓN.

Una vez recolectada toda la información de la línea de producción, se prosiguió con la elaboración de un modelo informático, el cual representa a la línea de una manera real.

3.1. Objetivo del Modelo.

Representar de forma real la línea de producción de FRUIT CORPORATION, tomando en cuenta los procesos y actividades principales de la misma, para obtener así una herramienta que nos permitirá realizar pruebas a la línea sin incurrir en altos costos.

3.2. Fuentes de Información.

Para poder realizar un buen modelo, recurrimos a: información de fuente primaria, se realizó el respectivo estudio de movimientos y de tiempos, así como de información secundaria adquirida mediante diálogos con el jefe de planta y los operadores.

3.3. Asunciones del Modelo.

Como se mencionó en el objetivo, el modelo solo tomará en cuenta los procesos y actividades principales de la línea de producción, ya que así nos enfocaremos específicamente en las operaciones relevantes. Por ese motivo realizamos algunos supuestos o asunciones:

1.- El Modelo no toma en cuenta paros por daño de máquinas, set-ups ni por almuerzo. Debido a que la empresa realiza todos los mantenimientos antes y después de la jornada de producción. (Mantenimiento preventivo). Y los operarios se turnan la hora de almuerzo, por lo que la línea de producción no se detiene.

2.- El modelo asume que la materia prima e insumos son ilimitados. Debido a que se realizan todas las compras antes de empezar con las órdenes de producción. Además se lleva un control minucioso de estas, y en caso de existir la posibilidad de que se produzca un faltante inmediatamente se hacen los arreglos para que esto no ocurra.

3.- En el modelo, las locaciones que representan a las bodegas poseen capacidades infinitas. Esto se lo realizó para evitar problemas en la programación, debido a que podían ocurrir bloqueos (fallos en el modelo). Al asumir lo anteriormente mencionado, no provoca ninguna alteración a la realidad, debido a que consultamos con el jefe de planta si alguna vez las bodegas habían estado totalmente copadas, a lo que respondió que no debido a que la producción era bajo pedido. (Todo lo que se produce se despacha inmediatamente al cumplir la cantidad requerida).

4.- En el modelo existen algunas locaciones que no fueron descritas al inicio del capítulo esto es porque son ficticias, realmente no existen.

Pero se las crearon para agrupar o desagrupar la materia prima y para facilitar la programación. Estas locaciones no van a ser consideradas en el análisis.

5.- El número de operarios en la estación A3 varía según las necesidades. Pero para este estudio se fijó en 25 debido a que es lo que habitualmente se presenta.

6.- Una corrida del programa de simulación, representará 2 días de producción real. Esto se realizó porque se necesita este tiempo para que la línea ya haya entregado producto terminado.

3.4. Procedimiento de la Modelación.

3.4.1. Creación de Entidades.

Se denomina entidad a cualquier parte o cosa que el modelo procesa, estas pueden ser: piezas, personas, productos, información, entre otras.

En nuestro modelo hemos creado entidades que representan a la materia prima, a lotes de producto en proceso, a producto terminado y a lotes de producto terminado, las cuales se presentan en la siguiente tabla:

TABLA 6. ENTIDADES

* Entities			

Name	Speed (fpm)	Stats	Cost
Fruit25kg	150	Time Series	
camion	150	Time Series	
lote	150	Time Series	
saco50kg	150	Time Series	
PT50kg	150	Time Series	
lote1	150	Time Series	

3.4.2. Creación de Locaciones.

Las locaciones representan lugares fijos en el sistema donde las entidades son dirigidas para el procesamiento, almacenamiento, actividades o toma de decisiones.

Nuestro modelo consta de locaciones reales, que existen en el sistema actual, las cuales son utilizadas como estaciones de procesamiento y almacenaje. Así como de locaciones ficticias, que no existen en el sistema actual, las cuales son utilizadas para facilitar la modelación de la línea de producción. A continuación se presenta una tabla con las locaciones utilizadas:

En nuestro modelo hemos utilizado recursos humanos como mecánicos para movilizar entidades entre las locaciones, la siguiente tabla muestra dicha información:

TABLA 8. RECURSOS

***** * Resources *****							
Name	Units	Stats	Res Search	Ent Search	Path	Motion	Cost
mont1	1	By Unit	None	oldest		Empty: 150 fpm Full: 150 fpm	
op1	1	By Unit	None	oldest		Empty: 150 fpm Full: 150 fpm	
op5	1	By Unit	None	oldest		Empty: 150 fpm Full: 150 fpm	
op7	1	By Unit	None	oldest		Empty: 150 fpm Full: 150 fpm	
mont2	1	By Unit	None	oldest		Empty: 150 fpm Full: 150 fpm	
tina	1	By Unit	None	oldest		Empty: 150 fpm Full: 150 fpm	

3.4.4. Creación de Variables.

Las variables son contadores, estadísticas del sistema o cálculos numéricos. En nuestro modelo las hemos utilizado como contadores de entidades en las partes que nos interesan tener un control. A continuación se muestra la tabla de las variables utilizadas:

TABLA 9. VARIABLES

```

*****
#                                     variables (global)
*****

```

ID	Type	Initial value	Stats
contZ	Integer	0	Time Series
contY	Integer	0	Time Series
contgab	Integer	0	Time Series
contlleg	Integer	0	Time Series
contdesp	Integer	0	Time Series
contproc	Integer	0	Time Series
contb3a	Integer	0	Time Series
contb3b	Integer	0	Time Series
contc1a	Integer	0	Time Series
contc1b	Integer	0	Time Series
contcaj	Integer	0	Time Series
contpal	Integer	0	Time Series

3.3.5. Líneas de Programación.

El procesamiento describe las operaciones que se llevan a cabo en una locación, tales como cantidad de tiempo que la entidad pasa en dicha locación, los recursos necesarios para realizar el trabajo, y cualquier cosa que suceda en la locación incluyendo seleccionar el siguiente destino para la entidad. A continuación se presenta las líneas de programación del sistema:

TABLA 10. LÍNEAS DE PROGRAMACIÓN

* Processing *						

		Process		Routing		
Entity	Location	Operation	Blk	Output	Destination	Rule
Fruit25kg	A1	INC CONTgab, 1	1	Fruit25kg	agrupar	FIRST 1
Fruit25kg	agrupar	group 10 as lote				
		wait B(0.706, 1.41, 28, 134)sec				
lote	agrupar		1	lote	entrada	FIRST 1
lote	entrada	INC CONTlleg, 10				
		IF contZ=0 then				
		begin				
		IF contlleg=260 then				
		wait until contZ=1				
		end				
		IF contZ>1 then				
		begin				
		IF contlleg>=510 then				
		wait until contZ=0				
		end	1	lote	A2	FIRST 1
lote	A2	wait 150 sec	1	lote	reposo	FIRST 1
lote	reposo		1	lote	A3	FIRST 1
lote	A3	wait T(664, 1020, 1024)sec	1	lote	desagrupar	FIRST 1
lote	desagrupar	ungroup				
Fruit25kg	desagrupar		1	Fruit25kg	gabetas	FIRST 1
Fruit25kg	desecho	INC CONTdesp, 1	1	Fruit25kg	EXIT	FIRST 1
Fruit25kg	gabetas	INC CONTproc, 1				
		IF contproc <151 then				
		Begin				
		Route 1				
		wait B(1.06, 1.26, 35, 96.1)sec				
		End				

```

If contproc>150 and contproc< 251 then
Begin
Route 2
End

If contproc > 250 and contproc < 401 then
Begin
Route 1
wait B(1.06, 1.26, 35, 96.1)sec
End

If contproc >400 then
Begin
Route 2
End
1    Fruit25kg agrupar1    FIRST 1
2    Fruit25kg desecho     FIRST 1

Fruit25kg agrupar1    group 10 as lote
lote    agrupar1      1    lote    B1    FIRST 1
lote    B1            wait B(0.76, 0.749, 382, 828) sec
1    lote    desagrupar1a 0.500000 :
1    lote    desagrupar1b 0.500000

lote    desagrupar1a ungroup
Fruit25kg desagrupar1a INC CONTb3a, 1    1    Fruit25kg B2a    FIRST 1
Fruit25kg B2a        wait T(2.65e+02, 2.8e+02, 2.81e+02)sec
1    Fruit25kg CB3a    FIRST 1
Fruit25kg CB3a        1    Fruit25kg hum    FIRST 1
lote    desagrupar1b ungroup
Fruit25kg desagrupar1b INC CONTb3b, 1    1    Fruit25kg B2b    FIRST 1
Fruit25kg B2b        wait T(2.65e+02, 2.8e+02, 2.81e+02)sec
1    Fruit25kg CB3b    FIRST 1
Fruit25kg CB3b        1    Fruit25kg hum    FIRST 1
Fruit25kg hum        IF CLOCK(hr)>=9 then
begin
INC contY, 1
INC contZ, 1
end

IF CLOCK(hr)>=18 then
begin
stop
end
1    Fruit25kg C1a    0.330000 1
1    Fruit25kg EXIT  0.670000

Fruit25kg C1a        INC CONTc1a, 1
wait until contY=1

1    Fruit25kg C1b    FIRST 1

Fruit25kg C1b        INC CONTc1b, 1
IF contZ=1 and contents(c1a)=0 then
contY=0

```

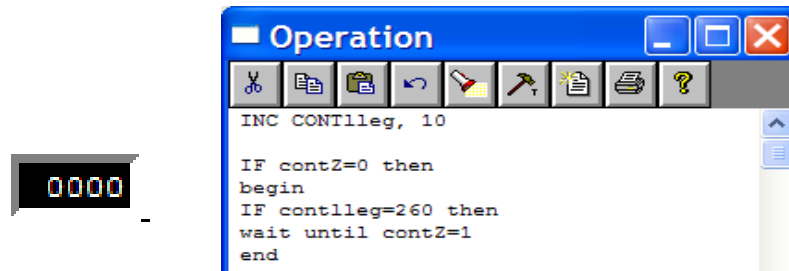
			1	Fruit25kg agrupar2	FIRST 1
Fruit25kg agrupar2	group 2 as saco50kg				
saco50kg agrupar2	wait 600+ER(21.5, 21.5)sec	1	saco50kg C2	FIRST 1	
saco50kg C2		1	saco50kg C3	FIRST 1	
saco50kg C3	wait 439+w(1.37, 187)sec	1	saco50kg palet	FIRST 1	
saco50kg palet		1	saco50kg D1	FIRST 1	
saco50kg D1	wait 1.32e+03+w(3.26, 502)sec	1	PT50kg palet1	FIRST 1	
PT50kg palet1	INC CONTcaj, 1				
lote1 palet1	group 12 as lote1	1	lote1 D2	FIRST 1	
lote1 D2	INC CONTPAL, 1	1	lote1 EXIT	FIRST 1	

3.4.6. Aspectos Relevantes del Proceso de Modelación

A continuación se presentan las soluciones a los problemas de programación del proceso de modelación.

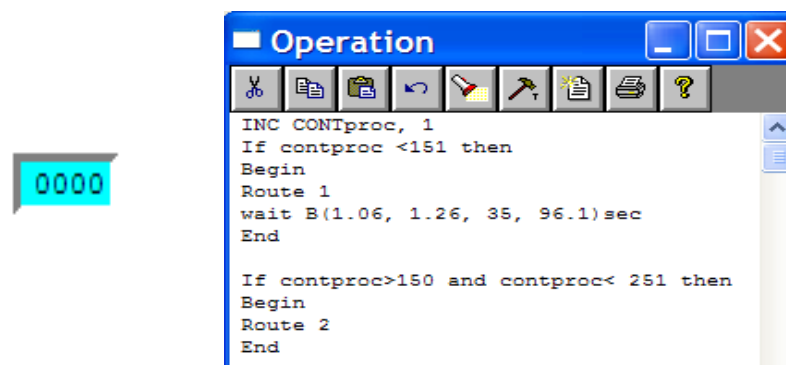
Problema 1.- La materia prima deja de entrar al proceso de producción aproximadamente a las seis horas y media de haber iniciado, cuando ha entrado al proceso unas 250 gavetas.

Solución.- Se creó un contador llamado **contlleg**, el cual **inicia en 0** y se incrementa en diez cada vez que se agrupan esta cantidad de gavetas, cuando **este llega a 260**, es decir han entrado 250, **no deja ingresar nada más al proceso hasta el día siguiente**.



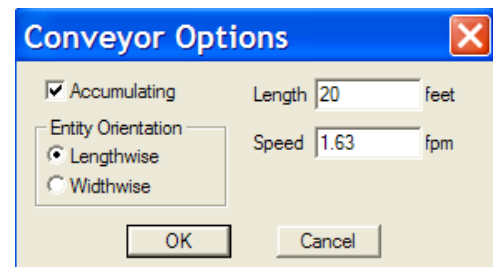
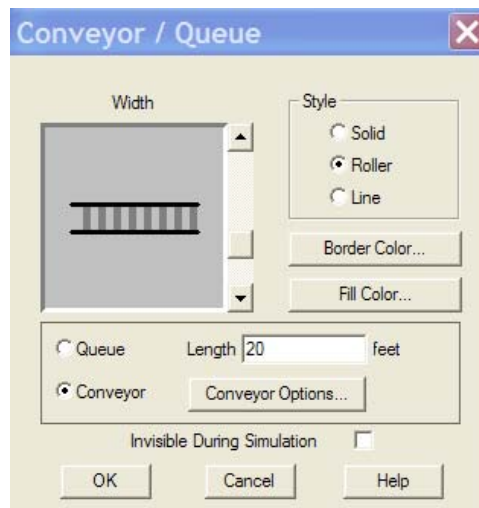
Problema 2.- Llega un momento donde **el producto en proceso se divide, una parte entra al sistema y otra no**. Esto ocurre después de la estación A3. Por estadística de la empresa se sabe que como promedio un 60 % del producto en proceso pasa a la siguiente estación.

Solución.- Se creó un contador llamado **contproc**, el cual inicia en cero, y se incrementa en uno, **cuando este llega a 150**, es decir ha entrado el **60 %**, **el producto en proceso restante sale del sistema**.



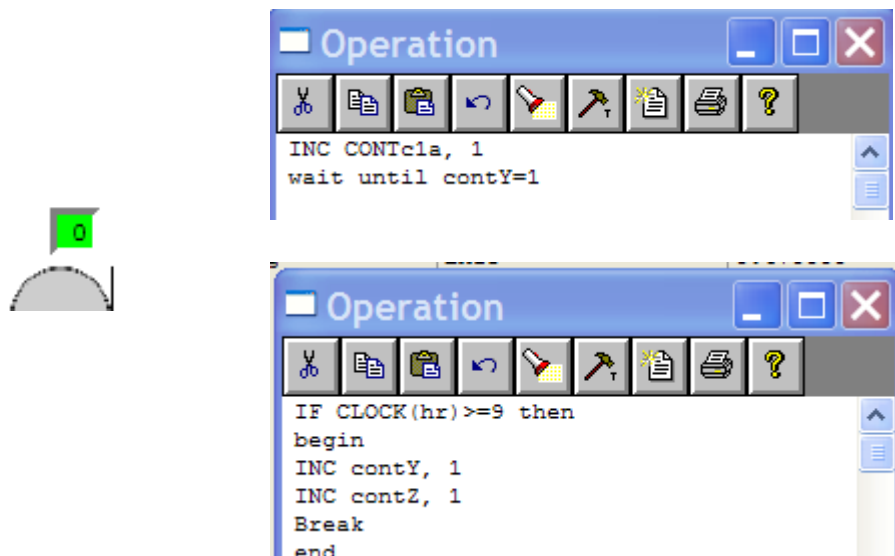
Problema 3.- La estaciones B3 son distintas a las otras ya que actúa como una **banda transportadora**, es decir que no espera a que una unidad este lista para seguir con la otra, si no que trabaja varias unidades a la vez continuamente. Apenas sale una unidad se agrega una en el espacio que quedó libre, y esto continúa hasta que se agoten las unidades.

Solución.- Las estaciones B3 (a y b) en vez de ser locaciones comunes, se las crearon como **conveyors** con las siguientes características.



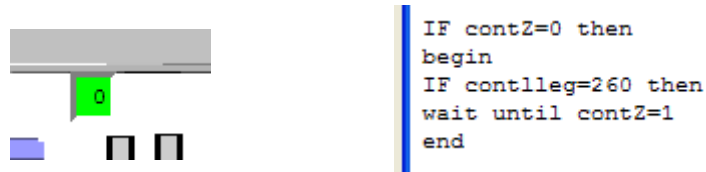
Problema 4.- Todo lo que se produce en el día en la primera parte del proceso se lo almacena en una bodega hasta el día siguiente donde va a continuar con las partes faltantes del proceso. Además de que ***no puede quedar producto en proceso en ninguna otra estación***, debido a que se dañaría y que hay que realizar limpieza de máquinas. La jornada laboral es de diez horas, de las cuales la última es de limpieza

Solución.- Se creó un contador para tratar este problema. ***Y***, nos indica ya puede pasar el producto, si su valor ***es distinto de 1*** significa que sigo en el día uno y ***no permite pasar el producto almacenado hasta las partes faltantes del proceso***. El valor de ***Y*** cambiará cuando el reloj supere las nueve horas, lo que indicará que no hay producto en proceso y que el primer día culminó, dejando así pasar el producto en proceso a la otras estaciones del sistema.



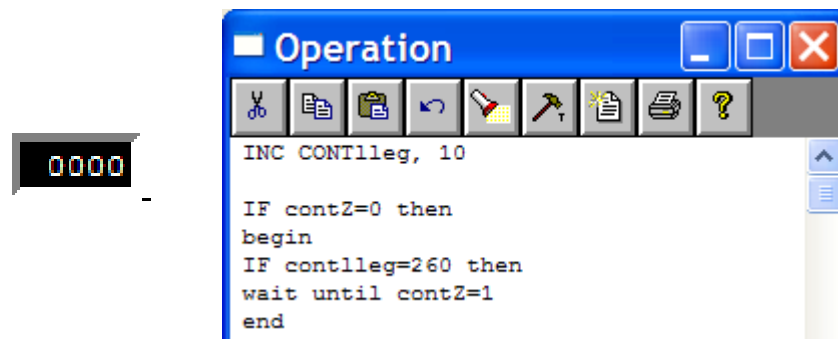
Problema 5.- Como mencionamos anteriormente el modelo esta diseñado para **simular dos días reales seguidos**, por lo tanto el segundo día empezara pasadas las nueve horas, por lo tanto la materia prima tiene que volver a ingresar al sistema.

Solución.- Se creó un contador para tratar este problema. **Z**, nos indica si ya comenzó el primer día, si su valor es distinto a **0** significa que ya estoy en segundo día y **permite pasar el la materia prima al proceso. El contador se incrementa apenas pasen las nueve horas.**



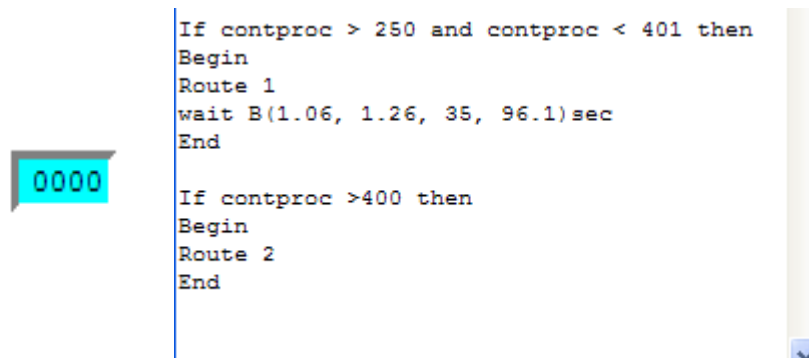
Problema 6.- *En el segundo día* de producción, al igual que el primero, **la materia prima deja de entrar al proceso de producción aproximadamente a las seis horas y media** de haber iniciado, cuando ha entrado al proceso unas 250 gavetas.

Solución.- Se utilizó el mismo contador llamado **contlleg**, el cual **inicia en 260**, y se incrementa en diez cada vez que se agrupan esta cantidad de gavetas, **cuando este llega a 510**, es decir han entrado 250, **no deja ingresar nada más al proceso**.



Problema 7.- Debido a que el proceso es el mismo, también **en el segundo día llega un momento donde el producto en proceso se divide, una parte entra al sistema y otra no.** Esto ocurre después de la estación A3. Por estadística de la empresa se sabe que como promedio un 60 % del producto en proceso pasa a la siguiente estación.

Solución.- Se utiliza el mismo contador llamado **contproc**, el cual inicia en **250**, y se incrementa en uno, **cuando este llega a 400, es decir ha entrado el 60 %, el producto en proceso restante sale del sistema.**



The image shows a simulation interface. On the left, there is a blue box with the text '0000'. To its right is a code editor with the following text:

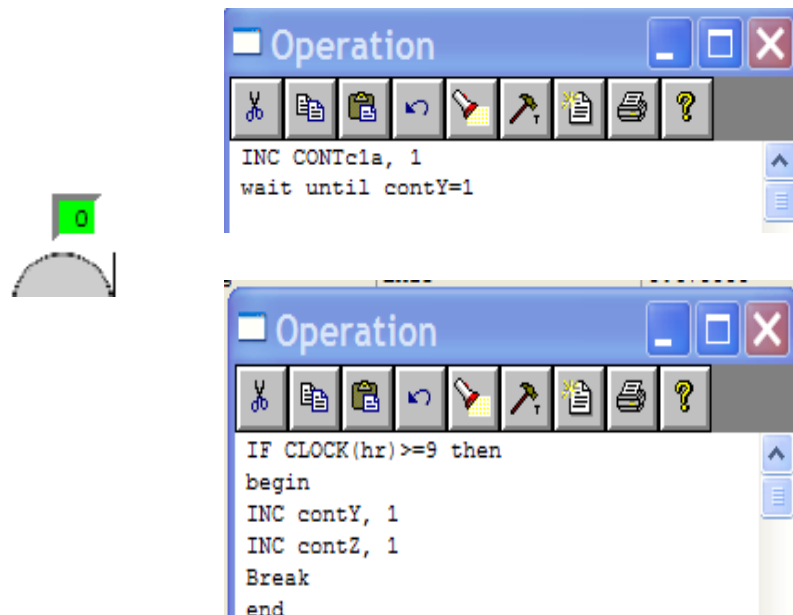
```
If contproc > 250 and contproc < 401 then
Begin
Route 1
wait B(1.06, 1.26, 35, 96.1)sec
End

If contproc >400 then
Begin
Route 2
End
```

Problema 8.- Al igual que en el primer día, **todo lo que se produce en el segundo en la primeras dos partes del proceso se lo almacena en una bodega hasta el día siguiente** donde va a continuar con las partes faltantes del proceso. Además de que

no puede quedar producto en proceso en ninguna otra estación, debido a que se dañaría y que hay que realizar limpieza de máquinas. La jornada laboral es de diez horas, de las cuales la última es de limpieza.

Solución.- Se utiliza el mismo contador **Y**. Debido a que como explicamos anteriormente si su valor **es distinto de 1** significa que sigo en el día uno y **no permite pasar el producto almacenado hasta las partes faltantes del proceso**. El valor de **Y** cambiará siempre que el reloj supere las nueve horas.



CAPÍTULO 4.

4. VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO E IDENTIFICACIÓN DE LAS OPERACIONES RESTRICTIVAS.

Este capítulo se divide en dos secciones, en la primera de ellas se verificará que el modelo creado refleja de manera real lo que sucede en la línea de producción. Para ello será necesario definir parámetros de comparación, el tamaño de la muestra y los parámetros reales de la línea. En la segunda sección se identificarán las operaciones restrictivas que están afectando al sistema utilizando los principios de Factory Physics y Teoría de las Restricciones.

Antes de realizar la validación y verificación hay que establecer las condiciones, en las cuales se debe de poner a prueba el modelo, para así evitar errores en la concordancia de los resultados. Por lo tanto a continuación se enumeran las condiciones anteriormente mencionadas:

- 1.- La producción debe arrancar en el día 0, con la línea de producción totalmente vacía.
- 2.- La producción debe de arrancar cuando ya se haya hecho el mantenimiento a las máquinas, sus respectivos set-ups y las compras de materia prima e insumos.
- 3.- No debe de existir ningún inconveniente eléctrico, ni un paro imprevisto durante la producción.
- 4.- En la estación A3 deben estar trabajando 25 operarios.
- 5.- El corte de comparación de la simulación debe ser al final del segundo día de producción real. Aunque ciertos parámetros también se compararán al final del primer día.
- 6.- La utilizations reales aproximadas proporcionadas por el jefe de planta se basaron en las 9 horas que dura la jornada laboral.

4.1. Establecimientos de Parámetros de Comparación

Los parámetros con los que se va a verificar y validar el modelo son: las utilizaciones de las máquinas, el tiempo de ciclo y la tasa de producción de la línea.

Se escogieron estos parámetros debido a que son considerados básicos en una línea de producción. La utilización de las máquinas ayuda a identificar restricciones, el tiempo de ciclo nos indica cuánto se demora en salir el producto de la línea y la tasa de producción muestra cuanto podemos producir en un determinado tiempo.

4.2. Determinación del Número de Réplicas.

Debido a que nuestro modelo es un conjunto de distribuciones de probabilidad debemos determinar un número de réplicas idóneo para obtener resultados más exactos en los parámetros a medir, para ello se realizarán dos pasos:

Corrida de Prueba Piloto.

Para obtener el número de réplicas idóneo para nuestro modelo, primero debemos obtener la desviación estándar de cada uno de los parámetros que vayamos a medir y comparar. Por lo que se realizó una

prueba piloto de 40 réplicas para determinar dichas desviaciones, obteniendo los siguientes resultados:

TABLA 11. DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE PARÁMETROS DE COMPARACIÓN

	Parámetros de Comparación	Desviación Estándar
UTILIZACIÓN	U A2	0,98
	U A3	1,02
	U B1	0,94
	U B2A	12,3
	U B2B	10,18
	U C2	1,82
	U C3	2,3
	U D1	1,38
TASA DE PRODUCCIÓN	TH1	5,11
	TH2	3,36
TIEMPO DE CICLO	CT1	0,85
	CT2	1,5

Una vez determinadas las desviaciones estándar de los parámetros a comparar, se procederá a hallar el número de réplicas (N) para cada uno de estos con la siguiente ecuación:

$$\eta = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \times S}{e} \right)^2, \text{ donde:}$$

Se ha determinado un nivel de confianza del 95 % y un error del 2 %.

Ejemplo:

$$\eta_{UA2} = \left(\frac{1.96 \times 0.91}{1} \right)^2 = 3,18$$

A continuación se muestra una tabla con todos los valores de η hallados:

TABLA 12. CÁLCULO DEL NÚMERO DE RÉPLICAS (N)

	Parámetros de Comparación	Desviación Estándar	N
UTILIZACIÓN	U A2	0,98	3,69
	U A3	1,02	4,00
	U B1	0,94	3,39
	U B2A	12,3	581,20
	U B2B	10,18	398,11
	U C2	1,82	12,72
	U C3	2,3	20,32
	U D1	1,38	7,32
TASA DE PRODUCCIÓN	TH1	5,11	100,31
	TH2	3,36	43,37
TIEMPO DE CICLO	CT1	0,85	2,78
	CT2	1,5	8,64

Se seleccionó el η mayor, ya que este nos asegura el nivel de confianza y el error establecido para todos los parámetros. Por lo tanto el número de réplicas será de **582**.

4.3. Análisis de Resultados de la Simulación y Comparación con los Parámetros Reales

En esta sección se procederá a comparar cada uno de los parámetros reales seleccionados de la línea de producción de la compañía con los resultados obtenidos del modelo de simulación. Para las utilizaciones se harán dos comparaciones, una con la media e intervalos de confianza, y la otra con la curva de utilización a lo largo de la jornada laboral con el fin de identificar los niveles de utilización a lo largo del día. Mientras que los tiempos de ciclos y la tasa de producción solamente con la media e intervalos de confianza correspondientes.

Utilizaciones:

Para un mejor análisis es importante tener dos puntos de vista para obtener la utilización promedio de los equipos. El primero es tomar en cuenta a las 9 horas que dura la jornada laboral y el segundo es refiriéndose solamente las horas desde que se prende la máquina hasta que se las apaga.

El modelo nos proporciona sólo el primer punto de vista de las utilizaciones, para transformarla al segundo tipo se aplicará la siguiente ecuación:

$$U(H.T) = \frac{U(J) \times J}{H.T}, \text{ donde :}$$

U(J) : Utilización de toda la jornada.

J : # de horas de la jornada.

H.T : # de horas trabajadas.

A2

Media e Intervalo de Confianza (J):

Real	Modelo
50 %	47.54 (Average)
	1.17 (Std. Dev.)
	47.44 (95% C.I. Low)
	47.64 (95% C.I. High)

Media e Intervalo de Confianza (H.T)

Real	Modelo
85 %	85,57 (Average)
	1,29 (Std, Dev.)
	85,39 95 % C.I. low
	85,75 95 % C.I. High

Gráfico de Utilización:

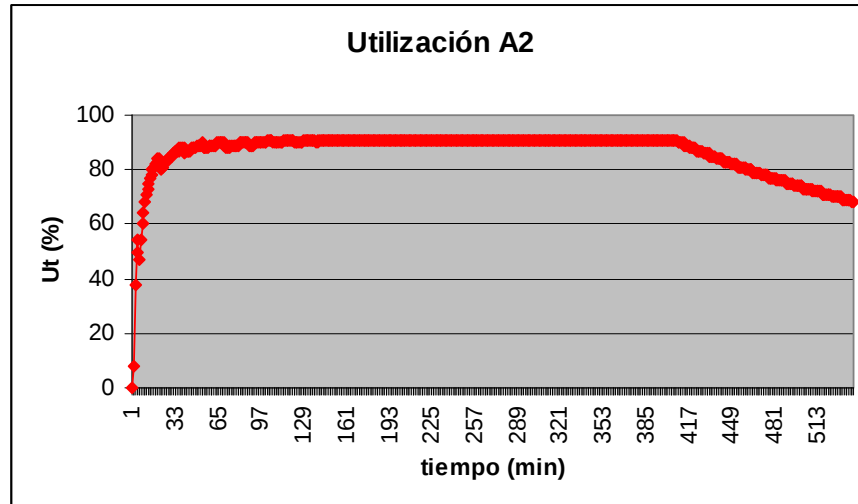


FIGURA 34. UTILIZACIÓN DE LA ESTACIÓN A2

Análisis de la Comparación:

Al relacionar los dos tipos de utilizaciones se puede decir con un 95 % de confianza que la operación de la estación A2 en el modelo se asemeja a la realidad. Y del gráfico de la utilización, observamos que el tope durante el día es de alrededor de 90%.

A3

Media e Intervalo de Confianza (J):

Real

Modelo

70 %

69.69 (Average)
1.32 (Std. Dev.)
69.57 (95% C.I. Low)
69.80 (95% C.I. High)

Media e Intervalo de Confianza (H.T)

Real

Modelo

90 %

89.6 (Average)
1.32 (Std. Dev.)
89.57 95 % C.I. low
89.7 95 % C.I. High

Gráfico de Utilización:

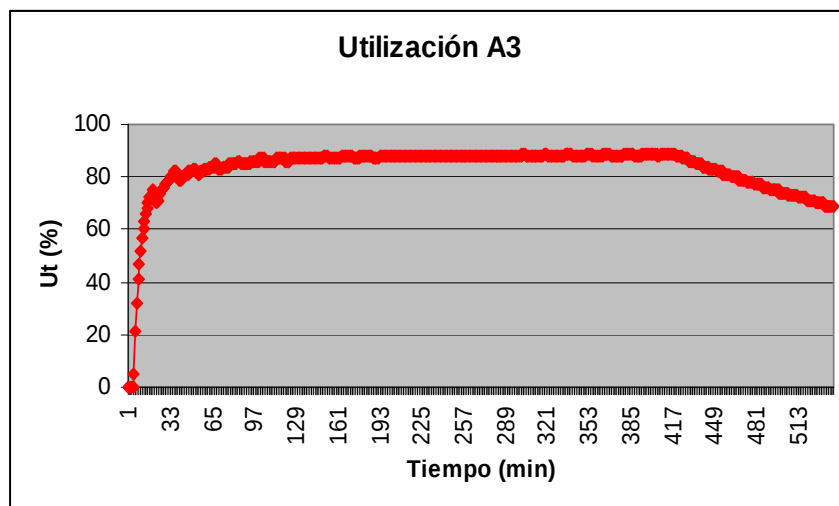


FIGURA 35. UTILIZACIÓN DE LA ESTACIÓN A3

Análisis de la Comparación:

Al relacionar los dos tipos de utilizaciones se puede decir con un 95 % de confianza que la operación de la estación A3 en el modelo se asemeja a la realidad. Y del gráfico de la utilización, observamos que el tope durante el día es de alrededor de 87%.

B1

Media e Intervalo de Confianza (J):

Real	Modelo
30 %	27.93 (Average)
	1.72 (Std. Dev.)
	27.78 (95% C.I. Low)
	28.08 (95% C.I. High)

Media e Intervalo de Confianza (H.T):

Real	Modelo
55 %	50.27 (Average)
	1.72 (Std, Dev.)
	50 95 % C.I. low
	50.5 95 % C.I. High

Gráfico de Utilización:

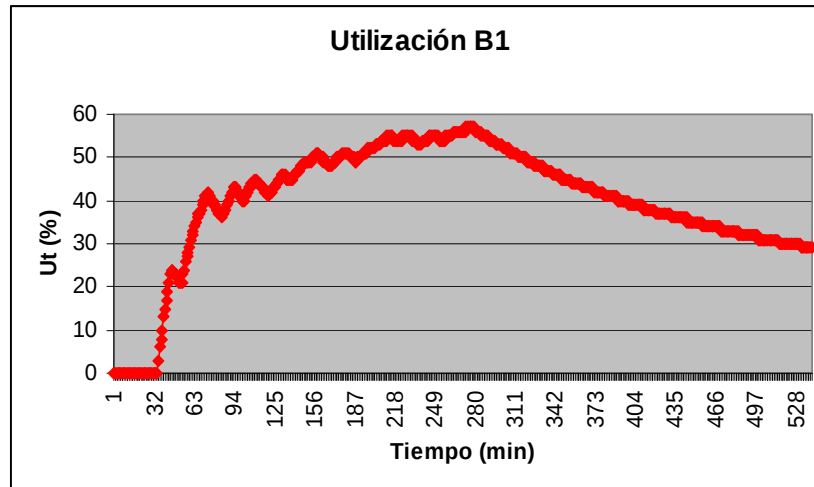


FIGURA 36. UTILIZACIÓN DE LA ESTACIÓN B1

Análisis de la Comparación:

Al relacionar los dos tipos de utilizaciones, se puede observar una pequeña diferencia, pero recordemos que los datos proporcionados por la empresa son aproximados, y debido a que la diferencia es menor a un 5 %, se puede concluir que la operación de la estación B1 en el modelo se asemeja a la realidad. Y del gráfico de la utilización, observamos que el tope durante el día es de alrededor de 60%.

B2A

Media e Intervalo de Confianza (J):

Real

Modelo

78 %

79.67 (Average)
13.35 (Std. Dev.)
78.50 (95% C.I. Low)
80.84 (95% C.I. High)

Media e Intervalo de Confianza (H.T):

Real

Modelo

88 %

89.6 (Average)
13.75 (Std, Dev.)
88.31 95 % C.I. low
90.95 95 % C.I. High

Gráfico de Utilización:

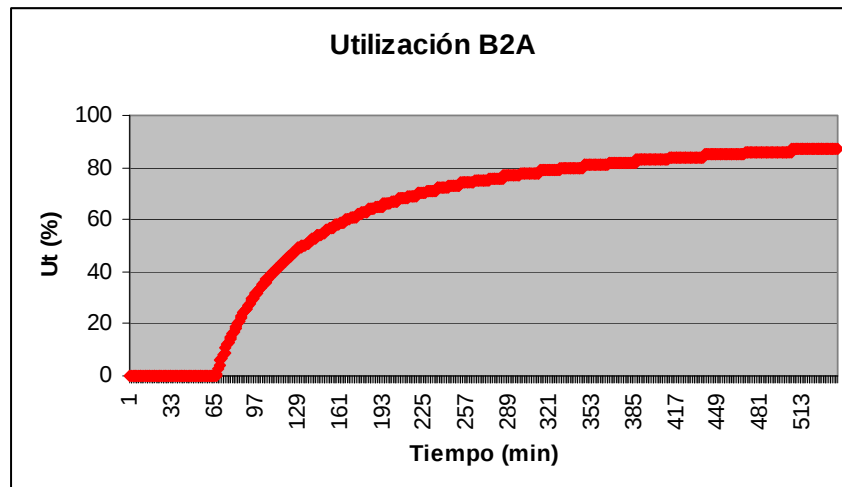


FIGURA 37. UTILIZACIÓN DE LA ESTACIÓN B2A

Análisis de la Comparación:

Al relacionar los dos tipos de utilidades se puede decir con un 95 % de confianza que la operación de la estación B2A en el modelo se asemeja a la realidad. . Y del gráfico de la utilización, observamos que el tope durante el día es de alrededor de 85%.

B2B

U2 (H.T.) = 88 %

Media e Intervalo de Confianza (J):

Real	Modelo
78 %	79.94 (Average) 13.92 (Std. Dev.) 78.72 (95% C.I. Low) 81.16 (95% C.I. High)

Media e Intervalo de Confianza (H.T):

Real	Modelo
88 %	89.93 (Average) 13.92 (Std, Dev.) 88.56 95 % C.I. low 91.31 95 % C.I. High

Gráfico de Utilización:

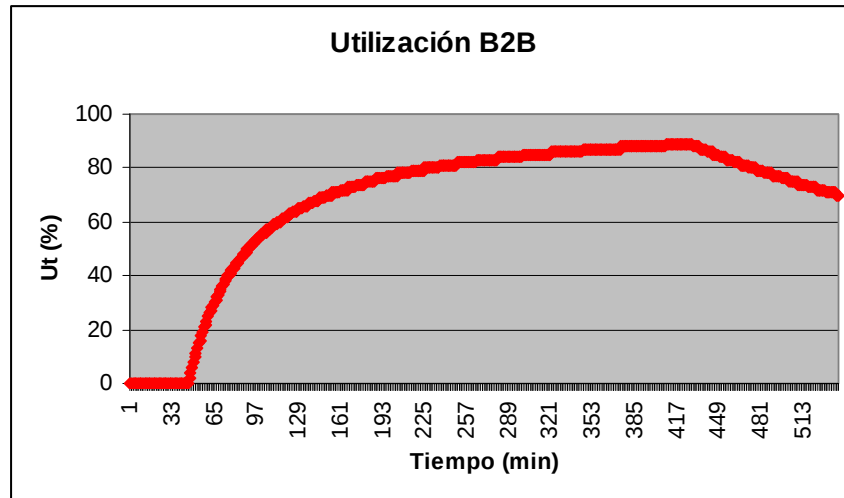


FIGURA 38. UTILIZACIÓN DE LA ESTACIÓN B2B

Análisis de la Comparación:

Al relacionar los dos tipos de utilizaciones se puede decir con un 95 % de confianza que la operación de la estación B2B en el modelo se asemeja a la realidad. Y del gráfico de la utilización, observamos que el tope durante el día es de alrededor de 85%.

 C2

Media e Intervalo de Confianza (J):

Real	Modelo
60 %	61.68 (Average)
	1.83 (Std. Dev.)
	61.52 (95% C.I. Low)
	61.83 (95% C.I. High)

Media e Intervalo de Confianza (H.T):

Real	Modelo
90 %	95.9 (Average)
	1.83 (Std. Dev.)
	95.69 95 % C.I. low
	96.18 95 % C.I. High

Gráfico de Utilización:

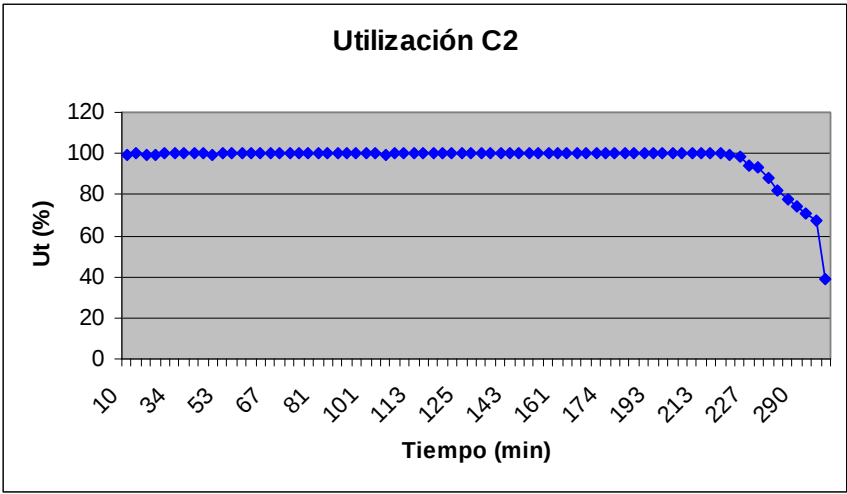


FIGURA 39. UTILIZACIÓN DE LA ESTACIÓN C2

Análisis de la Comparación:

Al relacionar los dos tipos de utilizaciones se puede decir con un 95 % de confianza que la operación de la estación C2 en el modelo se asemeja a la realidad. Y del gráfico de la utilización, observamos que el tope durante el día es del 100%.

C3

Media e Intervalo de Confianza (J):

Real	Modelo
55 %	55.66 (Average)
	2.45 (Std. Dev.)
	55.45 (95% C.I. Low)
	55.87 (95% C.I. High)

Media e Intervalo de Confianza (H.T):

Real	Modelo
85 %	88.85 (Average)
	2.45 (Std. Dev.)
	87.78 95 % C.I. low
	89.93 95 % C.I. High

Gráfico de Utilización:

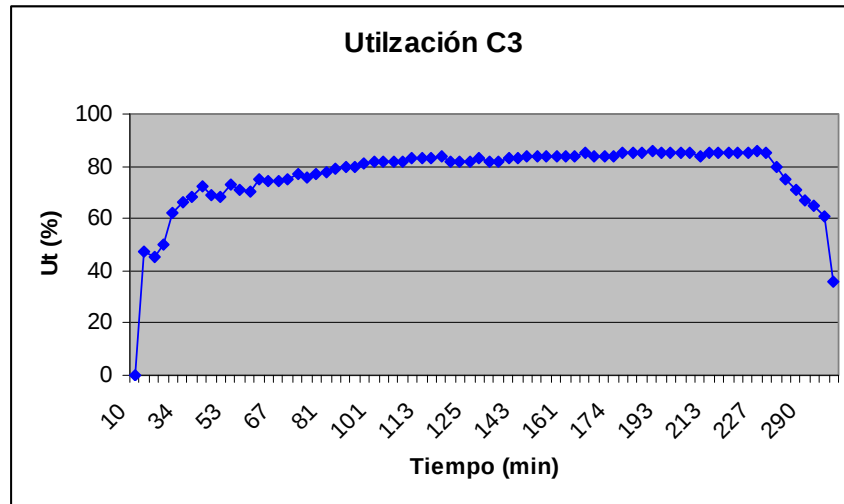


FIGURA 40. UTILIZACIÓN DE LA ESTACIÓN C3

Análisis de la Comparación:

Al relacionar los dos tipos de utilizaciones se puede decir con un 95 % de confianza que la operación de la estación C3 en el modelo se asemeja a la realidad. Y del gráfico de la utilización, observamos que el tope durante el día es de alrededor de 82%.

D1

Media e Intervalo de Confianza (J):

Real

Modelo

45 %

40.27 (Average)
1.31 (Std. Dev.)
40.16 (95% C.I. Low)
40.38 (95% C.I. High)

Media e Intervalo de Confianza (H.T):

Real

Modelo

60 %

62,64 (Average)
1.31 (Std, Dev.)
62,47 95 % C.I. low
62,81 95 % C.I. High

Gráfico de Utilización:

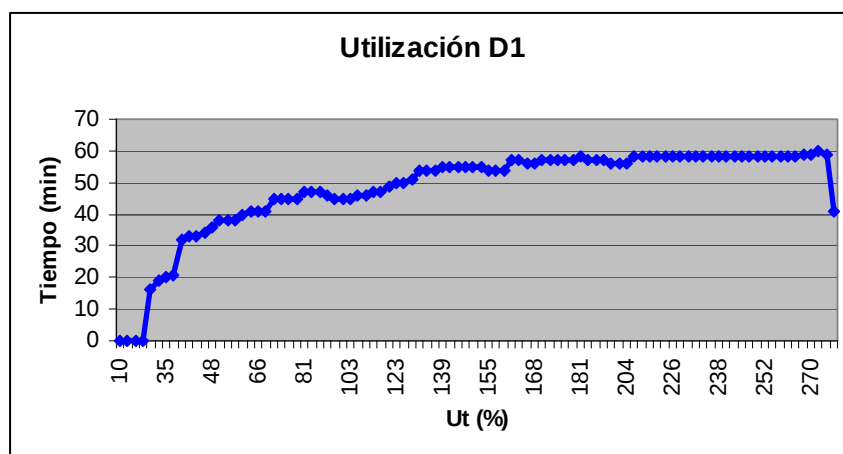


FIGURA 41. UTILIZACIÓN DE LA ESTACIÓN D1

Análisis de la Comparación:

Al relacionar los dos tipos de utilizaciones, se puede observar una pequeña diferencia, pero recordemos que los datos proporcionados por la empresa son aproximados, y debido a que la diferencia es menor a un 5 %, se puede concluir que la operación de la estación D1 en el modelo se asemeja a la realidad. . Y del gráfico de la utilización, observamos que el tope durante el día es de alrededor de 82%.

Tiempos de Ciclo:

El Jefe de Planta nos proporcionó un dato aproximado para cada uno de los tiempos de ciclo, información que no las pudo dar debido a que el labora en la planta desde sus inicios.

CT1

Media e Intervalo de Confianza:

Real	Modelo	
60 min.	61.84	(Average)
	1.16	(Std, Dev.)
	61.72	95 % C.I. low
	61.96	95 % C.I. High

Análisis de la Comparación:

Al relacionar el tiempo de ciclo de la primera sección en que se dividió la línea de polvos, se puede decir con un 95 % de confianza que dicho tiempo (CT1) en el modelo se asemeja a la realidad.

CT2

Media e Intervalo de Confianza:

Real	Modelo	
40 min.	41.19	(Average)
	1.5	(Std, Dev.)
	41.06	95 % C.I. low
	41.32	95 % C.I. High

Análisis de la Comparación:

Al relacionar el tiempo de ciclo de la segunda sección en que se dividió la línea de polvos, se puede decir con un 95 % de confianza que dicho tiempo (CT2) en el modelo se asemeja a la realidad.

Tasa de Producción:

El Jefe de Planta nos proporcionó un promedio aproximado para la tasa de producción de las dos secciones del sistema, información que la obtuvo de los registros de la fábrica.

TH1

Media e Intervalo de Confianza:

Real	Modelo	
45 gav/j	43.74	(Average)
	6.56	(Std, Dev.)
	43.17	95 % C.I. low
	44.32	95 % C.I. High

Análisis de la Comparación:

Al relacionar la tasa de producción de la línea de polvos, se puede decir con un 95 % de confianza que la misma en el modelo se asemeja a la realidad.

TH2

Media e Intervalo de Confianza:

Real	Modelo	
22 cajas/j	22.37	(Average)
	2.80	(Std, Dev.)
	22.13	95 % C.I. low
	22.62	95 % C.I. High

Análisis de la Comparación:

Al relacionar la tasa de producción de la línea de polvos, se puede decir con un 95 % de confianza que la misma en el modelo se asemeja a la realidad.

Al finalizar la comparación de los tres parámetros seleccionados del modelo con los parámetros reales de la línea de polvos de frutas y vegetales de FRUIT CORPORATION, se puede concluir con un 95 % de confianza que el modelo de simulación creado si refleja lo que sucede en la realidad, por lo tanto queda verificado y validado.

4.4. Identificación de Operaciones Restrictivas

Para la evaluación de la línea de producción se utilizará los principios de Factory Physics y para identificar las operaciones restrictivas se empleará la filosofía del TOC, ambas se revisaron en el primer capítulo. La línea de polvos nuevamente será dividida en dos partes para un mejor análisis.

Primera Sección de la línea de Polvos.

1. Evaluación de la línea actual.

Parámetros Teóricos y curvas del Mejor, Peor y Peor Caso Práctico.

A continuación se presenta el esquema de la primera parte de la línea de producción y una tabla con los parámetros teóricos hallados (T_o , r_b y W_o).

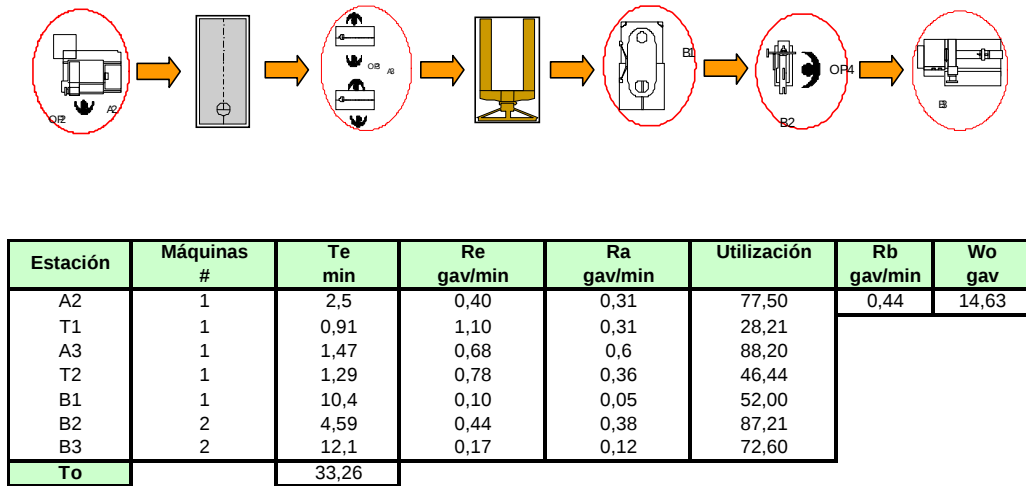


FIGURA 42. ESQUEMA 1ERA SECCIÓN Y PARÁMETROS TEÓRICOS SITUACIÓN ACTUAL

Con los parámetros hallados se obtuvieron las siguientes curvas:

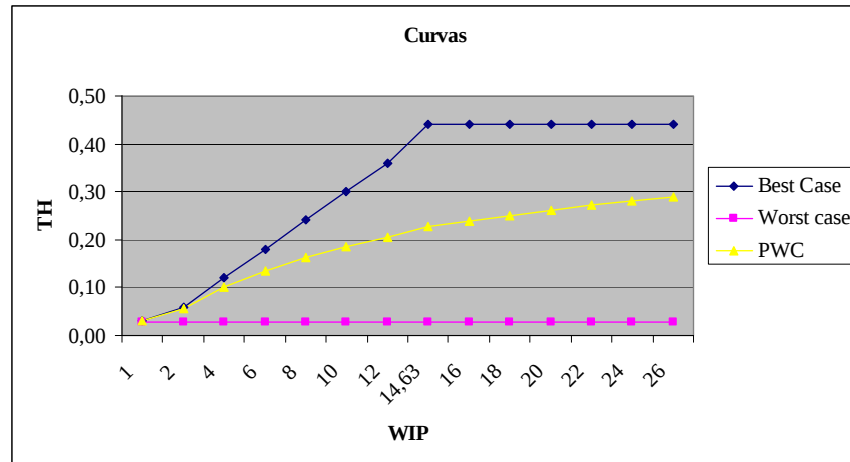


FIGURA 43. CURVAS 1ERA SECCIÓN SITUACIÓN ACTUAL

Parámetros reales y Comparación con los parámetros teóricos.

De la primera sección del modelo de simulación se obtuvieron los siguientes valores para los parámetros establecidos:

Datos del Modelo

CT1	61,84	min
TH1	0,08	gav/min
WIP1	4,95	gav

Al ubicar los parámetros reales (TH1 y WIP1) en las curvas halladas, se puede notar que recae entre las curvas del peor caso práctico y el peor caso, ubicándose entonces en el área Fat del gráfico, lo que significa que la línea de producción técnicamente no esta funcionando de manera esbelta. Esto lo podemos observar a continuación.

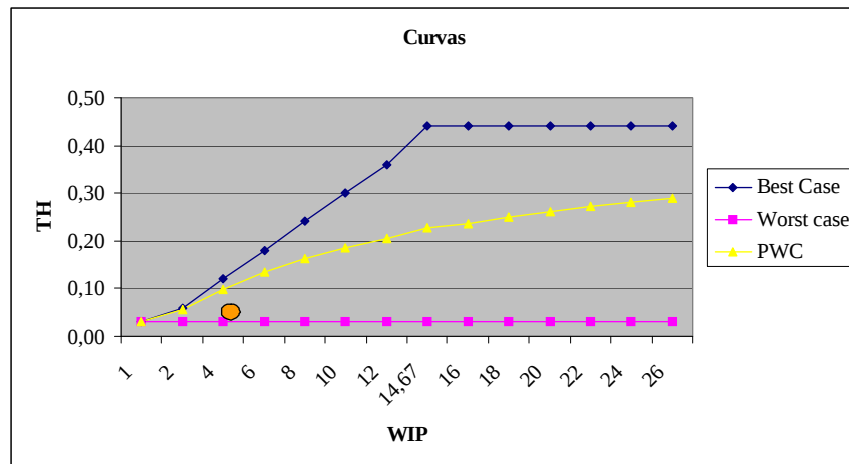


FIGURA 44. EVALUACIÓN 1ERA SECCIÓN SITUACIÓN ACTUAL

Debido a que la línea no esta produciendo de manera esbelta, es necesario buscar mejoras que nos permitan estarlo y así ir disminuyendo los costos de producción, por lo tanto se procederá a identificar las operaciones restrictivas.

2. Identificar las restricciones.

A continuación se listan las utilizaciones (H.T) de la primera parte del sistema:

TABLA 13. UTILIZACIONES 1ERA SECCIÓN SITUACIÓN ACTUAL

	Estaciones	% U (H.T)
UTILIZACIÓN	U A2	85,57
	U A3	89,6
	U B1	50,27
	U B2A	89,6
	U B2B	89,93

La tabla nos muestra que la estación A3 y B2 (A y B) son las restricciones de la primera sección del sistema. Pero vamos a seleccionar la estación B2 debido a que su utilización es un poco mayor y esta conformada por 2 subestaciones.

3. Explotar la Restricción.

La estación seleccionada como restricción cuenta con varias actividades las cuales serán analizadas a continuación:

La primera consiste en el transporte del producto en proceso, la cual no se esta realizando muy eficientemente, por lo que junto con el gerente de la empresa se esta analizando la opción de invertir en un elevador, la cuál hemos calculado que disminuiría el tiempo de esa estación de 45,77 min/ 10 gavetas a 30 min/10 gavetas aproximadamente.

Las siguientes actividades que son colocar el producto en proceso, en la máquina, la operación de la máquina y la caída por gravedad a la siguiente estación se están realizando eficientemente y no se propondrá ningún cambio.

Por lo tanto en esta estación se pudo reducir el tiempo de operación a 30 min. El siguiente paso consta en observar que implicaciones trae el cambio realizado al resto de la línea.

4. Subordinar Todo a lo Anterior.

El cambio que se propuso realizar no afecta al resto de la línea por lo que el siguiente paso sería volver al paso 1.

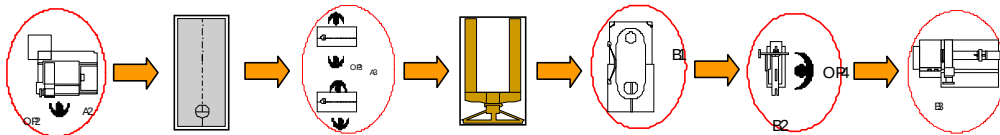
5. Volver al Paso 1

Luego del Primer Cambio.

1. Evaluación de la línea con el primer cambio realizado.

Parámetros Teóricos y curvas del Mejor, Peor y Peor Caso Práctico.

A continuación se presenta el esquema de la primera parte de la línea de producción y una tabla con los parámetros teóricos hallados (T_o , r_b y W_o).



Estación	Máquinas #	Te min	Re gav/min	Ra gav/min	Utilización	Rb gav/min	Wo gav
A2	1	2,5	0,40	0,31	77,50	0,40	12,67
T1	1	0,91	1,10	0,31	28,21		
A3	1	1,47	0,68	0,6	88,20		
T2	1	1,29	0,78	0,36	46,44		
B1	1	10,4	0,10	0,05	52,00		
B2	2	3	0,67	0,38	57,00		
B3	2	12,1	0,17	0,12	72,60		
To		31,67					

FIGURA 45. ESQUEMA 1ERA SECCIÓN Y PARÁMETROS TEÓRICOS CAMBIO 1

Con los nuevos parámetros hallados después del cambio 1 se obtuvieron las siguientes curvas:

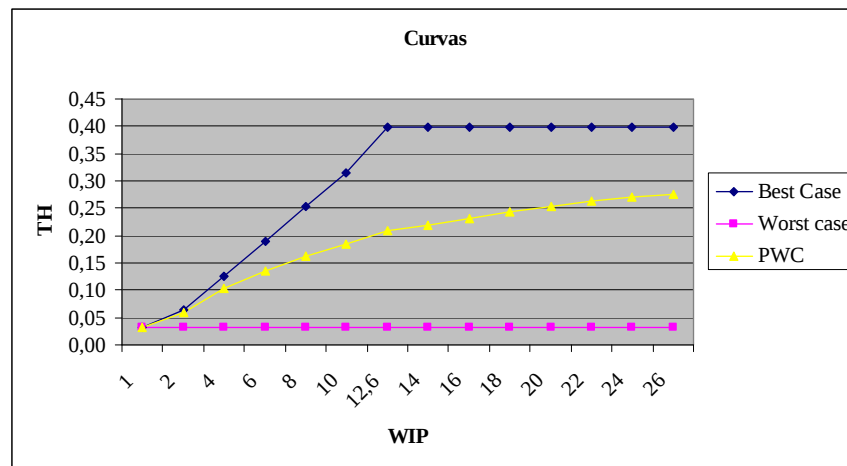


Figura 46. Curvas 1era Sección Cambio 1

Parámetros reales y Comparación con los parámetros teóricos.

Luego de realizar los cambios en la estación B2A y B2B, de la primera sección del modelo de simulación se obtuvieron los siguientes nuevos valores para los parámetros:

Datos del Modelo

CT1	59,86	min
TH1	0,08	gav/min
WIP1	4,79	gav

Al ubicar los nuevos parámetros reales (TH1 y WIP1) en las nuevas curvas halladas, se puede notar que nuevamente recae entre el peor caso practico y el peor caso, ubicándose entonces en el área Fat del gráfico, aunque las curvas se han estrechado un poco lo que significa que la línea de producción todavía no esta funcionando de manera esbelta. Esto lo podemos observar a continuación.

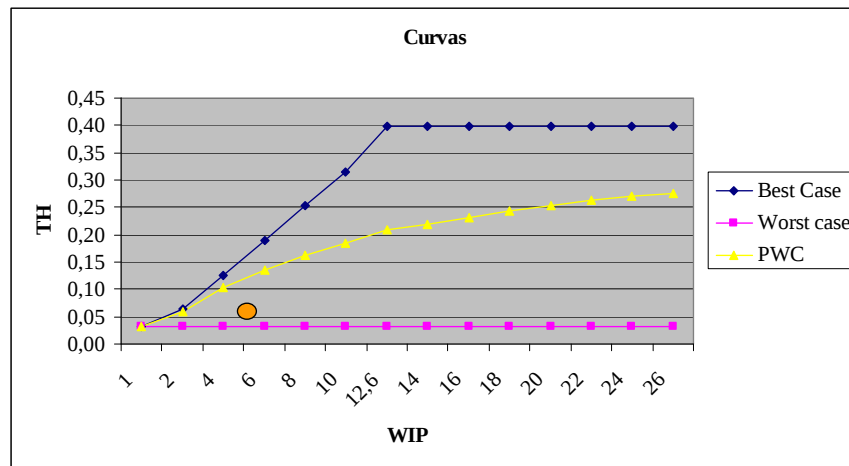


FIGURA 47. EVALUACIÓN 1ERA SECCIÓN CAMBIO 1

A pesar del cambio realizado no se logró una mejora a nivel técnico, aunque se redujo el manejo de materiales, reduciendo un poco el costo de producción pero no en los niveles deseados, por lo tanto se procederá a identificar las nuevas operaciones restrictivas.

2. Identificar las restricciones.

A continuación se listan las utilizaciones (H.T) de la primera parte del sistema una vez que se produjo el primer cambio:

TABLA 14. UTILIZACIONES 1ERA SECCIÓN CAMBIO 1

	Estaciones	% U (H.T)
UTILIZACIÓN	U A2	85,57
	U A3	89,6
	U B1	50,27
	U B2A	86,53
	U B2B	85,92

La Tabla nos muestra que la nueva restricción es la estación A3 debido a que es la que mayor utilización posee.

3. Explotar la Restricción.

La estación seleccionada como restricción cuenta con varias actividades ligadas las cuales serán analizadas a continuación:

La primera consiste en la operación misma de la estación, la cual es 100 % manual, y se ha analizado que mejorando las condiciones del puesto de trabajo así como de las herramientas, se disminuiría el

tiempo de esa estación de 14,7 min/ 10 gavetas a 10 min/10 gavetas aproximadamente.

El siguiente cambio es el más crítico del proceso, debido a que trae consigo algunos cambios en la línea de producción. Se trata de un cambio en el método de conservación de la fruta, la cual ahora sería tratada con hidrógeno. Esta operación agregaría al proceso un tiempo de 8 min./10 gavetas según lo expuesto por la compañía que proporciona el sistema.

El siguiente paso consta en observar que implicaciones trae el cambio realizado al resto de la línea.

4. Subordinar Todo a lo Anterior.

El cambio que se propuso realizar afecta positivamente en el rendimiento del resto de la línea, entre los cambios que se producirían están:

Se eliminarían algunas actividades secundarias y primarias entre ellas: las actividades 9,10 y 11, así como la eliminación de la estación B1 reduciendo el tiempo de producción aproximadamente 22 min.

Al realizar este cambio, también se podrá incrementar la velocidad de las estaciones B3A y B3B, reduciendo también el tiempo de producción.

5. Volver al Paso 1

Luego del Segundo Cambio.

1. Evaluación de la línea con el segundo cambio realizado.

Parámetros Teóricos y curvas del Mejor, Peor y Peor Caso Práctico.

A continuación se presenta el esquema de la primera parte de la línea de producción y una tabla con los parámetros teóricos hallados (T_o , r_b y W_o).

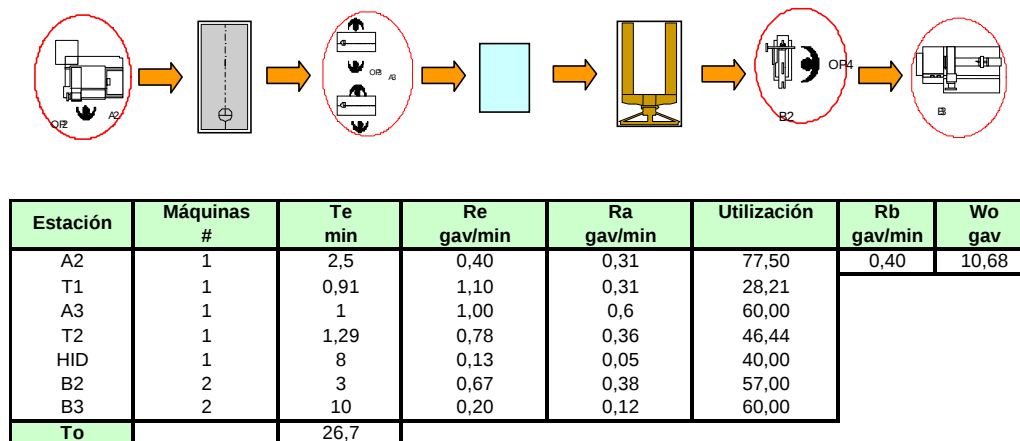


FIGURA 48. ESQUEMA 1ERA SECCIÓN Y PARÁMETROS TEÓRICOS CAMBIO 2

Con los nuevos parámetros hallados después del cambio 2 se obtuvieron las siguientes curvas:

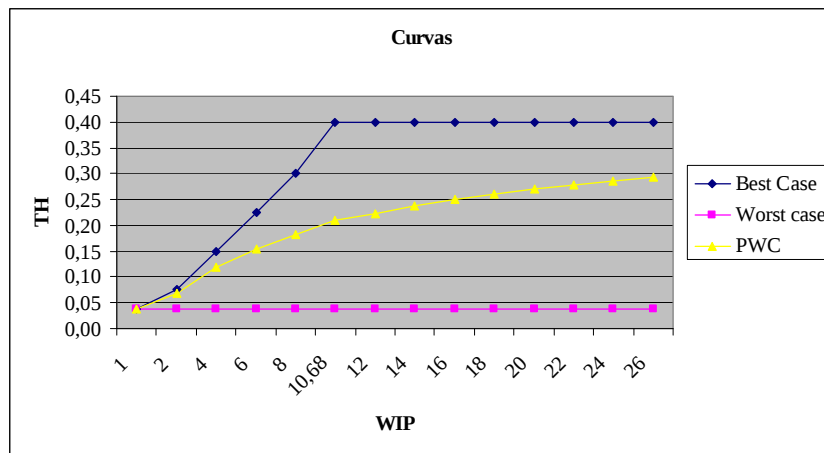


FIGURA 49. CURVAS 1ERA SECCIÓN CAMBIO 2

Parámetros reales y Comparación con los parámetros teóricos.

Luego de realizar los cambios en la estación A3, de la primera sección del modelo de simulación se obtuvieron los siguientes nuevos valores para los parámetros:

Datos del Sistema

CT1	46,46	min
TH1	0,09	gav/min
WIP1	4,1814	gav

Al ubicar los nuevos parámetros reales (TH1 y WIP1) en las nuevas curvas halladas, se puede notar que nuevamente recae entre las

curvas del peor caso practico y el peor caso, ubicándose entonces en el área Fat del gráfico, lo que significa que la línea de producción todavía no esta funcionando de manera esbelta a pesar de que se redujo el tiempo de ciclo. Esto lo podemos observar a continuación.

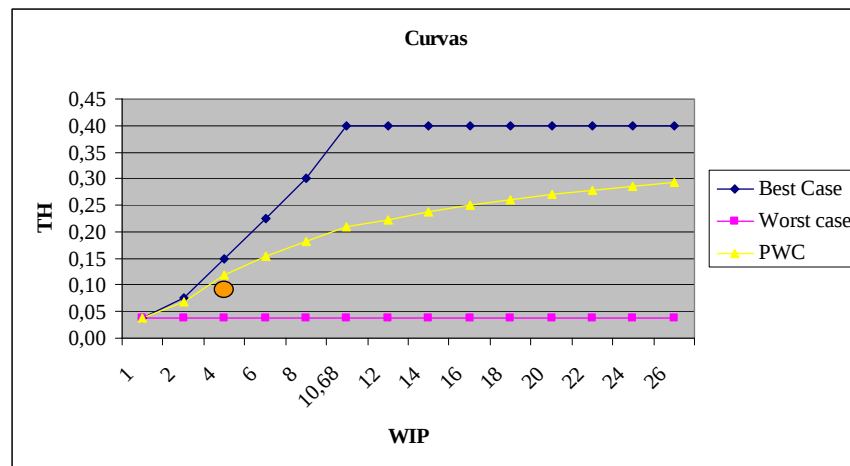


FIGURA 50. EVALUACIÓN 1ERA SECCIÓN CAMBIO 2

Ahora nuevamente debemos hallar cuales son las operaciones restrictivas del sistema

2. Identificar las restricciones.

A continuación se listan las utilizaciones (H.T) de la primera parte del sistema una vez que se produjo el segundo cambio:

TABLA 15. UTILIZACIONES 1ERA SECCIÓN CAMBIO 2

	Estaciones	% U (H.T)
UTILIZACIÓN	U A2	53,8
	U A3	59
	U B1	33
	U B2A	81,96
	U B2B	78,6

La Tabla nos muestra que la nueva restricción continúa siendo la estación B2 en sus dos subestaciones (B2A y B2B) debido a que son las que mayor utilización poseen.

3. Explotar la Restricción.

La estación seleccionada, ya fue analizada anteriormente y se realizó los cambios necesarios para que opere de manera eficiente. Pero también se puede notar que las utilidades de las demás estaciones han caído en niveles muy bajos, por lo que se va a proceder a aumentar la cantidad de gavetas que entran al sistema de 250 a 300. Junto con este cambio se aumentará a 2 el número de máquinas en la estación B2 (A y B), debido a que con el aumento del número de gavetas podría ser necesaria más capacidad.

4. Subordinar Todo a lo Anterior.

El cambio que se propuso realizar no afecta produce ningún otro cambio en el resto de la línea.

5. Volver al Paso 1

Luego del Tercer Cambio.

1. Evaluación de la línea con el tercer cambio realizado.

Parámetros Teóricos y curvas del Mejor, Peor y Peor Caso Práctico.

A continuación se presenta el esquema de la primera parte de la línea de producción y una tabla con los parámetros teóricos hallados (T_o , r_b y W_o).

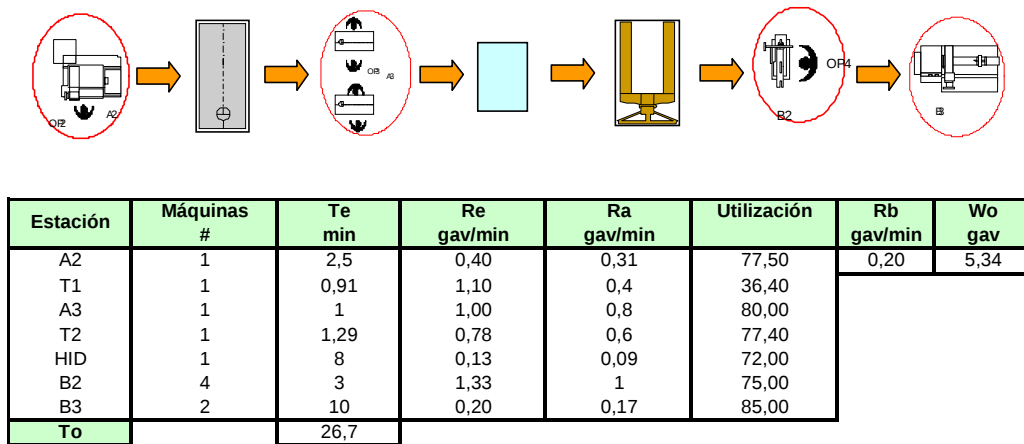


FIGURA 51. ESQUEMA 1ERA SECCIÓN Y PARÁMETROS TEÓRICOS CAMBIO 3

Con los nuevos parámetros hallados después del cambio 3 se obtuvieron las siguientes curvas:

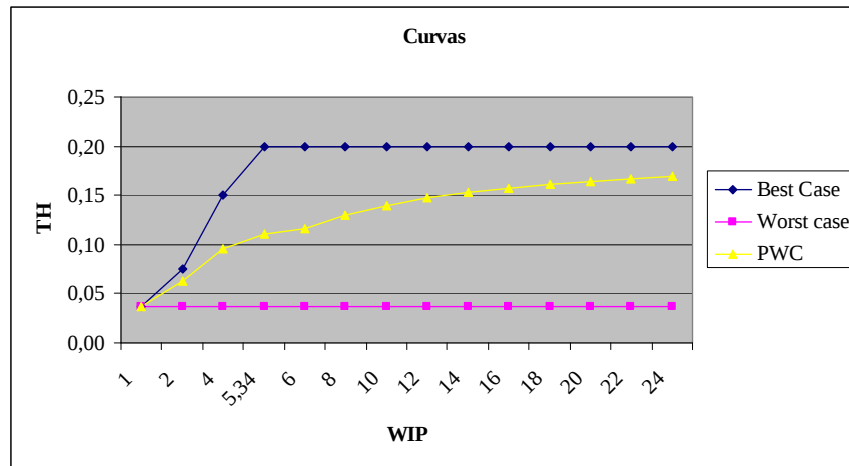


FIGURA 52. CURVAS 1ERA SECCIÓN CAMBIO 3

Parámetros reales y Comparación con los parámetros teóricos.

Luego de realizar los cambios en la estación B2 y en el ingreso de más gavetas, de la primera sección del modelo de simulación se obtuvieron los siguientes nuevos valores para los parámetros:

Datos del Modelo

CT1	56,1	min
TH1	0,12	gav/min
WIP1	6,732	gav

Al ubicar los nuevos parámetros reales (TH1 y WIP1) en las nuevas curvas halladas, se puede notar que ahora recae entre las curvas del

mejor caso y el peor caso práctico, ubicándose entonces en el área Lean del gráfico, lo que significa que la línea de producción ya esta funcionando de manera esbelta. Esto lo podemos observar a continuación.

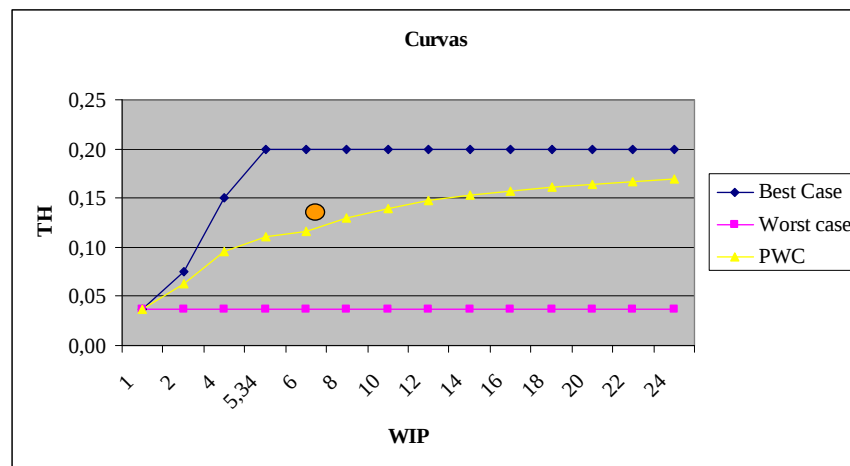


FIGURA 53. EVALUACIÓN 1ERA SECCIÓN CAMBIO 3

Ahora nuevamente debemos hallar cuales son las operaciones restrictivas del sistema

2. Identificar las restricciones.

A continuación se listan las utilidades (H.T) de la primera parte del sistema una vez que se produjo el tercer cambio:

TABLA 16. UTILIZACIONES 1ERA SECCIÓN CAMBIO 3

	Estaciones	% U (H.T)
UTILIZACIÓN	U A2	69
	U A3	71,3
	U B1	42,5
	U B2A	92,4
	U B2B	93,5

La tabla nos muestra que la nueva restricción sigue siendo la estación B2 en sus dos subestaciones (B2A y B2B) debido a que son las que mayor utilización poseen.

3. Explotar la Restricción.

La estación seleccionada, ya fue analizada anteriormente y se realizó los cambios necesarios para que opere de manera eficiente. Por lo que el análisis de la primera sección concluiría aquí. A continuación se muestra una tabla para indicar como fueron cambiando los parámetros según los cambios realizados.

	CT1 min	TH1 gav/min	WIP 1 gav
Actual	61,84	0,08	4,95
cambio 1	59,86	0,08	4,79
cambio 2	46,46	0,09	4,18
cambio 3	56,1	0,12	6,7

Con los cambios realizados en el modelo de simulación se obtuvieron grandes beneficios, se redujo el tiempo de ciclo de la primera sección en aproximadamente 5 min., se aumento el TH aunque aumentó un poco el trabajo en proceso, además que al rediseñar parte del proceso se estimó que se podría reducir el consumo de ciertos insumos importantes en un 35 %. Juntando todos estos beneficios sin duda reducirá los costos de producción que es lo que la compañía requiere.

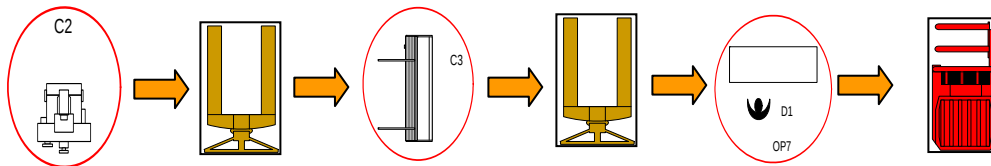
Ya se ha analizado la primera parte de la línea de polvos, a continuación se realizará el mismo análisis para la segunda parte del sistema.

Segunda Sección de la línea de Polvos.

1. Evaluación de la línea luego de los Cambios en la Sección 1.

Parámetros Teóricos y curvas del Mejor, Peor y Peor Caso Práctico.

A continuación se presenta el esquema de la segunda parte de la línea de producción y una tabla con los parámetros teóricos hallados (T_o , r_b y W_o). Aunque hay que recordar que ya existen nuevas condiciones de entrada al adoptar los cambios en la primera sección.



Estación	Máquinas #	Te min	Re sac/min	Ra	Utilización	Rb sac/min	Wo sac
				sac/min			
C2	1	10,4	0,10	0,095	98,80	0,10	4,0345
T1	1	0,49	2,04	0,095	4,66		
C3	1	10,2	0,10	0,09	91,80		
T2	1	2,38	0,42	0,09	21,42		
D1	2	15,04	0,13	0,10	75,18		
T3	1	1,84	0,54	0,01	1,84		
To		40,35					

FIGURA 54. ESQUEMA 2DA SECCIÓN Y PARÁMETROS TEÓRICOS SITUACIÓN INICIAL

Con los parámetros hallados se obtuvieron las siguientes curvas:

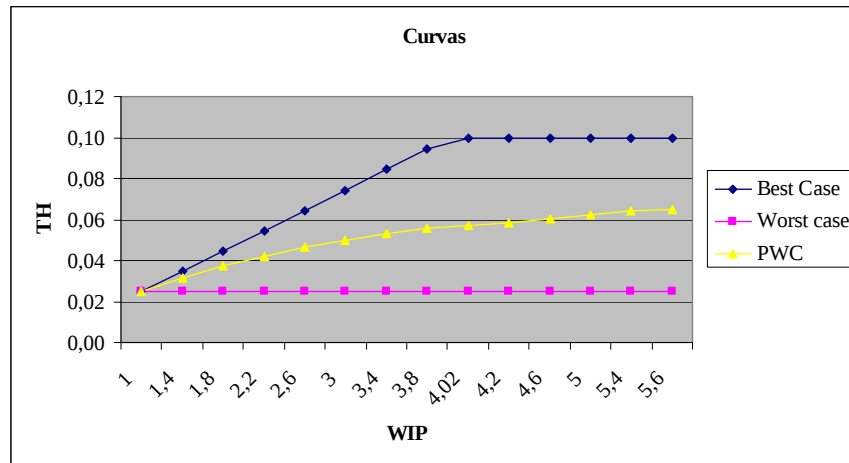


FIGURA 55. CURVAS 2DA SECCIÓN SITUACIÓN INICIAL

Parámetros reales y Comparación con los parámetros teóricos.

De la segunda sección del modelo de simulación se obtuvieron una vez realizados los cambios en la primera sección los siguientes valores para los parámetros establecidos:

Datos del Modelo

CT1	41,28	min
TH1	0,07	sac/min
WIP1	2,89	sac

Al ubicar los parámetros reales (TH2 y WIP2) en las curvas halladas, se puede notar que recae entre las curvas del mejor caso y el peor caso practico, ubicándose entonces en el área Lean del gráfico, lo que

significa que la línea de producción técnicamente esta funcionando de manera esbelta. Esto lo podemos observar a continuación.

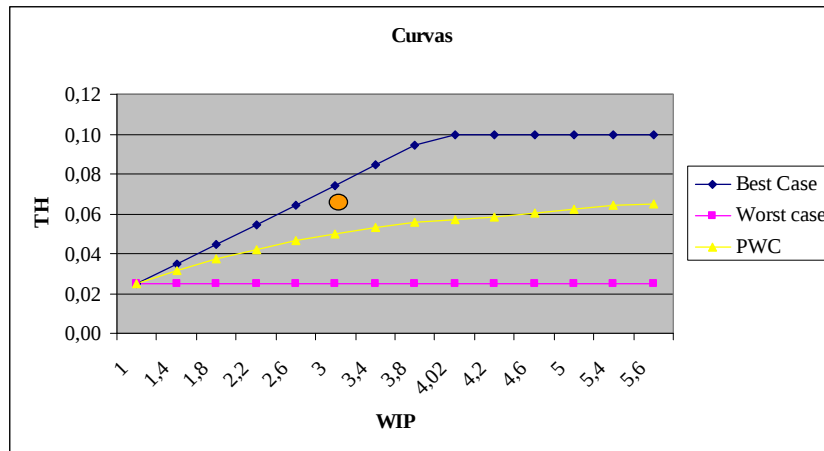


FIGURA 56. EVALUACIÓN 2DA SECCIÓN SITUACIÓN INICIAL

Sin embargo a pesar de que la línea esta produciendo de manera esbelta, debemos buscar mejoras que nos permitan disminuir los costos de producción, por lo tanto se procederá a identificar las operaciones restrictivas.

2. Identificar las restricciones.

A continuación se listan las utilizaciones (H.T) de la segunda parte del sistema:

TABLA 17. UTILIZACIONES 2DA SECCIÓN SITUACIÓN INICIAL

	Estaciones	% U (H.T)
UTILIZACIÓN	U C2	95,9
	U C3	92,6
	U D1	73,7

La tabla nos muestra que la estación C2 es la restricción de la segunda sección del sistema, debido a que su utilización es mayor.

3. Explotar la Restricción.

La máquina que opera en esta estación es antigua, por lo que ya se están haciendo los trámites para sustituirla, la nueva va ser más veloz, según las especificaciones de ella, se podría tener una reducción en el tiempo de operación de 10.4 sacos/min. a 5.5 sacos/min.

El siguiente paso consta en observar que implicaciones trae el cambio realizado al resto de la línea.

4. Subordinar Todo a lo Anterior.

El cambio que se propuso realizar afecta positivamente a la siguiente estación, debido a que va a entregar un mejor producto en proceso, lo

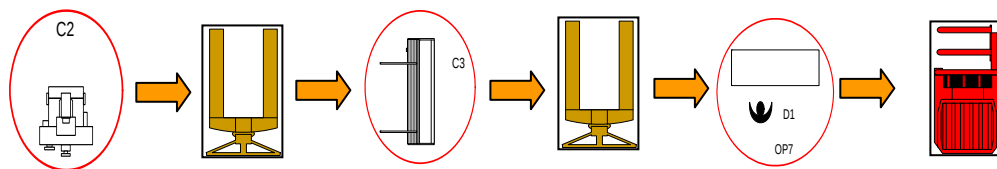
que permitiría que se reduzca el tiempo de la siguiente operación de 10.2 sacos/min. a 7.5 sacos/min.

5. Volver al Paso 1

1. Evaluación de la línea luego del primer cambio.

Parámetros Teóricos y curvas del Mejor, Peor y Peor Caso Práctico.

A continuación se presenta el esquema de la segunda parte de la línea de producción y una tabla con los parámetros teóricos hallados (T_o , r_b y W_o) luego de realizado el primer cambio.



Estación	Máquinas #	Te min	Re sac/min	Ra sac/min	Utilización	Rb sac/min	Wo sac
C2	1	5,5	0,18	0,095	52,25	0,13	4,25685
T1	1	0,49	2,04	0,095	4,66		
C3	1	7,5	0,13	0,09	67,50		
T2	1	2,38	0,42	0,09	21,42		
D1	2	15,04	0,13	0,10	75,18		
T3	1	1,84	0,54	0,01	1,84		
To		32,75					

FIGURA 57. ESQUEMA 2DA SECCIÓN Y PARÁMETROS TEÓRICOS CAMBIO 1

Con los parámetros hallados se obtuvieron las siguientes curvas:

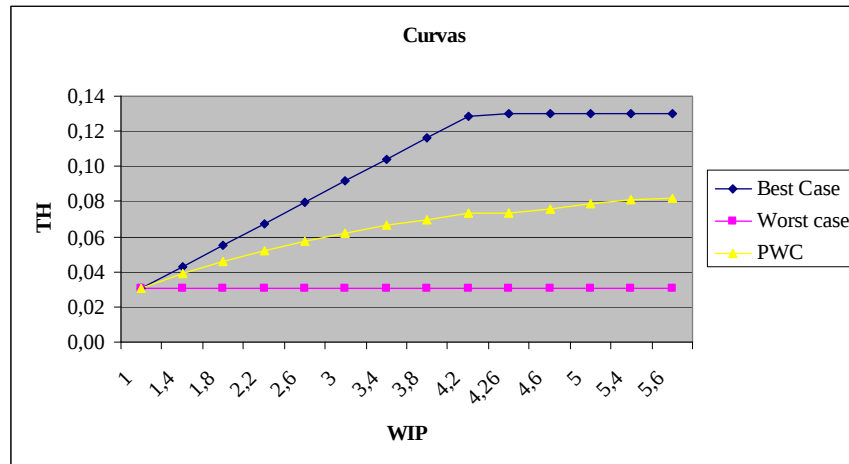


FIGURA 59. CURVAS 2DA SECCIÓN CAMBIO 1

Parámetros reales y Comparación con los parámetros teóricos.

De la segunda sección del modelo de simulación se obtuvieron una vez realizados los cambios los siguientes valores para los parámetros establecidos:

Datos del Modelo

CT1	35,2	min
TH1	0,07	sac/min
WIP1	2,46	sac

Al ubicar los parámetros reales (TH2 y WIP2) en las curvas halladas, se puede notar que recae entre las curvas del mejor caso y el peor caso práctico, ubicándose entonces en el área Lean del gráfico, lo que significa que la línea de producción técnicamente esta funcionando de manera esbelta. Esto lo podemos observar a continuación.

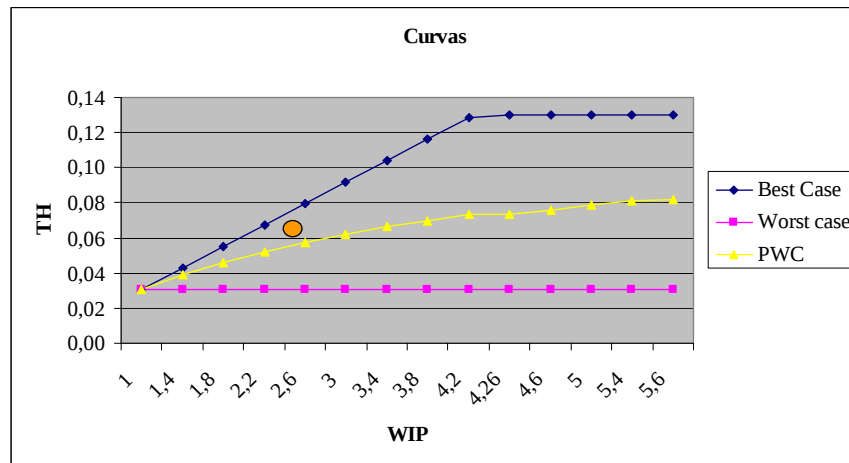


Figura 59. Evaluación 2da Sección Cambio 1

Este cambio además de producir beneficios en el comportamiento de la línea, es necesario porque el equipo pronto daría problemas de mantenimiento, además como toda máquina nueva produce menos desperdicio de producto en proceso.

2. Identificar las restricciones.

A continuación se listan las utilizaciones (H.T) de la segunda parte del sistema luego del primer cambio:

TABLA 18. UTILIZACIONES 2DA SECCIÓN CAMBIO 1

	Estaciones	% U (H.T)
UTILIZACIÓN	U C2	79,22
	U C3	76,25
	U D1	74,61

La tabla nos muestra que la estación C2 sigue siendo la restricción de la segunda sección del sistema, debido a que su utilización es mayor.

3. Explotar la Restricción.

La estación seleccionada, ya fue analizada anteriormente y se realizó los cambios necesarios para que opere de manera eficiente, además podemos observar que la segunda sección del sistema prácticamente esta balanceada. Por lo que se puede concluir el análisis de la línea de polvos de la compañía. A continuación se muestra una tabla para indicar como fueron cambiando los parámetros según los cambios realizados.

	CT1 min	TH1 gav/min	WIP 1 gav
Actual	41,19	0,05	2,06
cambios sección 1	41,28	0,07	2,89
cambio 1	35,2	0,07	2,46

Con los cambios realizados en el modelo de simulación se obtuvieron grandes beneficios, se redujo el tiempo de ciclo de la segunda sección en aproximadamente 6 min., se aumento el TH y disminuyó el trabajo en proceso. Juntando todos estos beneficios sin duda reducirá los costos de producción que es lo que lo compañía requiere.

Análisis Financiero y Flujo de Caja.

Si se aplicaran todos los cambios mencionados, se lograría reducir el precio de los productos a niveles competitivos internacionales, sin afectar la calidad de los mismos. Esto se obtendría debido a que se disminuyó los costos operativos aproximadamente en un 17 %. Con lo que se cumpliría el objetivo que se planteó la compañía al inicio del estudio.

Con el fin de determinar si el incremento de las ventas dado por la reducción del costo de producción justifica la inversión que tendría que realizar la compañía se realizó un flujo de caja a 5 años, el cual se lo detalla en el Anexo 2, obteniéndose el siguiente resultado:

VAN	\$ 35.039
TIR	42,4%
PAY-BACK EN AÑOS	2,4
TASA DE CORTE	12%

Analizando el resultado del flujo de caja nos damos cuenta que el proyecto si justifica la inversión, alcanza valores de rentabilidad buenos, y la inversión inicial de la recupera a los dos años y medio.(Análisis de Sensibilidad en Anexo 3).

CAPÍTULO 5.

5. Conclusiones y Recomendaciones.

Este capítulo se dividirá en dos secciones, la primera incluirá conclusiones acerca de los modelos de simulación y de los logros obtenidos en este estudio. Por otra parte la segunda se detallarán los cambios que se deberían realizar en la línea de producción para lograr reducir los costos sin afectar la calidad del producto.

Conclusiones sobre la Simulación.

Durante el desarrollo de este estudio, pudimos constatar los beneficios reales de la simulación mencionados en el capítulo 1. El beneficio principal que se obtuvo de la simulación durante el estudio fue que todos los cambios propuestos se los realizó en el modelo cuantas veces fue necesario, se pudo analizar el efecto de dichos cambios y no se incurrió en ningún tipo de costo.

Dichas bondades no hubiesen sido posibles si todos los cambios se realizaban directamente en la planta.

Además de no incurrir en ningún costo, la simulación también nos ahorra tiempo, debido a que a pesar de que sí modelos matemáticos que definen líneas de producción, como es el caso de la Teoría de Colas, su análisis es muy extenso y complicado. Situación que no ocurre con la simulación, la cual proporciona resultados en cuestión de segundos, una vez desarrollado el modelo.

Conclusiones sobre el Estudio.

El objetivo general de este estudio era el desarrollar y validar un modelo de simulación que permita identificar operaciones restrictivas presentes en la línea de producción de la compañía, con el fin de plantear soluciones de mejora que permitan reducir sus costos de operación, el cuál se puede afirmar que se cumplió en su totalidad debido a que:

- 🧩 Se desarrolló un modelo de simulación que representa la línea actual de polvos y frutas de la compañía, el cuál fue sometido a un proceso de validación a través de sus parámetros básicos. Con dicha prueba se concluyó con un 95 % de confianza que el modelo de simulación representa la operación real de la línea.

Se identificaron las restricciones del sistema y se planteó soluciones que permitirán reducir el tiempo de ciclo, aumentar la tasa de producción y reducir el consumo de ciertos insumos en ambas secciones en las que se dividió la línea de producción, con lo que se alcanzaría la reducción de los costos de operación.

A continuación se muestran los resultados que se podrían obtener de seguir con las soluciones planteadas

Primera Sección:

Actual

CT1	61,84	min
TH1	0,08	gav/min
WIP1	4,95	gav

Cambios Propuestos

CT1	56,1	min
TH1	0,12	gav/min
WIP1	6,732	gav

Segunda Sección:

Actual

CT1	41,19	min
TH1	0,05	sac/min
WIP1	2,06	sac

Cambios Propuestos

CT1	35,2	min
TH1	0,07	sac/min
WIP1	2,46	sac

📊 Se redujo el precio de los productos a niveles competitivos internacionales, sin afectar la calidad de los mismos. Esto se obtendría debido a que se disminuyeron los costos operativos aproximadamente en un 17 %. Analizando el resultado del flujo de caja nos damos cuenta que el proyecto si justifica la inversión ($VAN = \$ 35.039$; $TIR = 42 \%$), alcanza valores de rentabilidad buenos, y la inversión inicial de la recupera a los dos años y medio.

Recomendaciones:

Para obtener los resultados que se mostraron anteriormente la directiva de la empresa debería considerar realizar los siguientes cambios a la línea de producción de polvos y frutas:

En la Estación A3

- 📊 Mejorar las condiciones ergonómicas del puesto de trabajo (diseñar una mesa de trabajo con sus respectivas sillas), así como el estado de las herramientas.
- 📊 Cambiar el método de conservación de la fruta actual, por un método con baño de hidrógeno.

En la Estación B1

- ✚ Eliminar esta estación de trabajo y todas sus operaciones, esto se lo puede realizar gracias al nuevo sistema de hidrógeno.

En las Estaciones B2A y B2B

- ✚ Reemplazar el sistema de transporte actual por un elevador de palets.
- ✚ Aumentar a 2 el número de máquinas en cada estación.

En las Estaciones B3A y B3B

- ✚ Aumentar la velocidad de las bandas transportadoras a 2 pies/min.
- ✚ Reducir el consumo de insumos en un 35%, esto se lo puede realizar gracias al nuevo sistema de hidrógeno.

En la Estación C2

- ✚ Sustituir la máquina que opera en esta estación que es antigua por una nueva con mayor velocidad, esto ya se tenía planteado previamente.

En la entrada de Materia Prima

- ✚ Aumentar la cantidad de gavetas que entran al sistema a 300.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.** FISHMAN G., Conceptos y Métodos de la Simulación Digital de Eventos Discretos, Editorial Limusa, 1997.
- 2.** GARCÍA EDUARDO, GARCÍA HERIBERTO, CARDENAS LEOPOLDO, Simulación y Análisis de Sistemas con Promodel, Grupo Editorial Pearson Education, 2003.
- 3.** GOLDRATT ELIYAHU, La Meta, 1998.
- 4.** HARRELL CHARLES, GHOSH BIMAN, BOWDEN ROYCE, Simulation Using Promodel, Grupo Editorial Mc Graw Hill, 2003.
- 5.** HOPP WALLACE, SPEARMAN MARK, Factory Physics, Grupo Editorial Mc Graw Hill, 2000.
- 6.** LAW AVERILL, KELTON DAVID, Simulation Modeling and Análisis, Grupo Editorial Mc Graw Hill, 2003.

7. MEIR R., NEWELL W., PAZER H., Técnicas de Simulación en Administración y Economía, Editorial Trillas, 1997.
8. SHANNON R., Simulación de Sistemas, Editorial Trillas, 1999.
9. ZANDIN K., Manual del Ingeniero Industrial Tomo I, Mc Graw Hill, 2005.
10. ZANDIN K., Manual del Ingeniero Industrial Tomo II, Mc Graw Hill, 2005.

Anexo 1. Toma de Tiempo

Actividad 2.- Colocar la materia prima en gavetas.

Actividad 2	
u=seg/gaveta(25 kg)	
89,64	70,56
51,16	30,46
32,69	134,02
48,17	29,04
112,39	60,34
98,24	120,09
82,16	70,48
76,28	38,01
39,24	90,34
28,64	54,09
35,19	38,98
44,38	36,48
60,48	115,52
30,17	118,61
43,78	92,14

Document1 : Descriptive	
descriptive statistics	
data points	30
minimum	28.64
maximum	134.02
mean	65.7257
median	57.215
mode	34.705
standard deviation	32.3644
variance	1047.45
coefficient of variation	49.2416
skewness	0.561467
kurtosis	-1.07325

Auto::Fit Distributions

distribution	rank	acceptance
Beta[28, 134, 0.706, 1.41]	100	accept
Weibull[28, 1.01, 37.8]	86.5	accept
Pearson 6[28, 8.07e+04, 0.945, 2.01e+03]	86.4	accept
Erlang[28, 1, 37.7]	85.9	accept
Exponential[28, 37.7]	85.9	accept
Gamma[28, 0.951, 39.7]	84.4	accept
Log-Logistic[28, 1.3, 23.9]	57.6	accept
Lognormal[28, 3.02, 1.36]	41.3	accept
Triangular[28, 147, 28]	32.6	accept
Pareto[28, 1.36]	25.9	accept
Pearson 5[28, 0.542, 3.49]	2.21	reject
Inverse Gaussian[28, 7.76, 37.7]	0.206	reject
Uniform[28, 134]	0.0389	reject

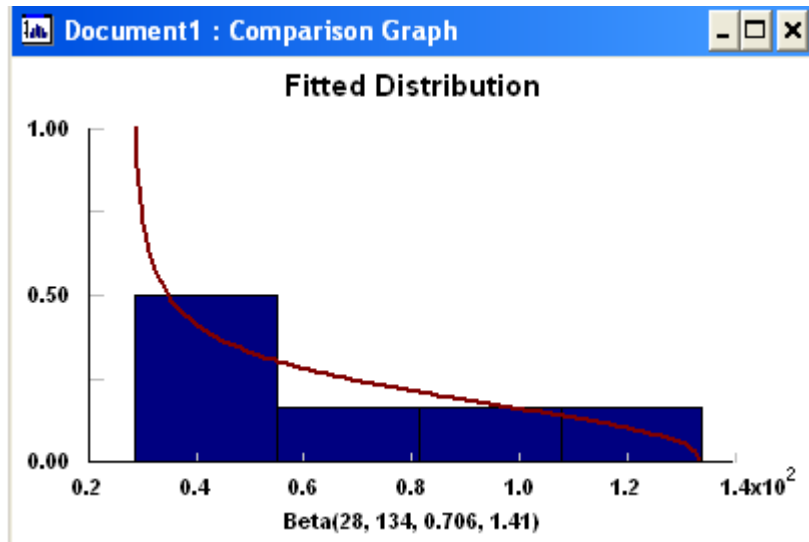


FIGURA 14. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 2

Actividad 3.- Transportar las gavetas a la máquina A2.

Actividad 3	
u=seg/viaje(10 gav)	
42,51	40,19
38,56	38,1
50,06	56,38
38,05	48,15
54,09	35,88
70,44	54,48
33,57	66,16
36,64	71,37
34,7	88,64
33,07	79,47
29,32	55,89
45,28	61,25
50,44	48,62
30,28	39,17
67,8	54,72

Document2 : Descriptive	
descriptive statistics	
data points	30
minimum	29.32
maximum	88.64
mean	49.776
median	48.385
mode	37.445
standard deviation	15.2805
variance	233.493
coefficient of variation	30.6985
skewness	0.709357
kurtosis	-0.358106

Auto::Fit Distributions

distribution	rank	acceptance
Weibull(29, 1.3, 22.4)	96.1	accept
Beta(29, 96.5, 1.03, 2.29)	94.1	accept
Gamma(29, 1.4, 14.8)	84.1	accept
Triangular(29, 93.8, 29)	80.7	accept
Pearson 6(29, 6.78e+03, 1.43, 475)	79.3	accept
Log-Logistic(29, 1.75, 15.9)	73.8	accept
Erlang(29, 1, 20.8)	50	accept
Exponential(29, 20.8)	50	accept
Lognormal(29, 2.64, 1.1)	35.9	reject
Pareto(29, 2.01)	6.73	reject
Pearson 5(29, 0.599, 2.98)	0.258	reject
Inverse Gaussian(29, 6.55, 20.8)	0.0369	reject
Uniform(29, 88.6)	0.00466	reject

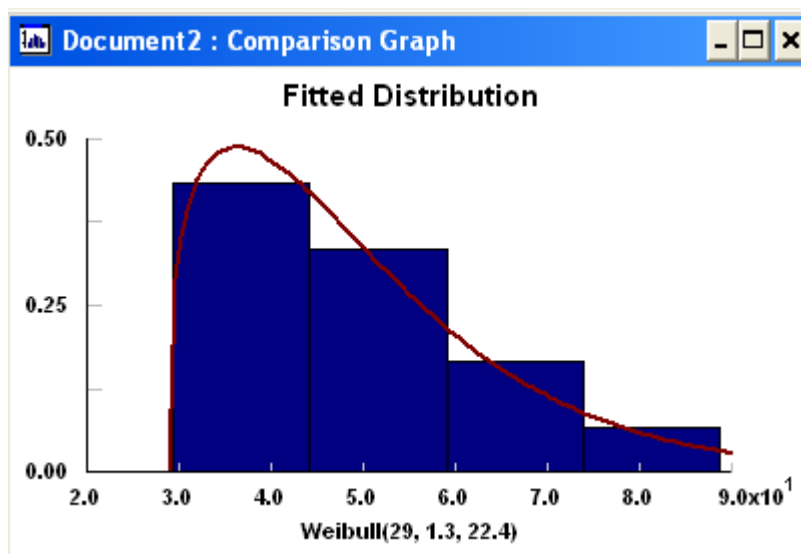


FIGURA 15. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 3

Actividad 4.- Colocar 10 gavetas en la máquina A2.

Actividad 4	
u=seg/10gav	
181,31	194,32
165,85	167,18
145,42	154,81
180,63	188,22
177,26	181,17
168,39	173,18
170,4	201,11
188,09	179,35
110,32	162,48
190,45	177,26
130,16	183,44
148,25	152,17
166,49	191,45
174,11	176,52
181,68	189,17

Document3 : Descriptive	
descriptive statistics	
data points	30
minimum	110.32
maximum	201.11
mean	171.688
median	176.89
mode	179.1
standard deviation	19.6482
variance	386.053
coefficient of variation	11.4441
skewness	-1.21096
kurtosis	1.41896

Auto::Fit Distributions

distribution	rank	acceptance
Triangular(110, 203, 200)	72.5	accept
Weibull(110, 3.01, 66.6)	21.8	reject
Beta(110, 201, 1.93, 1.19)	6.16	accept
Lognormal(110, 3.94, 0.992)	0.0398	reject
Uniform(110, 201)	9.2e-05	reject
Pearson 5(110, 0.365, 3.02)	1.66e-07	reject

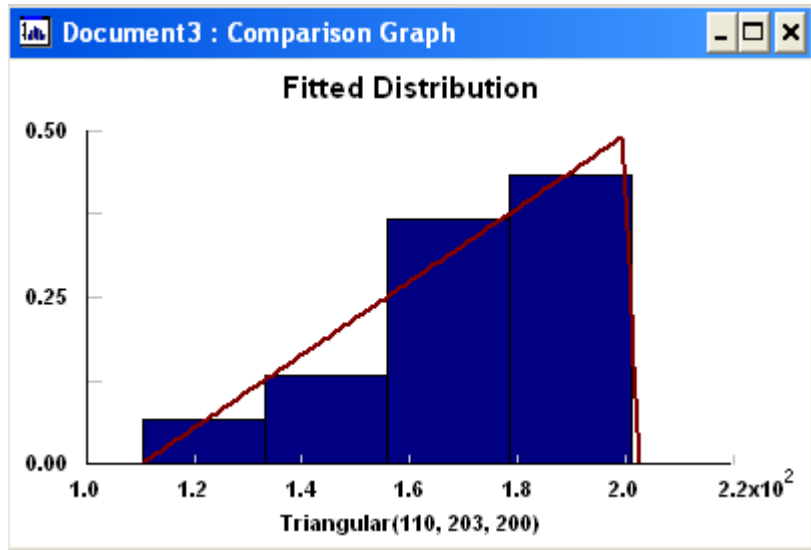


FIGURA 16. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 4

Actividad 6.- Colocar el P.P en tinas.

Actividad 6	
u=seg/10gav	
35,06	29,32
33,16	40,18
13,07	38,26
16,59	19,34
34,68	23,81
27,57	38,26
11,42	17,38
28,1	25,32
20,35	33,59
17,15	29,93
30,19	35,82
32,71	25,17
28,38	45,54
33,54	14,5
31,92	12,55

Document4 : Descriptive	
descriptive statistics	
data points	30
minimum	11.42
maximum	45.54
mean	27.4287
median	28.85
mode	33.87
standard deviation	9.08731
variance	82.5792
coefficient of variation	33.1307
skewness	-0.174956
kurtosis	-1.01942

Auto::Fit Distributions

distribution	rank	acceptance
Uniform(11, 45.5)	67.6	accept
Weibull(11, 1.7, 18.1)	57.8	accept
Beta(11, 45.5, 1.31, 1.69)	51.7	accept
Lognormal(11, 2.5, 0.987)	4.66	reject
Triangular(11, 51.7, 11)	1.07	reject
Pearson 5(11, 0.736, 3.97)	0.111	reject

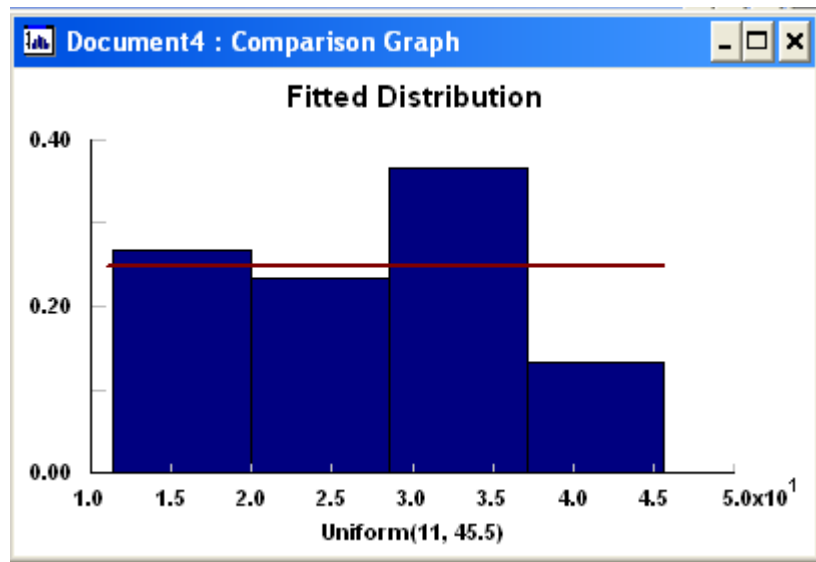


FIGURA 17. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 6

Actividad 7.- Transportar las tinas a la máquina A3.

Actividad 7	
u=seg/10gav	
26,33	30,48
22,05	27,54
20,67	23,56
40,17	9,46
28,45	22,53
27,14	32,58
17,54	15,32
25,33	24,56
18,56	33,56
44,69	40,26
23,52	27,89
12,78	23,54
25,67	36,28
18,29	35,36
36,24	49,18

Document5 : Descriptive	
descriptive statistics	
data points	30
minimum	9.46
maximum	49.18
mean	27.3177
median	26
mode	23.86
standard deviation	9.27791
variance	86.0796
coefficient of variation	33.963
skewness	0.366193
kurtosis	-0.359687

Auto::Fit Distributions

distribution	rank	acceptance
Weibull[9, 1.99, 20.4]	100	accept
Log-Logistic[9, 2.73, 16.7]	91.1	accept
Erlang[9, 3, 6.11]	75.4	accept
Pearson 6[9, 506, 2.91, 81.3]	64	accept
Beta[9, 49.2, 1.77, 2.33]	62.8	accept
Gamma[9, 2.59, 7.07]	51	accept
Lognormal[9, 2.7, 0.822]	6.55	reject
Uniform[9, 49.2]	2.81	accept
Triangular[9, 55.2, 10.5]	0.569	accept
Exponential[9, 18.3]	0.194	reject
Pearson 5[9, 0.809, 5.8]	0.0156	reject
Inverse Gaussian[9, 11.8, 18.3]	0.0028	reject
Pareto[9, 0.952]	0.000471	reject

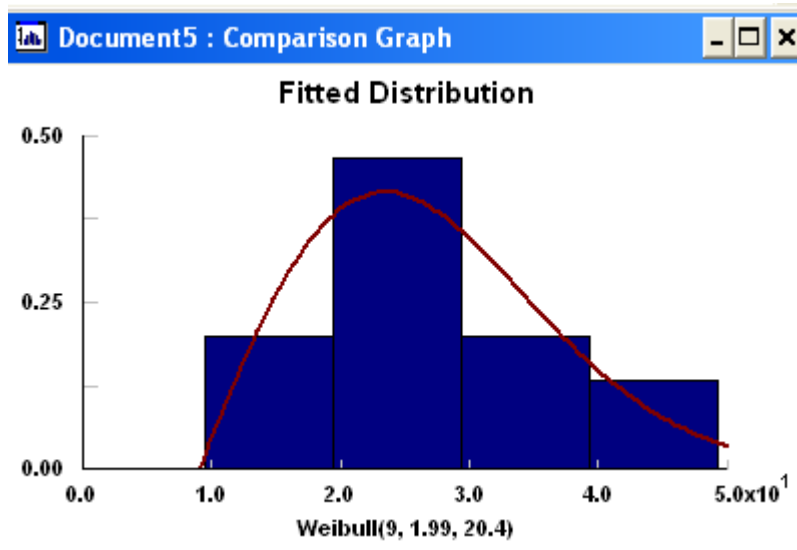


FIGURA 18. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 7

Actividad 8.- Poner en marcha la máquina A3.

Actividad 8	
u=seg/10gav(trab)	
18174,88	22686,95
20490,72	25136,93
24273,21	20632,96
25410,32	22538,75
22643,52	17228,25
21155,68	21975,46
22521,72	25293,97
19309,44	21839,36
24082,32	23537,2
16644,42	19699,29
22935,64	23561,52
21525,12	21769,76
19900,14	24484,85
24741,08	18938,66
23718,56	24046

Document6 : Descriptive	
descriptive statistics	
data points	30
minimum	16644.4
maximum	25410.3
mean	22029.9
median	22530.2
mode	22106
standard deviation	2401.95
variance	5.76937e+06
coefficient of variation	10.9032
skewness	-0.53828
kurtosis	-0.689692

Auto::Fit Distributions

distribution	rank	acceptance
Triangular(1.66e+04, 2.56e+04, 2.53e+04)	100	accept
Weibull(1.66e+04, 1.68, 5.75e+03)	9.22	reject
Uniform(1.66e+04, 2.54e+04)	1.07	accept
Lognormal(1.66e+04, 8.19, 1.78)	0.0146	reject
Beta(1.66e+04, 2.64e+04, 1.1, 1.71)	0.000651	reject
Pearson 5(1.66e+04, 0.137, 1.73)	0	reject

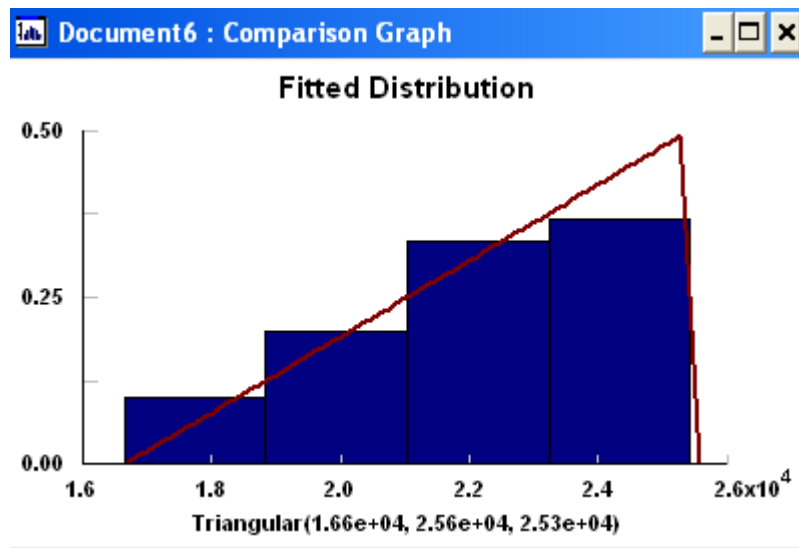


FIGURA 19. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 8

Actividad 9 y 10.- Colocar el P.P en gavetas.

Actividad 9 y 10	
u=seg/gav	
51,38	43,15
47,61	52,13
70,8	56,3
61,1	74,53
96,06	38,55
43,15	81,31
58,33	79,64
65,77	42,15
88,16	42,72
82,5	44,59
89,34	57,23
85,1	75,31
35,89	73,49
61,89	77,45
94,27	52,38

Document7 : Descriptive

descriptive statistics

data points	30
minimum	35.89
maximum	96.06
mean	64.076
median	61.495
mode	47.55
standard deviation	18.1268
variance	328.582
coefficient of variation	28.2896
skewness	0.139954
kurtosis	-1.35848

Auto::Fit Distributions

distribution	rank	acceptance
Beta[35, 96.1, 1.06, 1.26]	97.8	accept
Uniform[35, 96.1]	93	accept
Weibull[35, 1.55, 32.1]	58.4	accept
Gamma[35, 1.77, 16.4]	49.3	accept
Erlang[35, 2, 14.5]	47.3	accept
Pearson 6[35, 1.45e+04, 1.79, 901]	45.2	accept
Log-Logistic[35, 1.97, 24.1]	41.4	reject
Lognormal[35, 3.06, 0.948]	30.9	reject
Triangular[35, 110, 37.5]	23.8	accept
Exponential[35, 29.1]	15.2	reject
Pareto[35, 1.77]	1.11	reject
Pearson 5[35, 0.85, 9.09]	0.989	reject
Inverse Gaussian[35, 16.9, 29.1]	0.59	reject

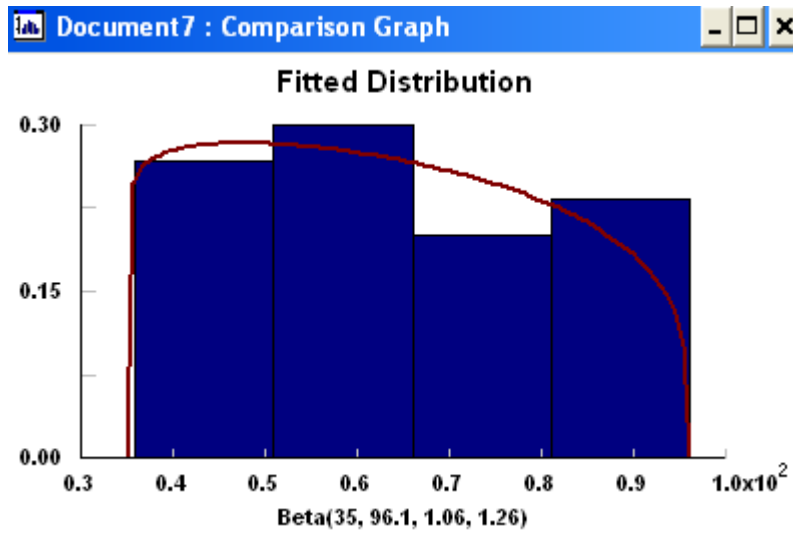


FIGURA 20. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 9 Y 10

Actividad 11.- Transportar las gavetas a la máquina B1

Actividad 11	
u=seg/gav	
60,5	24,67
50,28	42,37
35,45	32,28
49,97	38,91
33,82	71,54
33,67	74,12
47,38	68,92
54,56	69,91
50,15	53,39
40,84	67,18
58,67	73,57
78,95	37,54
42,8	30,71
33,12	79,28
34,82	58,76

Document8 : Descriptive	
descriptive statistics	
data points	30
minimum	24.67
maximum	79.28
mean	50.9377
median	50.06
mode	35.595
standard deviation	16.27
variance	264.714
coefficient of variation	31.9411
skewness	0.258059
kurtosis	-1.31096

Auto::Fit Distributions

distribution	rank	acceptance
Beta(24, 79.3, 1.05, 1.11)	91.4	accept
Weibull(24, 1.65, 29.9)	89.1	accept
Gamma(24, 2, 13.5)	85.1	accept
Erlang(24, 2, 13.5)	85.1	accept
Uniform(24, 79.3)	82.2	accept
Pearson 6(24, 4.97e+05, 1.89, 3.49e+04)	81.6	accept
Log-Logistic(24, 2.17, 22.7)	61.3	accept
Lognormal(24, 3.02, 0.895)	43.3	accept
Triangular(24, 93.7, 24)	11	accept
Exponential(24, 26.9)	6.5	reject
Inverse Gaussian(24, 15.6, 26.9)	0.801	accept
Pearson 5(24, 0.808, 7.97)	0.774	reject
Pareto(24, 1.43)	0.134	reject

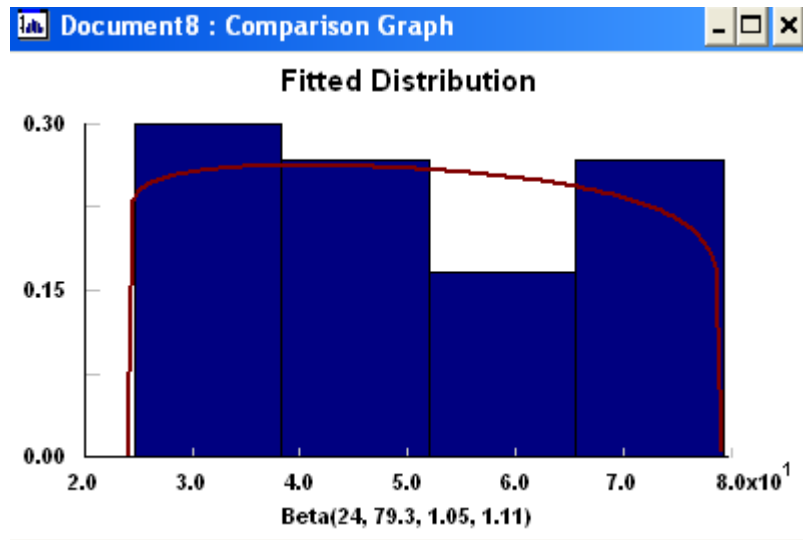


FIGURA 21. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 11

Actividad 12.- Poner en marcha la máquina B1.

Actividad 12	
u=seg/10gav	
405,33	696,56
761,89	479,67
754,89	733,28
828,23	815,54
420,72	575,64
521,89	524,84
382,64	759,82
822,36	532,28
650,78	450,89
611,25	672,12
399,67	418,76
662,91	595,35
758,82	450,82
733,37	802,15
771,92	736,24

Document9 : Descriptive	
descriptive statistics	
data points	30
minimum	382.64
maximum	828.23
mean	624.354
median	656.845
mode	752.6
standard deviation	148.912
variance	22174.7
coefficient of variation	23.8505
skewness	-0.234324
kurtosis	-1.49733

Auto::Fit Distributions

distribution	rank	acceptance
Beta(382, 828, 0.76, 0.749)	100	accept
Uniform(382, 828)	29.8	accept
Weibull(382, 1.34, 259)	18.6	accept
Lognormal(382, 5.04, 1.37)	2.99	reject
Triangular(382, 989, 382)	2.52	accept
Pearson 5(382, 0.306, 5.01)	0.00207	reject

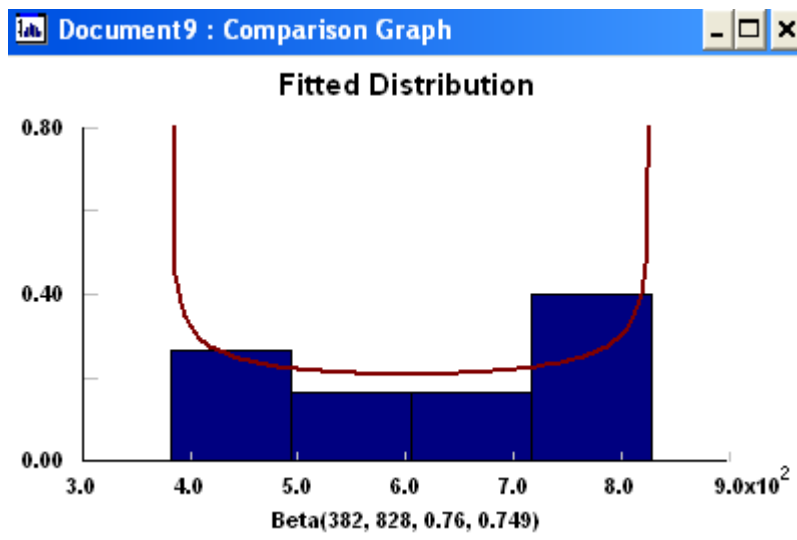


FIGURA 22. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 12

Actividad 14-17.- Transportar y poner en marcha máquina B2.

Actividad 14,15,16,17	
u=seg/10gav	
2775,8	2772,81
2668,3	2715,67
2777,94	2756,81
2749,54	2656,81
2786,21	2779,89
2672,64	2804,98
2796,48	2771,31
2778,83	2733,23
2744,76	2698,67
2749,32	2745,98
2732,27	2777,15
2723,83	2706,89
2779,94	2786,89
2784,16	2715,82
2791,26	2654,89

Document10 : Descriptive	
descriptive statistics	
data points	30
minimum	2654.89
maximum	2804.98
mean	2746.3
median	2753.18
mode	2775.62
standard deviation	43.4282
variance	1886.01
coefficient of variation	1.58133
skewness	-0.716757
kurtosis	-0.686466

Auto::Fit Distributions

distribution	rank	acceptance
Triangular(2.65e+03, 2.81e+03, 2.8e+03)	100	accept
Beta(2.65e+03, 2.8e+03, 1.15, 0.925)	18.7	accept
Weibull(2.65e+03, 1.86, 101)	10.7	reject
Uniform(2.65e+03, 2.8e+03)	0.665	reject
Lognormal(2.65e+03, 4.21, 1.15)	0.263	reject
Pearson 5(2.65e+03, 0.449, 7.17)	0.00015	reject

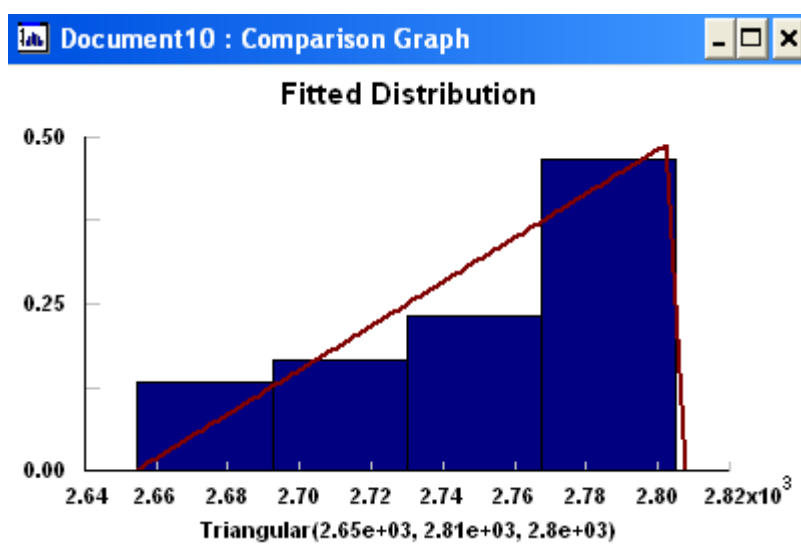


FIGURA 23. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 14 A LA 17

Actividad 18.- Poner en marcha la máquina B3.

Actividad 18	
u=seg/10gav	
7224,51	7193,67
7235,64	7234,71
7224,42	7215,12
7216,19	7198,72
7337,26	7345,72
7332,18	7312,81
7218,37	7256,33
7218,56	7275,75
7224,52	7357,91
7222,44	7332,61
7121,72	7167,81
7217,61	7354,48
7119,18	7192,17
7329,83	7333,55
7338,28	7379,81

Document4 : Descriptive	
descriptive statistics	
data points	30
minimum	7119.18
maximum	7379.81
mean	7257.73
median	7229.61
mode	7220.35
standard deviation	72.3476
variance	5234.17
coefficient of variation	0.996835
skewness	0.00784281
kurtosis	-1.14222

Auto::Fit Distributions

distribution	rank	acceptance
Weibull(7.12e+03, 1.59, 150)	81	reject
Uniform(7.12e+03, 7.38e+03)	60.1	accept
Log-Logistic(7.12e+03, 1.95, 124)	52	reject
Pearson 6(7.12e+03, 608, 1.58, 7.27)	9.34	reject
Gamma(7.12e+03, 1.46, 94.8)	8.66	reject
Beta(7.12e+03, 7.38e+03, 1.03, 0.699)	5.48	accept
Erlang(7.12e+03, 1, 139)	0.371	reject
Exponential(7.12e+03, 139)	0.371	reject
Pareto(7.12e+03, 51.9)	0.326	reject
Triangular(7.12e+03, 7.46e+03, 7.12e+03)	0.224	reject
Lognormal(7.12e+03, 4.55, 1.43)	0.086	reject
Pearson 5(7.12e+03, 0.241, 1.17)	2.71e-07	reject
Inverse Gaussian(7.12e+03, 5.05, 139)	0	reject

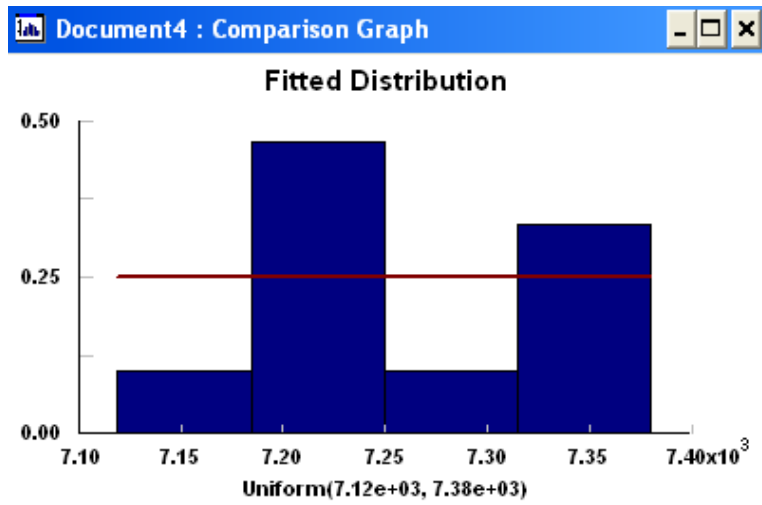


FIGURA 24. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 18

Actividad 20.- Transportar el P.P. a C2

Actividad 20	
u=seg/0,5tn	
40,53	30,74
68,64	52,18
57,18	47,81
33,54	33,62
28,16	45,87
32,24	37,15
48,78	61,72
56,18	27,72
22,39	22,21
24,17	33,71
35,72	57,81
44,18	72,16
37,22	69,12
32,76	27,76
27,16	63,47

Document5 : Descriptive	
descriptive statistics	
data points	30
minimum	22.21
maximum	72.16
mean	42.3967
median	37.185
mode	34.73
standard deviation	15.0893
variance	227.688
coefficient of variation	35.5909
skewness	0.483773
kurtosis	-1.10918

Auto::Fit Distributions

distribution	rank	acceptance
Triangular(22, 81, 22)	98.8	accept
Weibull(22, 1.21, 21.6)	98.6	accept
Pearson 6(22, 2.51e+03, 1.22, 150)	97.5	accept
Gamma(22, 1.2, 17)	94.6	accept
Beta(22, 72.2, 0.811, 1.28)	93.9	accept
Erlang(22, 1, 20.4)	58.9	accept
Exponential(22, 20.4)	58.9	accept
Log-Logistic(22, 1.57, 15.3)	53.5	reject
Lognormal(22, 2.54, 1.27)	18.3	reject
Pareto(22, 1.68)	4.04	reject
Uniform(22, 72.2)	1.13	accept
Pearson 5(22, 0.455, 1.41)	0.00925	reject
Inverse Gaussian(22, 3.64, 20.4)	7.58e-05	reject

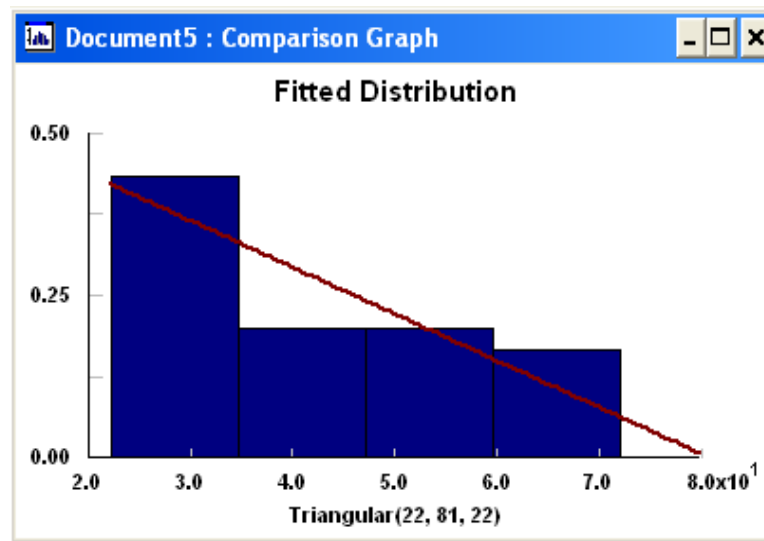


FIGURA 25. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 20

Actividad 21-23.- Poner en marcha la máquina C2.

Actividad 21,22,23	
u=seg/saco(55kg)	
600,17	600,82
611,24	600,72
600,14	620,15
600,72	627,67
620,28	623,78
630,56	600,11
628,64	627,82
600,77	654,32
600,18	630,17
628,24	600,33
676,32	642,15
628,18	625,17
632,56	627,81
654,79	620,91
627,87	600,92

Document6 : Descriptive	
descriptive statistics	
data points	30
minimum	600.11
maximum	676.32
mean	621.45
median	624.475
mode	600.11
standard deviation	19.244
variance	370.33
coefficient of variation	3.09662
skewness	0.74022
kurtosis	0.314357

Auto::Fit Distributions

distribution	rank	acceptance
Erlang(600, 1, 21.5)	64.3	reject
Exponential(600, 21.5)	64.3	reject
Pareto(600, 28.8)	63.5	reject
Log-Logistic(600, 0.789, 9.32)	52.5	reject
Gamma(600, 0.547, 39.2)	50.6	reject
Beta(600, 758, 0.517, 3.52)	49.2	reject
Pearson 6(600, 7.48e+03, 0.533, 186)	44.6	reject
Weibull(600, 0.683, 17.9)	38.4	reject
Lognormal(600, 1.92, 2.14)	6.12	reject
Triangular(600, 681, 600)	1.84	reject
Pearson 5(600, 0.317, 0.252)	0.86	reject
Uniform(600, 676)	0	reject
Inverse Gaussian(600, 0.824, 21.5)	0	reject

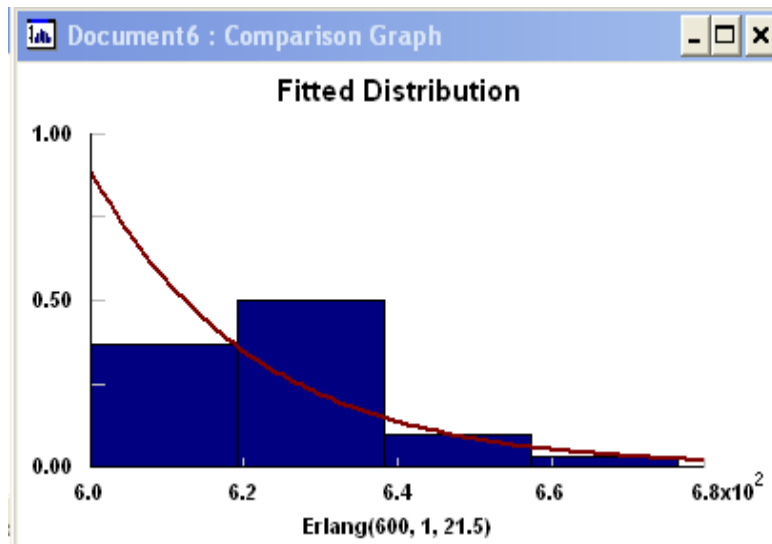


FIGURA 26. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 21 A LA 23

Actividad 24.- Transportar los sacos a la máquina C3.

Actividad 24	
u=seg/saco(55)	
28,44	32,75
25,93	30,81
44,17	27,18
30,88	28,69
15,67	32,64
28,2	27,56
22,16	27,16
26,13	33,21
27,16	32,64
34,15	27,16
30,64	26,93
27,89	31,33
33,43	32,64
25,62	28,16
35,28	27,16

Document7 : Descriptive	
descriptive statistics	
data points	30
minimum	15.67
maximum	44.17
mean	29.3923
median	28.32
mode	27.41
standard deviation	4.8328
variance	23.356
coefficient of variation	16.4424
skewness	0.188892
kurtosis	2.45084

Auto::Fit Distributions

distribution	rank	acceptance
Log-Logistic(15, 4.65, 14.1)	100	accept
Weibull(15, 3.01, 15.8)	37.9	accept
Pearson 6(15, 1.61e+03, 5.05, 566)	4.9	reject
Beta(15, 44.2, 3.98, 4.59)	4.87	accept
Erlang(15, 5, 2.88)	4.84	reject
Gamma(15, 4.95, 2.91)	4.54	reject
Triangular(15, 45.5, 28.2)	2.59	accept
Lognormal(15, 2.56, 0.607)	0.178	reject
Uniform(15, 44.2)	0.0141	reject
Pearson 5(15, 1.29, 10.8)	0.000105	reject
Inverse Gaussian(15, 20, 14.4)	5.9e-05	reject
Exponential(15, 14.4)	7.18e-06	reject
Pareto(15, 1.52)	2.68e-07	reject

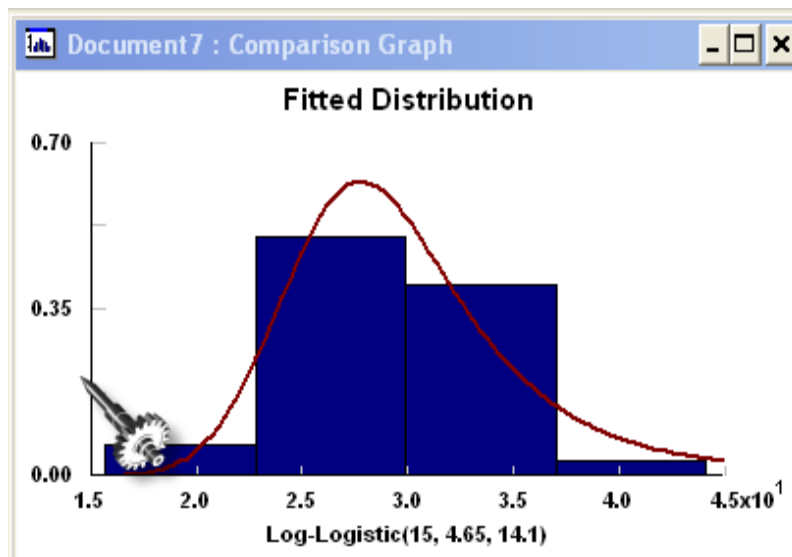


FIGURA 27. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 24

Actividad 25 y 26.- Poner en marcha la máquina C3.

Actividad 25,26	
u=seg/saco(55)	
522,37	537,23
584,72	615,82
753,24	765,29
575,92	608,22
602,77	439,55
590,91	562,36
759,82	453,87
654,56	615,12
469,9	672,16
543,68	694,78
470,62	545,91
498,62	675,09
845,22	822,12
590,37	812,71
615,03	475,1

Document8 : Descriptive	
descriptive statistics	
data points	30
minimum	439.55
maximum	845.22
mean	612.436
median	596.84
mode	600.27
standard deviation	113.733
variance	12935.1
coefficient of variation	18.5705
skewness	0.443264
kurtosis	-0.812227

Auto::Fit Distributions

distribution	rank	acceptance
Weibull[439, 1.37, 187]	93.8	accept
Beta[439, 891, 0.981, 1.63]	81.1	accept
Pearson 6[439, 7.89e+03, 1.44, 66.5]	53.9	accept
Gamma[439, 1.38, 126]	50.3	accept
Log-Logistic[439, 1.75, 142]	45.8	accept
Triangular[439, 916, 439]	43.3	accept
Erlang[439, 1, 173]	8.96	accept
Exponential[439, 173]	8.96	accept
Lognormal[439, 4.75, 1.27]	3.19	reject
Uniform[439, 845]	1.97	accept
Pareto[439, 3.16]	1.51	reject
Pearson 5[439, 0.323, 4.55]	0.000281	reject
Inverse Gaussian[439, 15.3, 173]	0	reject

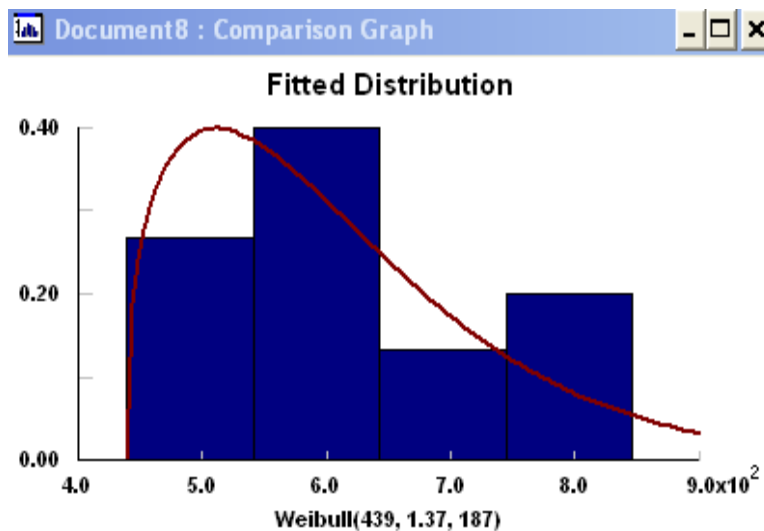


FIGURA 28. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 25 Y 26

Actividad 28.- Transportar el P.P. a la máquina D1.

Actividad 28	
u=seg/saco(50)	
180,64	155,97
156,12	124,43
126,32	154,33
192,16	125,64
150,1	159,12
122,18	155,34
164,29	121,15
172,16	175,56
125,32	122,33
118,19	120,91
124,35	153,32
150,18	129,78
128,19	115,45
162,38	119,47
129,45	163,56

Document9 : Descriptive	
descriptive statistics	
data points	30
minimum	115.45
maximum	192.16
mean	143.28
median	139.94
mode	123.275
standard deviation	21.9712
variance	482.735
coefficient of variation	15.3345
skewness	0.422694
kurtosis	-1.14609

Auto::Fit Distributions

distribution	rank	acceptance
Triangular(115, 200, 115)	85.9	accept
Beta(115, 192, 0.929, 1.79)	77.5	accept
Weibull(115, 1.19, 29.9)	62.5	accept
Gamma(115, 1.24, 22.8)	53.2	accept
Pearson 6(115, 5.13e+03, 1.23, 224)	52.7	reject
Erlang(115, 1, 28.3)	50.6	reject
Exponential(115, 28.3)	50.6	reject
Log-Logistic(115, 1.56, 19.8)	42.7	reject
Pareto(115, 4.79)	31.8	reject
Lognormal(115, 2.89, 1.14)	31	reject
Pearson 5(115, 0.633, 4.32)	11.1	reject
Inverse Gaussian(115, 8.98, 28.3)	0.563	reject
Uniform(115, 192)	0.0562	reject

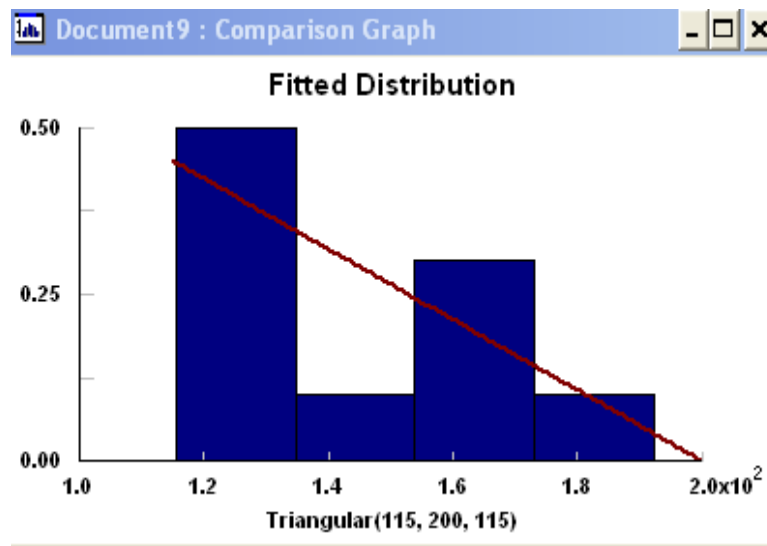


FIGURA 29. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 28

Actividad 31 y 32.- Verificar el peso y sellar el P.T.

Actividad 31,32	
u=seg/saco(50)	
1800,92	1879,43
1835,67	1733,39
1845,33	1922,16
1933,89	1754,34
1799,8	1854,78
1922,43	1821,6
1728,12	1671,92
1754,43	1875,33
1901,3	1329,64
1909,24	1875,65
1821,69	1915,63
1925,75	1898,15
1654,15	1769,14
1836,68	1723,24
1809,24	1631,18

Document10 : Descriptive	
descriptive statistics	
data points	30
minimum	1329.64
maximum	1933.89
mean	1804.47
median	1828.68
mode	1933.89
standard deviation	123.551
variance	15264.8
coefficient of variation	6.84691
skewness	-1.88662
kurtosis	4.73748

Auto::Fit Distributions

distribution	rank	acceptance
Weibull[1.33e+03, 3.26, 502]	100	reject
Triangular[1.33e+03, 1.94e+03, 1.92e+03]	0.633	reject
Lognormal[1.33e+03, 5.96, 1.2]	0.00601	reject
Pearson 5[1.33e+03, 0.236, 4.35]	0	reject
Uniform[1.33e+03, 1.93e+03]	0	reject
Beta	no fit	reject

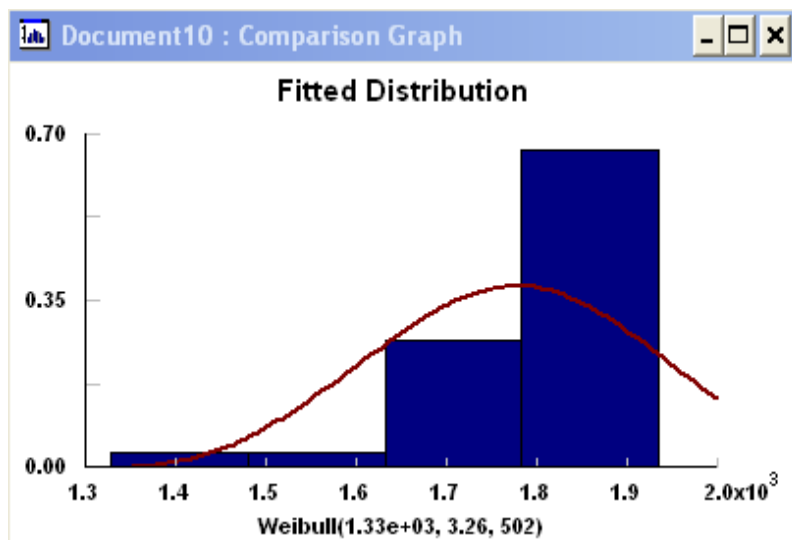


FIGURA 30. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 31 Y 32

Actividad 33.- Transportar el P.T. a la bodega.

Actividad 33	
u=seg/palet	
120,18	121,28
120,7	129,78
121,64	131,61
121,1	132,12
120,82	151,52
129,12	129,15
132,62	128,19
130,32	145,89
154,22	120,21
149,54	132,62
133,15	121,45
133,69	132,18
120,75	133,34
149,72	152,69
133,82	134,72

Document11 : Descriptive	
descriptive statistics	
data points	30
minimum	1200.18
maximum	1540.22
mean	1321.57
median	1318.89
mode	1200.18
standard deviation	106.011
variance	11238.3
coefficient of variation	8.02158
skewness	0.697006
kurtosis	-0.626305

Auto::Fit Distributions

distribution	rank	acceptanc
Beta(1.2e+03, 1.59e+03, 0.558, 1.36)	88.8	accept
Erlang(1.2e+03, 1, 122)	83.4	accept
Exponential(1.2e+03, 122)	83.4	accept
Pareto(1.2e+03, 10.7)	49.8	accept
Triangular(1.2e+03, 1.59e+03, 1.2e+03)	29.7	accept
Weibull(1.2e+03, 0.831, 113)	23.2	reject
Gamma(1.2e+03, 0.693, 176)	19.9	reject
Log-Logistic(1.2e+03, 0.99, 70)	16.3	accept
Pearson 6(1.2e+03, 2.1e+03, 0.708, 13.8)	6.11	reject
Lognormal(1.2e+03, 3.93, 1.89)	1.63	reject
Pearson 5(1.2e+03, 0.269, 1.01)	0.0164	reject
Uniform(1.2e+03, 1.54e+03)	0.00218	reject
Inverse Gaussian(1.2e+03, 3.86, 122)	0	reject

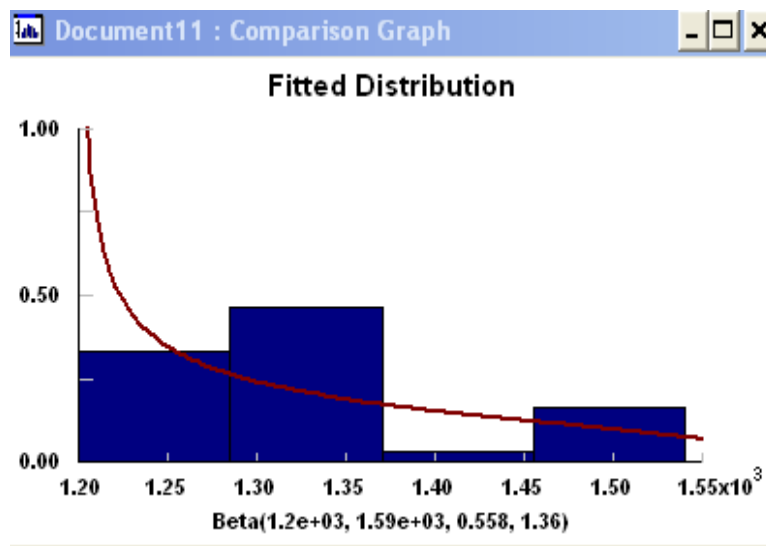


FIGURA 31. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA ACTIVIDAD 33

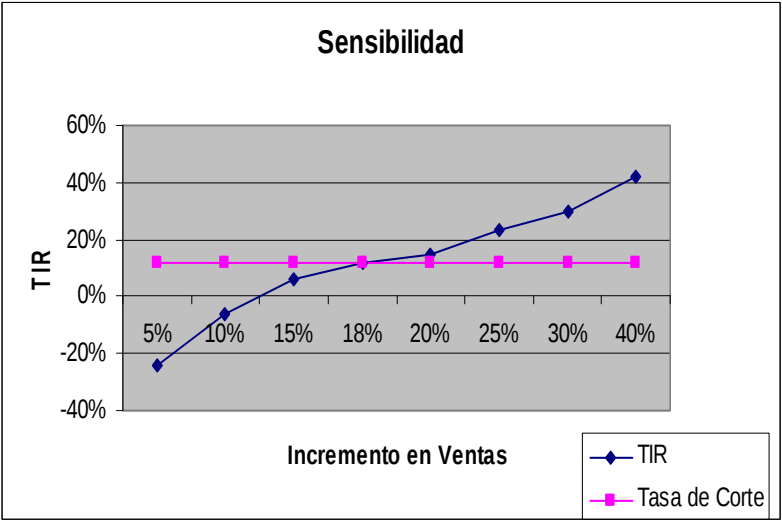
Anexo 2. Flujo de Caja

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
1.- Inversiones Iniciales						
Sistema de Hidrógeno	15.000					
Máquina C2	4.500					
Elevador	2.500					
Puestos de Trabajo	5.000					
Capital de Trabajo	10.800					
Total Inversion	(37.800)	-	-	-	-	-
2.- Flujo de Fondos Operativos durante el horizonte del proyecto						
Ingresos operativos		48.000	52.800	58.080	63.888	70.276
Egresos operativos		28.088	30.999	33.114	35.454	37.887
Utilidad antes de impuestos		19.912	21.801	24.966	28.434	32.389
Impuesto a la renta + participación trabajadores (36,25%)		7.218	7.903	9.050	10.307	11.741
Utilidad operativa después de impuesto a la renta		12.694	13.898	15.916	18.127	20.648
Amortizaciones + Depreciaciones		4.400	4.400	4.400	4.400	4.400
Total Flujo de fondos operativo		17.094	18.298	20.316	22.527	25.048
3.- Flujo Neto de Fondos	(37.800)	17.094	18.298	20.316	22.527	25.048
Flujo acumulado	(37.800)	(20.706)	(2.408)	17.908	40.434	65.482
Flujo Neto Descontado	(37.800)	15.262	14.587	14.460	14.316	14.213

VAN	\$ 35.039
TIR	42,40%
PAY-BACK EN AÑOS	2,4
TASA DE CORTE	120%

Anexo 3. Análisis de Sensibilidad

Incremento en Ventas	TIR	Tasa de Corte
5%	-24%	12%
10%	-6%	12%
15%	6%	12%
18%	12%	12%
20%	15%	12%
25%	23%	12%
30%	30%	12%
40%	42%	12%



La compañía por lo menos debe de incrementar sus ventas un 18% para que justifique la inversión